

**PREVISÃO DE GANHO GENÉTICO NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus*
AVALIADAS EM AMOSTRAGENS
DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS**

ADELSON NASCIMENTO OLIVEIRA

2005

ADELSON NASCIMENTO OLIVEIRA

PREVISÃO DE GANHO GENÉTICO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA
DE *Eucalyptus* AVALIADAS EM AMOSTRAGENS DESTRUTIVAS E NÃO
DESTRUTIVAS

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 obtenção do título de
“Doutor”.

Orientador

Prof. PhD. Sebastião Carlos da Silva Rosado

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

2005

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

Oliveira, Adelson Nascimento

Previsão de ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragens destrutivas e não destrutivas / Adelson Nascimento Oliveira. --
Lavras : UFLA, 2005. 78 p. : il.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético. 2. Avaliação não destrutiva. 3. Stress wave timer.
4. Resistógrafo. 5. Deformação residual longitudinal. 5. Ganho genético direto e
indireto. 6. Eucalipto I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

ADELSON NASCIMENTO OLIVEIRA

**PREVISÃO DE GANHO GENÉTICO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA
DE *Eucalyptus* AVALIADAS EM AMOSTRAGENS DESTRUTIVAS E NÃO
DESTRUTIVAS**

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 obtenção do título de “Doutor”.

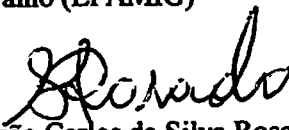
Aprovada em 27 de maio de 2005

Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho (DAG – UFLA)

Prof. Dr. Natalino Calegário (DCF – UFLA)

Prof. Dr. José Tarcisio Lima (DCF – UFLA)

Prof. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho (EPAMIG)



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

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

**Para meus pais, Estevão Nascimento Oliveira
e Sebastiana Simões de Oliveira,
a todos os meus irmãos,
dedico**

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha existência e pela força dada nos momentos oportunos:

Aos meus pais, Estevão Nascimento Oliveira (*in memorian*) e Sebastiana Simões Oliveira (*in memorian*), pela minha criação, estímulo, respeito e educação durante nossa convivência:

Aos meus irmãos, pelo apoio e paciência a mim dispensados, durante minha vida acadêmica e às minhas lindas sobrinhas, que praticamente não as acompanhei durante seu crescimento, espero que entenda a minha ausência:

À Fundação de apoio à pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudo, sem a qual este trabalho não seria possível.

À Companhia Mineira de Metais, Votorantin-Agro, nas pessoas dos Engenheiros florestais Luciano e Vicente Silveira, pela concessão do material genético e apoio durante a execução deste trabalho:

Aos técnicos da Companhia Mineira de Metais, pela ajuda para a localização dos clones;

Ao Departamento de Ciências Florestais pelo apoio durante o decorrer do curso;

Ao professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, pela orientação e amizade e boas piadas durante o decorrer do trabalho:

Ao professor e amigo Natalino Calegário, pela colaboração e correção deste trabalho, que muito me ajudou para a versão definitiva desta tese, ainda tomaremos muito Keep-cooler juntos.

Aos professores Paulo Fernando Trugilho, José Tarcísio Lima, pela co-orientação;

A minha namorada Neném que muito me auxiliou nas horas difíceis;

A minha segunda mãe, D. Ana Leônidas de Greco de Carvalho, que sempre tinha um palavra de incentivo e um cafezinho quente para mim reanimar; Agradeço também aos meus irmãos, não de sangue, mas de coração (Marquinho e Vanda) e aos sobrinhos, principalmente Mayara, Vinícius e Wisney, levarei vocês sempre junto comigo.

A colega de curso e grande amiga Érica que muito me auxiliou na obtenção dos dados.

Aos alunos Sérgio (doutorado), Renato (mestrado), Paulo (graduação), Alexandre (graduação), e principalmente ao Bruno- catatau (graduação) pela ajuda concedida.

A todos os funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial ao José Lopes, Zé Fazenda, Seu Vico, Gilson e Hernani, José Pedro e José Carlos, pela ajuda e amizade a mim dispensada:

Aos grandes e inesquecíveis amigos Mívia Rosa de Medeiros Vichiato, Marcelo Vichiato, Kareem Gonçalves Xavier, Rubens Rondon Neto, Diva Naves, Antônio Sukamoto (Tuca), Frederico Ap. Pulz, Fausto W. Acerbi Jr., Júlio César Garcia, Sebastião Ferreira, Anabel Aparecida de Mello e Márcia Cristina Oliveira pela amizade e companheirismo e pela agradável convivência;

Agradeço também a todos que direta e indiretamente, torceram contra a realização desta tese, pois isto me dava forças para ir adiante.

BIOGRAFIA

ADELSON NASCIMENTO OLIVEIRA, filho de Estevão Nascimento Oliveira e Sebastiana Simões de Oliveira, nascido em Paracatu – Minas Gerais, em 16 de Março de 1969.

Concluiu os estudos da 1ª a 4ª série na Escola Estadual Temístocles Rocha, concluindo o primeiro e segundo grau no Colégio Estadual Antônio Carlos em 1988.

Em 1990 iniciou os estudos de graduação em Engenharia Agrícola na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL). Em Agosto de 1990, através de mudança interna de cursos, ingressou no curso de Engenharia Florestal desta mesma Universidade, onde integrou o grupo do programa especial de treinamento (PET-DCF) de Março de 1992 a Julho de 1995, quando concluiu o curso de Engenharia Florestal.

Em Agosto de 1995, participou do Projeto Manejo Sustentado do Cerrado, projeto financiado pelo CIAMB, CNPq e FAPEMIG, sob a coordenação do Departamento de Engenharia Florestal da UFLA.

Em Março de 1996, foi selecionado para o curso de mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração de florestas de produção, concluindo-o em Agosto de 1998.

Em Agosto de 1999 a Março de 2000 trabalhou na Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Goiás (FEMAGO) e em Setembro de 2001 a Fevereiro de 2001 na Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (SEMARH).

Em Março de 2001 ingressou no curso de doutorado em florestas de produção na Universidade Federal de Lavras (UFLA), concluindo este em Maio de 2005.

SÚMARIO

Previsão de ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragens destrutivas e não destrutivas

RESUMO-----	i
ABSTRACT-----	ii
1 INTRODUÇÃO GERAL-----	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	2
2.1 Densidade da madeira-----	2
2.2 Retratibilidade da madeira -----	14
2.3 Propriedades mecânicas da madeira-----	16
2.4 Melhoramento genético da madeira-----	18
2.5 Amostragem não destrutiva da madeira-----	19
3 MATERIAL E MÉTODOS-----	23
3.1 Área experimental-----	23
3.2 Descrição do material de estudo-----	23
3.3 Coleta de dados-----	24
3.4 Propriedades avaliadas-----	30
3.5 Análises estatísticas-----	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	36
4.1 Análises de variância-----	36
4.2 Correlações fenotípicas e genotípicas-----	48
4.3 Ganhos genéticos diretos e indiretos-----	56
4.4 Médias de genótipos-----	62
5 CONCLUSÕES-----	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	71

RESUMO

OLIVEIRA, A.N. Previsão de ganho genético nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* avaliadas em amostragens destrutivas e não destrutivas, 2005. 82p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

A avaliação das propriedades da madeira é realizada comumente por meio de amostragem destrutiva, o que demanda capital, tempo e mão-de-obra especializada. Além disto esse processo dificulta a avaliação de grandes quantidades de materiais genéticos, o que restringe a seleção e impede a obtenção de ganhos genéticos mais expressivos na qualidade da madeira. Assim, a procura por métodos de avaliações das propriedades da madeira de forma não destrutiva devem ser intensificadas. O objetivo deste estudo foi analisar a eficiência de três métodos de avaliação não destrutiva das propriedades da madeira, estimando os ganhos genéticos diretos e indiretos através de medições em árvores vivas. Para tanto foram utilizados 20 clones de *Eucalyptus* híbridos com 10 anos de idade, cultivados no município de Paracatu, região noroeste do Estado de Minas Gerais. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, sendo que cada ramete de um clone foi considerado como uma parcela amostral. As medições não destrutivas foram avaliadas por meio do extensômetro (Growth Strain Gauge – do CIRAD-Forêt), do resistógrafo (Resisto¹graph IML-500) e o aparelho de onda de tensão (Stress Wave Timer - Metriguard). Os resultados obtidos foram confrontados com os resultados obtidos dos métodos usuais de amostragem da madeira. Os resultados permitiram observar que as propriedades da madeira podem ser estimadas de maneira confiável através da avaliação não destrutiva da madeira.

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

ABSTRACT

OLIVEIRA, A.N. Prevision of genetic gain in wood properties of Eucalyptus tree evaluated by destructive and non-destructive samplings, 2005. 82p. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil¹.

The evaluation of wood properties is performed commonly by destructive sampling methods, which demands money, time and labor work. In addition, these methods prevent the evaluation of large amount of genetic materials, which restrict the selection and block the gain of more expressive genetic quality of the wood. Therefore, researches aiming to develop methods to evaluate the wood properties in non-destructive way need to intensified. Thus, the objective of this study was to analyze the efficiency of three methods for evaluation of the wood properties in a non destructive way, estimating direct and indirect the genetic gains in Eucalyptus tree. Twenty Eucalyptus clones with 10 years of age were used in this study cultivated at the region of Paracatu, located at the northwest State of Minas Gerais. The experiment was placed entirely in randomly design with three replications, where each individual was considered as a sampling portion. The non-destructive measurements were performed through the growth strain gauge, resistograph and stress wave timer methods. The results obtained through the non-destructive methods were confronted with the results obtained through the usual methods of wood sampling. The results showed that the properties of the wood can be estimated through the non-destructive methods used.

¹ Guidance committee – Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Adviser), José Tarcisio Lima – UFLA (Co – adviser), Natalino Calegário – UFLA (Co – adviser), Paulo Fernando Trugilho – UFLA (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

O Brasil participa com US\$1,1 bilhão no mercado internacional com as exportações de produtos madeireiros, sendo que somente na indústria de móveis, a participação da madeira sólida, advinda de reflorestamento está em torno de 60% (SBS, 2002). O uso da madeira de reflorestamento encontra-se em expansão, motivada principalmente pelo melhoramento genético da qualidade da madeira do eucalipto, para obtenção de produtos mais nobres, tais como, produção de madeira serrada, produção de móveis, madeira para construção civil, entre outras.

A crescente demanda da madeira de eucalipto exige que seja desenvolvida pesquisa que visem a uma maior homogeneização de sua madeira, minimizando os defeitos inerentes a estas espécies e maximizando o seu uso, obtendo maior rendimento em madeira processada.

Assim, métodos de amostragens da madeira que visem à qualificação da madeira de eucalipto, agregando características desejáveis sob o ponto de vista tecnológico são essenciais para a obtenção de um maior aproveitamento da madeira e conseqüentemente para uma maior valorização desta.

A amostragem da madeira é realizada comumente através de ensaios destrutivos, o que demanda capital, tempo e mão-de-obra especializada tanto nos serviços de campo para a seleção do material apropriado, mas também em laboratórios para execução dos testes específicos para cada material. Além disto, impede a avaliação de grandes quantidades de materiais genéticos, restringindo a seleção e impedindo a obtenção de ganhos genéticos mais expressivos da qualidade da madeira.

Assim, a procura por métodos eficientes de amostragens não destrutivas deve ser priorizada, pois além de fornecerem leituras rápidas, poderão em curto

prazo, disponibilizar materiais genéticos para uso intensivo na silvicultura clonal.

No Brasil a utilização de ensaios não destrutivos em madeira ainda é incipiente, porém vem ganhando espaço nos últimos anos, tanto para a classificação de material processado, como também em material vivo, constituindo uma valiosa ferramenta para o setor florestal, especialmente para a tecnologia da madeira e para o melhoramento genético, por possibilitar a seleção dos indivíduos ainda no campo.

A utilização de técnicas de avaliações não destrutivas, visando a contornar as restrições comumente encontradas na condução dos programas de melhoramento genético dos eucaliptos, poderá selecionar materiais genéticos de mais qualidade, permitindo o seu emprego em serrarias, indústrias moveleiras e na construção civil, agregando valores à madeira, obtendo maior rentabilidade e minimizando os desperdícios de matéria-prima.

Diante do exposto, os principais objetivos deste trabalho são:

- a) Estimar propriedades da madeira através dos métodos não destrutivos;
- c) Estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para as propriedades da madeira;
- d) Indicar clones superiores de *Eucalyptus* para programas de reflorestamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DENSIDADE DA MADEIRA

A densidade da madeira é definida como a massa contida numa unidade de volume. Geralmente a densidade da madeira é função da estrutura anatômica, como comprimento, diâmetro e espessura das células (Brasil & Ferreira, 1972), das dimensões das células e das interações do número com o tipo de células das espécies (Ferreira & Kageyama, 1978).

Considerando o ponto de vista físico, a densidade da madeira é resultante da proporção de sólidos e dos espaços vazios. Enquanto que os primeiros são representados pelas paredes das fibras e dos outros elementos anatômicos, os segundos são representados pelos lumens, vasos, células do parênquima, pontuações, perfurações e outras aberturas naturais (ESALQ, 1984). A fração sólida é quimicamente representada pelos componentes fundamentais (celulose, lignina e hemiceluloses) e componentes acidentais (extrativos e outros).

Vital (1984) descreve que por ser a madeira um material poroso, o valor numérico da densidade depende da inclusão ou não do volume dos poros, portanto, as determinações de densidade da madeira podem ser feitas através de dois métodos distintos: No primeiro, determina-se o volume de uma forma global, incluindo-se o volume dos poros e obtendo-se uma densidade aparente. No segundo método, determina o volume da amostra sem a inclusão do volume dos poros, obtendo-se a densidade real ou densidade da parede celular, cujo valor é igual a $1,53 \text{ g/cm}^3$, independentemente da espécie (Panshin, 1982, citado por Vital, 1984). A densidade da madeira usualmente citada em literatura é determinada através do primeiro método.

Foelkel (1971) relata que dentre as várias maneiras de expressar a densidade aparente da madeira, uma das mais práticas é a densidade básica, que é a relação entre a massa absolutamente seca da madeira, e o seu volume verde.

A utilização da densidade básica, dentre outros fatores, é muito difundida por todo o mundo, visto que a madeira é uma substância higroscópica que, sob diferentes condições de umidade relativa e temperatura, adquire diferentes teores de umidade, levando a mesma amostra a diferentes massas e volumes. Assim, em condições absolutamente secas, a madeira apresenta a sua massa real, e no máximo teor de umidade, a água ocorre na forma livre, não contribuindo para a variação dimensional da madeira (Vital, 1984).

Outra vantagem de trabalhar com a madeira saturada, é evitar os efeitos das contrações, rachaduras e colapsos, que se manifestam na madeira, especialmente quando se trabalha com o gênero *Eucalyptus* (DadsWell, 1931, citado por Ferreira, 1972).

Souza et al. (1986) relataram a existência de uma relação direta da densidade com várias áreas da ciência florestal: na tecnologia está ligado as características do produto final, como rendimento em celulose, resistências físico-mecânicas, produção e qualidade do carvão vegetal. No melhoramento florestal evidencia o potencial de seleção das espécies. No manejo determina o tipo de prática a ser aplicada em função do produto final e no inventário florestal está ligada à produtividade da floresta em termos de quantidade de madeira seca por hectare.

Para o melhoramento florestal a densidade básica é característica fundamental, pois, é passível de seleção. Por existir grande variação entre árvores, apresenta alta herdabilidade, baixa interação genótipo x ambiente, é de fácil determinação e apresenta forte e positiva correlação entre a produção e qualidade da madeira (Zobel & Talbert, 1984; Brasil et al., 1979).

Segundo Barrichello (1975), é necessário o controle da qualidade da madeira destinada à produção de celulose. Ao lado das características morfológicas das fibras, composição química da madeira, obtenção de celulose em laboratórios etc., a densidade básica é um fator que freqüentemente tem sido levado em consideração, dada as suas implicações relacionadas com o rendimento, penetração do licor, velocidade de refinação e resistências físico-mecânicas.

Para a indústria de celulose e papel, Foelkel (1971) consideram que a densidade básica deve ser vista sob os seguintes aspectos:

a) a madeira é usualmente comprada em volume e no processamento é desejável conhecer o seu peso seco para o adequado controle das operações industriais;

b) é um importante fator a ser considerado, tanto em termos de rendimento por digestor individual, quanto em termos de produtividade por unidade de volume e área;

c) sua uniformidade dentro de uma dada madeira é desejável para a obtenção de um produto final padronizado;

d) a velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e o conseqüente ritmo de deslignificação são influenciados pela densidade, sendo de se esperar que, dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas sejam mais facilmente deslignificadas;

e) entre as coníferas tem se observado relação inversa entre a densidade da madeira e o tempo de refinação da celulose, para se atingir um determinado grau de moagem. Relação direta tem sido verificada para as folhosas;

f) com respeito às propriedades físico-mecânicas da celulose de coníferas, tem se observado uma relação direta entre a densidade e resistência ao rasgo e relação inversa para resistência à ruptura, ao arrebentamento e peso específico.

Busnardo et al. (1983) citaram que a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo a um determinado grau de deslignificação, bem como, pode indicar o comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa resultante para a fabricação de celulose e papel. Barrichello et al. (1983a) em estudo com o *Eucalyptus grandis*, verificaram que a seleção de árvores através da densidade básica pode acarretar uma seleção simultânea de madeiras com características anatômicas diferentes, podendo-se prever uma conseqüente alteração das propriedades da celulose.

Na siderurgia, uma maior densidade aparente do carvão vegetal é importante para sua utilização, principalmente como termorredutor, pois, além de ocupar menor espaço no alto forno, oferece maior resistência mecânica (Brito & Barrichello, 1977). Estudos conduzidos por Brito & Barrichello (1980)

verificaram uma alta correlação positiva entre a densidade básica da madeira e a densidade aparente do carvão.

A densidade básica é um bom índice de qualidade desde que aplicado para uma mesma espécie de madeira, respeitando-se as diferenças existentes e evitando-se comparações amplas.

A Tabela 1 apresenta valores de densidade básica encontrados por diversos autores.

TABELA 1. Densidade básica encontrados em literatura para a madeira de *Eucalyptus* spp.

Espécie	Idade (meses)	D.básica (g/cm ³)	Fonte
<i>Eucalyptus</i> (clones)	96	0,436 a 0,577	Lima, 1999
<i>Eucalyptus</i> (matrizes)	156 a 204	0,544 a 0,731	Caixeta, 2000
<i>E. grandis</i> (clones)	6 a 90	0,347 a 0,570	Lima et al., 2001
<i>E. grandis</i> (clones)	30	0,446 a 0,511	Lima et al., 2001
<i>E. grandis</i> (clones e variedade)	154,8	0,530 a 0,658	Oliveira, 2001
<i>Eucalyptus</i> (clones)	90 a 162	0,449 a 0,563	Mori, 2003
<i>Eucalyptus</i> (clones)	72	0,508 a 0,594	Souza, 2002
<i>Eucalyptus</i> (clones)	66 a 126	0,437 a 0,577	Cruz et al., 2003
<i>Eucalyptus</i> (espécies)	192	0,49 a 0,73	Oliveira, 1997
<i>Eucalyptus</i> (clones)	24	0,412 a 0,472	Melo, 2004
<i>Eucalyptus</i> (clones)	63	0,462 a 0,558	Xavier, 2001
<i>Eucalyptus</i> (clones)	108	0,519	Moura, 2000

Segundo Foelkel et al. (1992), a densidade básica, ao longo dos anos, firmou-se como o mais universal dos índices para se expressar a qualidade da madeira. Porém, tal universalidade chegou a ultrapassar os limites do científico

para em muitas situações, se constituir em parâmetro de comparação de coisas não comparáveis, sendo que os principais erros são:

- A) Uso da densidade básica ao nível do DAP, para representação da densidade da árvore como um todo, para obter o peso seco do povoamento;
- B) Dentro da mesma espécie, acreditar que os mesmos valores de densidade básica signifiquem a mesma coisa em termos de qualidade da madeira;
- C) Comparações de espécies distintas com base nos valores de densidade básica;
- D) Comparações de gêneros diferentes.

2.1.1 Variação da densidade da madeira

A densidade da madeira varia em função da taxa de crescimento, condições climáticas, silvicultura, melhoramento genético, e dentro da árvore. A densidade geralmente tende a aumentar do centro da árvore para a periferia e da base para o topo (Downes et al., 1997)

Segundo Lima *et al.* (1992) a densidade da madeira varia entre espécies, entre procedências e indivíduos da mesma espécie e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal (base-topo), como no sentido transversal (medula-casca).

Kollmann & Cotê (1968) citam que a variação na densidade da madeira é devido a diferenças na estrutura e a presença de constituintes extrativos. A estrutura é caracterizada pela proporção de diferentes tipos celulares, tais como, fibras, traqueídeos, vasos, bolsas de resinas, raios e as dimensões destes constituintes celulares, especialmente a espessura da parede celular. Outros fatores, como hereditariedade, aspectos fisiológicos e mecânicos, influenciam a densidade, assim como os fatores ambientais (solo, calor, precipitação, vento, etc).

Barrichello et al. (1983a) descreveram que entre a densidade básica da madeira e as dimensões das fibras, ocorre variação mais ou menos acentuada

entre gêneros, entre espécies dentro de um mesmo gênero e entre árvores dentro de uma mesma espécie, sendo que, a variação dentro de uma espécie pode ocorrer em função da origem da semente, condições locais de clima e solo, sistema de implantação e condução da floresta, idade, ritmo de crescimento.

A variação da densidade básica da madeira é devido a diferenças na estrutura e a presença de substâncias extrativas (Kollmann e Cote, 1968), segundo eles, a estrutura é caracterizada pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, tais como, fibras, traqueídeos, vasos, canais resiníferos, raios da madeira e suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares.

Van Brijtenen (1969) citado por Rocha (1983) estudando os fatores anatômicos que influenciam a densidade, observou que a espessura da parede das células do lenho tardio e a percentagem do lenho inicial são as características mais significativas. Resultados semelhantes foram encontrados por Shimoyama & Barrichello (1991) estudando *Eucalyptus* sp., onde observaram que as características anatômicas influenciaram a densidade em maior magnitude, destacando em especial, a espessura da parede celular e o diâmetro do lúmen das fibras.

Vale et al. (1995) considerando os processos tecnológicos, concluíram que é altamente desejável ter madeira com densidade mais homogênea possível, pois este fato dá ao processo melhor rendimento e melhor qualidade ao produto final.

A literatura mostra que não existe um modelo definido de variação da densidade, havendo na verdade, muitas informações contrastantes, inclusive para a mesma espécie. Quanto à variação radial, ESALQ (1984) cita que para a maioria das coníferas há uma alternância mais ou menos definida de densidade s altas e baixas em função das diferentes características do lenho. Por sua vez, para o gênero *Eucalyptus* se observa alguns padrões de variação medula-casca.

De maneira geral, a densidade da madeira tem uma tendência a aumentar no sentido medula-casca (Panshin e De Zeew, 1970; Kollmann & Cotê, 1968; Barrichello et al., 1982; Ferreira e Kageyama, 1981, entre outros).

2.1.1.1 Variação da densidade no sentido longitudinal da árvore

A literatura mostra que não existe um modelo definido de variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo da árvore, havendo, na verdade, informações contrastantes para diferentes espécies, para a mesma espécie, para diferentes posições de amostragens e até mesmo para a mesma posição de amostragem.

Panshin & De Zeeuw (1970) resumiram os padrões de variação longitudinal da árvore em 3 modelos distintos, a saber:

Modelo 1 A densidade decresce uniformemente com a altura;

Modelo 2 A densidade decresce até certo ponto do tronco e cresce a partir daí até o topo, podendo ou não decrescer levemente na parte superior ;

Modelo 3 A densidade cresce da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

Segundo Barrichello et al. (1983), o primeiro modelo de variação da densidade, decrescente uniformemente com a altura, tem se mostrado mais freqüente para as espécies de *Pinus*, enquanto que o segundo modelo de variação, ou seja, decrescente até a região do DAP e crescente a partir deste ponto, podendo decrescer próximo ao topo, é mais comum para as espécies do gênero *Eucalyptus*. Estes mesmos autores encontraram diferentes comportamentos da densidade básica para diferentes espécies de *Eucalyptus*, conforme descrito a seguir:

a) *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus triantha* apresentaram variação tipicamente decrescente da base para o topo;

Moura (1986) verificou que a densidade básica para o *Eucalyptus camaldulensis* plantado em região de cerrado aumenta ligeiramente, em direção à copa, enquanto que, plantado em região de Mata Atlântica, apresentaram diferentes comportamento entre procedências, sendo que em algumas procedências houve tendência a aumentar a densidade da base até certa altura do tronco, não obedecendo a um padrão de variação a partir daí, em outras a tendência foi diminuir a densidade até uma certa altura e aumentar após esta altura.

Lima et al. (1992), em estudo realizado com três espécies de *Eucalyptus* com 3,5 anos de idade, concluíram que a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* decresce da base até 25% da altura total da árvore e, a partir daí, cresce até a altura máxima amostrada. Para o *Eucalyptus tereticornis* e o *Eucalyptus camaldulensis*, a densidade básica cresce no sentido base-topo, com tendência a se tornar constante nas posições mais elevadas.

2.1.1.2 Variação radial da densidade básica da madeira

Segundo Kollmann & Cotê (1968), a variação da densidade no sentido radial é mais pronunciado do que a variação no sentido longitudinal, sendo muito mais afetada pela espessura do anel de crescimento anual. Porém a madeira de baixa densidade é produzida sempre próxima à medula, onde os anéis são mais largos, enquanto que a madeira de alta densidade é produzida no alburno, que possuem anéis mais estreitos.

Panshin & De Zeeuw (1970) descrevem quatro modelos principais de variação radial da densidade básica, conforme apresentado a seguir:

Modelo 1: Crescente da medula para a casca;

Modelo 2: Decrescente nos primeiros anos e crescente nos anos subseqüentes;

25% da altura comercial e depois cresce em direção à copa, tendo um pequeno decréscimo nas posições mais elevadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (1986) em estudo realizado com *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*.

Souza et al. (1979) estudando o *Eucalyptus microcorys* aos oito anos de idade, constataram que em árvores com altura inferior a 12 m, a densidade básica decresce na direção axial, ao passo que, em árvores com altura superior a 12 m, a densidade cresce até uma distância menor que a metade da altura, após a qual decresce até o topo da árvore.

Sturion et al. (1987) estudando o comportamento da densidade da madeira em doze espécies de *Eucalyptus* com 10,5 anos de idade, obtiveram diferentes padrões para as diferentes espécies, como:

A) *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus propinqua* mostraram-se mais homogêneos, enquanto que o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus microcorys* e *Eucalyptus camaldulensis* foram os mais heterogêneos em relação à variação da densidade no sentido longitudinal do caule;

B) *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus grandis*, a densidade básica decresceu da base até 25% da altura comercial, apresentando um acréscimo na posição de 50% da altura comercial, voltando a decrescer acima desta altura.

C) *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna*, apresentou tendência decrescente da densidade no sentido base-topo;

D) *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus propinqua*, não houve variação expressiva da densidade ao longo do tronco;

E) O *Eucalyptus maculata*, apresentou um decréscimo na densidade da base para a posição de 25% da altura comercial e, um ligeiro acréscimo na direção do topo.

Moura (1986) verificou que a densidade básica para o *Eucalyptus camaldulensis* plantado em região de cerrado aumenta ligeiramente, em direção à copa, enquanto que, plantado em região de Mata Atlântica, apresentaram diferentes comportamento entre procedências, sendo que em algumas procedências houve tendência a aumentar a densidade da base até certa altura do tronco, não obedecendo a um padrão de variação a partir daí, em outras a tendência foi diminuir a densidade até uma certa altura e aumentar após esta altura.

Lima et al. (1992), em estudo realizado com três espécies de *Eucalyptus* com 3,5 anos de idade, concluíram que a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* decresce da base até 25% da altura total da árvore e, a partir daí, cresce até a altura máxima amostrada. Para o *Eucalyptus tereticornis* e o *Eucalyptus camaldulensis*, a densidade básica cresce no sentido base-topo, com tendência a se tornar constante nas posições mais elevadas.

2.1.1.2 Variação radial da densidade básica da madeira

Segundo Kollmann & Cotê (1968), a variação da densidade no sentido radial é mais pronunciado do que a variação no sentido longitudinal, sendo muito mais afetada pela espessura do anel de crescimento anual. Porém a madeira de baixa densidade é produzida sempre próxima à medula, onde os anéis são mais largos, enquanto que a madeira de alta densidade é produzida no alborno, que possuem anéis mais estreitos.

Panshin & De Zeeuw (1970) descrevem quatro modelos principais de variação radial da densidade básica, conforme apresentado a seguir:

Modelo 1: Crescente da medula para a casca;

Modelo 2: Decrescente nos primeiros anos e crescente nos anos subseqüentes;

Modelo3: Crescente no início, próximo à medula, mantendo-se mais ou menos constantes, ou podendo decrescer nas porções mais próximas à casca;

Modelo 4: Decrescente da medula para a casca.

Ferreira e Kageyama (1981), em uma revisão sobre a densidade básica da madeira de eucalipto, concluíram que a densidade da madeira das principais espécies aumenta, pronunciadamente, no sentido medula-casca, sendo que as árvores com densidade média a alta, tendem a produzir madeira de maior densidade durante todo o seu crescimento, permitindo antecipar a seleção.

Tomazello Filho (1985) observou que os valores da densidade básica para o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus microcorys*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus acmenoides*, aumentaram da medula para a casca; O *Eucalyptus gummifera*, manteve-se praticamente constantes; E o *Eucalyptus globulus*, decresceu, após a posição de 50% do raio das amostras.

Segundo Barrichello et al. (1983a), o aumento da densidade da madeira, no sentido medula-casca, é altamente correlacionado com o comprimento, diâmetro do lúmen e espessura da parede da fibra, os quais aumentam neste sentido. As dimensões das fibras estão relacionadas entre si, sendo o comprimento diretamente relacionado com a espessura da parede e inversamente correlacionado com o diâmetro do lúmen.

Para ESALQ (1984), na maioria das coníferas há uma alternância, mais ou menos definida de densidades altas e baixas, em função das diferentes características dos lenhos. Por sua vez, no gênero *Eucalyptus* não se observa um padrão definido de variação medula-casca. Porém há uma tendência de aumento no sentido medula-casca da densidade da madeira.

2.1.1.3 Variação da densidade em função da formação da madeira

Ocorre mudanças no tecido meristemático cambial em função da idade da árvore. Essas mudanças dão origem á variações na madeira produzida em cada idade, como consequência, a madeira dos primeiros anos de vida é, significativamente diferente da madeira nas idades mais avançadas (Ferreira et al., 1979).

Esta madeira produzida nos estágios iniciais de crescimento denomina-se madeira juvenil. Segundo Trugilho et al. (1996), a madeira juvenil é a principal causa da variação da densidade da madeira, assim como sua proporção no tronco, suas características físico-químicas e anatômicas.

Zobel e Jett (1995) descreveram que a madeira juvenil é caracterizada pelas mudanças provocadas na densidade específica, sendo que a formação de madeira juvenil é relacionada com a idade do câmbio meristemático, podendo variar entre espécies, bem como entre indivíduos dentro de espécies.

Foelkel et al. (1975) citaram que a madeira juvenil é caracterizada anatomicamente por um progressivo aumento nas dimensões das células e correspondentes alterações na sua forma, estrutura e disposição em sucessivos anéis de crescimento.

Trugilho et al. (1996) estudando a espécie *Eucalyptus saligna* aos 12, 24, 36 e 48 meses de idade, encontraram que a densidade básica apresentou elevados e significativos coeficientes de correlação com as características dimensionais das fibras, excetuando o diâmetro do lúmen e o teor de cinzas.

Ballarin et al. (2003) trabalhando com o *Pinus taeda*, concluíram que a densidade aparente da madeira adulta foi maior do que na madeira juvenil, devido principalmente pelo maior comprimento dos traqueídeos, que aumentou no sentido medula-casca. Este mesmo autor verificou que do vigésimo anel de crescimento em diante, o comprimento dos traqueídeos tenderam a se estabilizar.

2.2 RETRATIBILIDADE DA MADEIRA

A retratibilidade é o fenômeno da variação dimensional da madeira quando há uma alteração no seu teor de umidade (IPT, 1985). As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer quando esta perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras.

Oliveira (1997) relata que o princípio da retratibilidade deve ao fato das moléculas de água estarem ligadas, por pontes de hidrogênio, as microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço, causando uma contração na madeira como um todo. O fenômeno da expansão é o inverso, e ocorre quando a água adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas, causando o seu afastamento e conseqüentemente o inchaço da peça de madeira como um todo.

A contração e a expansão da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que aparecem durante o seu uso, sendo resultantes da mudança de umidade e podem ser seguidos pelo aparecimento de defeitos como empenamentos, fendas e rachaduras.

Dessa forma, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica total é ter conhecimento a respeito das contrações nas direções transversais e longitudinais (Oliveira, 1997). Os valores de contração longitudinal são muito pequenos e, por isso, são desprezados para a grande maioria dos usos finais da madeira.

Por ser anisotrópica, a madeira apresenta alterações dimensionais desiguais, podendo ser observada contração na direção tangencial até duas vezes maior do que na direção radial. A maior extensão das paredes tangenciais, o menor ângulo de inclinação das microfibrilas justificam as maiores variações na direção tangencial, em relação à radial (Tomazello Filho, 1985). A relação entre as contrações tangencial e radial (T/R) é considerada um índice de qualidade, comumente chamado de fator de anisotropia. A utilização da madeira para a

produção de produtos finais de alta estabilidade dimensional requer um fator de anisotropia baixo (Panshin & De Zeeuw, 1970). Os valores variam de 1,3 a 1,4 para madeiras muito estáveis, a mais de 3,0 para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como no caso das madeiras de muitas espécies de *Eucalyptus* (Oliveira, 1997). Para os eucaliptos de importância econômica plantados no Brasil, as contrações tangencial, radial e volumétrica variam de 3,5 a 8,6%, 7,8 a 21,9% e 13,2 a 35,7%, respectivamente (IPT, 1956).

As retrações da madeira variam em relação a sua posição na árvore. De forma geral, ela é maior na madeira juvenil, ou seja, mais próxima à medula, decrescendo rapidamente em direção à casca.

2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas da madeira são de grande importância para usos estruturais, como em construção civil, mas também para o comportamento de produtos à base de madeira para carvão e polpa celulósica. Estas propriedades estão relacionadas com seu comportamento em relação à aplicação de forças externas. Elas estão correlacionadas com as características físicas, químicas e anatômicas da madeira. As propriedades mecânicas são importantes também para a sustentação da árvore, uma vez que árvores mais densas e rígidas são mais resistentes mecanicamente.

A determinação das características mecânicas da madeira torna-se fundamental quando se deseja sua utilização como material de construção.

Kollmann & Coté (1968) relatam que as propriedades da madeira são fortemente influenciadas por fatores como o teor de umidade, a temperatura, seus constituintes químicos, a fadiga, o ângulo da grã, a densidade, a presença de nós, as características anatômicas, falhas na madeira, a idade da árvore, a duração da tensão e da deformação e a danos por insetos.

As magnitudes das propriedades mecânicas variam com a espécie da madeira, com a direção da força à qual é submetida e com a umidade. Aumentando-se os teores de extrativos da madeira, geralmente aumentam-se os valores de propriedades mecânicas, tais como compressão paralela às fibras, módulo de ruptura a flexão estática e resistência ao choque (Arganbright, 1971, citado por Rocha, 1994). As propriedades mecânicas variam inversamente com o teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras.

Lima (1999) afirma que a densidade básica é um bom preditor para explicar as características mecânicas da madeira de *Eucalyptus*, tendo maior influência nas características de resistência do que nas características elásticas. Este mesmo autor avaliando a resistência a compressão paralela as fibras da madeira de 26 clones, entre clones e entre locais, concluiu que a resistência a compressão paralela as fibras aumenta na direção da medula para a casca e não houve diferença significativa entre as posições axiais, porém há diferenças significativas entre clones e entre locais.

Cruz (2000) avaliando clones de *Eucalyptus* de 5,5 e 10,5 anos de idade, concluiu que as características mecânicas apresentam maior correlação com o comprimento das fibras e com o número de vasos/mm², entre as características físicas.

A elasticidade é a medida da propriedade de um material que, ao receber a ação de uma força, sofre uma deformação, tendendo a voltar ao seu estado original após a retirada de tal força. Essa deformação pode ser recuperada até certo limite, chamado limite de proporcionalidade. Deste ponto em diante, o material sofrerá alguma deformação, podendo até se romper. O módulo de elasticidade é de grande importância para o dimensionamento de peças que serão sujeitas a esforços de flexão ou de compressão (Kollmann & Cote, 1968).

A resistência à flexão é uma das mais importantes propriedades mecânicas na utilização da madeira como material de construção, sendo

fundamental para o dimensionamento de vigas, pontes, telhados e outras construções de madeira, sendo que o módulo de elasticidade em flexão estática e o módulo de ruptura, se destacam entre as propriedades mecânicas. quando a madeira é utilizada em estruturas (Kollmann & Cotê, 1968).

Segundo Rocha (1994) a madeira de eucalipto possui comportamento comparável ao das madeiras nativas semipesadas a leves.

Lima (1999) observou que clones de *Eucalyptus* com oito anos de idade produziram madeira com propriedades mecânicas (compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática) semelhantes ou melhores do que várias espécies nativas do Brasil, tradicionalmente empregadas para uso sólido.

Estudo realizado por Moura (2000), em dez clones de *Eucalyptus*. spp. detectou diferenças significativas para as propriedades mecânicas avaliadas (módulo de ruptura, compressão paralela às fibras e módulo de elasticidade) ao longo do fuste, sendo que, de modo geral, valores maiores foram observados nas toras superiores do tronco.

2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DA MADEIRA

A madeira, diferentemente dos materiais inorgânicos, é extremamente variável em sua estrutura e propriedades. Esta variação pode manifestar-se de diversas maneiras, ou seja, entre espécies, dentro de espécie, entre indivíduos e dentro de um mesmo indivíduo. Frequentemente no melhoramento genético florestal são utilizadas as variações entre espécies e dentro da espécie, enquanto que a variação entre indivíduos é muito utilizada no processo da clonagem (Rosado et al., 2002). A variação dentro do indivíduo é o que se procura atenuar com o programa de melhoramento genético, procurando obter um material mais homogêneo possível em qualidade da madeira.

Ao desenvolverem programas de melhoramento genético para determinada finalidade, é de suma importância conhecer os níveis de variabilidade nas características de interesse e a magnitude do controle genético envolvido na sua expressão, ou seja, se existe variabilidade e principalmente se a participação de componentes genéticos na manifestação das características for alta, pode-se prever que o melhoramento genético das características sob seleção é possível.

A madeira de eucalipto apresenta diversas características que limitam o seu uso na produção de diversos produtos. Entre estes defeitos podem ser citados as tensões de crescimentos, fibras reversas, alta retratibilidade da madeira, propensão ao colapso durante a secagem, entre outras (Malan, 1997). Todos estes defeitos comprometem a qualidade e o rendimento final de produtos da madeira desta espécie, porém a maioria destes defeitos é oriunda da utilização de madeira de florestas jovens. Contudo, devido à existência de variabilidade genética e do alto controle genético na expressão da maioria destas características, os programas de melhoramento genéticos são alternativas viáveis (Vital & Trugilho, 1997; Malan, 1995; Zobel & Jett, 1995), podendo assim eliminar as características tecnologicamente indesejáveis da madeira.

2.5 AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA DA MADEIRA

As últimas décadas têm testemunhado o desenvolvimento de diversas técnicas de ensaios, cuja aplicação em materiais provoca pouco ou nenhum dano estrutural. Tais técnicas – referidas como Técnicas Não-Destrutivas ou Ensaios Não-Destrutivos, já vêm sendo aplicadas na indústria mecânica, indústria da construção civil e indústrias madeireiras em diversos países como a Alemanha, França e Estados Unidos (Tiitta, 1998).

No Brasil essas técnicas ainda não são muito frequentes, porém vêm crescendo rapidamente, principalmente em Universidades e grandes centros de Pesquisa, contribuindo para a qualificação da madeira, tanto em termos de madeira beneficiada, madeira em toras e árvores ainda no campo (Chies et al., 2003).

Por definição, avaliação não destrutiva de materiais é a ciência que identifica as propriedades físicas e mecânicas de um material qualquer sem alterar sua capacidade de uso futuro, e usa estas informações para tomar decisões a respeito das aplicações apropriadas para o material avaliado (Ross et al., 1991).

A hipótese fundamental para a avaliação não destrutiva de produtos de madeira foi inicialmente proposta por Jayne (1929), citado por Pellerin (1965). Ele verificou que as propriedades da madeira de armazenamento e dissipação de energia podem ser medidas pelos mesmos mecanismos que determinam as propriedades mecânicas deste material. Estas propriedades, especialmente o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são relacionados, nesta teoria, com a energia armazenada (MOE) e com a dissipação de energia (MOR).

Segundo Matos (2002), várias pesquisas têm sido desenvolvidas relacionadas com a técnica de avaliação não destrutiva de propriedades da madeira. Estas pesquisas têm resultado em avanços significativos no uso da madeira em aplicações estruturais e também em “avaliações no local” de partes de elementos estruturais da madeira.

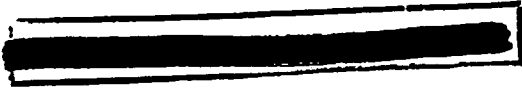
Chies e Matos (2003) citam algumas técnicas não-destrutivas que recebem crescente atenção de pesquisadores ligados ao setor industrial, tais como, emissão acústica, métodos elétricos, impacto-eco, métodos magnéticos, radar, métodos sônicos, métodos esclerométricos, termografia, tomografia acústica e ensaios ultra-sônicos.

Matos (2002) cita como métodos de avaliação não-destrutiva de madeiras os métodos visuais, o método do ultra-som, o método do scanner, método do pilodyn e sonda pressler, método do raio-x e o método de vibração, enquanto que Lima et al. (2002) citam o trado de incremento, trado de incremento mecânico, raios-X, ultra-som, resistógrafo, pilodyn e o extensômetro.

Lima et al., (2002) trabalhando com o resistógrafo em um plantio clonal, relataram que este instrumento mostrou-se muito rápido e bem adaptado ao trabalhos de campo, afirmando que o resistógrafo foi eficiente em termos de praticidade, resistência e confiabilidade dos resultados.

Isik et al., (2003) utilizaram o resistógrafo para avaliar a densidade da madeira de *Pinus taeda* L. e encontraram valores de correlação para a amplitude e a densidade de árvores individuais variando de fraco a moderado para as correlações fenotípicas (0,29 a 0,65) e correlação de 0,92 para a amplitude e as medições da densidade avaliada de forma destrutiva, concluindo que a eficiência do resistógrafo para a seleção indireta da densidade da madeira foi de 87% ao nível de família, evidenciando que este instrumento pode ser utilizado como um meio confiável e eficiente de estimativa da densidade da madeira em árvores vivas.

Matos (2002) utilizou o aparelho de onda de tensão (Stress Wave Timer) para classificação de madeira serrada e lâminas de madeira, e concluiu que os resultados alcançados demonstraram a existência de elevada correlação entre a determinação do módulo de elasticidade mecânico e o módulo de elasticidade, estimado através de ondas acústicas. Este mesmo autor diz que as aplicações não destrutivas de emissão acústica em árvores ou toras, permitem a seleção em campo do melhor material para os fins desejados, além do conhecimento das condições físicas internas dos materiais, sendo que a deterioração e defeitos podem ser determinados porque a velocidade de propagação da onda de tensão,



e conseqüentemente o módulo de elasticidade, reduz drasticamente ao encontrar um defeito. Esta técnica é uma ferramenta promissora para a classificação de árvores.

Chies e Matos (2004) estudaram três métodos de avaliação não-destrutiva para a avaliação e classificação de peças de madeira, objetivando verificar as disparidades e semelhanças entre os métodos do Stress Wave Timer, o Ultra-som (Grindosonic) e Stress Grade Machine e encontraram diferenças estatísticas entre os métodos, sendo que o método não destrutivo de avaliação por emissão de ondas de tensão, utilizando o aparelho Stress Wave Timer mostrou-se o mais prático, de fácil manuseio e aplicação e que não sofre interferência por parte do operador e por parte dos fatores externos. Estes autores citaram ainda que os ensaios não destrutivos têm se apresentado menos onerosos e mais rápidos quando comparados com os ensaios destrutivos.

Lee et al. (2001) utilizaram o método não destrutivo de propagação de onda de tensão e o de vibração transversal, para avaliar o módulo de elasticidade em laminados e encontraram correlação significativa entre o módulo de elasticidade proveniente de técnicas não destrutivas e o módulo de elasticidade à flexão estática.

Wang et al. (2002) estudaram o efeito do teor de umidade sobre a velocidade da onda ultrasônica, e encontraram que a velocidade da onda ultrasônica na direção longitudinal e radial tenderam a aumentar com a diminuição do teor de umidade e que o efeito do teor de umidade sobre a velocidade da onda ultrasônica na madeira de *Taiwania cryptomerioides* Hayta. abaixo do ponto de saturação das fibras foi mais forte em relação a madeira acima do ponto de saturação das fibras.

Puehringer (2002) trabalhando com o Stress Wave Timer, modelo 239-A, para aplicação de ondas de tensão em árvores, toras, lâminas encontrou que a aplicação do impacto na árvore em pé deve ser feito no sentido diagonal, nas

toras no sentido longitudinal, próximo à medula e nas lâminas os tempos de propagação da onda foram iguais nos sentidos transversais e longitudinais, sendo o sentido transversal o mais homogêneo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O material biológico para este estudo foi proveniente da fazenda Riacho, localizada no município de Paracatu – MG, localizado a uma latitude de 17°36'09'' Sul e longitude de 46°42'02'' Oeste de Greenwich e uma altitude de 550 m. 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 média anual é de 24°C e precipitação média anual de 1450 mm.

A área de reflorestamento foi implantada em 1994, nas Fazendas da Companhia Mineira de Metais, do grupo Votorantim Metais (VM-AGRO), localizada no município de Paracatu, região noroeste de Minas Gerais.

3.2 DESCRIÇÃO DO MATERIAL DE ESTUDO

Para a realização deste estudo foram utilizados 20 clones de *Eucalyptus* spp., com 10 anos de idade, sendo utilizados 3 rametes de cada clone. Estes clones são híbridos naturais, plantados em sistema agro-florestal, utilizando o espaçamento 10m x 4m. Este amplo espaçamento permitem implementar o plantio comercial em sistema de agrosilvipastoris, onde no primeiro ano é plantado arroz, no segundo ano soja e do terceiro ano em diante é plantado pastagem para o gado. Os clones fazem parte do teste clonal da empresa. Os

clones estudados são considerados de alto rendimento e as árvores foram selecionadas de acordo com o seu diâmetro, altura, ausência de bifurcação, retidão do fuste e bom estado fitossanitário. A produtividade volumétrica de cada clone estudado está representada na Tabela 2.

TABELA 2 – Produção volumétrica dos clones selecionados para o estudo tecnológico (m³/ha) aos 10 anos de idade.

Clone	Volume	Clone	Volume
02/SR	134,5944	44	277,3866
07	259,8089	44/JC	261,4834
16	298,3256	46	144,6737
19	260,9650	48/JC	180,3223
23	307,6232	65	299,4064
26	337,1970	71	287,8511
31	221,4813	180/10	330,9736
35	297,6499	181	282,4297
38	257,3185	309	230,7288
39	363,9760	319	249,2746

3.3 COLETA DE DADOS

3.3.1 AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA

A amostragem não destrutiva da madeira foi realizada na altura do DAP (1,30m do solo). Para efetuar as medições na árvore viva, procederam-se a retirada da casca localmente, abrindo uma janela nas faces norte, sul, leste e oeste, onde foram feitas as medições com o extensômetro (Growth Strain Gauge

– do CIRAD-Forêt), com o resistógrafo (Resistograph IML-500) e com aparelho de onda de tensão (Stress Wave Timer - Metriguard).

Após a aplicação na árvore viva, esta foi abatida e retirada a tora número 1 da base com 3 metros de comprimento. Nesta tora foi aplicado a onda de tensão na base da tora (sentido transversal), a 1,30m da tora (sentido longitudinal), no topo da tora (sentido transversal) e da base para o topo da tora (sentido longitudinal) e o resistógrafo a 2 m de comprimento da tora.

Após estas medições as toras foram numeradas de acordo com o clone e o ramete e enviada para a serraria do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras. Estas toras foram utilizadas para confecção dos corpos de prova para as características destrutivas da madeira.

3.3.1.1 Amostragem não destrutiva com o extensômetro

A amostragem para a avaliação das deformações residuais longitudinais (DRL) dos clones objetos deste estudo, foi realizada com o extensômetro (Growth Strain Gauge – do CIRAD-Forêt). Para efetuar as medições, procederam-se a retirada da casca localmente na altura do DAP (1,30m do solo), abrindo uma janela nas faces norte, sul, leste e oeste, onde foram fixados os pinos e o gabarito.

O gabarito foi posicionado no sentido de desvio da grã para fixação dos pinos. Estes pinos estão distanciados entre si a uma distância de 45mm. Após a calibragem do aparelho, foi feito um furo de 20mm com um arco de puá entre os dois pinos, com a intenção de liberar as tensões de crescimento e a deformação residual longitudinal resultante é registrada em um mostrador digital do aparelho. O extensômetro deve ser utilizado sem a presença de ventos para não influenciar a leitura da deformação residual longitudinal.

3.3.1.2 Amostragem não destrutiva com o resistógrafo

O resistógrafo é uma furadeira que penetra na madeira e registra a amplitude (%) de uma medição em relação a um valor de referência máximo, registrando 100 pares de profundidade avançada pela broca e de amplitude por centímetro de madeira perfurada (Lima *et al.*, 2001).

Neste trabalho, o resistógrafo foi utilizado para medir a resistência da madeira a penetração de uma broca de 3mm de largura por 500mm de comprimento, sendo que as leituras foram feitas na árvore em pé, ainda no campo, e em toras de 3m, após o abate da árvore.

A perfuração das árvores no campo foi realizada a 1,30m de altura, em região próxima à utilizada pelo extensômetro, e seguindo a direção norte-sul e leste-oeste. Para as toras, foi utilizada a primeira tora de cada árvore, cortada entre 0,30m a 3,30m de comprimento, que foram levadas para a serraria para beneficiamento.

O resistógrafo tem uma bateria própria que alimenta a unidade eletrônica do aparelho, normalmente esta é suficiente para um dia inteiro de trabalho sem precisar de recarga. Esta recarga é necessária após o armazenamento de muitos dados, esta informação pode ser consultada no próprio aparelho, após o armazenamento de cada leitura, em que consta o número de leituras realizadas e a capacidade de armazenamento da unidade eletrônica.

Os gráficos produzidos foram visualizados em um programa específico chamado F-Tools pro, de onde foram exportados para uma planilha eletrônica do Excell, no qual foram estimados a média de amplitude e o desvio padrão de cada medição.

3.3.1.3 Amostragem não destrutiva com o aparelho de onda de tensão

A aplicação e medição de ondas de tensão na madeira de eucalipto foi realizada com o Stress Wave Timer, modelo 239A. Este procedimento consiste no posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser estudado. Uma onda é induzida ao material quando este é tocado com um martelo, um pêndulo ou outros meios de indução. Quando a onda acústica alcança o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo, em microsegundos, é iniciada no instrumento. Quando esta onda atinge o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa e é registrado em um visor digital, o tempo decorrido da onda entre os dois acelerômetros, através do material (Metriguard, 1997).

3.3.2 Procedimentos de amostragem

As medições se deram na árvore em pé, e na árvore abatida. Na árvore em pé foram feitas medições no sentido transversal da árvore e no sentido longitudinal, ambas na altura do DAP, enquanto que na árvore abatidas foram realizadas medições em três pontos diferentes da tora, ou seja, na base (sentido transversal), no DAP (sentido longitudinal) e no topo (sentido transversal), foram também medidos na tora no sentido longitudinal ao longo de toda a tora a três metros de comprimento, sendo a onda induzida na base e recebida no topo da tora. Em cada posição de amostragem foram feitas 5 (cinco) leituras, sendo feita uma média para efeito de análise dos dados.

Puehringer (2002) recomenda o uso de um gabarito para homogeneização das leituras, porém neste trabalho optou-se por fazer um maior número de leituras.

As medições no sentido transversal da árvore com o aparelho de onda de tensão seguiram-se o seguinte procedimento: colocou-se o receptor no sentido sul e batia com o martelo no sentido norte, repetindo o mesmo procedimento no sentido leste-oeste, onde o receptor era colocado no sentido oeste e batia-se com

o martelo no sentido leste. No sentido longitudinal, o acelerômetro receptor foi colocado a 36 cm abaixo do DAP e o golpe do martelo foi realizado no DAP (1,30m do solo). As medições no sentido longitudinal foram no sentido norte, sul, leste e oeste.

Para o cálculo da velocidade de propagação da onda no material, foi utilizada a fórmula da velocidade: $V = \frac{d}{t}$, em que:

V= Velocidade (m/s);

d = distância entre os transdutores (m);

t = tempo de propagação da onda de tensão (segundos).

O módulo de elasticidade dinâmico foi calculado de acordo com a fórmula derivada da equação citada por Wang & Chuang (2000):

$$MOEd = V^2 * \delta * \frac{1}{g}, \text{ onde:}$$

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm²);

δ = Densidade básica (g/cm³);

V= velocidade de propagação da onda (m/s);

G = Aceleração da gravidade (9,804m/s²).

3.3.3 AMOSTRAGEM DESTRUTIVA

As amostras foram provenientes de 3 rametes por clone, após o abate da árvore foi retirada de cada ramete uma tora de 3m de comprimento, que foi identificada de acordo com o clone e o ramete do clone. O volume da árvore foi calculado através da fórmula do volume cilíndrico, considerando 0,7 como fator de forma.

As toras devidamente identificadas foram transportadas para a serraria da Universidade Federal de Lavras, onde foram retiradas as costaneiras e

serradas as tábuas com 4cm de espessura, seguindo a direção norte-sul. Após a retirada das tábuas foram retiradas amostras de 70cm de comprimento de cada tábua, para a confecção dos corpos-de-prova. Estas amostras foram enviadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira – DCF, para a preparação dos corpos-de-prova específicos para cada característica, a saber, (Densidade básica, densidade seca, retratibilidade da madeira, compressão paralela às fibras e flexão estática). As dimensões dos corpos-de-prova para cada característica estudada encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3: Espessura dos corpos-de-prova e condições dos testes mecânicos realizados seguindo a norma D-143 – 94 (ASTM, 1997).

<i>Teste</i>	Propriedades	Dimensões Corpo de (mm)	do Velocidade do prova teste (mm/min)
Densidade e retratibilidade	Densidade básica	25 x 25 x 25	
	Densidade seca		
	Retratibilidade		
Flexão estática	Módulo de ruptura (MOR)	410 x 25 x 25	1,3
	Modulo de elasticidade (Mf)		
	Resistência à compressão (RC)		
Compressão paralela às fibras	Módulo de elasticidade (Mc)	100 x 25 x 25	0,566

O pranchão central de cada tora foi totalmente segmentado em sarrafos de 70cm de comprimento e 2,5cm de espessura, enquanto que das outras tábuas foi retirado apenas um sarrafo da porção central da tábua, sempre seguindo a direção norte-sul. O pranchão central foi dividido em 2 partes, porção norte e

porção sul, enquanto que todas as outras tábuas foram consideradas como periféricas, com exceção do pranchão central. Os testes para a densidade básica, densidade seca e retratibilidade da madeira foram feitos nos mesmos corpos-de-prova.

3.4 PROPRIEDADES AVALIADAS

3.4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

3.4.1.1 Densidade básica e densidade seca da madeira

Os corpos-de-prova foram confeccionados com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 2,5 cm e numerados para a identificação do clone, o ramete. Em seguida, foram imersos em água para a completa saturação. Utilizou-se um paquímetro digital de precisão de 0,01mm 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 do peso. A seguir os corpos-de-prova foram levados para uma sala de aclimação até atingir a umidade de equilíbrio e novamente foram medidos e pesados, sendo então colocados em estufa de circulação de ar a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante, onde foram medidos e pesados novamente.

A determinação da contração volumétrica foram obtidas através da multiplicação das dimensões radiais, tangenciais e longitudinais.

A densidade básica foi determinada pela divisão da massa seca da amostra pelo seu valor completamente saturado e a densidade seca foi obtida pela relação entre a massa seca e o volume seco.

3.4.1.2 Retratibilidade da madeira

A norma ASTM D143-94 (ASTM,1997) foi utilizado para o estudo de retratibilidade da madeira. Os mesmos corpos-de-prova utilizados para o estudo da densidade básica foram utilizados para o estudo da retratibilidade.

As medições das dimensões radiais, tangenciais e longitudinais foram realizadas com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, diretamente nas amostras, em locais previamente estabelecidos e marcados. As medidas (mm) e os volumes (cm³) foram registrados em três faixas de umidade: (a) acima do ponto de saturação das fibras; (b) equilíbrio higroscópico; (c) completamente seco em estufa até 0% de umidade.

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, conforme as seguintes equações:

Contração tangencial:

$$CT = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100, \text{ Onde:}$$

T_i – dimensão inicial no plano tangencial;

T_f – dimensão final no plano tangencial.

Contração radial:

$$CR = \frac{R_i - R_f}{R_i} * 100, \text{ Onde:}$$

R_i – dimensão inicial no plano radial;

R_f – dimensão final no plano radial.

Contração volumétrica:

$$CV = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100, \text{ Onde:}$$

V_i – volume inicial, com umidade acima do PSF;

V_f – volume final, com 0% de umidade.

Os ensaios mecânicos determinados neste estudo foram os de flexão estática e compressão paralela às fibras. Os testes foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, modelo Emic DL-30.000, disponível no Laboratório de Tecnologia da Madeira – DCF – UFLA, e atenderam as determinações da ASTM (1997), seguindo o procedimento da norma D 143 – 94 (STANDARD METHODS OF TESTING SMALL CLEAR SPECIMENS OF TIMBER).

As amostras foram preparadas e acondicionadas em uma sala de climatização sob temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de 65%, até atingirem peso constante. Dessa forma, os testes foram realizados na madeira em equilíbrio higroscópico, cerca de 12% de umidade.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.5.1 Amostras não destrutivas

Utilizou-se o seguinte modelo para as análises não destrutiva:

$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$ - Onde: Y_{ij} – Valor médio observado no i -ésimo clone na j -ésima repetição; μ - média geral observada; C_i - efeito do i -ésimo clone ($i=1,2,3,\dots,20$); e_{ij} - erro experimental associado à observação Y_{ij} (efeito aleatório).

A estrutura da análise de variância e esperanças dos quadrados médios estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: Estrutura da análise de variância para a amostragem não destrutiva.

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

Para determinação dos parâmetros genéticos foram utilizadas as seguintes fórmulas descritas por Cruz *et al.* (2002):

a) Variância Fenotípica

$$\sigma_f^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone}(Q_1)}{\text{repetição}(r)}$$

b) Variância Ambiental

$$\sigma_e^2 = \text{Quadrado médio erro}(Q_1)$$

c) Variância Genética

$$\sigma_c^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r}$$

d) Coeficiente de Herdabilidade

$$h_c^2(\%) = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} * 100$$

e) Coeficiente de Variação Genético

$$CV_c\% = \frac{\sqrt{\sigma_c^2}}{\text{média}} * 100$$

f) Coeficiente de variação experimental

$$CV_e\% = \frac{\sqrt{Q_2}}{\text{média}} * 100$$

g) Ganho direto Esperado com a Seleção

$$GD(\%) = i * \sqrt{\sigma_c^2} * \sqrt{h_c^2}, \text{ em que:}$$

i = índice de seleção; σ_c^2 = Variância Genética; h_c^2 = Coeficiente de herdabilidade.

O índice de seleção considerado foi de selecionar 1 clone em 5 avaliados, ou seja, uma seleção de 20%, obtendo um índice de 1,2711, de acordo

com o programa GENES, de autoria de Cruz *et al.* (2002). O teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade foi utilizado para a ordenação dos clones.

Os ganhos indiretos (GI) na característica y através da seleção direta na característica x, foram estimados através da seguinte fórmula, encontrada em Cruz *et al.* (2002) :

$$GI(\%) = i * \sqrt{h_{c(x)}^2} * r_{g(xy)} * \sqrt{\sigma_{c(y)}^2}, \text{ em que:}$$

$h_{c(x)}^2$ - coeficiente de herdabilidade da característica x;

$r_{g(xy)}$ - coeficiente de correlação genotípica entre as características x e y;

$\sigma_{c(y)}^2$ - Variância genotípica da característica y.

Para a amplitude, a velocidade da onda, o módulo de elasticidade dinâmico e a densidade, foram selecionados os cinco clones que apresentaram os maiores valores médios, enquanto que, para as contrações, selecionaram-se aqueles que apresentaram menores médias.

3.5.2 Amostragem destrutiva

Para qualificação dos clones, procederam-se as análises de variância para as propriedades da madeira descritas a seguir:

- Densidade básica da madeira (DB);
- Densidade seca da madeira (DS);
- Resistência à compressão paralela às fibras (RC);
- Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (Mc);
- Módulo de ruptura (MOR);
- Módulo de elasticidade à flexão estática (Mf);
- Contração tangencial na condição anidra (CT);
- Contração radial na condição anidra (CR);
- Contração volumétrica na condição anidra (CV);

- Coeficiente de anisotropia na condição anidra (Ca).

As análises de variância para estas características seguiram o delineamento inteiramente ao acaso, conforme o seguinte modelo estatístico:

$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij}$, onde:

Y_{ij} – Valor observado para o i-ésimo clone, na j-ésima repetição;

μ - média geral observada;

C_i – efeito aleatório do i-ésimo clone ($i=1,2,3,\dots,20$);

e_{ij} – erro experimental associado a observação Y_{ij} (efeito aleatório).

O esquema de análise de variância, seguindo este modelo estatístico, é apresentado na Tabela 5.

TABELA 5: Estrutura da análise de variância para as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Fonte de variação	GL	E (Q.M)	QM	F
Clone (C)	(C-1)	$\sigma_e^2 + r \sigma_c^2$	Q1	Q1/Q2
Resíduo	(C-1)r	σ_e^2	Q2	

r: número de repetições

Pela esperança dos quadrados médios da análise de variância, estimaram-se os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais:

a) Variância fenotípica

$$\sigma_f^2 = \frac{QMclone(Q_1)}{repetição(r)}$$

b) Variância Genética

$$\sigma_c^2 = \frac{QMclone(Q_1) - QMErro(Q_2)}{repetição(r)}$$

c) Variância Ambiental

$$\sigma_e = \text{Quadrado médio do erro}$$

d) Coeficiente de Herdabilidade

$$h_c^2(\%) = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} * 100$$

e) Coeficiente de Variação Genética

$$CV_c(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_c^2}}{\text{média}} * 100$$

f) Coeficiente de Variação Experimental

$$CV(\%) = \frac{Q_{\text{Merro}}(Q_2)}{\text{média}} * 100$$

g) Ganho Esperado com a Seleção

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

h) Ganho indireto na característica y com a seleção direta na característica x

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância para as características obtidas de forma destrutiva e não destrutiva.

Na Tabela 6 são apresentados os resumos das análises de variância para as características da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp avaliadas pela amostragem não destrutiva, conduzida em árvores vivas. Nessa Tabela também são apresentadas as estimativas dos parâmetros genéticos.

A Tabela 6 mostra que os clones estudados são significativamente variáveis ($p \leq 0,01$) em todas as características não destrutivas avaliadas, indicando a possibilidade de seleção de clones.

Os coeficientes de variações experimentais (CV_e) para as características avaliadas na árvore viva foram de 13,60%, para a deformação residual longitudinal (DRL), 13,27%, para a amplitude (AV), 8,68%, para a velocidade da onda de tensão no sentido transversal na altura do DAP (VPT), 27,79%, para a velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal na altura do DAP (VPL).

Para as características avaliadas nas toras, o coeficiente de variação experimental foi de 17,70%, para a amplitude (AT), 25,69%, para a velocidade da onda de tensão a 1,30m de comprimento da tora no sentido longitudinal (VTL), 16,93%, para a velocidade da onda na base da tora no sentido transversal (VTB), 13,96%, para a velocidade da onda no topo das toras no sentido transversal (VTT) e 8,22%, para a velocidade da onda da base para o topo da tora (VBT).

Considerando a heterogeneidade natural da madeira decorrentes dos diversificados fenômenos ocorridos na sua formação, por exemplo, a irregularidade na formação de madeira de reação ao longo da circunferência do tronco e de acordo com Gomes (1990), esses coeficientes de variação indicam uma razoável acuracidade experimental. Isso, também, revela a qualidade deste teste clonal para as estimativas dos componentes de variância e herdabilidades para as características envolvidas no presente estudo.

A Tabela 6 também evidencia o intervalo de 6,21 a 58,01% para os coeficientes de variação genotípica (CV_g) e a razão CV_g/CV_e que variou de 0,76 a 2,23. Segundo Vencovsky (1987), quando esta razão for maior que 1,0, a seleção do material genético é muito vantajosa para o programa de melhoramento genético.

TABELA 6: Resumo da análise de variância para as características da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliada no campo.

FV	GL	Quadrados médios								
		Árvores vivas				Árvores abatidas (toras)				
		DRL (mm)	AV (%)	VPT(m/s)	VPL (m/s)	AT (%)	VTL (m/s)	VTB (m/s)	VTT (m/s)	VBT m/s)
Clone	19	0,000566**	274,559**	26988**	330250**	304,999**	295334**	17199**	28939**	217530**
Resíduo	40	0,000115	17,301	3313	23477	32,171	24796	6315	4895	80118
Média		0,079	31,34	662,88	551,25	32,05	613,00	469,38	501,32	3443,77
CV _e (%)		13,60	13,27	8,68	27,79	17,70	25,69	16,93	13,96	8,22
CV _g (%)		15,55	29,55	13,40	58,01	29,76	48,98	13,83	17,86	6,21
σ^2_i		0,000189	91,519751	8996,28391	110083,378	101,666596	98444,9941	5733,18450	9646,66052	72510,0596
σ^2_g		0,000150	85,752751	7891,76725	102257,706	90,942819	90179,4830	3627,91228	8014,78274	45803,7985
σ^2_e		0,000038	5,767000	1104,51666	7825,67222	10,723778	8265,51111	2105,27222	1631,87777	26706,2611
h ² (%)		79,68	93,70	87,72	92,89	89,45	91,60	63,28	83,0835	63,17
CV _g /CV _e		1,14	2,23	1,54	2,09	1,68	1,91	0,76	1,28	0,76

** - significativo pelo teste F ($p \leq 0,01$).

DRL- deformação residual longitudinal; AV – amplitude em árvores vivas; VPT- velocidade da onda de tensão no sentido transversal no DAP em árvores vivas; VPL- velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em árvores vivas; AT- amplitude estimada em toras; VTL – velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em toras; VBT- velocidade da onda no sentido longitudinal base-topo em toras; VTB- velocidade da onda no sentido transversal na base da tora; VTT- velocidade da onda no sentido transversal no topo da tora;

Nesse sentido, quando se compara os valores de CV_g/CV_e obtidos em árvores vivas (em pé) com os obtidos em árvores abatidas, observa-se que a seleção deve ser praticada preferencialmente nas primeiras, tendo a maior expectativa de ganho para a característica de amplitude (AV) registrada pelo resistógrafo e a velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal (VPL). Ainda considerando as avaliações em árvores vivas e a importância dos valores de Deformação Residual Longitudinal para expressar uma das mais importantes características da madeira que é a tensão de crescimento (Baillères, 1995), o valor de CV_g/CV_e igual a 1,14 expressa o potencial de ganho para a redução dos níveis da referida tensão e, conseqüentemente, de todos os defeitos da madeira que a ela estão relacionados, por exemplo: rachaduras e empenamentos.

Os resultados médios obtidos das deformações residuais longitudinais foram de 0,079mm. A DRL média obtida nesse trabalho está abaixo dos valores encontrados por Cardoso Júnior (2004) e Souza (2002), que foram de 0,084mm e 0,090mm, respectivamente, e encontra-se muito próximo aos encontrados por Lima (2004), Muneri *et al.* (2000) e Pádua (2004), 0,071mm, 0,077mm e 0,076mm, respectivamente. Assim, os resultados obtidos no presente trabalho demonstram coerência com os encontrados em literatura.

A amplitude média foi de 31,34%, variando de 14,85% (árvore 2, clone 31) a 70,21% (árvore 2, clone 23). Para as toras de 3m obteve uma amplitude média de 32,05%, com um mínimo de 17,12% (árvore 3, clone 35) e máximo de 61,58% (árvore 2, clone 180). Esses resultados são superiores aos encontrados por Lima *et al.* (2002) que encontraram amplitude em árvores vivas oscilando-se entre 12,34% a 33,6% e uma amplitude média de 23,82%.

As velocidades médias da onda de tensão nas árvores vivas foram de 662,88m/s no sentido transversal (VPT) e 551,25m/s no sentido longitudinal (VPL), enquanto que para as toras as velocidades médias foram de 613,00m/s no sentido longitudinal (VTL), 469,38m/s no sentido transversal no base (VTB),

501,32m/s no sentido transversal no topo (VTT) e 3443,77m/s no sentido longitudinal base topo (VBT).

A grande participação da variância genética incluída na variância fenotípica permitiu a estimativa de altos valores de herdabilidades, que foram de 79,68% (DRL), 93,70% (AV), 87,72% (VPT), 92,89% (VPL), 89,45% (AT), 91,60% (VTL), 63,28% (VTB), 83,08% (VTT) E 63,17% (VBT) destacando-se a amplitude em árvores vivas (AV) e a velocidade da onda no sentido longitudinal em árvores vivas (VPL).

Para as toras os maiores coeficientes de herdabilidades foram observados para a velocidade longitudinal nas toras a 1,30m (VTL), seguida pela amplitude (AT). Pode-se observar que as herdabilidades estimadas para as características avaliadas em árvores vivas foram maiores do que as estimadas em toras. Estes resultados são muito importantes por permitir que a seleção de material genético seja realizada em árvore viva, sem a necessidade de abate da árvore.

A herdabilidade para DRL embora alta, foi inferior a encontrada por Pádua (2004), que estimou coeficientes de herdabilidades variando de 92,38% a 85,48% para 138 clones de eucalipto em diferentes idades e por Souza (2002), que obteve coeficiente de herdabilidade de 94,30% para 11 clones de eucalipto aos 6 anos de idade.

Os parâmetros genéticos estimados para a amplitude foram altos e constituem-se em uma valiosa ferramenta para o melhoramento genético da qualidade da madeira de eucalipto. Os valores dos coeficientes de herdabilidades encontrados neste trabalho para a amplitude foram superiores aos encontrados por Isik *et al.* (2003), que encontraram herdabilidade de 85% para a amplitude, evidenciando o forte controle genético envolvido nesta característica, a exemplo da densidade da madeira.

Na avaliação das propriedades da madeira avaliada em amostragem destrutiva, o resumo da análise de variância e os parâmetros genéticos estimados para as propriedades físicas da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7. Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos para as propriedades físicas da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	Quadrados médios				
		CR	CT	CV	DB	DS
Clone	19	2,9502**	8,7977**	17,6773**	0,0071**	0,0133**
Resíduo	40	0,3526	0,5743	0,9207	0,0008	0,0013
Média		5,96	9,85	15,42	0,508	0,603
CV _e (%)		9,96	7,69	6,22	5,69	6,08
CV _g (%)		15,61	16,81	15,33	9,01	10,48
σ^2_f		0,9834	2,9326	5,8924	0,0024	0,0045
σ^2_g		0,8659	2,7411	5,5856	0,0021	0,0039
σ^2_e		0,1175	0,1914	0,3069	0,0003	0,0005
h ² (%)		88,05	93,47	94,79	88,25	89,91
CV _g /CV _e		1,57	2,18	2,46	1,58	1,72

**, significativo a $p \leq 0,01$.

Onde: CT- contração tangencial (%); CR – contração radial (%); CV – contração volumétrica (%); CA – coeficiente de anisotropia; DB – densidade básica (g/cm³); DS – densidade seca (g/cm³); CV_e- coeficiente de variação experimental; CV_g- coeficiente de variação genético; σ^2_f – variância fenotípica; σ^2_g – variância genotípica; σ^2_e – variância ambiental; h² – herdabilidades á nível de média de famílias; CV_g/CV_e – razão coeficiente de variação genético x coeficiente de variação experimental.

Esta tabela mostra que houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) para todas as características estudadas, indicando que há comportamento diferenciado dos clones, sugerindo que estes clones podem ser usados com sucesso em programas de melhoramento genético.

Os coeficientes de variações experimentais obtidos para as propriedades físicas da madeira variaram de 5,69% para a densidade básica a 9,96% para a contração radial, indicando que a coleta de dados e o delineamento experimental utilizado foram eficientes, propiciando estimativas confiáveis, obtendo assim, uma boa acurácia do experimento.

Os valores médios para a contração radial, contração tangencial e contração volumétrica foram de 5,96%, 9,85% e 15,42%, respectivamente. Estes valores embora um pouco acima, são muito parecidos com os obtidos por Xavier (2001), que encontrou valores médios de 5,26%, 8,05%, 13,94% e por Moura (2000), que obteve valores de 5,28%, 9,09% e 13,68%, para as contrações radiais, tangenciais e volumétricas, respectivamente.

O coeficiente de anisotropia que é obtido através da relação contração tangencial/contração radial foi de 1,65. Este é um parâmetro muito utilizado na tecnologia de madeira, pois indica a estabilidade dimensional da madeira. O valor deste parâmetro para a madeira de eucalipto encontra-se dentro da faixa considerada normal (1,5 a 2,0), segundo a classificação anisotrópica da madeira apresentada por Durlo e Marchiori (1992), colocando o eucalipto entre espécies, como, ipê (*Tabebuia* spp.), pinos (*Pinus* spp.), peroba rosa (*Aspidosperma* sp.), pinheiro do paraná (*Araucária angustifolia*) e teca (*Tectona grandis*), entre outras.

A densidade básica média foi de $0,508 \text{ g/cm}^3$ e a densidade seca média de $0,603 \text{ g/cm}^3$. Estes valores estão acima dos encontrados por Xavier (2001), que obteve $0,495 \text{ g/cm}^3$ e $0,580 \text{ g/cm}^3$ para a densidade básica média e para a densidade seca média, respectivamente, porém o método de determinação das

densidades foram diferenciados. Os valores de densidade básica obtidos neste trabalho estão muito próximos aos encontrados por outros autores para a espécie *Eucalyptus* spp. conforme demonstrado na Tabela 1, apresentada na revisão de literatura.

A maior parte da variância fenotípica foi constituída basicamente pela variância genética, refletindo em altos valores de herdabilidades, que foram de 88,05%, 93,47%, 94,79%, 88,25% e 89,91% para as contrações radiais, tangenciais e volumétricas, e para a densidade básica e densidade seca, respectivamente. Estes valores demonstram o sucesso de um programa de melhoramento genético para estas características, como também evidenciado pela razão CV_e/CV_g , que oscilou de 1,57 para a contração radial a 2,46 para a contração volumétrica. Segundo Vencovsky (1987), o sucesso de um programa de melhoramento genético é demonstrado quando esta relação for maior que 1,0.

Na Tabela 8 está representado o resumo da análise de variância para as propriedades mecânicas da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

A análise de variância para as propriedades mecânicas da madeira mostrou efeito altamente significativo a 1% de probabilidade de clones para a resistência a compressão paralela às fibras (RC), módulo de elasticidade a flexão estática (Mf) e módulo de ruptura (MOR). Não foi observado efeito significativo ($p \leq 0,05$) para o módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras.

O coeficiente de variação experimental oscilou de 9,69% para o módulo de ruptura a 14,15% para o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras, demonstrando uma boa acurácia do experimento.

Os valores médios para as propriedades mecânicas foram de 46,95 MPa, 5566,63 MPa e 89,62 MPa para a resistência a compressão paralela às fibras (RC), o módulo de elasticidade a flexão estática (Mf) e o módulo de ruptura (MOR), respectivamente.

TABELA 8. Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos para as propriedades mecânicas da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	Quadrados médios			
		Mc (MPa)	RC (MPa)	Mf (MPa)	MOR (MPa)
Clone	19	1795554,051 ^{ns}	65,329**	1234938,452**	194,811**
Resíduo	40	1076740,150	23,687	463435,483	75,486
Média		7335,82	46,95	5566,63	89,62
CVe (%)		14,15	10,37	12,23	9,69
CVg (%)		6,67	7,94	9,11	7,04
σ_f^2		598518,017	21,776	411646,151	64,937
σ_g^2		239604,634	13,881	257167,656	39,775
σ_e^2		358913,383	7,895	154478,494	25,162
h^2 (%)		40,03	63,74	62,47	61,25
CVg /CVe		0,47	0,76	0,74	0,72

** - significativo pelo teste F a $p \leq 0.01$; ns - não significativo pelo teste F.

Mc - módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; RC - resistência a compressão paralela às fibras; Mf - módulo de elasticidade à flexão estática; MOR - módulo de ruptura; CVe- coeficiente de variação experimental; CVg coeficiente de variação genético; σ_f^2 - variância fenotípica; σ_g^2 - variância genotípica; σ_e^2 - variância ambiental; h^2 - herdabilidades á nível de média de famílias; CVg/CVe - razão coeficiente de variação genético x coeficiente de variação experimental.

A maior parte da variância fenotípica foi de origem genética para todas as características, exceto para o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras, onde foi observada maior contribuição da variância ambiental.

Os valores de herdabilidades média foram de 40,03%, 63,74%, 62,47 e 61,25% para o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras, resistência a compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade a flexão estática e para o módulo de ruptura, respectivamente.

Apesar dos valores médios de herdabilidades observados para RC, Mf e MOR, os valores da razão CV_g/CV_e foram sempre menores que 1,0, indicando que a seleção não deve ser realizada nestas características.

Na Tabela 9 é apresentado o resumo da análise de variância para o módulo de elasticidade dinâmico estimado em árvores vivas de 20 clones de *Eucalyptus*. Este parâmetro foi obtido através da velocidade da onda de tensão do Stress Wave Timer e da densidade básica da madeira.

TABELA 9: Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos para o módulo de elasticidade dinâmico da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. Estimada através do Stress Wave Timer em árvores vivas.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios – árvores vivas	
		MPT (MPa)	MPL (MPa)
Clones	19	1890937,974561**	21408571,342983**
Resíduo	40	212671,666667	4283925,616667
Média		2330,78	2457,62
CV_e (%)		19,78	84,22
CV_g (%)		32,09	97,21
σ_f^2		630312,658187	7136190,447661
σ_g^2		559422,102632	5708215,242105
σ_e^2		70890,555556	1427975,205556
h^2 (%)		88,75	79,99
CV_g/CV_e		1,62	0,38

**, significativo pelo teste F a $p \leq 0,01$.

MPT - Módulo de elasticidade dinâmico em árvores em pé no sentido transversal; MPL - Módulo de elasticidade dinâmico em árvores em pé no sentido longitudinal

Houve efeito altamente significativo ($p \leq 0,01$) para clone em todas as características analisadas, indicando comportamento diferenciado entre clones

para o módulo de elasticidade dinâmico, avaliado no sentido transversal e longitudinal na altura do DAP das árvores vivas.

O coeficiente de variação experimental foi muito alto para o módulo de elasticidade dinâmico estimado em árvores vivas no sentido longitudinal (MPL) e médio para o sentido transversal, sendo de 84,22% e 19,78%, respectivamente.

O coeficiente de variação genético (CVg) também foi muito alto para MPL, mostrando maior diversidade genética para a posição longitudinal.

O valor médio observado para MPT foi de 2330,78 MPa, enquanto que para MTL a média foi de 2457,62 MPa, sendo observado um ligeiro aumento na média do módulo de elasticidade dinâmico para a posição longitudinal em árvores vivas.

A maior proporção da variância fenotípica foi devido a variância genética, o que proporcionou a estimativa de altos coeficientes de herdabilidades, que variou de 88,75% para MPT a 79,99% para MPL. Estes altos coeficientes de herdabilidades garantem o sucesso do programa de melhoramento genético para estas características, como também pode ser verificado, analisando a razão CVg/Cve, que foi de 1,62 para MPT e de 1,15 para MPL. Este parâmetro indica que a seleção em árvores vivas, deve ser realizada preferencialmente sobre a característica MPT.

A Tabela 10 apresenta o resumo da análise de variância e os parâmetros genéticos para o módulo de elasticidade dinâmico estimado em toras de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

Os coeficientes de variações experimentais observados para o módulo de elasticidade dinâmicos em toras foram de 42,49% para MTL, 13,34% para MBT, 31,41% para MTB, e 26,43% para MTT. Os maiores Cve foram observados para a posição do DAP no sentido longitudinal, tanto nas árvores vivas (MPL) como também nas toras (MTL).

TABELA 10: Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos para o módulo de elasticidade dinâmico da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. Estimada através do Stress Wave Timer em árvores abatidas (toras).

FV	GL	Quadrados médios – árvores abatidas (toras)			
		MTL (MPa)	MBT (MPa)	MTB (MPa)	MTT (MPa)
Clone	19	13659643**	440662308**	445416**	721891**
Resíduo	40	1303754,38	66743596,21	152486,68	130240,083
Média		2686	61204	1204	1365
CV _e (%)		42,49	13,34	32,41	26,43
CV _g (%)		75,53	18,24	25,93	32,52
σ^2_f		4553214,55	146887436,13	148472,32	240630,39
σ^2_g		4118629,75	124639570,72	97643,43	197217,03
σ^2_e		434584,79	22247865,41	50828,89	43413,36
h ² (%)		90,45	84,85	65,76	81,96
CV _g /CV _e		1,78	1,37	0,80	1,23

**, significativo pelo teste F a $p \leq 0,01$.

MTL - Módulo de elasticidade dinâmico em toras a 1,30m no sentido longitudinal; MBT - Módulo de elasticidade dinâmico em toras no sentido longitudinal base-topo; MTB - Módulo de elasticidade dinâmico em toras no sentido transversal na base; MTT - Módulo de elasticidade dinâmico em toras no sentido transversal no topo;

Essa maior variação na posição do DAP pode ser devido a diferentes épocas de medição entre o extensômetro e os outros aparelhos, pois para a medição com o extensômetro foi retirada a casca localmente, causando a perda de umidade. Outro motivo é que no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, a velocidade da onda é elevada a segunda potência e inclui ainda o erro experimental da densidade básica da madeira.

Os módulos de elasticidades dinâmicos médios foram de 2686,95 MPa, 61204,12 MPa, 1204,93 MPa e 1365,37 MPa, para MTL, MBT, MTB e MTT, respectivamente. É importante ressaltar o maior valor médio do MBT, que é devido a maior distância percorrida pela onda de tensão. Porém, este valor é

muito superior aos encontrados em literatura, podendo ser devido a uma super-estimativa da velocidade da onda nessa posição de amostragem.

A variância ambiental foi sempre menor que a variância genotípica. Isso possibilitou a estimativa de altos coeficientes de herdabilidades média, que foram de 90,45% para MTL, 84,85% para MBT, 65,76% para MTB e 81,96 para MTT. Estes altos coeficientes de herdabilidades possibilitam a seleção destas características, garantindo que a quase totalidade dos caracteres sejam herdados para a próxima geração.

O sucesso do programa de melhoramento genético também é evidenciado pela razão CV_g/CV_e , que foram de 1,78, 1,37, 0,80 e 1,23, respectivamente para MTL, MBT, MTB e MTT, portanto pode-se notar que com exceção do MTB, os valores desta relação são maiores que 1,0, o que possibilita a seleção genética destas características.

4.2 – Correlação fenotípica e genotípica para as características obtidas de forma destrutivas e não destrutiva.

O conhecimento dos valores e magnitude da correlação genética é necessário para a predição dos ganhos correlacionados de uma característica em consequência da seleção em outra característica, ou seja, a estimativa de ganho genético indireto. De uma maneira geral pode-se dizer que no presente trabalho, foram observados valores de correlações genotípicas sempre maiores que os valores de correlações fenotípicas, conforme mostram as Tabela 11 e 12.

Este comportamento da correlação genotípica superarem os valores da correlação fenotípica é desejável, sob o ponto de vista do melhoramento genético, pois torna-se possível o melhoramento destas características baseadas em programas de seleção genética.

TABELA 11: Correlação fenotípica entre as características avaliadas destrutivamente e as características não destrutivas estimadas para a madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

	Amostragens não-destrutivas								
	DRL	AV	AT	VPT	VPL	VTL	VBT	VTB	VTT
CR	-0.26	0.45	0.53	0.40	0.54	0.49	0.28	0.05	-0.04
CT	-0.14	0.32	0.29	0.16	0.40	0.29	0.20	-0.03	-0.12
CV	-0.17	0.35	0.33	0.20	0.42	0.35	0.22	-0.03	-0.13
DB	0.00	0.81	0.79	0.42	0.25	-0.04	0.29	-0.07	0.11
DS	-0.05	0.81	0.79	0.43	0.33	0.06	0.32	-0.05	0.08
MC	0.02	0.31	0.56	0.39	0.28	-0.02	0.59	-0.22	-0.24
RC	-0.08	0.62	0.77	0.47	0.37	0.02	0.47	-0.12	-0.08
MF	0.17	0.31	0.58	0.30	0.30	-0.02	0.56	-0.13	-0.12
MOR	0.04	0.36	0.46	0.32	0.35	-0.05	0.29	-0.09	-0.01

Onde: DRL- deformação residual longitudinal; AV- amplitude estimada no DAP em árvores vivas; AT- amplitude estimada em toras; VPT- velocidade da onda de tensão no sentido transversal no DAP em árvores vivas; VPL- velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em árvores vivas; VTL – velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em toras; VBT- velocidade da onda no sentido longitudinal base-topo em toras; VTB- velocidade da onda no sentido transversal na base da tora; VTT- velocidade da onda no sentido transversal no topo da tora;

As estimativas de correlação genotípica e fenotípica foram, na maioria das vezes, de médias a grandes magnitudes. As menores correlações foram as que envolveram a característica DRL, o que sugere que uma seleção nesta característica promoverá pequenas variações nas demais, e vice-versa. O fato de não existirem, no presente caso, correlações genotípicas desfavoráveis, exceto para DRL, torna o processo seletivo mais simples, visto que modificações em uma característica tendem a ser acompanhadas de modificações, no mesmo sentido, em outras, e não necessitam, portanto, da adoção de restrições na seleção para obtenção de ganhos no sentido desejado.

TABELA 12: Correlação genotípica entre as características avaliadas destrutivamente e as características não destrutivas estimadas para a madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

Amostragem não destrutiva									
	DRL	AV	AT	VPT	VPL	VTL	VBT	VTB	VTT
CR	-0.29	0.49	0.63	0.43	0.58	0.55	0.38	0.03	-0.04
CT	-0.19	0.34	0.32	0.18	0.43	0.28	0.30	-0.06	-0.16
CV	-0.22	0.38	0.38	0.22	0.43	0.35	0.32	-0.05	-0.17
DB	-0.04	0.88	0.91	0.46	0.24	-0.02	0.37	-0.09	0.14
DS	-0.09	0.87	0.91	0.47	0.33	0.08	0.42	-0.06	0.09
MC	0.16	0.43	0.96	0.75	0.38	0.14	1.00	-0.28	-0.40
RC	-0.08	0.79	1.00	0.68	0.46	0.08	0.81	-0.06	-0.12
MF	0.26	0.41	0.78	0.47	0.35	0.07	0.93	0.02	-0.23
MOR	0.13	0.47	0.64	0.46	0.43	0.04	0.49	0.12	-0.06

Onde: CR- contração radial; CT- contração tangencial; CV- contração volumétrica; DB- densidade básica; DS- densidade seca; MC- módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; RC- resistência à compressão paralela às fibras; MF – módulo de elasticidade à flexão estática; MOR- módulo de ruptura; DRL- deformação residual longitudinal; AV- amplitude estimada no DAP em árvores vivas; AT- amplitude estimada em toras; VPT- velocidade da onda de tensão no sentido transversal no DAP em árvores vivas; VPL- velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em árvores vivas; VTL – velocidade da onda no sentido longitudinal no DAP em toras; VBT- velocidade da onda no sentido longitudinal base-topo em toras; VTB- velocidade da onda no sentido transversal na base da tora; VTT- velocidade da onda no sentido transversal no topo da tora;

Como há tendência dos coeficientes de correlação genotípica superarem os de correlação fenotípica, pode-se afirmar que os fatores genéticos são mais importantes que os de ambiente, na expressão de, pelo menos, um desses caracteres. Notam-se, também, valores expressivos para a correlação genotípica entre algumas características, o que segundo De Paula (2002) leva à suspeita de ocorrência de genes pleiotrópicos atuando em seus controles.

As deformações residuais longitudinais não apresentaram efeito significativo de correlações com nenhuma das características avaliadas.

Os coeficientes de correlações genéticos para a amplitude em toras foram sempre maiores em relação a amplitude em árvores vivas. Para a amplitude em árvores vivas foram encontrados valores altos e positivos com as seguintes características: densidade básica (0,88) e resistência à compressão (0,79), conforme ilustrado na Figura 1e Figura 2, respectivamente.

Foram encontrados também valores de correlações positivos e moderados entre a amplitude em árvores vivas e: a contração radial (0,49), o módulo de ruptura (0,47), o módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal estimado no DAP em árvores vivas (MPT= 0,54) e entre a amplitude e o módulo de elasticidade estimado no sentido longitudinal na base-topo das toras (MBT= 0,64).

A amplitude em toras foi alta e positivamente correlacionada com as seguintes características: densidade básica (0,91), densidade seca (0,91), módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (0,96), resistência à compressão paralela às fibras (1,00), módulo de elasticidade à flexão estática (0,78), velocidade da onda no sentido longitudinal base-topo em toras (0,70), módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal estimado no DAP de árvores vivas (0,74), módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal no DAP de árvores vivas (0,72) e o módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal base-topo em toras (0,94). Foram encontrados também valores de correlações genéticos positivos e moderados com a contração radial (0,63), módulo de ruptura (0,64) e a velocidade da onda no sentido transversal no DAP em árvores vivas (0,51).

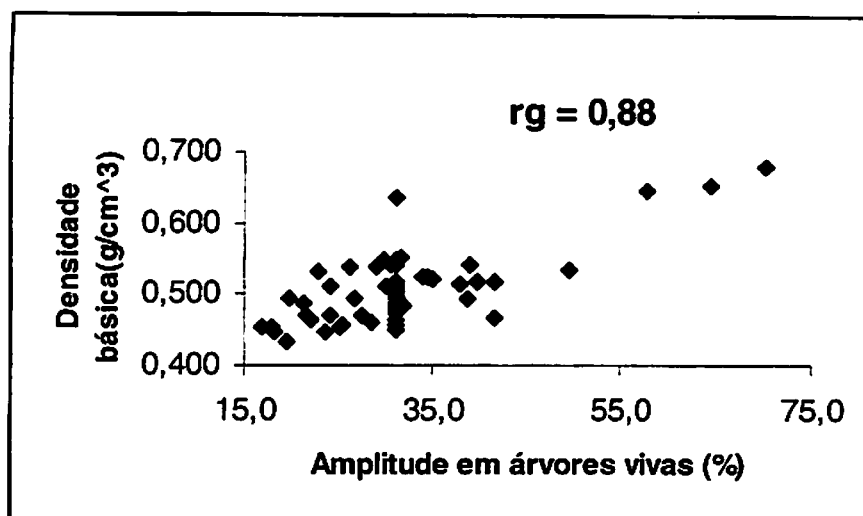


FIGURA 1: Valores de densidade básica x amplitude para a madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados em árvores vivas.

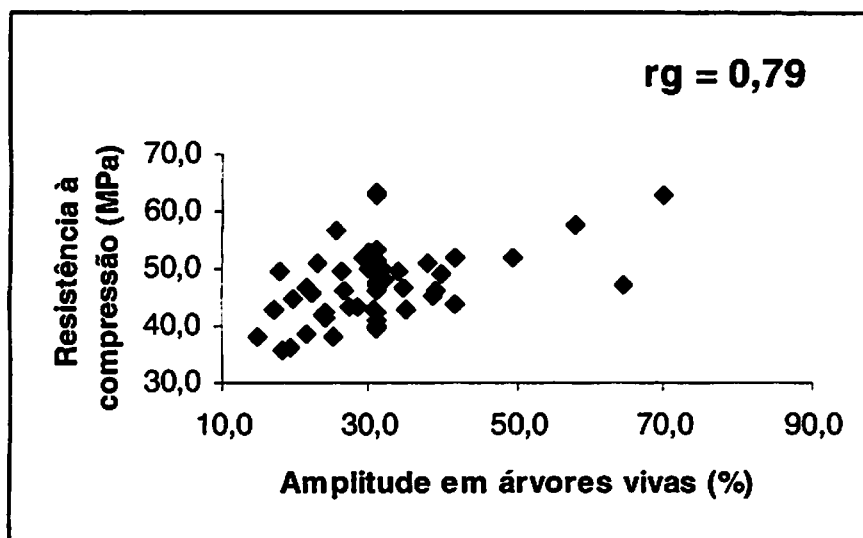


FIGURA 2: Resistência a compressão x amplitude da madeira em 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados em árvores vivas.

Esses resultados mostram que o estudo em toras foi mais eficiente em relação ao estudo com as árvores vivas, no entanto, deve ser considerada a possibilidade do não abate da árvore, visto que os valores de correlações fenotípicos e genotípicos também foram verificados em árvores vivas, porém em menor magnitude.

Para as árvores vivas, a velocidade da onda de tensão no sentido transversal (VPT) foi alta e positivamente correlacionada com o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras ((0,75) - Figura 3) e com a resistência a compressão ((0,68) – Figura 4) e moderadamente correlacionada com a densidade básica (0,46), a densidade seca (0,47), o módulo de elasticidade a flexão estática ((0,47), o módulo de ruptura (0,46) e a amplitude em toras (0,51). Quanto a velocidade da onda no sentido longitudinal (VPL) foram encontrados valores de correlação genéticos apenas moderados para a contração radial (0,58), a resistência a compressão (0,46) e a amplitude em toras (0,46).

Quanto a velocidade da onda de tensão nas toras foram encontrados valores moderados, entre a velocidade da onda no sentido longitudinal e a contração radial (0,55) e com o módulo de ruptura (0,49) e valores altos entre a velocidade da onda no sentido longitudinal base-topo e o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (1,00), a resistência a compressão paralela às fibras (0,81), o módulo de elasticidade a flexão estática (0,93) e a amplitude em toras (0,70). Não foram aqui discutidos os valores de correlações entre as velocidades da onda com elas mesmas e com o módulo de elasticidade dinâmico, porque neste caso serão encontrados valores óbvios de correlações.

Para o módulo de elasticidade dinâmico, os valores de correlações fenotípicos e genotípicos foram semelhantes aos observados para as velocidades da onda de tensão, este comportamento é esperado devido ao fato da velocidade da onda de tensão estar inserida e elevada a segunda potência na fórmula de obtenção do módulo de elasticidade dinâmico. Porém o módulo de elasticidade

dinâmico mostrou maior magnitude quanto aos valores de correlações genéticas obtidos para diversas características, talvez pelo fato de que a densidade básica esteja também inserida no cálculo deste parâmetro.

Os valores de correlações genéticas obtidos para o módulo de elasticidade em árvores vivas no sentido transversal (MPT) foram de: 0,51 (CR), 0,71 (DB e DS), 0,84 (MC), 0,89 (RC), 0,60 (MF), 0,60 (MOR), 0,54 (AV), e 0,74 (AT), enquanto que este parâmetro no sentido longitudinal (MPL) foram de 0,61 (CR), 0,54 (MC), 0,64 (RC), 0,52 (MF), 0,54 (MOR) e 0,72 (AT).

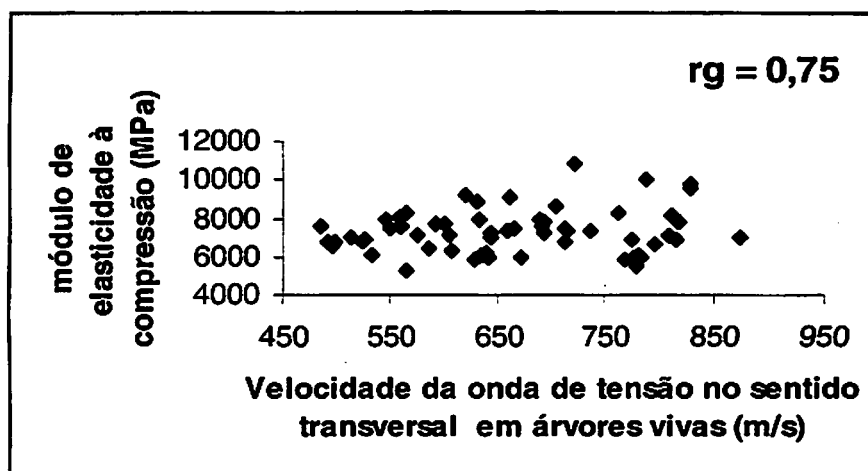


FIGURA 3: Módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras x velocidade da onda de tensão no sentido transversal na madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados na altura do DAP em árvores vivas.

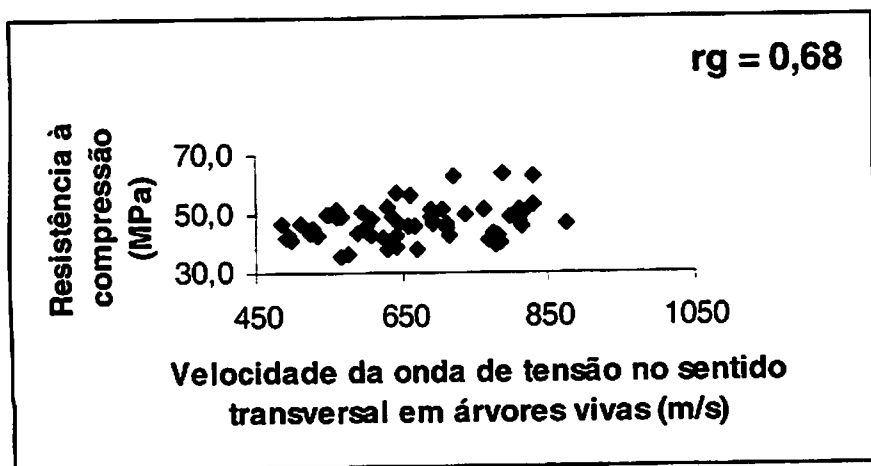


FIGURA 4: Resistência a compressão x velocidade da onda de tensão no sentido transversal na madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados na altura do DAP em árvores vivas.

Nas toras, o módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal (MTL), a exemplo da velocidade da onda (VTL), apresentou efeito moderadamente significativo de correlação genética apenas para a contração radial (0,62).

O módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal base-topo (MBT) apresentou valores de correlações genéticos altos e positivos com as características: densidade básica (0,76), a densidade seca (0,76), o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (1,15), resistência a compressão paralela às fibras (1,00), módulo de elasticidade a flexão estática (0,92), o módulo de ruptura (0,70) e com a amplitude em toras (0,94). E valores de correlações genéticos positivos e moderados com a contração radial (0,47) e a amplitude em árvores vivas (0,64).

Nesse estudo observa-se que a velocidade da onda de tensão e consequentemente o módulo de elasticidade dinâmico calculado para o sentido longitudinal base-topo em tora, foi mais correlacionado com as características destrutivas da madeira, especialmente com as propriedades mecânicas, porém

mais uma vez, deve ser lembrado que a velocidade da onda obtida em árvores vivas no sentido transversal, também acusou estas correlações, embora em menor magnitude, porém quando o objetivo é a utilização do material genético em futuros estudos, as medições nas árvores vivas devem ser priorizadas.

Esses resultados de correlação obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico e as características da madeira, especialmente com o módulo de elasticidade à compressão e o módulo de elasticidade a flexão estática foram encontrados também por diversos autores, tais como, Sasaki e Hasegawa (2003), Chies *et al* (2003), Matos (2002), Wang *et al.* (2002), Tiitta *et al.* (1998) e Schad *et al.* (1995), entre outros.

4.3 Ganho genético direto e indireto para as características obtidas de forma destrutivas e não destrutiva.

Os resultados dos ganhos genéticos diretos e indiretos são apresentados na Tabela 13.

Os ganhos genéticos diretos para as características obtidas pelo método destrutivo da madeira foram de: 1,11% (18,62%), 2,03% (20,68%), 2,92% (18,97%), 0,05g/cm³ (10,77%), 0,08 g/cm³ (12,64%), 393,67MPa (5,37%), 3,78MPa (8,05%), 509,49MPa (9,15%), 6,27MPa (7,00%), para as características contração radial, contração tangencial, contração volumétrica, densidade básica, densidade seca, módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras, resistência a compressão, módulo de elasticidade a flexão estática, módulo de ruptura, respectivamente. Estes ganhos foram padronizados para a seleção de 1 clone em 5, obtendo um índice de 1,2711, conforme apresentado pelo programa GENES de Cruz e Regazzi (2002).

Para as características obtidas pelos métodos não destrutivos em árvores vivas, os ganhos genéticos diretos foram de 0,014mm (17,64%) 11,39% (36,36%), 105,76m/s (15,95%), 391m/s (71,07%), para a deformação residual

longitudinal, amplitude, velocidade da onda de tensão no sentido transversal, velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal.

TABELA 13: Ganhos genéticos diretos (em negrito) e indiretos em percentagem (%) estimados para a madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp.

Características avaliadas destrutivamente									
	CR	CT	CV	DB	DS	MC	RC	MF	MOR
CR	18,62	17,92	18,55	9,41	13,22	3,96	8,19	3,34	4,80
CT	18,75	20,68	17,55	5,98	10,75	1,35	4,85	0,00	3,55
CV	17,56	18,81	18,97	5,49	9,87	0,86	4,22	-0,42	2,25
DB	5,42	3,30	3,35	10,77	10,48	4,80	8,00	5,64	6,53
DS	8,78	6,83	6,94	12,07	12,64	5,17	9,83	5,78	6,99
MC	2,51	0,82	0,58	5,28	4,93	5,37	6,84	7,53	5,82
RC	4,89	2,77	2,66	9,09	8,84	6,44	8,05	7,96	7,00
MF	2,31	0,00	-0,30	6,78	6,02	8,23	9,00	9,15	8,14
MOR	2,59	1,84	1,28	6,12	5,69	4,96	7,13	6,35	7,00
DRL	-5,35	-3,65	-4,32	-0,83	-1,77	2,03	-1,22	4,04	2,04
AV	17,34	12,46	13,89	31,16	31,00	10,13	23,58	12,24	13,80
AT	22,23	11,63	13,87	32,48	32,63	23,00	31,00	23,35	18,83
VPT	6,82	2,94	3,69	7,42	7,62	8,04	9,21	6,36	6,14
VPL	40,46	30,58	30,86	16,88	23,08	17,76	26,79	20,62	24,72
VTL	32,07	16,84	21,38	-1,15	4,65	5,37	4,06	3,40	2,01
VBT	2,78	2,29	2,43	2,75	3,12	6,62	5,10	5,78	3,04
VTB	0,48	-0,88	-0,73	-1,31	-0,99	-2,92	-0,80	0,31	3,04
VTT	-0,80	-3,41	-3,64	2,93	1,92	-5,69	-2,17	-4,21	-0,99

Continua

As respostas indiretas preditas em determinada característica, pela seleção direta praticada em outra, mostraram que a seleção indireta foi na maioria das vezes inferior à seleção direta. Segundo Falconer (1987) a seleção indireta poderá promover maiores progressos que a seleção direta, principalmente se o caráter auxiliar apresentar maior herdabilidade que o principal, e se a correlação genética entre ambos for de alta magnitude. Quando se utiliza, porém, a expressão de ganho genético a partir do diferencial de seleção, a seleção indireta será, no máximo, igual à direta, mas nunca superior ao ganho direto.

Merece destaque os ganhos indiretos proporcionados pela seleção direta na característica amplitude em árvore vivas, que forneceram ganhos indiretos superiores aos ganhos diretos nas características densidade básica (31,16%), densidade seca (31,00%), módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras (10,13%), resistência a compressão (23,58%), módulo de elasticidade a flexão estática (12,24%) e para o módulo de ruptura (13,80%).

A seleção direta na característica velocidade da onda de tensão no sentido transversal em árvores em pé, proporcionou ganhos indiretos superiores aos ganhos diretos somente para as características módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras (8,04%) e resistência a compressão paralela as fibras (9,21%).

Enquanto que a seleção direta sobre a velocidade da onda no sentido longitudinal em árvores em pé (VPL), proporcionou ganhos indiretos superiores aos ganhos diretos para todas as características destrutivas estudadas, evidenciando que a seleção sobre esta característica é altamente vantajosa para o melhoramento genético das características avaliadas destrutivamente, a saber: contração radial, contração tangencial, contração volumétrica, densidade básica, densidade seca, módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras,

resistência a compressão paralela as fibras, módulo de elasticidade a flexão estática e módulo de ruptura.

Assim, as avaliações não destrutivas, principalmente a amplitude em árvores vivas e a velocidade da onda no sentido longitudinal em árvores vivas podem ser usadas como parâmetros para o melhoramento genético das características que são comumente avaliadas destrutivamente.

O teste de média de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade foi empregado para cada característica da madeira de *Eucalyptus*, objetivando a ordenação entre os clones, conforme apresentado na Tabela 14 a Tabela 18.

Por meio da Tabela 14 é possível observar que para a deformação residual longitudinal (DRL), o clone 46 foi o que apresentou a menor DRL, seguido pelo clone 7, 181 e o clone 38.

Para a amplitude em árvores vivas (AV) o clone 23 foi o que apresentou os melhores resultados, sendo considerado como o melhor clone, seguido pelos clones 319, 181 e o clone 44.

Quanto a velocidade da onda de tensão nas árvores vivas, no sentido transversal foram selecionados os clones 19, 180 e o clone 65, enquanto que os clones 26, 309 e o 181, obtiveram as menores médias.

Para a velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal foram selecionados os clones 180, 19, 7, 65, tendo o clone 180 apresentado a maior média. As menores médias foram apresentadas pelos clones 44-JC, 309, 38 e 26.

Deve ser ressaltado que para a velocidade da onda em árvores vivas, os clones selecionados foram praticamente os mesmos, tanto para o sentido transversal quanto para o sentido longitudinal, ocorrendo apenas uma inversão de ranqueamento, ou seja, no sentido transversal o clone 19 foi considerado o melhor, enquanto no sentido longitudinal foi selecionado o clone 180.

TABELA 14: Médias de genótipos para as características da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliadas em campo.

Clone	DRL(mm)	AV(%)	VPT(m/s)	VPL(m/s)
2-SR	0,071b	31,20bc	707b	910b
7	0,055c	31,20bc	736b	1001a
16	0,094a	31,20bc	724b	764b
19	0,082a	31,20bc	820a	1036a
23	0,086a	64,20a	745b	518c
26	0,091a	29,60c	508c	250d
31	0,078a	19,00e	648c	257d
35	0,089a	18,43e	568c	219d
38	0,060c	30,17c	680b	218d
39	0,073b	31,20c	606c	780b
44	0,082a	35,30b	579c	426c
44-JC	0,097a	27,00d	566c	200d
46	0,053c	29,87c	698b	314d
48-JC	0,096a	25,00d	577c	305d
65	0,085a	31,20c	797a	987a
71	0,085a	22,93d	665b	498c
180	0,075b	31,20c	810a	1192a
181	0,059c	39,77b	559c	328d
309	0,072b	26,27d	547c	210d
319	0,092a	40,90b	718b	612c

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. DRL- Deformação residual longitudinal; AV – amplitude em árvores vivas; VPT – velocidade da onda no sentido transversal em árvores vivas; VPL – velocidade da onda no sentido longitudinal em árvores vivas.

Estes resultados confirmam a eficiência do Stress Wave Timer e coloca estes clones como potenciais em um programa de melhoramento genético,

principalmente os clones 180, 19, 65 e o 7, que foram comuns para a análise feita no sentido transversal e longitudinal.

A Tabela 15 apresentam o teste de média de Scott-Knott para as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

Os resultados do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, permitiram selecionar os clones que apresentaram as menores contrações radiais, tangenciais e volumétricas, enquanto que para densidade básica e densidade seca foram selecionados os clones que apresentaram os maiores valores para estas características.

O clone 31 apresentou o menor valor de contração radial, seguido pelos clones 44-JC, 44, 71, 309, 48-JC, 319 e o clone 38. Para a contração tangencial, foram selecionados os clones 31, 38, 44-JC, 71, e o clone 309, e para a contração volumétrica, o clone 31 apresentou uma menor contração, seguido pelos clones 44-JC, 71, 309, 38, 44 e o clone 319. Pode-se notar que os clones selecionados para a retratibilidade da madeira, foram os mesmos, ocorrendo apenas pequenas variações de classificação, porém o clone 31 foi sempre o de menor contração para as três características, e o 44-JC foi o segundo melhor classificado para as características da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus*.

Quanto a densidade básica, o clone 23 apresentou a maior média, sendo seguido pelo clone 180, enquanto que as menores médias foram observados para os clones 35, 31, 71, 39, 2, 38 e o clone 44-JC. Para a densidade seca, os clones 23, 180 também apresentaram os melhores resultados e as menores mediais foram apresentados pelos clones 31, 71, 35, 44-JC, 38, 39, 7 e o clone 44.

Tanto para a densidade básica como para a densidade seca, o clone 23 obteve os melhores resultados, sendo seguido pelos clones 180 e 46, porém deve ser considerado também o clone 309, que foi um dos selecionados para a retratibilidade da madeira e para a densidade básica, portanto, é um clone potencial para ser utilizado em projetos de silvicultura clonal.

TABELA 15: Médias de genótipos para as propriedades físicas da madeira avaliadas em 20 clones de *Eucalyptus* aos 10 anos de idade.

Clones	Propriedades físicas				
	CR (%)	CT (%)	CV (%)	DB (g/cm ³)	DS (g/cm ³)
2-SR	8,57a	14,27a	21,93 ^a	0,512c	0,656c
7	6,60c	11,00b	17,03b	0,469d	0,566d
16	6,33c	9,73c	15,57c	0,499c	0,592c
19	5,97c	10,40b	15,87c	0,518c	0,616c
23	7,33b	11,50b	18,27b	0,659a	0,810a
26	6,47c	9,67c	15,77c	0,501c	0,595c
31	4,27d	6,83d	11,13e	0,455d	0,512d
35	5,90c	10,80b	17,17b	0,445d	0,544d
38	5,73d	7,63d	13,23d	0,474d	0,548d
39	6,10c	10,37b	16,33c	0,467d	0,559d
44	4,90d	9,13c	13,57d	0,500c	0,579d
44-JC	4,73d	8,03d	12,63d	0,475d	0,545d
46	6,10c	10,20b	15,80c	0,542c	0,646c
48-JC	5,27d	11,63b	16,47c	0,494c	0,592c
65	6,40c	9,40c	15,27c	0,528c	0,624c
71	4,93d	8,03d	12,67d	0,466d	0,534d
180	6,80c	10,23b	15,87c	0,578b	0,696b
181	6,33c	11,20b	17,03b	0,517c	0,624c
309	5,13d	8,20d	12,93d	0,532c	0,612c
319	5,37d	8,70c	13,87d	0,534c	0,619c

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. CR– Contração radial; CT– contração tangencial; CV– contração volumétrica; DB– densidade básica e DS– densidade seca.

Vale ressaltar que os clones que apresentaram as menores contrações foram também os que apresentaram as menores densidades.

A Tabela 16 apresenta os resultados do teste de médias de Scott-Knott para as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus* avaliados aos 10 anos de idade.

TABELA 16: Médias de genótipos para as propriedades mecânicas da madeira de 20 clones de *Eucalyptus* avaliado aos 10 anos de idade.

Clones	Propriedades mecânicas			
	MC (MPa)	RC (MPa)	MF (MPa)	MOR (MPa)
2-SR	6803a	44,70b	5120b	88,63a
7	6456a	43,30b	4618b	81,20a
16	7850a	47,23b	5778a	90,97a
19	8581a	52,00a	6377a	98,40a
23	8016a	55,80a	6044a	93,50a
26	7390a	46,50b	5241b	81,70a
31	6261a	39,63c	4496b	69,50a
35	6938a	40,40c	5212b	80,73a
38	7364a	45,23b	5369b	83,33a
39	6787a	43,60b	5277b	85,10a
44	6810a	45,30b	5269b	86,97a
44-JC	6260a	41,47b	5212b	89,67a
46	7554a	49,27a	50,38b	90,57a
48-JC	7096a	46,50b	5368b	88,67a
65	6391a	45,03b	5252b	89,77a
71	8378a	47,80b	6334a	97,20a
180	8923a	57,83a	7069a	104,13a
181	7753a	50,67a	6055a	97,93a
309	7314a	47,47b	6133a	97,90a
319	7791a	49,27a	6070a	96,47a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MC– módulo de elasticidade á compressão paralela às fibras; RC– resistência a compressão paralela às fibras; MF–módulo de elasticidade a flexão estática; MOR– módulo de ruptura.



Esta Tabela mostra que para o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (MC) não houve diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, entre os 20 clones estudados.

Para a característica resistência a compressão paralela às fibras (RC) os clones que apresentaram os melhores desempenhos foram 180, 23, 19, 181, 319 e o clone 46. Os clones selecionados para o módulo de elasticidade a flexão estática foram os 180, 19, 71, 309, 319, 181, 23 e o clone 16, enquanto que para o módulo de ruptura, não houve diferenças estatísticas entre os clones estudados.

Como pode ser observado para as propriedades mecânicas da madeira, o clone 180 foi sempre o primeiro classificado, sendo observados também bons resultados para os clones 19, 23, 181 e o clone 319, portanto são clones potenciais para serem empregados em reflorestamento visando à produção de sólidos.

Na Tabela 17 estão representados os resultados do teste de médias de Scott-Knott para as características avaliadas nas toras da madeira de *Eucalyptus* avaliado aos 10 anos de idade.

Para a característica amplitude da madeira avaliada em toras (AT) o clone 180 e o 23 obtiveram os melhores resultados, seguido pelos clones, 2-SR, 19, 26 e o clone 319. É Interessante observar que os clones selecionados na análise em toras, não foram os mesmos observados na análise da amplitude em árvores vivas, com exceção do clone 23 e o 180. Isto pode ser devido a diferença entre a época de medições na árvore viva e em toras e a eliminação das forças de sustentação da árvore, incluindo também a deformação residual longitudinal, que são eliminadas após a derrubada da árvore e não representa mais uma resistência a penetração da broca do resistógrafo.

TABELA 17: Médias de genótipos para a amplitude e para a velocidade da onda de tensão na madeira de 20 clones de *Eucalyptus* spp. avaliadas em toras.

Clones	AT (%)	VTL (m/s)	VBT (m/s)	VTB (m/s)	VTT (m/s)
2-SR	41,60b	1077a	3379b	528a	567a
7	19,5c	948a	3101b	515a	550a
16	28,57c	862a	3679a	472a	436b
19	38,50b	1059a	3739a	355b	541a
23	53,83a	453b	3683a	428a	506a
26	38,33b	543b	3735a	320b	309c
31	27,63c	686b	3242b	548a	588a
35	18,43c	396b	3673a	471a	446b
38	31,87c	456b	3235b	463a	425b
39	29,40c	1029a	3593a	452a	519a
44	30,47c	531b	3637a	510a	585a
44-JC	23,47c	360b	2824b	528a	609a
46	25,13c	280b	3052b	463a	561a
48-JC	26,17c	182b	3302b	429a	396b
65	30,83c	1053a	3415b	559a	641a
71	23,13c	466b	3591a	482a	477b
180	57,33a	963a	3868a	613a	610a
181	30,90c	337b	3362b	435a	275c
309	29,63c	211b	3400b	321b	472b
319	36,20b	370b	3366b	497a	514a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. AT– amplitude da madeira avaliado em toras; VTL– velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal em toras; VBT–velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal base-topo das toras; VTB– velocidade da onda no sentido transversal na base das toras; VTT- velocidade da onda de tensão no sentido transversal no topo das toras.

Para as velocidades da onda de tensão nas toras, destacaram-se os clones 2-SR, 19, 65, 39, 180, 7 e o clone 16, para a velocidade no sentido longitudinal em toras (VTL), e o 180, 19, 26, 23, 16, 35, 44, 39 e o clone 71 para a velocidade longitudinal base-topo das toras (VBT). Para a velocidade transversal no base das toras (VTB), os clones 26, 309 e o clone 23, apresentaram as menores médias de velocidade e não houve diferenças estatísticas entre os clones restantes, enquanto que para a velocidade da onda no sentido transversal no topo das toras (VTT), os clones 65, 180, 44-JC, 31, 44, 2-SR, 46, 7, 19, 39, 319 e o clone 23, apresentaram as maiores médias e não diferiram estatisticamente entre si, sendo considerado como os de melhores resultados. Os clones 180 e 19 destacaram como os de melhores desempenhos, sendo considerados os melhores para as velocidades da onda de tensão nas toras.

A Tabela 18 apresenta os resultados do teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade para o módulo de elasticidade dinâmico para a madeira de *Eucalyptus* spp. estimados em árvores vivas e em toras.

Através desta Tabela pode-se verificar que os clones selecionados foram: 180, 23, 19 e o 65 para MPT; 180, 19, 65, 7 e 2-SR para MPL; 65, 2-SR, 19, 180, 39, 7 e 16 para MTL; 23, 180, para MBT; e 180, 65, 44-JC, 46, 23, 44, 2-SR, 31, 19, 319, e o clone 7 para MTT.

Estes mesmos resultados foram observados no estudo da velocidade da onda de tensão, tanto em árvores vivas como também nas toras, destacando mais uma vez o clone 180 como o de melhor desempenho. Estes resultados eram esperados, visto que no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, a velocidade da onda é elevada a segunda potência, portanto, a magnitude deste parâmetro é determinado pela velocidade da onda de tensão.

TABELA 18: Médias de genótipos para o módulo de elasticidade dinâmico avaliada em árvores vivas e em toras de 20 clones de *Eucalyptus* aos 10 anos de idade.

Clone	Árvores vivas			Árvores abatidas (toras)		
	MPT (MPa)	MPL (MPa)	MTL (MPa)	MBT (MPa)	MTB (MPa)	MTT (MPa)
2-SR	2576b	4547b	5997a	58510c	1449a	1675a
7	2549b	4721b	4508a	45106d	1275a	1432a
16	2641b	3444c	4059a	67640b	1162a	977b
19	3487a	5578b	5845a	72561b	691a	1541a
23	3763a	2851c	2284b	89567a	1296a	1729a
26	1317c	332c	2069b	70062b	556a	546b
31	1929c	510c	2623b	47859d	1366a	1585a
35	1444c	215c	1051b	60275c	1074a	901b
38	2231c	233c	1307b	49674d	1055a	866b
39	1763c	3251c	4951a	60355c	987a	1296b
44	1701c	1234c	2023b	66182b	1336a	1717a
44-JC	1550c	193c	856b	42996d	1350a	1770a
46	2673b	592c	455b	50544d	1202a	1756a
48-JC	1680c	485c	211b	53972c	932a	793b
65	3381a	5272b	6083a	61558c	1762a	2186a
71	2112c	1655c	1572b	60112c	1272a	1097b
180	3805a	10534a	5826a	86263a	2267a	2231a
181	1629c	563c	593b	58651c	1142a	546b
309	1612c	247c	252e	61584c	594a	1206b
319	2773b	2695c	1175b	60612c	1331a	1457a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. AT- amplitude da madeira avaliado em toras; MTL- módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal em toras; MBT- módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal base-topo das toras; MTB- módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal na base das toras; MTT- módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal no topo das toras.

5 CONCLUSÕES

A avaliação não destrutiva mostrou-se uma técnica eficiente para seleção de materiais genéticos visando à avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

A amplitude estimada pelo resistógrafo foi altamente correlacionada com a densidade da madeira estimada pelo método destrutivo, representando uma importante ferramenta para a ciência florestal.

A velocidade da onda de tensão e o módulo de elasticidade dinâmico estimado pelo método não destrutivos do Stress Wave Timer, correlacionou positivamente com as propriedades elásticas da madeira, principalmente o módulo de elasticidade a compressão e a resistência a compressão paralela as fibras.

Os parâmetros genéticos estimados para as propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. foram superiores aos parâmetros fenotípicos, indicando que as diferenças encontradas são de origens genéticas.

Os ganhos genéticos indiretos estimados através da seleção direta nas características amplitude em árvores vivas e a velocidade da onda de tensão no sentido longitudinal em árvores vivas, foram maiores do que os ganhos genéticos diretos obtidos para as características avaliadas destrutivamente.

Os clones 23e 180 destacaram-se para a maioria das características avaliadas, sendo considerados como promissores em um programa de melhoramento genético para a produção de sólidos da madeira de *Eucalyptus* spp.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Annual book of ASTM standards**. Denvers, 1997. 679 p. D143/94: standard methods of testing small clear specimens of timber, p. 23-53.
- BAILLÉRES, 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 of Forest Science**, Paris, v. 52, n. 2, p. 157-172, 1995.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistencia e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, maio/jun. 2003.
- BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica da madeira em cavacos. **IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 9, p. 12-14, jun. 1975.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731, 1983.
- BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao nível do DAP – Análise preliminar. **IPEF**, Piracicaba, v. 5, p. 81-90, dez. 1972.
- BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; FERREIRA, M. variação da densidade básica nas secções transversal do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v. 15, p. 73-82, dez. 1977.
- BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; MELLO, H. A. Densidade básica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden, aos 3 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, v. 19, p. 63-76, dez. 1979.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. IN: Densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v. 14, p. 9-20, jun. 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre as características físicas e químicas da madeira versus densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, v. 20, p. 121-126, jun. 1980.

BUSNARDO, C. A.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; DIAS, C.; MENOCELLI, S. A importância da altura de amostragem para a avaliação da densidade básica média da árvore. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1983. v. 1, p. 55-72.

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.

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

CHIES, D.; MATOS, J. L. M de. **Métodos não destrutivos de avaliação das propriedades da madeira**. Março/2003. (Relatório de Pesquisa). Não publicado.

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

CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. 2000. 64 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Madeira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DE PAULA, R. C.; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts – for wood and fibre properties**. Collingwood, Austrália: CSIRO publishing, 1997. 132 p.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnología da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1992. 33 p. (Série técnica; 10).

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. **Diâmetro versus densidade básica**. Piracicaba, 1984. 4 p. (Informações SQCE, 15).

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

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Mogi-guaçu (SP). **IPEF**, Piracicaba, v. 18, p. 1979.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maiden nas idades de 11, 12, 13 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, v. 4, p. 65-89, jun. 1972.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...** São Paulo: SBS, 1978. v. 2, p. 148-152.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS, 1981. **Silvicultura**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 148-152, dez. 1981. Especial.

FOEKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O PAPEL**, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 35-40, maio 1992.

FOELKEL, C. E. B. Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANES, A. F. Estudo comparativo ds madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus tereticornis*, para produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, v. 10, p. 17-37, jun. 1975.

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

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada**. São Paulo: IPT, 1985. 189 p. (Boletim, ABPM, 36).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Métodos de ensaios adotados no IPT para o estudo de madeiras nacionais: tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais. Nomenclatura de madeiras nacionais.** 2. ed. São Paulo: IPT, 1956. 62 p. (Boletim Técnico, 31).

ISIK, F.; LI, B. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. **Canadian Journal of Forest Research**, Ontário, v. 33, n. 12, p. 2426-2435, Dec. 2003.

KOLLMANN, F.; COTÉ, W. **Principles of wood science and technology. I. Solid wood.** New York: Springer-Verlag, 1968.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus*.** 1999. 276 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – University of Wales, Bangor.

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 123-127, jan./mar. 1992.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S. Novas metodologias empregadas para avaliar variações nas características da madeira de *Eucalyptus*. In: **SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002**, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 135-149.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, jan./fev. 2004.

MALAN, F. S. Properties, processing and utilization of *Eucalyptus*. The South African experience. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DA MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIA APROPRIADA DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1995**, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MATOS, J. L. M. **Classificação de árvores, toras e madeiras de *Eucalyptus*, em classes de qualidade e resistência, por meio de técnicas não destrutivas.** Curitiba: UFPR, 2001. (Projeto de Pesquisa, 1). Não publicado.

MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para avaliação da qualidade da madeira: In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 76-84.

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

METRIGUARD INC. Metriguard Model 239^A Stress Wave Timer. **Manual Care and instructions, theory and data reduction.** Pullman, 1997.

MORI, L.S. de O. **Variabilidade de cores em madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** Março/2003. 64p. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MOURA, M. C. O. **Variações em características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*.** 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MOURA, V. P. G. **Provenance variation of *E. camaldulensis* Dehn. In Brazil.** 1986. 304 p. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - Oxford University, Oxford.

MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE – THE FUTURE EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Australia. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 292-300.

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

OLIVEIRA, L.J.R. **Uso do pilodyn para a estimativa da densidade básica e propriedades mecânicas da madeira de eucalipto.** Setembro/2001. 62p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

PANSHIN A. J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw- Hill Book, 1970. 705 p.

PELLERIN, R.F. A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber.. **For. Prod. J.**, Madison, v.15, n.3, p.93-101, 1965.

PUEHRINGER, C.A. Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista floresta**, n.2, v.32, jul-dez/2002. p.317.

ROCHA, J. de S. **A segurança de estruturas de madeiras determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas**. 1994. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROCHA, M. G. B. **Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em duas etapas de crescimento**. 1983. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia 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: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: Avanços Científicos e Tecnológicos, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 114-124.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review**. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest products laboratory, 1991.

SASAKI, Y.; HASEGAWA, M. Effects of cyclic loading on velocities of ultrasonic waves propagating through wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 110-119, Jan. 2003.

SCHAD, K. C.; KRESTSCHMANN, D. E.; McDONALD, K. A.; ROSS, R. J.; GREEN, D. W. **Stress wave techniques for determining quality of dimensional lumber from Switch ties**. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest products laboratory, 1995. 12 p. (Research Note FPL-RN-0265).

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência anatômica e química sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 24., 1991, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABTCP, 1991. p. 23-35.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Boletim de informações técnicas**. Agosto/Outubro, 2002. Disponível em: <www.sbs.com.br>. Acesso em: 2005.

SOUZA, A. P.; DELLA LÚCIA, R. M.; RESENDE, G. C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivados na região de Dionísio, MG. *Revista árvore*, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 16-27, jan./jun. 1979.

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

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. *IPEF*, Piracicaba, v. 33, p. 65-72, ago. 1986.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; ALBINO, J. C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira em doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Curitiba, v. 14, p. 28-38, jun. 1987.

TIITTA, M.; BEALL, F. C.; BIERNACKI, J. M. Acousto-ultrasonic assessment of internal decay in Glulam beams. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 30, n. 3, p. 259-272, July 1998.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A. T.; MOURA, V. P. G.; MARTINS, I. S.; REZENDE, D. C. A. Densidade básica média em função da produtividade de penetração do pino do pilodyn e da classe diamétrica e variação axial da densidade básica em

Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 80-91, jan./mar. 1995.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PARTERNIANI, E.; VIEGAS, G. **P. Melhoramento e população de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 137-214.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

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

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: J. Wiley, 1984.

WANG, S. Y.; CHIU, C. M.; LIN, C. J. Variations in ultrasonic wave velocity and dynamic young's modulus with moisture content for Taiwanian plantation lumber. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 370-381, July 2002.

WANG, S. Y.; CHUANG, S. T. Experimental data correlation of the dynamic elastic moduli, velocity and density of solid wood as a function of moisture content above fiber saturation point. **Holzforschung**, v.54, p.309-314.