



**ADALBERTO CALDAS OLIVEIRA**

**AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA E  
QUALIDADE DA MADEIRA EM CLONES DE  
*Eucalyptus* spp.**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**ADALBERTO CALDAS OLIVEIRA**

**AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA E QUALIDADE DA MADEIRA  
EM CLONES DE *Eucalyptus* spp.**

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

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

**LAVRAS – MG**

**2008**

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

Oliveira, Adalberto Caldas.

Amostragem não destrutiva e qualidade da madeira em clones de  
*Eucalyptus* spp. / Adalberto Caldas Oliveira. – Lavras: UFLA, 2011.  
91 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Métodos de avaliação. 2. Características. 3. Propriedades. 4.  
Avaliação não destrutiva. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 674.0287

**ADALBERTO CALDAS OLIVEIRA**

**AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA E QUALIDADE DA MADEIRA  
EM CLONES DE *Eucalyptus* spp.**

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

APROVADA em 24 de setembro de 2008.

Dr. José Tarcísio Lima

UFLA

Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato

EPAMIG

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

**LAVRAS – MG**

**2008**

## RESUMO

A madeira de eucalipto tem se prestado a uma série de finalidades. Além dos usos tradicionais, como lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, há uma forte tendência em utilizá-la, também, para outros usos, como fabricação de casas, móveis e estruturas. Para se obter produto com maior valor agregado é necessário o conhecimento das propriedades tecnológicas do material genético, as quais devem estar relacionadas ao uso pretendido. As avaliações tecnológicas podem ser realizadas de forma destrutiva ou não destrutiva do material. O importante do uso das técnicas não destrutivas é a possibilidade de se fazer inúmeras determinações em um curto espaço de tempo, o que permite uma pré-classificação do material, ainda em campo, reduzindo significativamente as avaliações destrutivas no âmbito dos laboratórios. Dessa forma, reduzem-se drasticamente o tempo e o custo das avaliações nos laboratórios. Apesar das vantagens das técnicas não destrutivas de avaliação, deve-se, inicialmente, fazer uma calibração, a qual visa conhecer a sua relação com a propriedade de interesse, relacionada à melhor forma de utilização da madeira. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de aplicar diferentes métodos de avaliação destrutiva e não destrutiva da madeira, visando obter uma classificação dos clones de *Eucalyptus*, estabelecer a relação existente entre os métodos não destrutivos e os destrutivos e verificar o efeito da idade. Foram utilizados clones instalados em um teste clonal da empresa Agrotora, localizada na cidade de Andrelândia, MG. Foram selecionados 21 clones mais produtivos de um total de 64. A avaliação não destrutiva foi realizada nas idades de três e quatro anos, enquanto a destrutiva somente foi feita na idade de três anos. Na avaliação não destrutiva foram utilizados os aparelhos Resistograph<sup>®</sup>, Pilodyn<sup>®</sup>, Extensômetro e “stress wave timer”. A avaliação destrutiva objetivou determinar a densidade básica, as dimensões de fibras, a análise química e o poder calorífico superior. Os clones 58, 7026 e 4057 foram os de maior aptidão para a produção de sólidos devido à sua menor magnitude de tensões de crescimento, enquanto os clones 7025, 4195, 7023, e 7053 foram os de menor aptidão para este uso. O clone 4080, devido às suas características físicas, químicas e térmicas, foi o de maior potencial para uso energético. As principais correlações encontradas entre os ensaios não destrutivos e destrutivos foram: Pilodyn com a densidade básica da madeira (-0,7780); deformação residual longitudinal (DRL) com o comprimento da fibra da madeira (0,5937); deformação residual tangencial (DRT) e espessura da parede (-0,5304). A amplitude e as velocidades de propagação da onda de tensão não apresentaram correlação satisfatória com as propriedades da madeira. A idade não influenciou significativamente a medição da DRL e DRT, porém, a

interação clone x idade foi significativa para a amplitude e Pilodyn, indicando a existência de dependência entre os dois fatores.

Palavras-chave: Qualidade. Madeira. Eucalyptus.

## ABSTRACT

The eucalypts wood has been using to several purposes. Besides the traditional uses, as firewood, stakes, fence post, railway sleepers, charcoal, cellulose and paper, fibers and particle board, there is a strong tendency in using it, also, for another uses, as production of houses, wood furniture and structures. To obtain product with larger value attached it is necessary the knowledge of the technological properties of the genetic material, which should be related to use. The technological evaluations can be accomplished in destructive or non destructive way of the material. The important of the use of the techniques non destructive is the possibility to do countless determinations in a short time, what allows a pre-classification of the material, still in field level, reducing the destructive evaluations significantly in the laboratories. Like this, it is reduced the time and the cost of the evaluations drastically in the laboratories. In spite of the advantages of the techniques non destructive of evaluation, it is due initially to do a calibration, which seeks to know your relationship with the property of interest, related to the best form of use of the wood. The aimed of this paper was to apply different methods of evaluation destructive and non destructive of the wood, seeking to obtain a classification of the *Eucalyptus* clones, to establish the relationship between the methods non destructive and the destructive ones and to verify the effect of the age. The used clones were of a clonal test of the Agrotora Company, located in Andrelândia-MG city. Twenty one more productive clones of a total of 64 were selected. The evaluations non destructive were made in the three and four ages, while the destructive method was only accomplished in the three year-old age. For the evaluation non destructive the following equipments were used, Resistograph®, Pilodyn®, Growth Strain and Stress Wave Timer. The destructive evaluation was the basic density, dimensions of fibers, chemical analysis and to heating value. **The Clones 58, 7026 and 4057 were the most suitable for the production of solid** due to your smallest magnitude of growth stress, while the clones 7025, 4195, 7023, and 7053 were the ones of smaller aptitude for this use. The clone 4080 due your physical, chemical and thermal characteristics it has potential for energy use. The main correlations found between the destructive and destructive method were: pilodyn with the wood basic density (-0,7780); longitudinal residual strain (DRL) with the fiber length (0,5937); tangential residual strain (DRT) and wall thickness (-0,5304). The amplitude and the speeds stress wave propagation didn't present satisfactory correlation with the properties of the wood. The age didn't influenced the measurement of DRL and DRT significantly, however the interaction clone x age was significant for the amplitude and pilodyn, indicating the dependence between the two factors.

Keywords: Quality. Wood. Eucalyptus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Extensômetro utilizado para a obtenção da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) de crescimento na árvore viva.....	25
Figura 2	Temporizador de ondas de tensão em aplicação na direção radial e longitudinal na árvore (detalhes do registrador do tempo em microssegundos).....	27
Figura 3	Resistógrafo em aplicação para a obtenção de dados de resistência à penetração de broca na madeira .....	28
Figura 4	Esquema de utilização do Pilodyn na árvore viva.....	29
Figura 5	Ilustração da amostragem longitudinal na árvore e retirada de amostras para as análises.....	30



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Figura 7 Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 58 e 4057 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda.....	39
Gráfico 2	Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 7018, 7025, 7085 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda.....	40
Gráfico 3	Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 7011,7020 e 7026 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda.....	41
Gráfico 4	Distribuição da profundidade de penetração do pino do Pilodyn em torno do perímetro do tronco das árvores.....	44
Gráfico 5	Velocidade de propagação da onda de tensão e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal .....	49
Gráfico 6	Distribuição periférica da velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico para os clones 1270 e 7018.....	50
Gráfico 7	Valores médios de DB no sentido longitudinal ao tronco da árvore.....	60
Gráfico 8	Efeito da idade nas características DRT e Pilodyn.....	73
Gráfico 9	Efeito da idade na característica DRL.....	74
Gráfico 10	Efeito da idade na característica amplitude .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análises químicas na madeira.....	31
Tabela 2	Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT).....	35
Tabela 3	Valores médios, por clone, da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT).....	37
Tabela 4	Resumo da análise de variância para a profundidade de penetração do pino do “Pilodyn” e desvio da grã.....	42
Tabela 5	Valores médios para a penetração do pino do Pilodyn e desvio da grã.....	43
Tabela 6	Resumo da análise de variância para a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e o módulo de elasticidade dinâmico.....	45
Tabela 7	Valores medidos e o teste de comparação múltipla para VLONG e MOEdL.....	47
Tabela 8	Resumo da análise de variância para a velocidade de propagação da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico e amplitude..	51
Tabela 9	Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem e de posição de amostragem dentro de clone para a VTRANS.....	52
Tabela 10	Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem e de posição de amostragem dentro de clone para a MOEdT.....	54
Tabela 11	Valores médios e teste de comparação múltipla para VTRANS, MOEdT e AMPL.....	56
Tabela 12	Análise de variância para a densidade básica da madeira.....	57
Tabela 13	Valores médios da densidade básica (DB) da madeira, teste de comparação múltipla e variação longitudinal ao tronco da árvore .	58
Tabela 14	Resumo da análise de variância para as características dimensionais das fibras.....	61
Tabela 15	Resumo da análise de variância para o teor de lignina total, extrativo e poder calorífico da madeira.....	62
Tabela 16	Valores médios das características químicas, dimensão das fibras e poder calorífico da madeira e teste de comparação múltipla.....	63
Tabela 17	Correlações entre as características da madeira e os ensaios não destrutivos.....	65

Tabela 18	Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) e a profundidade de penetração do pino do Pilodyn.....	66
Tabela 19	Valores médios, por clone, da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT).....	68
Tabela 20	Valores médios para a penetração do pino do Pilodyn e o teste de comparação múltipla.....	69
Tabela 21	Resumo da análise de variância para a amplitude .....	70
Tabela 22	Valores médios de amplitude dos clones e o teste de comparação múltipla.....	71
Tabela 23	Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) e a profundidade de penetração do pino do Pilodyn nas duas idades.....	72
Tabela 24	Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para o Pilodyn.....	75
Tabela 25	Valores médios e o teste de comparação múltipla para o desdobramento do efeito de idade dentro de clone para a resistência a penetração do pino do Pilodyn .....	76
Tabela 26	Resumo da análise de variância para a amplitude .....	77
Tabela 27	Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para a amplitude .....	78
Tabela 28	Valores médios e o teste de comparação múltipla para o desdobramento do efeito de idade dentro de clone para a amplitude .....	79

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1	Amostragem não destrutiva .....	19
2.2	Qualidade da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp. ....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1	Material biológico .....	24
3.2	Métodos não destrutivos .....	24
3.2.1	Extensômetro (medidor de deformação residual longitudinal).....	24
3.2.2	Temporizador de ondas de tensão ( <i>stress wave timer</i> ) .....	25
3.2.3	Resistografia .....	27
3.2.4	Pilodyn.....	28
3.3	Características avaliadas na madeira por métodos destrutivos .....	29
3.3.1	Amostragem nas árvores .....	29
3.3.1	Análise química .....	30
3.3.2	Dimensões das fibras .....	31
3.3.3	Densidade básica da madeira .....	32
3.3.4	Poder calorífico superior da madeira .....	32
3.4	Análise estatística .....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1	Ensaio não destrutivo: três anos de idade .....	34
4.1.1	Deformações residuais longitudinais e tangenciais de crescimento .....	34
4.1.2	Profundidade de penetração do pino do Pilodyn®.....	41
4.1.3	Velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico .....	45
4.1.4	Velocidade de propagação da onda de tensão no sentido transversal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico e amplitude.....	51
4.2	Ensaio destrutivo: três anos de idade .....	57
4.2.1	Densidade básica da madeira (DB).....	57
4.2.2	Dimensões das fibras, teor de lignina e poder calorífico da madeira.....	61
4.2.3	Relação entre os ensaios não destrutivos e os destrutivos.....	63
4.3	Ensaio não destrutivo: quatro anos de idade .....	66
4.4	Efeito da idade: ensaios não destrutivos.....	71
5	CONCLUSÕES .....	81
5.1	Não destrutivo – três anos.....	81
5.2	Destrutivo – três anos.....	82
5.3	Relação entre os métodos destrutivos e não destrutivos – Três anos .....	83

<b>5.4</b>	<b>Não destrutivo – quatro anos .....</b>	<b>83</b>
<b>5.5</b>	<b>Efeito da idade .....</b>	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA E QUALIDADE DA MADEIRA EM CLONES DE *Eucalyptus* spp.

### 1 INTRODUÇÃO

Um dos objetivos de se trabalhar com uma espécie florestal de rápido crescimento é a produção de madeira em curto espaço de tempo, o que contribui com a redução de custos e melhoria da viabilidade econômica do empreendimento. Outro fator importante é a redução da pressão sobre as florestas nativas, pois, além da maior produtividade, também é possível a certificação por órgãos competentes, agregando maior valor ao produto. Dessa forma, será possível atender à crescente demanda por madeira certificada, produzidas de forma ecologicamente correta.

Plantações florestais possibilitam maior controle da qualidade da madeira na cadeia produtiva, melhorando o rendimento dos processamentos e a padronização da matéria-prima. A melhoria da qualidade da madeira de reflorestamento aumentará a sua procura e, conseqüentemente, o seu valor de mercado, trazendo maior retorno econômico aos investimentos dos projetos florestais.

O Brasil tem grande potencial para a produção de florestas de rápido crescimento, devido ao clima, ao solo, à extensão do território, às técnicas silviculturais avançadas, aos custos competitivos e à boa adaptação de espécies às características edafoclimáticas do país. Todos estes fatores contribuem para este potencial, o que se deve, principalmente à falta de políticas adequadas ao setor.

A madeira de eucalipto tem se prestado a uma série de finalidades. Além dos usos tradicionais, como lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, há uma forte tendência em

utilizá-la para a fabricação de casas, móveis e estruturas, especialmente nas regiões sudeste e sul, carentes de florestas naturais (PEREIRA et al., 2000).

Recentemente, há maior preocupação em ampliar e diversificar o uso da madeira de florestas plantadas, valorizando-a substancialmente a ponto de ser uma alternativa viável de complementação de renda aos pequenos e médios produtores, atividade antes restrita a grandes empresas para somente fins menos nobres, tais como celulose e energia.

Os resultados econômicos gerados pelas florestas plantadas e as transformações industriais da madeira têm contribuído para alterar o perfil de algumas regiões do país. Como exemplo, empresas localizadas no estado do Rio Grande do Sul, que historicamente concentra sua atividade econômica em culturas agrícolas anuais, iniciaram um amplo programa de cultivo de eucalipto, como fonte de suprimento para a fabricação de celulose e possível fortalecimento da indústria madeireira estadual. Situação similar tem ocorrido em estados como a Bahia, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Pará e Piauí. Em Minas Gerais, áreas tradicionais de pastagens, sobretudo aquelas degradadas, estão sendo utilizadas para os plantios florestais e, em casos localizados, áreas tradicionais de cultivo de café estão sendo substituídas pelo eucalipto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2006).

Para a produção florestal de maior valor agregado advindo de rápido crescimento é necessário aplicar tecnologia em toda a cadeia produtiva desde a escolha adequada do material genético adequado, técnicas silviculturais e processamento desta madeira.

A silvicultura brasileira tem se destacado na eficiência, no rendimento e na qualidade de suas atividades, contribuindo muito para a redução de custos e produtividade, aliada ao melhoramento genético, principalmente as culturas do *Eucalyptus* sp. e do *Pinus* sp. Porém, por muito tempo, a atenção recaía sobre os

materiais de melhor desempenho nas características dendrométricas, em que o interesse era a produtividade, independentemente da qualidade da madeira produzida. Atualmente, já estão sendo incorporadas as características de qualidade da madeira nos programas de seleção e melhoramento florestal. Para se conhecer melhor as características intrínsecas da madeira é necessária a amostragem na idade de corte da floresta, mas, devido ao aperfeiçoamento das pesquisas, tem se intensificado o uso de métodos de avaliação em idades cada vez mais precoces, a idade de corte.

Neste contexto, as técnicas não destrutivas têm sido cada vez mais utilizadas por vários setores industriais. É comum serem utilizadas em fábricas para estudos de classificação de tábuas que comporão as vigas laminadas coladas ou lâminas empregadas na fabricação de compensados. Até as fábricas de celulose e papel têm utilizado algumas dessas técnicas para fazer a seleção de material genético superior, em função da composição química da madeira e fazendo a predição de rendimento em celulose, sua qualidade e condições de cozimento.

A necessidade de se intensificar a avaliação de um maior número de amostras de madeira no âmbito dos laboratórios especializados é uma realidade. A caracterização dos materiais para determinada finalidade está provocando a busca por novas metodologias e equipamentos que agilizem esse trabalho e que, ao mesmo tempo, reduzam os custos operacionais ainda em condição de campo. As técnicas de avaliação não destrutiva da madeira podem contribuir de maneira significativa para a resolução desse problema. A avaliação não destrutiva compreende o uso de métodos e ensaios para a qualificação das propriedades do material, sem que haja o comprometimento de seu uso.

Qualidade pode ser definida como a combinação das características físicas, químicas, mecânicas e anatômicas de uma dada árvore ou de alguma de suas partes que possam definir a melhor forma de utilização da sua madeira. Na



definição de uso da madeira, deve-se utilizar vários ensaios, o que, em muitos casos, torna o trabalho caro, exaustivo e demorado.

A avaliação não destrutiva da madeira pode representar uma importante e interessante ferramenta para se estabelecer novas sistemáticas de amostragem para o conhecimento da variação entre indivíduos e a classificação de material em campo.

Segundo Raymond (2002), os ensaios não destrutivos têm grande utilidade para espécies nas quais a propagação vegetativa não é confiável, como, por exemplo, *Eucalyptus globulus* e *E. nitens*. Nesses casos, a amostragem destrutiva resultaria em perda de valores genéticos.

Existem vários métodos e equipamentos disponíveis para a avaliação não destrutiva da madeira. A busca por métodos e ensaios não destrutivos, que estejam relacionados com propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira, é uma realidade. Estes métodos, desde que bem ajustados, vêm constituindo importante ferramenta de avaliação para diversas propriedades e usos da madeira.

Todavia, a escolha de um dado dispositivo depende do objetivo que se deseja alcançar. Assim, no caso da avaliação da madeira para uso como material sólido, existem dispositivos, como o medidor das deformações residuais, o qual determina os níveis periféricos de tensão longitudinal de crescimento; o método das ondas de tensão (“stress wave timer”) e o ultra-som, os quais possibilitam a determinação do módulo de elasticidade dinâmico da madeira, o resistógrafo (“resistograph”), o qual permite a avaliação da sanidade do tronco das árvores, informando um valor de amplitude em uma escala de resistência a penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro. Estes aparelhos podem ser empregados visando à verificação da variabilidade do material genético e possibilitam uma classificação dos mesmos.

Nesse contexto, várias pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de se determinar a relação entre a avaliação não destrutiva e as propriedades da madeira. Trabalhos de Cardoso Júnior (2004), Matos (1997), Oliveira, A. N. (2005), Pádua (2004), Rodrigues (2007), Souza (2002) e Trugilho (2005), são exemplos da utilização de métodos não destrutivos na avaliação da madeira. Estas pesquisas têm contribuído para o avanço do conhecimento da variabilidade natural da madeira, permitindo a identificação de materiais que possuam madeira mais homogênea e de defeitos internos na madeira, o que auxilia na escolha por formas mais adequadas para a sua utilização.

O importante do uso das técnicas não destrutivas é a possibilidade de se fazer determinações em um curto espaço de tempo, o que permite também uma pré-classificação do material ainda em campo, reduzindo avaliações destrutivas em laboratórios. Dessa forma, pode-se reduzir drasticamente o custo das avaliações no laboratório com a redução do número de amostras a serem processadas.

Apesar de todas as vantagens das técnicas não destrutivas de avaliação, deve-se, inicialmente, estabelecer ou conhecer a sua relação com as propriedades de interesse da madeira para que se possa inferir com certeza sobre a sua melhor forma de utilização.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de aplicar diferentes métodos de avaliação destrutiva e não destrutiva da madeira, visando obter uma classificação de clones de *Eucalyptus*, estabelecer a relação existente entre os métodos não destrutivos e os destrutivos e verificar o efeito da idade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Bodig e Jayne (1993), a madeira apresenta grande variabilidade em suas propriedades, o que é resultado, em parte, das condições de crescimento das árvores. As propriedades físicas da madeira são influenciadas pela complexa estrutura interna, resultando em um comportamento anisotrópico. Além da variabilidade natural e anisotropia, a madeira apresenta como características a porosidade e a não homogeneidade. Panshin e Zeeuw (1964) mencionam que todas as espécies de madeira possuem variações naturais em suas características, que são provenientes de diferenças genotípicas, bem como de diferentes respostas às condições em que a árvore está se desenvolvendo. A idade é outro fator importante, pois, com o passar do tempo, o vegetal vai promovendo alterações significativas na sua constituição, o que é determinante para as variações nos seus tecidos.

Segundo Bucur (1995), o tronco da árvore consiste de camadas concêntricas que conferem uma simetria cilíndrica para a madeira, podendo ser considerada um sólido ortorrômbico com três planos perpendiculares de simetria: a direção radial, do centro da árvore até seu perímetro; a direção tangencial, tangente aos anéis de crescimento e a direção longitudinal, paralela ao eixo da árvore. Esses diferentes eixos proporcionam diferenças de comportamento na madeira, refletindo diretamente sobre as suas propriedades básicas ou fundamentais.

É importante que sejam definidas as formas de avaliação que apresentem sensibilidade suficiente para captar as variações existentes na madeira de forma confiável e que permitam uma amostragem de grande quantidade de materiais em curto espaço de tempo.

## 2.1 Amostragem não destrutiva

Atualmente, a caracterização das propriedades da madeira é feita por meio da avaliação destrutiva de corpos-de-prova, o que pode resultar na variabilidade dos resultados devido a fatores como uma amostragem inadequada ou problemas na confecção do corpo-de-prova (OLIVEIRA, A. C., 2005).

A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem, no entanto, alterar suas capacidades de uso final (ROSS et al., 1999). É possível uma caracterização eficaz da madeira por meio de métodos não destrutivos, nos quais não se faz necessária a extração de corpos-de-prova, uma vez que a avaliação é feita na própria peça ou estrutura.

Para que os métodos de amostragem não destrutiva sejam confiáveis é necessário um ajuste prévio do método e do equipamento utilizado, a fim de se obter uma maior segurança e confiabilidade nos resultados. Dessa forma, é possível prever uma dada propriedade da madeira com base na informação do ensaio não destrutivo, ou seja, por meio de ajuste de modelos estatísticos de predição para uma propriedade de interesse.

Vários pesquisadores vêm aplicando a amostragem não destrutiva, sendo eles extensômetro (CARDOSO JÚNIOR, 2004; PÁDUA, 2004; SOUZA, 2002; TRUGILHO, 2005), vibração longitudinal, vibração transversal (ABBOTT; ELCOCK, 1987; ROSS et al., 1994), ultra-som (BARTHOLOMEU; GONÇALVES; HERNÁNDEZ, 1998; BERALDO; RODRIGUES; MENDES, 2006; BUCUR, 1995; GONZÁLEZ; KARSULOVIC, 2000), ondas de tensão (BERTHOLF, 1965; CRUZ, 2000, 2006; HEARMON, 1966; KAIRSERLIK; PELLERIN, 1977; OLIVEIRA, 2005; ROSS, 1985; ROSS; PELLERIN, 1994), aquisição de imagens (BARADIT; AEDO; CORREA, 2005) e resistografia (GANTZ, 2002; HEIN, 2006; OLIVEIRA, 2005; RODRIGUES, 2007). Estes

são alguns exemplos da utilização das técnicas não destrutivas na avaliação da madeira.

Estas pesquisas têm contribuído para o avanço do conhecimento da variabilidade natural da madeira, permitindo a identificação de materiais que possuam madeira mais homogênea e/ou identificando defeitos internos na mesma, o que auxilia na escolha por formas mais adequadas para a sua utilização, além de estabelecer relações funcionais entre os ensaios não destrutivos e os de caráter destrutivo da madeira.

## **2.2 Qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp.**

O gênero *Eucalyptus* está entre os mais bem sucedidos projetos de implantação florestal nas zonas tropicais e subtropicais do globo. Este sucesso deve-se, principalmente, ao rápido crescimento, à grande diversidade e à adaptabilidade de suas espécies. Zobel e Jett (1995) relatam que a alta variabilidade do gênero *Eucalyptus*, em termos do número de materiais genéticos existentes, associada à ampla variação das características de sua madeira, permite que inúmeras aplicações tecnológicas. Entretanto, para que seja possível definir a melhor forma de utilização da madeira deve-se procurar e estabelecer índices de qualidade.

Barrichelo (1992) considera que "qualidade" é uma propriedade, atributo ou condição que distingue um determinado produto por melhor adequar ao seu uso. Para o caso da madeira, os parâmetros principais de avaliação da qualidade são: a) tecnológicos (físicos, químicos, mecânicos, anatômicos, etc.) e b) não tecnológicos (espécie, procedência, idade, ritmo de crescimento (DAP e H), forma, conicidade da árvore, etc.).

Para se determinar ou reconhecer um desses parâmetros como sendo um índice de qualidade, deve-se:

- a) identificar a importância do parâmetro;
- b) estimar a sua variabilidade;
- c) estimar as possíveis correlações com outros parâmetros da madeira e do produto final;
- d) sugerir a sua inserção dentro dos programas de melhoramento e manejo e a otimização do processo industrial ou de uso final.

Trugilho et al. (2007) destacam a necessidade da avaliação da madeira para definir a sua melhor aplicação, fornecendo produtos adequados e de qualidade que o mercado exige. Por exemplo, as indústrias celulósicas buscam melhorias nas características anatômicas, físicas e químicas da madeira (BARRICHELO; BRITO; MIGLIORINI, 1983; HILLIS, 1972). Já para fins energéticos destacam as características químicas e físicas da madeira.

Por muito tempo, a densidade básica da madeira foi o parâmetro de referência da qualidade, pois se considerava que quanto mais densa melhor seria. Esta característica foi muito importante para as indústrias de celulose e energia, as quais estão interessadas na biomassa. Entretanto, Hillis et al. (1964 citados por BARRICHELO; BRITO, 1976), sugerem cautela no uso da densidade básica da madeira como critério de qualidade para a caracterização de espécies do gênero *Eucalyptus*, em razão das diferenças anatômicas existentes entre as mesmas.

Outros parâmetros de qualidade da madeira estão sendo considerados, uma vez que a densidade básica não está muito associada a outras importantes características, como, por exemplo, propensão ao rachamento e empenamentos, dentre outros, os quais podem estar mais relacionados a outras características tais como as dimensões e a organização dos componentes anatômicos (ROCHA, 1994), a composição química e a distribuição das tensões internas ao tronco.

Identificado o índice de qualidade para uma dada finalidade deve-se procurar incentivar a sua inclusão dentro dos programas de melhoramento

genético, buscando a identificação de genótipos superiores e mais adaptados para o uso desejado. Para o sucesso do programa de melhoramento é necessário que as estimativas dos componentes da variabilidade existentes na população permitam conhecer o controle genético do caráter ou índice e o potencial da população para seleção (RAMALHO et al., 2000 citados por PÁDUA, 2004), além de conhecer as associações entre as características a serem melhoradas e as demais características da árvore (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989), visando conseguir o maior número de atributos favoráveis concentrados em um mesmo indivíduo.

Segundo Pádua (2004), dificilmente se consegue encontrar grupos de árvores ou indivíduos dotados de um número elevado de características desejadas, as quais sejam, também, favoravelmente correlacionadas. Este deve ser o grande desafio dos programas de melhoramento do gênero *Eucalyptus*, voltados à produção de madeira para a obtenção de produtos sólidos (MALAN, 1995; SANCHES-ACOSTA, 1995) e de qualquer outro tipo de uso.

Uma das tendências no melhoramento florestal é o desenvolvimento de modelos descritivos para predição e prognose da qualidade da madeira de *Eucalyptus* sp., tanto para uso na formulação de planos de suprimento como na pesquisa. Esses modelos devem ter como bases variáveis, como a densidade básica, o teor de lignina e outras que influenciam a qualidade da madeira (THIERSCH et al., 2006). O desenvolvimento de uma metodologia que propicie inferir com rapidez e precisão possibilitará ao profissional responsável pelo melhoramento florestal uma ferramenta útil e que possa diminuir a idade de avaliação, possibilitando a maior rotação na seleção de material genético, com diminuição de custo e de tempo para melhoria de determinados parâmetros de qualidade (SILVA JÚNIOR; BRAGA, 1997).

É necessário o conhecimento das relações existentes entre as características da madeira para que se possa definir com precisão índices de

qualidade para cada categoria de uso e para que se possa introduzi-los com sucesso em um programa de melhoramento florestal.

Wu (1998) destaca que a avaliação precoce possibilita maior intensidade de seleção e redução das dimensões dos testes de seleção e diminuição dos intervalos de gerações, podendo melhorar a eficiência da seleção na idade de corte.

Ferreira (1994) ressalta que a seleção precoce, sem o conhecimento adequado da influência ambiental e da origem híbrida ou não da população na densidade básica da madeira, poderá ser um mero exercício estatístico. As prováveis correlações que possam existir poderão ser mais bem exploradas em função de estudos mais profundos e mais elaborados e com a certificação adequada da procedência/raça/local/progênie/clone. Jesus et al. (1993 citados por FERREIRA, 1994), concluíram que os clones de *Eucalyptus* sp. estudados apresentaram grande variabilidade genética para todas as características avaliadas e que é possível uma verificação do desempenho dendrométrico precoce aos dois anos de idade, período já estabelecido e possível de detectar as interações genótipo e ambiente, para as idades de 1 a 7 anos.

Segundo Kollmann e Coté (1968 citados por CARDOSO JÚNIOR, 2004), as propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por diversos fatores, dos quais a idade se apresenta como um dos mais importantes. Com o aumento da idade, ocorrem presença de fibras mais longas, formação de madeira mais estável, aumento da densidade no sentido medula-casca em *Eucalyptus* e aumento da resistência mecânica, entre outros. Dentro desse contexto, citam-se os trabalhos de Barrichelo e Brito (1976), Lima, Rosado e Oliveira (1990), Malan (1995), Pettersen (1984), Rosado (1982) e Trugilho, Lima e Mendes (1996), os quais procuraram investigar o efeito da idade nos parâmetros de qualidade da madeira.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material biológico**

Foram utilizados no trabalho 21 clones de *Eucalyptus* provenientes da empresa Agrotora Reflorestamento e Pecuária Ltda., localizada no município de Andrelândia, MG. Os clones selecionados foram os que apresentaram as melhores performances silviculturais, sendo mais produtivos aos três e quatro anos de idade. Os clones estavam plantados em um teste clonal com espaçamento de 10 x 4 m, em regime agrossilvopastoril. A finalidade original da madeira dos clones foi para a produção de produtos sólidos. Foram utilizadas no estudo três árvores-amostra por clone avaliado.

#### **3.2 Métodos não destrutivos**

Os métodos de avaliação não destrutiva aplicados nos clones foram os discriminados a seguir.

##### **3.2.1 Extensômetro (medidor de deformação residual longitudinal)**

O instrumento utilizado para realizar a avaliação das tensões de crescimento foi o extensômetro, adaptado para funcionar com dois relógios simultaneamente: um para medir a deformação residual longitudinal (DRL) e outro para medir a deformação residual tangencial (DRT). As medições foram feitas na árvore em pé a 1,30 m de altura do solo (DAP), fazendo-se quatro medidas, ou seja, uma voltada para a parte de cima e outra para a parte de baixo em relação à inclinação do terreno (posição de entre a linha de plantio) e outras duas perpendiculares, ou seja, na posição de dentro da linha de plantio, consideradas como lado esquerdo e lado direito em relação à linha do declive do terreno.

As medições com o extensômetro (Figura 1) fornecem dados digitais de deformação residual longitudinal (DRL) e deformação residual tangencial (DRT), as quais são indicadoras das tensões longitudinal e tangencial de crescimento.



Figura 1 Extensômetro utilizado para a obtenção da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) de crescimento na árvore viva

### 3.2.2 Temporizador de ondas de tensão (*stress wave timer*)

Nos mesmos locais e direções de avaliação da DRL e DRT, o temporizador de ondas de tensão (“*stress wave timer*”), mostrado na Figura 2, foi utilizado para se obter o tempo de propagação das ondas de tensão ( $V$ ), o qual, após a obtenção da densidade básica (ensaio destrutivo), foi convertido em módulo de elasticidade dinâmico ( $MOE_d$ ) por meio da equação (1). Foram feitas cinco leituras no sentido diametral e cinco no sentido longitudinal em relação ao tronco das árvores na posição de entre e dentro das linhas de plantio na altura do DAP. A leitura no sentido radial varia de acordo com o diâmetro das árvores amostradas, enquanto a leitura no sentido longitudinal foi realizada considerando-se uma distância constante entre os transdutores de 38 cm. Todas

as leituras foram feitas após a remoção completa da casca (Figura 2). Este método foi aplicado somente nos clones com três anos de idade.

$$\text{MOE}_d = \frac{1}{g} * V^2 * \text{DB} \quad (1)$$

em que  $\text{MOE}_d$  é o módulo de elasticidade dinâmico ( $\text{kgf/cm}^2$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $908,4 \text{ cm/s}^2$ ),  $V$  é a velocidade de ondas de tensão ( $\text{cm/s}$ ) e  $\text{DB}$  é a densidade básica da madeira ( $\text{kg/cm}^3$ ).



Figura 2 Temporizador de ondas de tensão em aplicação na direção radial e longitudinal na árvore (detalhes do registrador do tempo em microssegundos)

### 3.2.3 Resistografia

O aparelho usado para avaliar a resistografia na madeira foi o resistógrafo (“resistograph”), o qual é mostrado na Figura 3. As medições foram feitas nos mesmos locais e direções de avaliação da DRL, DRT e do temporizador de ondas de tensão (“stress wave timer”), ou seja, nas posições de entre e dentro da linha de plantio. Os dados gerados pelo aparelho são impressos em uma escala relativa de resistência à penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro (amplitude), a qual varia de 0% a 100%. Por meio desses dados pode-se inferir sobre a densidade, a sanidade (ataque de brocas e cupins) e as propriedades mecânicas da madeira.



Figura 3 Resistógrafo em aplicação para a obtenção de dados de resistência à penetração de broca na madeira

### 3.2.4 Pilodyn

As medições realizadas com o Pilodyn (resistência à penetração do pino do Pilodyn) foram nas mesmas posições de amostragem dos equipamentos descritos anteriormente. As medidas também foram tomadas em torno da circunferência do tronco das árvores vivas, ou seja, duas opostas dentro da linha (superior e inferior em relação ao declive do terreno) e duas perpendiculares, na entrelinha de plantio. Na Figura 4 observa-se o esquema de utilização do aparelho. O procedimento adotado foi conforme Oliveira (2001).

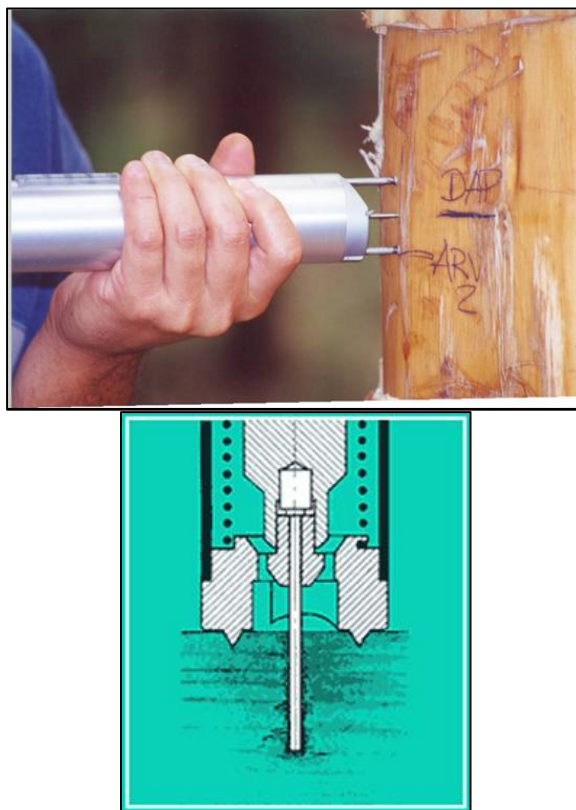


Figura 4 Esquema de utilização do Pilodyn na árvore viva  
Fonte: Boracol (2011)

### 3.3 Características avaliadas na madeira por métodos destrutivos

Foram determinadas as características na madeira somente para a idade de três anos.

#### 3.3.1 Amostragem nas árvores

Adotou-se como amostragem longitudinal nas árvores a retirada de três toretes de 1 m de comprimento nas posições relativas ao DAP (1,3 m de altura do solo), 50% e 100% da altura comercial do tronco considerada até um

diâmetro mínimo de 5 cm. Na Figura 5 ilustra-se a forma de retirada dos toretes nas árvores. De cada torete foram retirados discos em cada extremidade, os quais foram subdivididos em quatro cunhas passando pela medula. Duas cunhas opostas foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira e as outras duas cunhas opostas para a análise química e das dimensões das fibras da madeira.

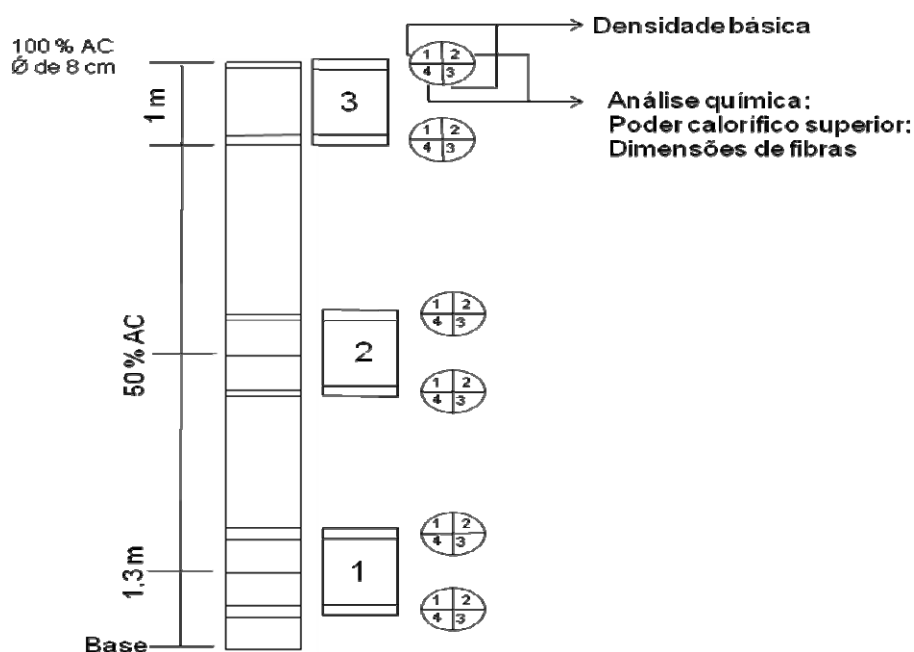


Figura 5 Ilustração da amostragem longitudinal na árvore e retirada de amostras para as análises

### 3.3.1 Análise química

A composição química da madeira foi determinada em serragem produzida em moinho Willey, a partir dos cavacos, conforme a norma TAPPI T 257 om-ano 92. As análises foram efetuadas na fração de serragem que passou

pela peneira com malha de 40 mesh e que ficou retida na peneira de malha de 60 mesh (ASTM). Após classificação, a serragem foi acondicionada em ambiente climatizado e, em seguida, armazenada em frasco hermeticamente fechado. A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma TAPPI 264 om-88.

Na Tabela 1 estão apresentadas as análises químicas realizadas e as respectivas normas utilizadas.

**Tabela 1 Análises químicas na madeira**

Característica	Metodologia
Extrativos	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP (1974)
Lignina insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Lignina solúvel	Godschmid (1971)

### **3.3.2 Dimensões das fibras**

A preparação do macerado para a análise das fibras, visando à determinação das suas dimensões, foi feita de acordo com o método utilizado por Ramalho (1987), também conhecido como método do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Utiliza como solução macerante água oxigenada 30% e ácido acético glacial, na proporção 1:1. A seguir foram montadas lâminas temporárias para a visualização microscópica das fibras.

Foram mensuradas 50 fibras por árvore-amostra e por clone. As mensurações foram realizadas por meio do microscópio óptico Olympus BX 41, acoplado ao sistema de análise de imagem Win Cell. As imagens foram coletadas com o auxílio de uma câmera de captura digital para o microcomputador, no qual foram realizadas as medições.



### **3.3.3 Densidade básica da madeira**

A densidade básica da madeira foi determinada conforme a norma NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997), sendo considerada como a média aritmética das três posições longitudinais de amostragem.

### **3.3.4 Poder calorífico superior da madeira**

O poder calorífico superior da madeira foi avaliado de acordo com a Norma NBR 8633 (ABNT, 1983).

## **3.4 Análise estatística**

Na avaliação do experimento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições (árvores-amostra). Para as características deformação residual longitudinal e tangencial, desvio da grã, penetração do pino do Pilodyn, velocidade de propagação da onda de tensão (sentido longitudinal ao tronco da árvore) e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico foi adotado o esquema fatorial com dois fatores, sendo o efeito de clone (21) e a posição de amostragem na circunferência do tronco (4). As posições de amostragem na circunferência do tronco foram consideradas como superior (voltada para a parte de cima do declive do terreno), inferior (voltada para a parte de baixo do declive do terreno), esquerda e direita, considerando o sentido do declive do terreno. As faces do tronco na direção superior para a inferior estão no sentido de entre a linha, e a esquerda para a direita estão no sentido de dentro da linha de plantio.

Para as características amplitude (Resistograph®), velocidade de propagação da onda de tensão (sentido transversal ao tronco da árvore) e

estimativa de módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal ao tronco foi considerado o esquema fatorial com dois fatores, sendo o efeito de clone (21) e a posição de amostragem na circunferência do tronco (2), em que se levou em consideração o sentido entre e dentro da linha de plantio. Para densidade básica, análise química e poder calorífico da madeira, avaliou-se somente o efeito de clone.

Para todos os ensaios utilizados, não destrutivos e destrutivos, foram consideradas as árvores-amostra como sendo repetições.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para facilitar o entendimento do trabalho a discussão dos resultados foi subdividida em relação à avaliação não destrutiva, referente às idades de três e quatro anos, destrutiva, do material aos três anos de idade e influência da idade.

### **4.1 Ensaio não destrutivo: três anos de idade**

#### **4.1.1 Deformações residuais longitudinais e tangenciais de crescimento**

Na Tabela 2 apresenta-se o resumo da análise de variância para as características deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT). Pode-se verificar que o efeito de clone foi significativo, enquanto a posição de amostragem na circunferência do tronco das árvores e a interação clone x posição foram não significativas. A interação não significativa indica a não existência de dependência entre os dois fatores. Observa-se que os coeficientes de variação experimental foram elevados para as duas características avaliadas. Esse resultado destaca a grande diversidade existente entre os materiais genéticos. Trugilho et al. (2006) também observaram elevados coeficientes de variação associados a DRL e DRT em clones de *Eucalyptus*.

Tabela 2 Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT)

FV	GL	Quadrado médio	
		DRL ( $\mu\text{m}$ )	DRT ( $\mu\text{m}$ )
Clone (C)	20	4147,8968 **	414,3909 **
Posição (P)	3	1242,5714 ns	221,9193 ns
C x P	60	1028,5381 ns	168,1554 ns
Resíduo	168	997,4722	153,2341
Total	251		
Média		90	18
CV (%)		34,96	69,77

CV = coeficiente de variação

\*\* e ns = significativo em a 1% de probabilidade e não significativo

Os resultados de DRL e DRT não permitiram uma definição segura de qual é a direção predominante de ocorrência do maior nível tensão de crescimento em relação aos pontos de amostragem em torno do tronco das árvores, ou seja, parte superior (face voltada para a parte de cima do declive do terreno), inferior (face voltada para a parte de baixo do declive do terreno) e direita e esquerda (posições de entre a linha de plantio). As maiores e as menores magnitudes ocorreram de forma diferenciada dentro dos clones avaliados. Maior magnitude pode ser indicativo de ocorrência da madeira de reação em dada direção de amostragem. Este fato pode estar associado à forma como foi realizado o plantio das árvores, ou seja, seguindo as curvas de nível de terreno. Entretanto, de modo geral (Tabela 3), verificou-se que a DRL apresentou valor de maior magnitude na parte superior, porém, não significativo. Gomes (2007), trabalhando com clones de eucaliptos aos três anos de idade, encontrou maiores magnitudes de DRL no lado voltado para a parte de cima do declive do terreno.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) por clone, posição de amostragem superior (Sup), direita (Dire), inferior (Infer) e esquerda (Esq), além das médias

por posição de entre e dentro das linhas de plantio, o valor médio geral e o teste de comparação múltipla realizado. Pela Tabela 3 verifica-se que o clone 4057 foi o que apresentou o menor valor médio geral de DRL (55  $\mu\text{m}$ ) e DRT (11  $\mu\text{m}$ ). O clone 7026 foi o que apresentou o segundo menor valor de DRL (59  $\mu\text{m}$ ). Estes clones, por terem apresentado menores valores de DRL, devem possuir menores níveis de tensões de crescimento, tendo grande potencial para uso como sólidos. Os clones 7025, 4195, 7023 e 7053 foram os que apresentaram os maiores valores de DRL média, apresentando elevado nível de tensão longitudinal de crescimento e, possivelmente, não são aptos à utilização como sólidos. Os valores de DRL e DRT estão de acordo com Gomes (2007), Lima et al. (2004) e Pádua (2004).

Tabela 3 Valores médios, por clone, da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT)

CLONE	DRL ( $\mu\text{m}$ )							DRT ( $\mu\text{m}$ )						
	Sup	Dire	Infer	Esq	Média			Sup	Dire	Infer	Esq	Média		
					Entre	Dentro	Geral					Entre	Dentro	Geral
44	123	107	77	128	100	117	109 a	13	35	9	7	11	21	16 b
58	66	77	67	81	66	79	72 b	20	25	19	10	20	18	19 b
1000	62	52	87	73	75	63	69 b	17	12	11	17	14	14	14 b
1270	58	57	78	72	68	64	66 b	12	25	9	15	10	20	15 b
4057	34	58	60	69	47	64	55 b	12	11	9	12	10	11	11 b
4080	107	97	88	74	98	86	92 a	12	21	16	3	14	12	13 b
4195	119	75	127	130	123	103	113 a	25	10	16	15	21	13	17 b
7003	91	132	99	67	95	100	97 a	40	31	36	36	38	34	36 a
7005	106	85	99	89	103	87	95 a	13	26	16	32	15	29	22 b
7007	111	83	93	84	102	84	93 a	13	22	10	4	11	13	12 b
7011	92	79	64	79	78	79	79 b	15	10	15	33	15	22	18 b
7018	112	92	84	77	98	85	91 a	25	16	10	20	18	18	18 b
7020	76	61	75	73	76	67	71 b	27	11	20	20	24	16	20 b
7023	111	90	81	163	96	127	111 a	55	23	18	25	37	24	30 a
7025	120	104	105	134	112	119	116 a	13	13	14	19	14	16	15 b
7026	78	49	61	49	70	49	59 b	9	19	18	12	14	16	15 b
7051	98	99	117	104	108	102	105 a	13	23	6	18	9	21	15 b
7053	165	101	79	99	122	100	111 a	12	7	5	24	8	15	12 b
7081	84	108	117	102	101	105	103 a	20	22	16	21	18	22	20 b
7085	97	84	103	92	100	88	94 a	21	15	20	21	21	18	19 b
8B	77	103	85	123	81	113	97 a	20	17	25	10	23	14	18 b
Média	95 A	85 A	88 A	93 A	91	89	90	19 A	19 A	15 A	18 A	17	18	18

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a 5% de probabilidade

Pelos dados da Tabela 3 pode-se verificar, pela média geral, que as características DRL e DRT possibilitaram uma classificação dos clones em dois grupos. Para a DRL foi possível obter um grupo de baixa magnitude formado por um total de 7 clones e outro de mais elevada magnitude, com 14 clones. Na DRT, apesar de ter proporcionado a classificação em dois grupos, estes se apresentaram com maiores magnitudes de variações dentro de grupo, em especial o segundo, ou seja, o de menor magnitude. É importante ressaltar que DRL e DRT são fatores diretamente associados às tensões de crescimento e são determinantes para aplicações da madeira como sólido, sendo melhores aqueles materiais que apresentaram menores magnitudes e maior uniformidade em torno do perímetro do tronco. Os valores médios de DRL e DRT foram de 90 e 18  $\mu\text{m}$ , respectivamente. De modo geral, a DRT apresentou menos uniformidade e magnitude nas posições de amostragem em torno do perímetro do tronco das árvores.

No Gráfico 1 observa-se o comportamento de alguns dos clones em relação à posição de amostragem em torno do perímetro do tronco da árvore, ou seja, parte superior (face voltada para a parte de cima do declive do terreno), inferior (face voltada para a parte de baixo do declive do terreno), direita e esquerda (posições de entre a linha de plantio). Verifica-se que o clone 58 apresentou uniformidade nos níveis de tensão longitudinal de crescimento (DRL) em relação aos pontos amostrados no perímetro do tronco das árvores, entretanto, o mesmo não ocorreu com a sua deformação residual tangencial (DRT). O clone 4057, além das menores magnitudes médias de DRL e DRT, apresentou um bom equilíbrio nos níveis dessas tensões de crescimento.

Os clones 7005, 7007, 7018, 7025, 7051 e 7085 apresentaram elevados valores de tensão de crescimento longitudinal (DRL), porém, esta foi bem uniforme em relação aos pontos amostrados no perímetro do tronco das árvores.

No Gráfico 2 ilustra-se este comportamento da DRL e DRT nas posições de amostragem para os clones 7018, 7025 e 7085.

Os clones 7011, 7020 e 7026 apresentaram magnitudes intermediárias de DRL e mais uniformidade em relação à amostragem em torno do perímetro do tronco das árvores (Gráfico 3).

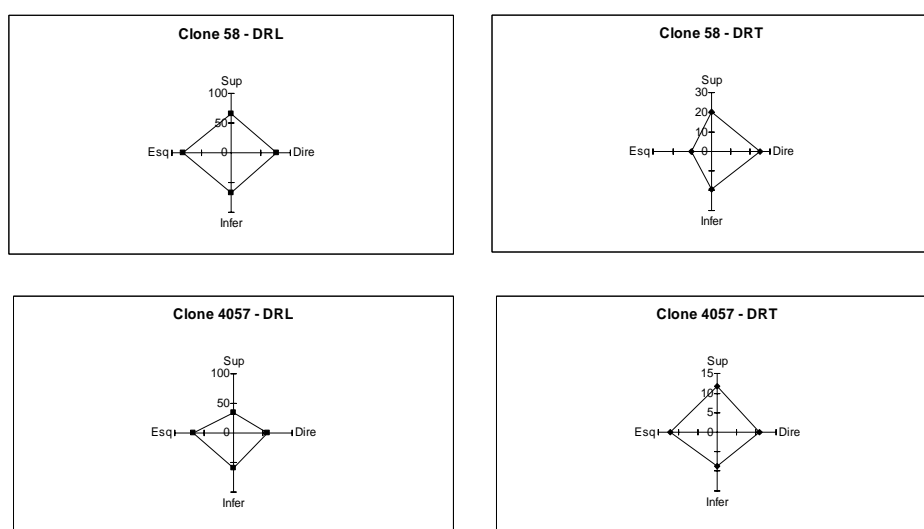


Gráfico 1 Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 58 e 4057 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda



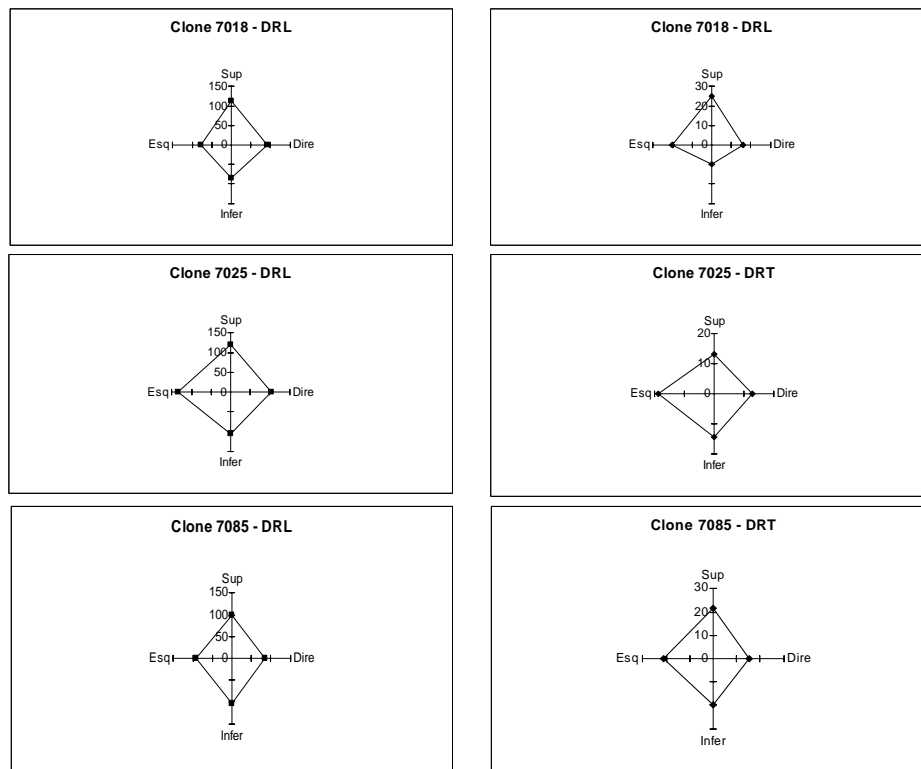


Gráfico 2 Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 7018, 7025, 7085  
 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda

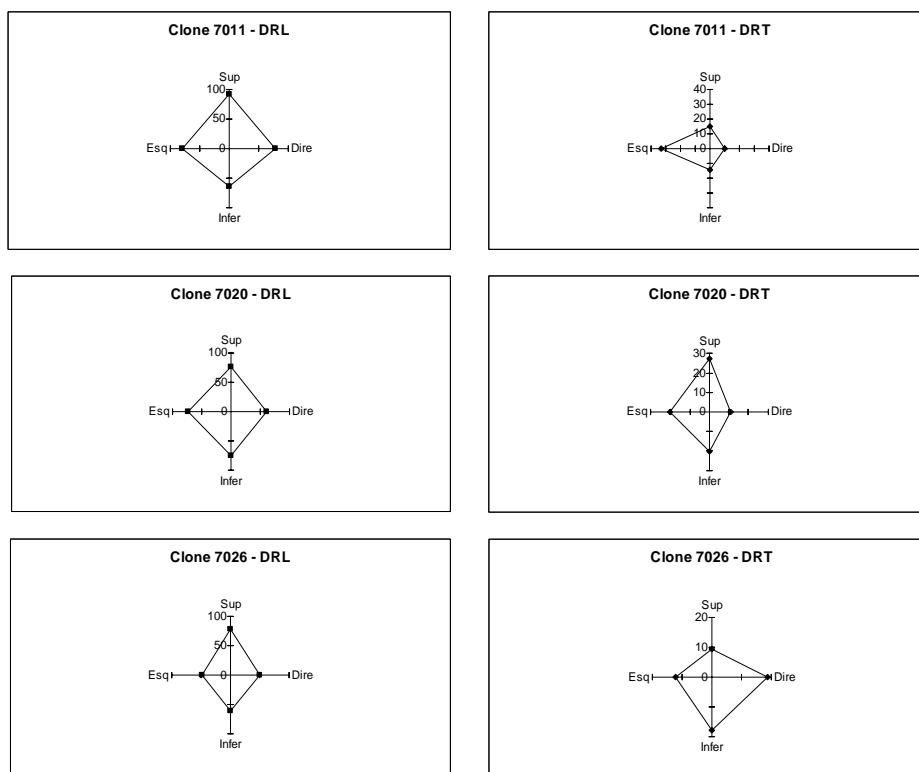


Gráfico 3 Distribuição periférica da DRL e DRT nos clones 7011,7020 e 7026  
 SUP = superior; DIRE = direita; INFER = inferior; ESQ = esquerda

#### 4.1.2 Profundidade de penetração do pino do Pilodyn®

Na Tabela 4 apresenta-se o resumo da análise de variância para profundidade de penetração do pino do Pilodyn. Pela análise de variância observa-se que somente o efeito de clone foi significativo. Verifica-se também que o coeficiente de variação experimental foi baixo para a profundidade de penetração do pino do Pilodyn.

Tabela 4 Resumo da análise de variância para a profundidade de penetração do pino do “Pilodyn” e desvio da grã

FV	GL	Quadrado médio
		Pilodyn (mm)
Clone (C)	20	27,9040 **
Posição (P)	3	1,6548 ns
C x P	60	0,6881 ns
Resíduo	168	1,3135
Total	251	
Média		15,0
CV (%)		7,64

CV = coeficiente de variação

\*\*, \* e ns = significativo, a 1% e a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente

Na Tabela 5 apresentam-se médias de resistência à penetração do pino do Pilodyn, além do teste de comparação múltipla realizado. Os valores de resistência à penetração do pino do Pilodyn variaram, na média, de 12,3 mm (clones 4195 e 7053) a 17,5 mm (clone 7081), com valor médio de 15,0 mm. Estes valores estão de acordo os obtidos por Gomes (2007), que trabalhou com seis clones de *Eucalyptus*, aos três anos de idade.

Tabela 5 Valores médios para a penetração do pino do Pilodyn e desvio da grã

CLONE	Pilodyn (mm)						
	Sup	Dire	Infer	Esq	Média		
					Entre	Dentro	Geral
44	15,3	15,3	16,3	16,1	15,8	15,7	15,7 b
58	15,3	15,6	16,3	15,5	15,8	15,6	15,7 b
1000	15,1	15,0	15,4	15,7	15,3	15,4	15,3 b
1270	15,8	16,2	15,8	15,9	15,8	16,1	15,9 b
4057	16,8	17,2	17,3	17,7	17,0	17,5	17,2 a
4080	12,8	12,6	13,0	12,7	12,9	12,6	12,8 d
4195	12,0	12,2	12,4	12,6	12,2	12,4	12,3 d
7003	17,5	17,2	16,8	16,4	17,2	16,8	17,0 a
7005	15,3	15,5	15,8	16,5	15,6	16,0	15,8 b
7007	13,3	12,4	13,1	12,7	13,2	12,5	12,9 d
7011	16,1	15,8	16,1	16,6	16,1	16,2	16,2 b
7018	14,7	15,0	15,1	15,0	14,9	15,0	15,0 c
7020	14,5	15,6	15,1	14,1	14,8	14,9	14,8 c
7023	14,5	14,6	14,0	14,1	14,2	14,4	14,3 c
7025	13,4	14,3	14,4	14,5	13,9	14,4	14,2 c
7026	14,1	14,3	15,4	14,8	14,8	14,6	14,7 c
7051	14,2	15,6	14,5	14,0	14,4	14,8	14,6 c
7053	11,8	13,3	12,1	12,0	12,0	12,6	12,3 d
7081	16,9	17,9	17,5	17,6	17,2	17,8	17,5 a
7085	16,7	16,4	16,9	16,8	16,8	16,6	16,7 a
8B	14,6	14,2	14,0	14,8	14,3	14,5	14,4 c
Média	14,8 A	15,1 A	15,1 A	15,1 A	14,9	15,1	15,0

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente, pelos testes de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a 5% de probabilidade

O teste de comparação múltipla classificou os clones em quatro e grupos distintos. Apesar da formação de quatro grupos, o Pilodyn não apontou grandes magnitudes de variação entre os clones avaliados. Este fato pode estar associado à forma de sua determinação, a qual se restringe somente à última camada de crescimento no tronco.

Pelos dados Tabela 5 observa-se que os clones 7081 (17,5 mm), 4057 (17,2 mm) e 7003 (17,0 mm) foram os que apresentaram os maiores valores de penetração do pino do Pilodyn, enquanto os clones 4195 (12,3 mm), 7053 (12,3

mm) e 4080 (12,8 mm) foram os que apresentaram as menores magnitudes. Na Gráfico 4 ilustra-se o comportamento de alguns clones quanto à penetração do pino do Pilodyn na madeira em relação à amostragem em torno do perímetro do tronco das árvores. Verifica-se que existem diferenças de magnitudes em relação à posição de amostragem considerada e material genético.

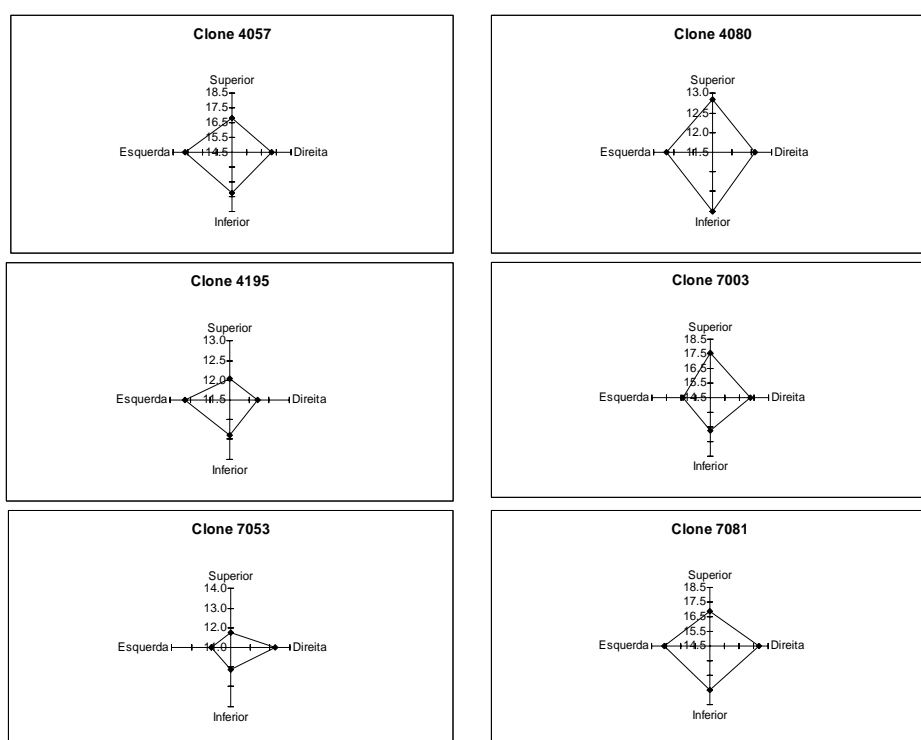


Gráfico 4 Distribuição da profundidade de penetração do pino do Pilodyn em torno do perímetro do tronco das árvores

#### 4.1.3 Velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico

Na Tabela 6 apresenta-se o resumo da análise de variância para a velocidade de propagação da onda de tensão (VLONG) e do módulo de elasticidade dinâmico (MOEdL). Observa-se que os efeitos de clone e posição de amostragem na circunferência do tronco da árvore foram significativos, enquanto o efeito da interação não foi significativo tanto para VLONG como MOEdL. Verifica-se que os coeficientes de variação experimental foram de baixa magnitude para as duas características avaliadas. Deve ser ressaltado que quanto maior for a velocidade de propagação da onda de tensão maior será a estimativa do módulo de elasticidade dinâmico e, conseqüentemente, maior a resistência mecânica da madeira.

Tabela 6 Resumo da análise de variância para a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e o módulo de elasticidade dinâmico

FV	GL	Quadrado médio	
		VLONG (cm/s)	MOEdL (kgf/cm <sup>2</sup> )
Clone (C)	20	317011305,9873 **	5120328,2540 **
Posição (P)	3	218751298,4868 **	1514860,2897 **
C x P	60	54810290,5312 ns	380955,4286 ns
Resíduo	168	56148792,2421	387652,1032
Total	251		
Média		92659,3	4151,0
CV (%)		8,09	15,00

CV = coeficiente de variação

\*\* e ns = significativo, a 1% de probabilidade e não significativo

Na Tabela 7 apresentam-se os valores médios para a velocidade de propagação da onda de tensão nos sentidos longitudinal do tronco das árvores, do módulo de elasticidade dinâmico e o teste de comparação múltipla realizado. Observa-se que os clones que apresentaram as maiores velocidades de

propagação da onda de tensão no sentido longitudinal foram 4080 (100.610 cm/s), 7007 (100.132 cm/s) e 8B (100.710 cm/s), enquanto os clones 4080 (5.530 kgf/cm<sup>2</sup>), 4195 (5.189 kgf/cm<sup>2</sup>) e 8B (5.056 kgf/cm<sup>2</sup>) obtiveram os maiores valores de módulo de elasticidade dinâmico. O clone 7007, apesar de apresentar elevada velocidade de propagação da onda de tensão, não foi classificado como de elevado módulo de elasticidade dinâmico. Este fato está relacionado à menor densidade básica de sua madeira. O clone 7003 (84.662 cm/s e 3.004 kgf/cm<sup>2</sup>) apresentou a menor velocidade de propagação da onda de tensão e estimativa de módulo de elasticidade dinâmico.

É esperado que clones que apresentem maiores velocidades de propagação da onda de tensão tendam a possuir maior módulo de elasticidade dinâmico, porém, para pequenas diferenças de velocidade entre os materiais, o módulo passa a ser muito mais influenciado pela densidade básica da madeira. Foi o que ocorreu, por exemplo, com os clones 7007 e 4195.

Tabela 7 Valores medidos e o teste de comparação múltipla para VLONG e MOEdL.

CLONE	Velocidade da onda de tensão – sentido longitudinal (cm/s)					Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )								
	Sup	Dire	Infer	Esq	Média			Sup	Dire	Infer	Esq	Média		
					Entre	Dentro	Geral					Entre	Dentro	Geral
44	89852	91510	99706	93449	94779	92479b	93629 b	3916	4060	4847	4235	4381	4148	4265 c
58	85009	90288	87039	92837	86024	91563	88793 c	3315	3738	3474	3949	3395	3844	3619 d
1000	71844	91588	93901	71235	82873	81412	82142 d	2975	4183	4438	2840	3706	3511	3609 d
1270	84017	94977	90191	94303	87104	94640	90872 c	3348	4280	3862	4261	3605	4270	3938 c
4057	87291	89573	89723	85490	88507	87531	88019 c	3295	3466	3491	3151	3393	3308	3351 d
4080	101802	96284	103906	100449	102854	98366	100610 a	5653	5057	5905	5505	5779	5281	5530 a
4195	92647	106882	96324	100040	94485	103461	98973 a	4531	6042	4898	5284	4715	5663	5189 a
7003	83697	86403	84853	83694	84275	85048	84662 d	2956	3122	3012	2926	2984	3024	3004 d
7005	87268	87846	89078	95635	88173	91740	89957 c	3602	3642	3717	4285	3660	3964	3812 d
7007	101401	101364	99195	98567	100298	99966	100132 a	5009	5006	4801	4738	4905	4872	4889 b
7011	81690	86055	90086	96713	85888	91384	88636 c	3054	3362	3696	4271	3375	3816	3596 d
7018	97466	97842	95137	93071	96301	95457	95879 b	4257	4294	4056	3901	4156	4098	4127 c
7020	89111	101490	92907	94264	91009	97877	94443 b	3565	4643	3874	4007	3719	4325	4022 c
7023	94326	96106	89388	94156	91857	95131	93494 b	4706	4887	4225	4690	4465	4788	4627 b
7025	91452	97031	91737	90836	91595	93933	92764 b	3974	4457	4018	3978	3996	4217	4107 c
7026	90797	95926	94593	97776	92695	96851	94773 b	3908	4360	4243	4528	4075	4444	4260 c
7051	93035	89123	90272	92046	91653	90584	91119 c	4433	4093	4179	4348	4306	4220	4263 c
7053	91452	103271	97078	97078	94265	100175	97220 a	4174	5290	4669	4660	4421	4975	4698 b
7081	89367	88825	85831	88223	87599	88524	88062 c	3642	3583	3346	3536	3494	3559	3527 d
7085	87542	87230	91302	97752	89422	92491	90957 c	3402	3377	3701	4257	3552	3817	3684 d
8B	98261	98724	100355	105502	99308	102113	100710 a	4792	4885	5024	5523	4908	5204	5056 a
Média	89968 b	94207 a	92981 ab	93482 a	91474	93844	92659	3929 b	4277 a	4166 ab	4232 a	4047	4255	4151

POS = posição de amostragem em torno do tronco da árvore, onde Sup = superior; Dire = direita; Infer = inferior; Esq = esquerda. Médias de clones e posição de amostragem seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem, respectivamente, pelos testes de Scott-Knott e Tukey, a 5% de probabilidade



O teste de comparação múltipla classificou os clones em três e quatro grupos, respectivamente, para a velocidade de propagação da onda de tensão e estimativa de módulo de elasticidade dinâmico. Observa-se que os grupos formados pelos clones de maior velocidade de propagação da onda de tensão não foram os mesmos da estimativa de módulo de elasticidade dinâmico. Este efeito está associado à influência da densidade básica da madeira na estimativa do módulo de elasticidade dinâmico.

Pela Tabela 7 pode-se observar que a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e a estimativa do módulo de elasticidade dinâmico, na média, foram de menores magnitudes na posição superior (Sup) em relação ao declive do terreno. A posição inferior (Infer) foi de magnitude intermediária, enquanto as posições direita (Dire) e esquerda (Esq) apresentaram as maiores magnitudes médias. Estas últimas posições caracterizam-se como de dentro da linha de plantio. No Gráfico 5 observa-se este comportamento.

O comportamento dos clones nos sentidos considerados de amostragem em torno do tronco das árvores foi diferenciado para as duas características consideradas (Gráfico 5). Verifica-se que o comportamento dos clones foi semelhante ao observado para a velocidade de propagação da onda de tensão, sentido longitudinal do tronco da árvore.

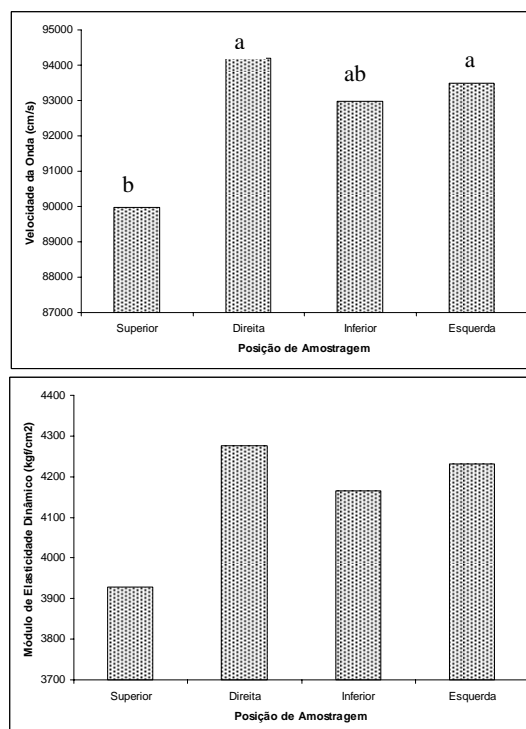


Gráfico 5 Velocidade de propagação da onda de tensão e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal

Observa-se, ainda, que, para alguns clones, os valores de velocidade de propagação da onda de tensão e estimativas de módulo de elasticidade dinâmico tenderam a ficarem mais uniformes nas posições de amostragem em torno do perímetro do tronco das árvores. Exemplo típico desse fato pode ser observado no clone 1270 e o caso inverso apresentado pelo clone 7018, ilustrados no Gráfico 6.

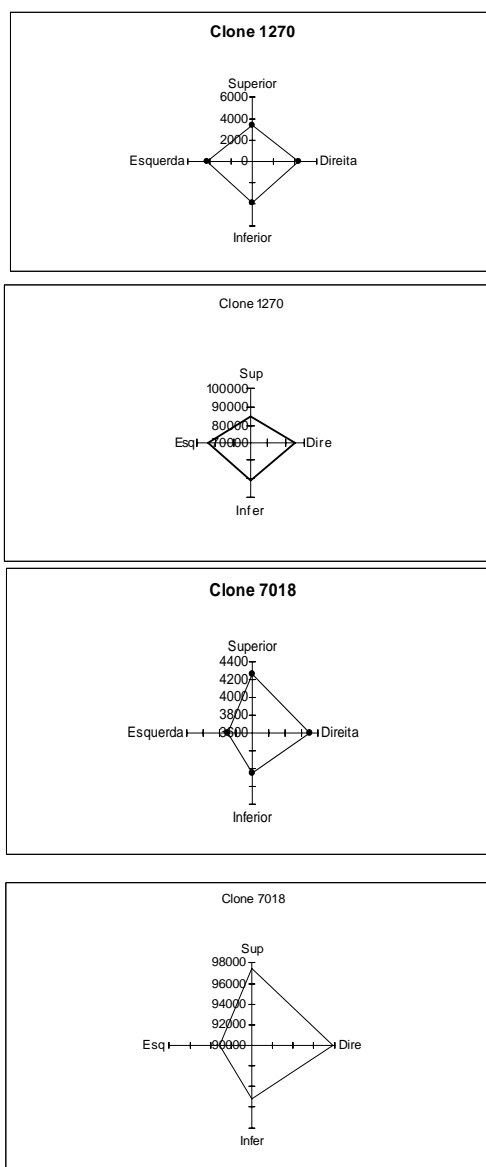


Gráfico 6 Distribuição periférica da velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico para os clones 1270 e 7018

#### 4.1.4 Velocidade de propagação da onda de tensão no sentido transversal e estimativa do módulo de elasticidade dinâmico e amplitude

Na Tabela 8 apresenta-se o resumo da análise de variância para as características velocidade de propagação da onda de tensão no sentido transversal ao tronco das árvores (VTRANS), estimativa do módulo de elasticidade dinâmico (MOEdT) e amplitude (AMPL), além dos coeficientes de variação experimental. Observa-se que o efeito de clone foi significativo para as três características avaliadas e que o efeito da interação clone x posição de amostragem no tronco das árvores foi significativo para VTRANS e MOEdT. O efeito de posição de amostragem foi não significativo. A interação significativa indica que existe dependência entre os fatores e, dessa forma, foi realizado o seu desdobramento e avaliado o efeito de clone dentro de posição de amostragem e vice versa.

Tabela 8 Resumo da análise de variância para a velocidade de propagação da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico e amplitude

FV	GL	Quadrado médio		
		VTRANS (cm/s)	MOEdT (kgf/cm <sup>2</sup> )	AMPL (%)
Clone (C)	20	484956073,1190 **	9921304.9857 **	78,9437 **
Posição (P)	1	227453207,1429 ns	2821516,0714 ns	47,4475 ns
C x P	20	267243348,8762 **	3067690,5714 **	16,0742 ns
Resíduo	84	98480053,7222	1210284,0714	19,8061
Total	125			
Média		116705,38	6619,1	22,95
CV (%)		8,50	16,26	19,39

CV = coeficiente de variação

Na Tabela 9 apresenta-se o resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de clone dentro da posição de amostragem e avaliação do efeito de posição de amostragem dentro de clone para VTRANS. Observa-se, para a avaliação do efeito de clone dentro de posição da amostragem, que existe diferença entre os clones tanto na posição

entre como dentro da linha de plantio. O desdobramento e a avaliação do efeito de posição de amostragem dentro de clone permitiram verificar que a grande maioria dos clones não sofreu influência da posição de amostragem, exceto para os clones 44, 1000 e 7051. Estes clones não podem ser avaliados de forma isolada na posição de entre ou dentro da linha de plantio.

Tabela 9 Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem e de posição de amostragem dentro de clone para a VTRANS

Desdobramento e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem				
FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
CLONE/Entre	20	240757918,6857	2,445	0,0024
CLONE/Dentro	20	511441503,3095	5,193	0,0000
Resíduo	84	98480053,7222		

Desdobramento e avaliação do efeito de posição de amostragem dentro de clone				
POSICÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
POSICÃO/8B	1	96208112,6667	0,977	0,3258
POSICÃO/44	1	1635282490,0000	16,605	0,0001
POSICÃO/58	1	388332150,0000	3,943	0,0503
POSICÃO/1000	1	735535104,0000	7,469	0,0077
POSICÃO/1270	1	206037600,0000	2,092	0,1518
POSICÃO/4057	1	46682282,6667	0,474	0,4930
POSICÃO/4080	1	13356384,0000	0,136	0,7136
POSICÃO/4195	1	24684816,6667	0,251	0,6179
POSICÃO/7003	1	44963437,5000	0,457	0,5011
POSICÃO/7005	1	596644704,0000	6,059	0,0159
POSICÃO/7007	1	97308428,1667	0,988	0,3231
POSICÃO/7011	1	218467004,1667	2,218	0,1401
POSICÃO/7018	1	63980941,5000	0,650	0,4225
POSICÃO/7020	1	56389872,6667	0,573	0,4513
POSICÃO/7023	1	5774166,0000	0,059	0,8093
POSICÃO/7025	1	82599440,6667	0,839	0,3624
POSICÃO/7026	1	361305600,0000	3,669	0,0588
POSICÃO/7051	1	562737241,5000	5,714	0,0191
POSICÃO/7053	1	24688873,5000	0,251	0,6179
POSICÃO/7081	1	311083201,5000	3,159	0,0791
POSICÃO/7085	1	258337,5000	0,003	0,9593
Resíduo	84	98480053,7222		

Para o MOEdT (Tabela 10), verifica-se que o comportamento dos clones foi idêntico ao observado para a característica VTRANS (Tabela 9), indicando que a velocidade de propagação da onda de tensão na direção transversal ao tronco das árvores exerceu mais influência sobre o MOEdT que a densidade básica da madeira. Este fato era esperado, pois, no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, a velocidade da onda participa como um termo diretamente proporcional e quadrático (Equação 1).

Este resultado indica que esses clones sofreram influência da posição de amostragem em torno do tronco das árvores, apresentando madeira mais desuniforme nesses sentidos. Os demais clones que não apresentam esse comportamento aparentemente possuem madeira mais uniforme em torno da circunferência do tronco de suas árvores, sendo estes mais indicados para cultivo em terrenos inclinados.

Tabela 10 Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem e de posição de amostragem dentro de clone para a MOEdT

Desdobramento e avaliação do efeito de clone dentro de posição de amostragem				
FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
CLONE/Entre	20	4904613,6524	4,052	0,0000
CLONE/Dentro	20	8084381,9048	6,68	0,0000
Resíduo	84	1210284,0714		

Desdobramento e avaliação do efeito de posição de amostragem dentro de clone				
POSICÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
POSICÃO/8B	1	1828224,0000	1,511	0,2225
POSICÃO/44	1	19070968,1667	15,757	0,0002
POSICÃO/58	1	4690504,1667	3,876	0,0523
POSICÃO/1000	1	10241653,5000	8,462	0,0046
POSICÃO/1270	1	2275504,1667	1,88	0,1740
POSICÃO/4057	1	459820,1667	0,38	0,5393
POSICÃO/4080	1	200202,6667	0,165	0,6853
POSICÃO/4195	1	463704,0000	0,383	0,5376
POSICÃO/7003	1	368032,6667	0,304	0,5828
POSICÃO/7005	1	5612468,1667	4,637	0,0342
POSICÃO/7007	1	1474112,6667	1,218	0,2729
POSICÃO/7011	1	1972266,6667	1,63	0,2053
POSICÃO/7018	1	644848,1667	0,533	0,4675
POSICÃO/7020	1	594090,6667	0,491	0,4855
POSICÃO/7023	1	94752,6667	0,078	0,7803
POSICÃO/7025	1	1071037,5000	0,885	0,3495
POSICÃO/7026	1	3387010,6667	2,799	0,0981
POSICÃO/7051	1	6636016,6667	5,483	0,0216
POSICÃO/7053	1	427734,0000	0,353	0,5538
POSICÃO/7081	1	2661336,0000	2,199	0,1418
POSICÃO/7085	1	1040,1667	0,001	0,9767
Resíduo	84	1210284,0714		

Na Tabela 11 apresentam-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características VTRANS, MOEdT e AMPL. Para VTRANS e MOEdT a classificação dos clones nas posições de amostragem (dentro e entre a linha de plantio) não modificou o número de grupos nem o número de clones dentro dos grupos. Este fato indica que a VTRANS está influenciando mais a

estimativa do módulo de elasticidade dinâmico do que a densidade básica da madeira, o que não ocorreu com a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal (VLONG). Verificou-se que a amplitude (AMPL) permitiu classificar os clones em dois grupos. Os valores médios de amplitude variaram em uma faixa de 15,09% (clone 4057) a 27,46% (clone 7025). Estes valores estão de acordo com Gomes (2007) e são semelhantes aos encontrados por Hein (2006).

Pode-se, ainda, observar que VTRANS e MOEdT apresentaram magnitudes superiores a VLONG e MOEdL. Este fato pode estar associado à atenuação da onda de tensão captada no sentido longitudinal ao tronco das árvores. Este fato foi também observado por Oliveira (2005).



Tabela 11 Valores médios e teste de comparação múltipla para VTRANS, MOEdT e AMPL

Clone	VTRANS (cm/s)			MOEdT (kgf/cm <sup>2</sup> )			AMPL (%)		
	Entre	Dentro	Média	Entre	Dentro	Média	Entre	Dentro	Média
44	128111 a A	95093 b B	111602	8052 a A	4486 d B	6269	20,13	21,78	20,96 b
58	110504 b A	126594 a A	118549	5599 b A	7367 b A	6483	23,02	22,97	22,99 a
1000	108281 b B	130425 a A	119353	5877 b B	8490 a A	7184	24,87	27,71	26,29 a
1270	116045 b A	127765 a A	121905	6522 b A	7753 b A	7138	22,31	19,90	21,11 b
4057	109467 b A	103888 b A	106678	5206 b A	4652 d A	4929	16,40	13,78	15,09 b
4080	121463 a A	124447 a A	122955	8087 a A	8453 a A	8270	26,36	26,11	26,24 a
4195	126352 a A	130408 a A	128380	8427 a A	8983 a A	8705	27,49	24,86	26,18 a
7003	115227 b A	120702 a A	117965	5619 b A	6114 c A	5867	17,30	16,82	17,06 b
7005	103120 b B	123064 a A	113092	5178 b B	7112 b A	6145	25,79	27,44	26,62 a
7007	127588 a A	135642 a A	131615	7993 a A	8984 a A	8489	23,99	24,71	24,35 a
7011	104670 b A	116738 a A	110704	5034 b A	6181 c A	5608	33,52	20,86	27,19 a
7018	110330 b A	116861 a A	113596	5467 b A	6122 c A	5795	18,30	22,07	20,18 b
7020	115868 b A	121999 a A	118934	6043 b A	6673 c A	6358	24,29	22,14	23,22 a
7023	118282 a A	120244 a A	119263	7393 a A	7645 b A	7519	25,25	24,04	24,65 a
7025	121114 a A	113693 a A	117404	6981 a A	6136 c A	6559	27,32	27,60	27,46 a
7026	101990 b A	117510 a A	109750	5038 b A	6541 c A	5790	21,80	20,96	21,38 b
7051	115312 b A	95943 b B	105628	6809 a A	4706 d B	5758	20,94	20,06	20,50 b
7053	123158 a A	119101 a A	121130	7542 a A	7008 b A	7275	29,18	25,62	27,40 a
7081	107654 b A	93253 b A	100454	5317 b A	3985 d A	4651	19,90	17,77	18,83 b
7085	105453 b A	105038 b A	105246	4960 b A	4934 d A	4947	20,21	18,43	19,32 b
8B	132610 a A	140619 a A	136615	8715 a A	9819 a A	9267	26,52	23,48	25,00 a
Entre	115362 a			6469 a			23,57 a		
Dentro	118049 a			6769 a			22,34 a		

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha para cada variável, não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

Pelos dados da Tabela 11 verifica-se que os clones 8B e 7081 apresentaram, respectivamente, os maiores e os menores valores médios de VTRANS (136.615 cm/s e 100.454 cm/s) e MOEdT (9.267 kgf/cm<sup>2</sup> e 4.651 kgf/cm<sup>2</sup>). Este resultado difere do observado para a VLONG e MOEdL, em que os clones 4080 e 7003 apresentaram os maiores e menores valores médios de VLONG (100.610 cm/s e 84.662 cm/s) e MORdL (5.530 kgf/cm<sup>2</sup> e 3.004 kgf/cm<sup>2</sup>), respectivamente.

## 4.2 Ensaios destrutivos: três anos de idade

### 4.2.1 Densidade básica da madeira (DB)

Na Tabela 12 apresenta-se o resumo da análise de variância para a densidade básica da madeira. Observa-se que o efeito de clone foi significativo, o coeficiente de variação experimental foi baixo e está em conformidade com o observado por outros autores, dentre eles Gomes (2007) e Souza (2002).

Tabela 12 Análise de variância para a densidade básica da madeira

FV	GL	Quadrado médio	Pr>Fc
CLONE	20	0,003190	0,0000
RESÍDUO	42	0,000257	
TOTAL	62		
MÉDIA		0,468	
CV (%)		3,43	

CV = coeficiente de variação

Na Tabela 13 apresentam-se os valores médios de densidade básica (DB) da madeira dos clones e o teste de comparação múltipla, além dos valores nas diferentes posições longitudinais do tronco da árvore. Pode-se verificar que, de modo geral, a densidade básica da madeira tendeu a aumentar com a altura da árvore. Trugilho et al. (2008) encontraram padrão de variação longitudinal da densidade básica da madeira em clone de eucalipto como sendo tendência geral inicial de redução, seguida por um aumento e novamente uma diminuição no valor da densidade básica com a altura da árvore em todos os métodos de amostragem considerados. Observa-se, ainda, que se podem classificar os clones em quatro grupos de densidade básica, com uma variação de  $0,410 \text{ g/cm}^3$  (clone 7003) a  $0,534 \text{ g/cm}^3$  (clone 4080). Pelo valor médio de DB, pode-se dizer que o clone 4080 apresenta potencial para produção de biomassa e uso como fonte de energia.

Tabela 13 Valores médios da densidade básica (DB) da madeira, teste de comparação múltipla e variação longitudinal ao tronco da árvore

Clone	DB Média (g/cm <sup>3</sup> )	DB1 (g/cm <sup>3</sup> )	DB2 (g/cm <sup>3</sup> )	DB3 (g/cm <sup>3</sup> )
7003	0,410 d	0,402	0,403	0,424
4057	0,422 d	0,413	0,442	0,412
7085	0,435 d	0,445	0,447	0,414
7020	0,440 d	0,449	0,440	0,430
7018	0,440 d	0,419	0,424	0,478
7011	0,445 c	0,434	0,465	0,435
7081	0,445 c	0,449	0,442	0,445
58	0,449 c	0,448	0,457	0,442
7005	0,459 c	0,460	0,469	0,448
7025	0,464 c	0,495	0,445	0,451
7026	0,464 c	0,460	0,454	0,479
1270	0,465 c	0,469	0,470	0,456
44	0,476 b	0,480	0,492	0,455
7007	0,478 b	0,477	0,494	0,463
7053	0,484 b	0,477	0,471	0,504
8B	0,486 b	0,479	0,484	0,494
1000	0,488 b	0,478	0,503	0,483
7051	0,501 b	0,503	0,488	0,513
4195	0,518 a	0,535	0,515	0,503
7023	0,518 a	0,513	0,521	0,520
4080	0,534 a	0,546	0,546	0,511

DB1, DB2 e DB3 = densidade básica média em um torrete de 1 m de comprimento a 1,30 m de altura do solo, na metade da altura da árvore e no topo até o início de um diâmetro máximo de 5 cm. Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

No Gráfico 7 ilustra-se a variação longitudinal média de DB na árvore. Nota-se uma tendência inicial de aumento no sentido da base até 50% da altura, diminuindo, em seguida, até 100% da altura comercial do tronco da árvore, comportamento semelhante ao encontrado por Pádua (2006). Este comportamento da DB é bastante controverso na literatura usual, em que diversos autores encontram outras tendências. Por exemplo, Souza, Carpinim e Barrichelo (1986) observaram um decréscimo no sentido base-topo até o ponto de 25% da altura. A partir daí notou-se aumento na DB; Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) encontraram dois diferentes comportamentos: em *E. grandis*, decréscimo até 50% da altura comercial, seguido de aumento até o ápice e, em um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, aumento no sentido base-topo. Toda essa diferença observada deve estar relacionada às diferentes formas de amostragem consideradas pelos autores, à espécie do material e ao local, entre outras.

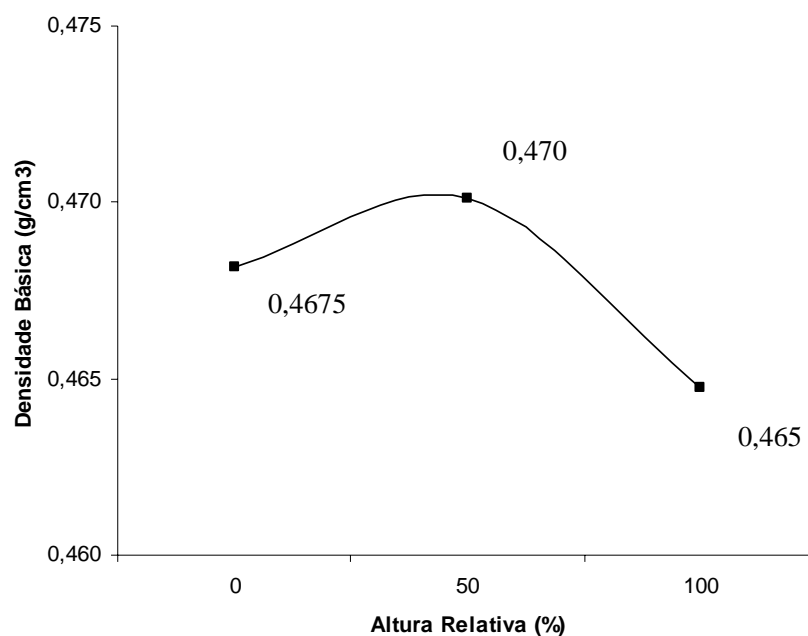


Gráfico 7 Valores médios de DB no sentido longitudinal ao tronco da árvore

Pode-se verificar, ainda, que o clone de menor densidade básica, clone 4057 ( $0,422 \text{ g/cm}^3$ ), foi o que apresentou a menor amplitude média (15,09%). Entretanto, os clones de maiores densidades básicas clones 4080 ( $0,534 \text{ g/cm}^3$ ), 4195 e 7023 ( $0,518 \text{ g/cm}^3$ ) não foram os que apresentaram os maiores valores de amplitude. As maiores amplitudes médias ocorreram nos clones 7025 (27,46%), 7053 (27,40%) e 7011 (27,19%). Deve ser ressaltado que maiores valores de amplitude deveriam estar associados a maiores valores de densidade básica da madeira. Entretanto, devido à ocorrência de defeitos internos, como, por exemplo, a presença de nó e bolsa de resina, os quais podem ocasionar alteração na leitura do resistógrafo, aumentando ou diminuindo o valor da amplitude. Outra razão pode ser devido às diferenças na distribuição das tensões internas de crescimento, as quais podem interferir na magnitude da amplitude, por dificultar

mais ou menos a passagem da broca do Resitograph®. Outro fator pode ser a própria serragem produzida durante a entrada da broca, a qual eventualmente pode prender-se na broca e aumentar o valor da amplitude.

#### 4.2.2 Dimensões das fibras, teor de lignina e poder calorífico da madeira

Na Tabela 14 apresenta-se o resumo da análise de variância para as características dimensionais das fibras da madeira dos clones avaliados. Pela análise de variância observa-se que o efeito de clones foi não significativo para todas as características dimensionais das fibras. Este resultado indica que a idade de três anos não provocou diferenças significativas entre os clones, sendo necessário avaliar estas variáveis em idades mais avançadas.

Tabela 14 Resumo da análise de variância para as características dimensionais das fibras

FV	GL	Quadrado médio			
		Comp	Espar	Larg	Lume
Clone (C)	20	0,0046ns	0,2116 ns	1,5051 ns	2,3677 ns
Resíduo	42	0,0036	0,1385	1,1142	1,2789
Média		1,02	3,6	19,9	12,6
CV (%)		5,87	10,21	5,31	8,98

ns = não significativo a 5% de probabilidade, CV = coeficiente de variação

Larg, Lume, Espar e Comp = largura, diâmetro do lume, espessura da parede e comprimento da fibra

Na Tabela 15 é apresentado o resumo da análise de variância para o teor de lignina total (LigTot), extrativos (Ext) e poder calorífico superior, dado em kcal/kg e kcal/m<sup>3</sup>. Observa-se que LigTot e poder calorífico apresentaram efeito de clone significativo, enquanto o teor de extrativos apresentou efeito de clone não significativo.

Tabela 15 Resumo da análise de variância para o teor de lignina total, extrativo e poder calorífico da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		LigTot	Ext	PCS (kcal/kg)	PC(kcal/m <sup>3</sup> )
Clone	20	7,9380 *	0,9280 ns	96933,3549*	7,51448 x 10 <sup>10</sup> *
Resíduo	42	3,1693	0,5801	49781,7781	3,1772 x 10 <sup>10</sup>
Média		30,56	3,03	4414	2066196
CV(%)		5,83	25,10	5,05	8,63

\* significativo a 5% de probabilidade, CV = coeficiente de variação

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios do teor de extrativo e lignina total, dimensões das fibras e poder calorífico superior, expressos em kcal/kg e kcal/m<sup>3</sup>, e o teste de comparação múltipla realizado. Verifica-se que os clones foram classificados em dois grupos pelo teor de lignina total e poder calorífico superior da madeira. Gomes (2007) encontrou valores semelhantes para o teor de lignina e dimensões das fibras na madeira em clones de *Eucalyptus* aos três anos de idade.

Tabela 16 Valores médios das características químicas, dimensão das fibras e poder calorífico da madeira e teste de comparação múltipla

Clone	Teor (%)		Dimensão da Fibra				Poder calorífico superior	
	Ext	LigTot	Larg	Lume	Espar	Comp	kcal/kg	kcal/m <sup>3</sup>
44	2,42	28,72 a	20,8	12,9	3,9	1,10	4304 a	2050806 a
58	3,44	31,17 b	21,1	14,2	3,5	1,02	4436 b	1993131 a
1000	3,19	30,19 a	18,2	10,8	3,7	0,96	4599 b	2246726 b
1270	3,13	30,80 a	20,6	13,4	3,6	1,04	4533 b	2023742 a
4057	2,01	32,91 a	19,6	12,0	3,8	0,97	4332 a	2023555 a
4080	3,64	28,24 b	20,6	12,9	3,9	1,00	4520 b	2400313 b
4195	3,43	29,30 b	19,5	11,7	3,9	1,07	4525 b	2149357 b
7003	2,73	31,55 a	19,9	13,0	3,5	1,07	4353 a	1870424 a
7005	2,74	30,72 a	19,7	12,2	3,7	0,94	4192 a	1947864 a
7007	1,93	30,94 a	20,1	12,9	3,6	1,03	4060 a	1882456 a
7011	2,91	31,71 a	19,6	12,7	3,5	1,01	4194 a	1843461 a
7018	2,67	26,69 b	19,5	12,5	3,5	1,01	4229 a	1902361 a
7020	3,11	31,20 a	19,9	13,8	3,0	1,03	4437 b	2040917 a
7023	3,28	31,25 a	19,2	12,0	3,6	1,05	4565 b	2340632 b
7025	2,90	30,01 b	19,9	12,4	3,7	1,03	4326 a	1955557 a
7026	3,02	33,94 a	19,0	11,8	3,6	1,00	4732 b	2267820 b
7051	3,17	29,06 b	20,3	11,6	4,3	1,07	4233 a	2086554 a
7053	3,08	31,89 a	20,1	12,4	3,9	1,00	4690 b	2255395 b
7081	3,51	30,28 b	20,3	13,5	3,4	1,03	4448 b	1974535 a
7085	4,25	29,50 b	20,8	14,2	3,3	1,06	4635 b	2019048 a
8B	3,25	31,67 a	19,0	11,6	3,7	1,01	4355 a	2115466 a
Média	3,03	30,56	19,9	12,6	3,6	1,02	4414	2066196

EXT = extrativo; LigTot = lignina total; Larg, Lume, Espar e Comp = largura ( $\mu\text{m}$ ), diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ), espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ) e comprimento da fibra (mm)

#### 4.2.3 Relação entre os ensaios não destrutivos e os destrutivos

Na Tabela 17 apresentam-se as correlações observadas entre as características da madeira e os valores dos ensaios não destrutivos. Verifica-se que as magnitudes das correlações foram de baixas a medianas

Os ensaios não destrutivos não apresentaram fortes relações com as características da madeira, porém, algumas correlações observadas merecem destaque. A correlação entre a densidade básica da madeira e a resistência a penetração do pino do Pilodyn (-0,7780), a deformação residual longitudinal e o comprimento da fibra (0,5937) e a deformação residual tangencial e a espessura da parede da fibra (-0,5304). Um fato não esperado foi a baixa magnitude da correlação observada entre a amplitude e a densidade básica da madeira (0,3770). Outros autores têm obtido melhores valores de correlação entre essas



duas variáveis, como, por exemplo, Gomes (2007) e Rodrigues (2007), entre outros.

Entre as características da madeira, as melhores associações ocorreram entre os teores de lignina insolúvel e total (0,9682), diâmetro do lume com a largura (0,8016) e espessura da parede (-0,6037), densidade básica com o diâmetro do lume (-0,5234) e a espessura da parede da fibra (0,5471).

O teor de extrativos não apresentou correlação significativa com nenhuma propriedade da madeira e também com os ensaios não destrutivos.

Tabela 17 Correlações entre as características da madeira e os ensaios não destrutivos

	Extrativo	LigIns	LigSol	LigTot	Larg	Lume	Espar	Comp	DB	DRL	DRT	Pilodyn	Amplitude	VLong	VTrans	DAP	PCS
Extrativo	1	-0,2083	0,2973	0,0196	0,1078	0,1597	-0,1233	0,2160	0,1505	0,1461	0,2051	0,3915	-0,2080	-0,0318	-0,4144	0,2837	0,3067
LigIns		1,0000	-0,1929	0,9682	-0,3708	-0,3471	0,0861	-0,3400	0,0019	0,4492	-0,1504	-0,0569	-0,1049	-0,0290	0,0182	0,2987	0,0998
LigSol			1,0000	0,0588	0,0618	0,0441	0,0086	0,2001	0,0213	0,3636	0,4132	0,1284	-0,0652	0,1724	0,1446	0,0388	-0,1163
LigTotal				1,0000	-0,3615	-0,3419	0,0898	-0,2949	0,0035	-0,3643	-0,0477	-0,0252	-0,1233	0,0145	0,0554	0,3138	0,0719
Larg					1,0000	0,8016	-0,0074	0,4614	0,2462	0,1922	-0,0580	0,2723	-0,2461	0,0271	-0,2079	0,2128	-0,1092
Lume						1,0000	-0,6037	0,3332	0,5234	-0,0403	0,2708	0,4990	-0,2736	-0,0065	-0,1918	0,3014	-0,0200
Parede							1,0000	0,0580	0,5471	0,3237	-0,5304	-0,4715	0,1295	0,0469	0,0436	-0,2205	-0,1122
Comp								1,0000	0,1252	0,5937	0,3899	0,1357	-0,2593	0,1960	-0,0144	-0,0604	0,0219
DB									1,0000	0,2742	-0,3860	-0,7780	0,3770	0,2205	0,2970	-0,2322	0,2534
DRL										1,0000	0,1500	-0,2823	0,1547	0,4113	0,1420	-0,3031	-0,1431
DRT											1,0000	0,2928	-0,3076	0,0319	0,0184	0,0982	0,0069
Pilodyn												1,0000	-0,5148	-0,4975	-0,4582	0,3374	-0,0545
Amplitude													1,0000	0,2178	0,5287	-0,0160	0,0439
VLong														1,0000	0,4439	-0,1498	-0,1573
VTrans															1,0000	0,2214	-0,0317
DAP																1,0000	0,3946
PCS																	1,0000

LigIns, LigSol e LigTot = teores de lignina insolúvel, solúvel e total; Larg, Lume, Espar e Comp = largura, diâmetro do lume, espessura da parede e comprimento da fibra; DB = densidade básica; DRL e DRT = deformação residual longitudinal e tangencial; Vlong e Vtrans = velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e transversal; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo; PCS = poder calorífico superior

### 4.3 Ensaios não destrutivos: quatro anos de idade

Na Tabela 18 apresenta-SE o resumo da análise de variância para deformação residual longitudinal (DRL), tangencial (DRT) e profundidade de penetração do pino do Pilodyn. Observa-se que o efeito de clone foi significativo para as três características e que os efeitos de posição de amostragem em relação à periferia do tronco das árvores e que as interações foram não significativas. Este resultado foi idêntico ao observado para três anos de idade.

Tabela 18 Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) e a profundidade de penetração do pino do Pilodyn

FV	GL	Quadrado médio		
		DRL	DRT	Pilodyn
Clone (C)	20	4086,4158 **	502,8218 **	20,1782 **
Posição (P)	3	3162,3002 ns	86,4233 ns	0,2952 ns
C x P	60	1240,5391 ns	168,5149 ns	1,0461 ns
Resíduo	168	1367,3095	276,4444	1,8882
Total	251			
Média		89,6	15,0	13,9
CV (%)		41,28	113,49	9,85

CV = coeficiente de variação

\*\* e ns = significativo, a 1% de probabilidade e não significativo

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) por clone, posição de amostragem superior (Sup), direita (Dire), inferior (Infer) e esquerda (Esq), além das médias por posição entre e dentro das linhas de plantio, o valor médio geral e o teste de comparação múltipla realizado. Pelos dados da Tabela 19 verifica-se que os clones 4057, 7051, 1000 e 58 apresentaram os menores níveis de tensão longitudinal de crescimento (DRL) na madeira, enquanto os clones 7053 e 44, os maiores níveis. Os clones 4057 e 1000 apresentaram baixas magnitudes de DRL

nas duas idades consideradas. O clone 4057 foi o que apresentou a maior uniformidade nas posições de amostragem em torno do tronco das árvores. Elevados valores de DRL indicam que os materiais não apresentaram potencialidades para uso como sólido. Observa-se que o teste de comparação múltipla separou os clones em dois grupos, tanto para a DRL (sete clones com mais baixo nível de tensão longitudinal) como para a DRT, dois clones com elevado nível de tensão tangencial. Os valores médios de DRL e DRT foram de 89,6 e 15  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Estes valores foram um pouco inferiores aos observados para a idade de três anos, porém, houve aumento na variabilidade dessa estatística na idade de quatro anos.

Na Tabela 20 apresentam-se os valores de penetração do pino do “pilodyn” e o teste de comparação múltipla realizado. Pelo teste de comparação múltipla verifica-se que os clones foram classificados em cinco grupos de resistência à penetração do pino do Pilodyn. Os valores de resistência à penetração do pino do Pilodyn variaram, em média, de 11,6 mm (clone 4195) a 16,8 mm (clone 4057). O valor médio dos clones foi de 13,9 mm. O clone 4195 foi o mesmo que apresentou o menor valor de resistência à penetração do pino do Pilodyn e que o valor médio foi mais baixo na idade de quatro anos.

Tabela 19 Valores médios, por clone, da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT)

CLONE	DRL ( $\mu\text{m}$ )							DRT ( $\mu\text{m}$ )						
	Sup	Dire	Infer	Esq	Média			Sup	Dire	Infer	Esq	Média		
					Entre	Dentro	Geral					Entre	Dentro	Geral
44	123	134	110	108	116	121	119 a	5	11	13	19	9	15	12 b
58	71	59	84	64	78	62	70 b	10	9	15	10	13	10	11 b
1000	64	49	76	58	70	53	62 b	7	7	6	13	6	10	8 b
1270	92	85	100	78	96	82	89 a	7	11	18	11	13	11	12 b
4057	42	65	56	57	49	61	55 b	12	19	7	3	9	11	10 b
4080	94	78	83	62	88	70	79 b	8	20	13	7	11	13	12 b
4195	95	66	97	69	96	68	82 b	15	26	26	12	20	19	20 b
7003	94	197	82	62	88	130	109 a	13	19	38	26	25	23	24 a
7005	93	93	111	103	102	98	100 a	3	16	17	17	10	17	13 b
7007	89	130	66	76	77	103	90 a	9	10	31	13	20	12	16 b
7011	88	115	78	84	83	99	91 a	13	14	16	24	15	19	17 b
7018	102	119	84	104	93	112	102 a	57	48	25	20	41	34	38 a
7020	79	119	70	80	75	100	87 a	6	20	9	13	8	17	12 b
7023	110	89	92	123	101	106	104 a	5	5	2	27	3	16	10 b
7025	98	92	53	107	75	99	87 a	13	3	12	11	13	7	10 b
7026	56	98	89	60	73	79	76 b	14	11	6	15	10	13	11 b
7051	58	45	81	58	70	51	60 b	15	10	7	16	11	13	12 b
7053	80	144	134	140	107	142	124 a	8	21	18	14	13	17	15 b
7081	94	102	108	109	101	105	103 a	20	10	26	18	23	14	19 b
7085	85	125	94	92	90	109	99 a	20	16	11	12	15	14	15 b
8B	82	99	97	98	89	98	94 a	11	12	9	19	10	15	13 b
Média	85 A	100 A	88 A	85 A	86	93	89	13 A	15 A	15 A	15 A	14	15	15

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a 5% de probabilidade

Tabela 20 Valores médios para a penetração do pino do Pilodyn e o teste de comparação múltipla

Clone	Sup	Dire	Infer	Esq	Média		
					Entre	Dentro	Geral
44	15,4	14,3	15,2	15,9	15,3	15,1	15,2 b
58	15,3	15,0	14,8	14,8	15,1	14,9	15,0 b
1000	12,8	13,9	14,2	15,7	13,5	14,8	14,2 c
1270	13,8	13,7	14,3	14,1	14,1	13,9	14,0 c
4057	17,1	17,1	16,5	16,4	16,8	16,7	16,8 a
4080	12,6	12,7	12,1	12,6	12,4	12,7	12,5 e
4195	11,7	11,7	11,7	11,5	11,7	11,6	11,6 e
7003	12,9	12,3	12,9	13,2	12,9	12,8	12,8 e
7005	12,2	14,0	13,8	12,9	13,0	13,4	13,2 c
7007	12,3	13,5	12,6	12,8	12,5	13,2	12,8 e
7011	15,2	14,6	14,6	14,4	14,9	14,5	14,7 b
7018	13,9	12,6	12,9	13,0	13,4	12,8	13,1 c
7020	14,2	14,4	14,7	14,2	14,4	14,3	14,4 c
7023	12,7	13,3	13,0	12,0	12,8	12,7	12,8 d
7025	13,8	14,0	14,3	13,3	14,1	13,7	13,9 c
7026	14,8	13,0	15,5	15,5	15,2	14,3	14,7 c
7051	15,7	15,7	15,5	14,5	15,6	15,1	15,3 b
7053	12,8	13,3	13,0	12,3	12,9	12,8	12,9 e
7081	12,5	12,5	13,7	13,2	13,1	12,8	13,0 c
7085	17,1	16,0	16,0	15,7	16,5	15,9	16,2 a
8B	13,9	14,3	13,6	14,1	13,7	14,2	14,0 c
Média	13,9 A	13,9 A	14,0 A	13,9 A	14,0	13,9	13,9

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a 5% de probabilidade

Na Tabela 21 apresenta-se o resumo da análise de variância para a amplitude. Observa-se que somente o efeito de clone foi significativo. Este resultado foi idêntico ao observado para os clones aos três anos de idade.

Tabela 21 Resumo da análise de variância para a amplitude

FV	GL	AMPLITUDE
Clone (C)	20	279,4896**
Posição (P)	1	2,9257ns
C x P	20	26,3763ns
Resíduo	84	45,9665
Total	125	
Média		23,86
CV (%)		28,41

CV = coeficiente de variação

Na Tabela 22 são apresentados os valores médios de amplitude e o teste de comparação múltipla realizado. Verifica-se que os clones foram classificados em três grupos distintos e que a amplitude variou, na média, de 15,64% (clone 44) a 38,07% (clone 4195), com valor médio geral de 23,86%.

Tabela 22 Valores médios de amplitude dos clones e o teste de comparação múltipla

CLONE	Amplitude (%)		
	Entre	Dentro	Média
44	14,87	16,41	15,64 c
58	23,49	27,81	25,65 b
1000	29,95	25,51	27,73 b
1270	22,02	20,26	21,14 c
4057	18,17	13,15	15,66 c
4080	40,76	33,18	36,97 a
4195	35,99	40,15	38,07 a
7003	27,23	20,71	23,97 c
7005	13,85	19,26	16,56 c
7007	27,89	28,17	28,03 b
7011	14,63	17,83	16,23 c
7018	22,46	18,88	20,67 c
7020	14,29	19,21	16,75 c
7023	28,60	30,12	29,36 b
7025	22,60	17,43	20,01 c
7026	19,65	20,58	20,12 c
7051	21,64	19,94	20,79 c
7053	31,40	36,25	33,82 a
7081	27,23	29,45	28,34 b
7085	19,22	20,54	19,88 c
8B	28,47	23,20	25,83 b
Média	24,02 A	23,72 A	23,86

CV = coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott e Tukey, respectivamente, a 5% de probabilidade

#### 4.4 Efeito da idade: ensaios não destrutivos

Na Tabela 23 é apresentado o resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) e a resistência à penetração do pino do Pilodyn, incluindo a idade como fonte de variação. Observa-se que o efeito da idade somente foi não significativo para a DRL e que somente a resistência à penetração do pino do Pilodyn apresentou efeito



significativo da interação clone x idade. Interação significativa significa que existe dependência entre os fatores e, dessa forma, optou-se por fazer o seu desdobramento e avaliar o efeito de idade dentro de clone. Os demais efeitos de interação foram não significativos.

Tabela 23 Resumo da análise de variância para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) e a profundidade de penetração do pino do Pilodyn nas duas idades

FV	GL	Quadrado médio		
		DRL( $\mu$ m)	DRT( $\mu$ m)	Pilodyn(mm)
Idade(I)	1	75,4464ns	1204,0496**	98,6686**
Clone(C)	20	6503,2621**	576,4214**	37,5192**
Posição (P)	3	497,9438ns	63,0125ns	1,2242ns
I x C	20	1731,0506ns	340,7912ns	11,3645**
I x P	3	3906,9279ns	245,3300ns	0,8379ns
C x P	60	1493,3952ns	168,8042ns	1,1200ns
I x C x P	60	775,6821ns	167,8661ns	0,8394ns
Resíduo	336	1182,3909	214,8393	1,6131ns
Total	503			
Média		90	15	13,9
CV (%)		38,22	90,5	8,72

CV = coeficiente de variação

\*,\*\* e ns = significativo, a 5% e a 1% de probabilidade e não significativo

Nos Gráficos 8 e 9 mostram-se o comportamento médio, por idade, para as características deformação residual tangencial (DRT) e a resistência à penetração do pino do Pilodyn e deformação residual longitudinal (DRI), além do teste de comparação múltipla. Observou-se que a DRL apresentou tendência de aumento e a DRT de redução com a idade, porém, não significativa estatisticamente. A profundidade de penetração do pino do Pilodyn apresentou tendência de redução significativa com a idade do material genético. A magnitude dessa redução foi de 1,1 mm ou de 7,33%. A tendência observada para a resistência à penetração do pino do Pilodyn está de acordo com a sua correlação observada com a densidade básica da madeira (item 4.2.3). Este

resultado está de acordo com a literatura usual e demonstra a influência da idade no aumento da densidade básica da madeira.

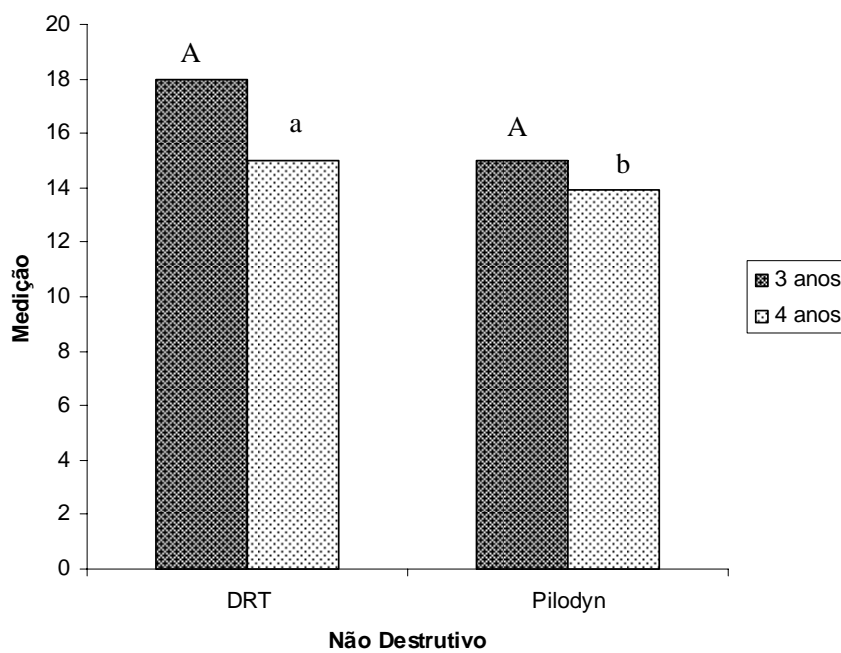


Gráfico 8 Efeito da idade nas características DRT e Pilodyn

Colunas seguidas de mesma letra e fonte não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

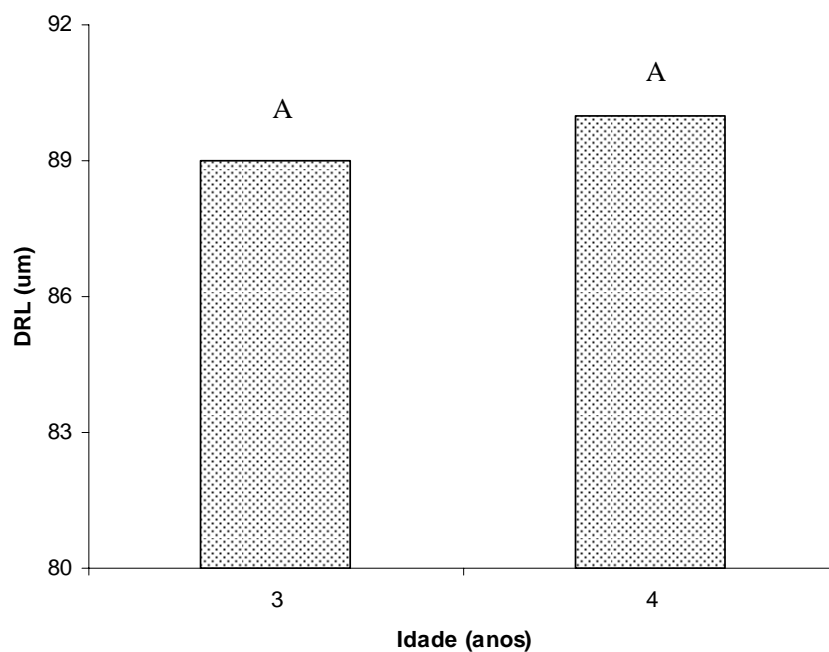


Gráfico 9 Efeito da idade na característica DRL

Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 24 apresentam-se o resumo da análise de variância e o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para a resistência à penetração do pino do Pilodyn. Verifica-se que os clones 1270, 7003, 7005, 7011, 7018, 7023 e 7081 apresentaram diferença entre os valores de resistência à penetração do pino do Pilodyn entre as duas idades consideradas, indicando que estes materiais sofreram alteração mais pronunciada na densidade básica de sua madeira nesse período de tempo considerado. Os demais clones não apresentaram esse mesmo comportamento.

Tabela 24 Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para o Pilodyn

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
IDADE/8B	1	0,607500	0,555	0,4573
IDADE/44	1	0,907500	0,829	0,3638
IDADE/58	1	1,267500	1,158	0,2834
IDADE/1000	1	3,967500	3,625	0,0586
IDADE/1270	1	11,02083	10,069	0,0018
IDADE/4057	1	0,653333	0,597	0,4408
IDADE/4080	1	0,213333	0,195	0,6594
IDADE/4195	1	1,470000	1,343	0,2481
IDADE/7003	1	51,66750	47,207	0,0000
IDADE/7005	1	20,02083	18,292	0,0000
IDADE/7007	1	0,007500	0,007	0,9341
IDADE/7011	1	6,163333	5,631	0,0188
IDADE/7018	1	10,64083	9,722	0,0021
IDADE/7020	1	0,607500	0,555	0,4573
IDADE/7023	1	7,207500	6,585	0,0112
IDADE/7025	1	0,240833	0,220	0,6396
IDADE/7026	1	0,007500	0,007	0,9341
IDADE/7051	1	1,840833	1,682	0,1964
IDADE/7053	1	1,080000	0,987	0,3220
IDADE/7081	1	61,653333	56,331	0,0000
IDADE/7085	1	0,800833	0,732	0,3936
Resíduo	168	1,0945		

Na Tabela 25 apresentam-se os valores médios por idade e o teste de comparação múltipla para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de idade dentro de clone para a resistência à penetração do pino do Pilodyn.

Tabela 25 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o desdobramento do efeito de idade dentro de clone para a resistência a penetração do pino do Pilodyn

CLONE	Idade (anos)	
	Três (mm)	Quatro (mm)
44	15,7 A	15,2 A
58	15,7 A	15,0 A
1000	15,3 A	14,2 A
1270	15,9 A	14,0 B
4057	17,2 A	16,8 A
4080	12,8 A	12,5 A
4195	12,3 A	11,6 A
7003	17,0 A	12,8 B
7005	15,8 A	13,2 B
7007	12,9 A	12,8 A
7011	16,2 A	14,7 B
7018	15,0 A	13,1 B
7020	14,8 A	14,4 A
7023	14,3 A	12,8 B
7025	14,2 A	13,9 A
7026	14,7 A	14,7 A
7051	14,6 A	15,3 A
7053	12,3 A	12,9 A
7081	17,5 A	13,0 B
7085	16,7 A	16,2 A
8B	14,4 A	14,0 A

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 26 apresenta-se o resumo da análise de variância para a amplitude, incluindo a idade como fonte de variação. Verifica-se que somente os efeitos de clone e interação idade x clone foram significativos. Interação significativa indica a existência de dependência entre os dois fatores e, dessa forma, optou-se por estudar o desdobramento dessa interação e avaliar o efeito de idade dentro dos clones.

Na Tabela 27 apresenta-se o resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para a

amplitude. Verifica-se que os clones 4080, 4195, 7003, 7005, 7011, 7025 e 7081 apresentaram diferença entre os valores de amplitude entre as duas idades consideradas, indicando que estes materiais sofreram alteração mais pronunciada na densidade básica de sua madeira no período de tempo considerado. Os demais clones não apresentaram esse mesmo comportamento. Os clones 7003, 7005, 7011 e 7081 apresentaram o mesmo comportamento em relação à resistência à penetração do pino do Pilodyn.

Tabela 26 Resumo da análise de variância para a amplitude

FV	GL	Amplitude
Idade (I)	1	52,7543ns
Clone (C)	20	236,3772**
Posição (P)	1	13,4045ns
I x C	20	122,0562**
I x P	1	36,9687ns
C x P	20	26,6958ns
I x C x P	20	15,7548ns
Resíduo	168	32,8863
Total	251	
Média		23,41
CV (%)		24,50

CV = coeficiente de variação

Tabela 27 Resumo da análise de variância para o desdobramento da interação e avaliação do efeito da idade dentro de clone para a amplitude

FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Idade/8B	1	2,0833	0,0630	0,8016
Idade/44	1	84,9072	2,5820	0,1100
Idade/58	1	21,1736	0,6440	0,4235
Idade/1000	1	6,2352	0,1900	0,6638
Idade/1270	1	0,0044	0,0000	0,9908
Idade/4057	1	0,9747	0,0300	0,8635
Idade/4080	1	345,3987	10,5030	0,0014
Idade/4195	1	424,7110	12,9150	0,0004
Idade/7003	1	143,2443	4,3560	0,0384
Idade/7005	1	303,6108	9,2300	0,0028
Idade/7007	1	40,7008	1,2300	0,2675
Idade/7011	1	360,5840	10,9600	0,0011
Idade/7018	1	0,7203	0,0200	0,8825
Idade/7020	1	125,6474	3,8200	0,0523
Idade/7023	1	66,7408	2,0200	0,1561
Idade/7025	1	166,4330	5,0600	0,0258
Idade/7026	1	4,7754	0,1400	0,7036
Idade/7051	1	0,2494	0,0000	0,9307
Idade/7053	1	123,7134	3,7600	0,0541
Idade/7081	1	271,0351	8,2400	0,0046
Idade/7085	1	0,9352	0,0200	0,8663
Resíduo	168	32,88630		

Na Tabela 28 apresentam-se os valores médios por idade e o teste de comparação múltipla para o desdobramento da interação e avaliação do efeito de idade dentro de clone para a amplitude. Verifica-se que, apesar da não significância, a tendência da amplitude foi de aumentar com a idade de material, ou seja, uma relação indireta com a densidade básica da madeira.

Tabela 28 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o desdobramento do efeito de idade dentro de clone para a amplitude

Clones	Idade (anos)	
	Três (%)	Quatro (%)
44	20,96 A	15,64 A
58	22,99 A	25,65 A
1000	26,29 A	27,73 A
1270	21,11 A	21,14 A
4057	15,09 A	15,66 A
4080	26,24 B	36,97 A
4195	26,18 B	38,07 A
7003	17,06 B	23,97 A
7005	26,62 A	16,56 B
7007	24,35 A	28,03 A
7011	27,19 A	16,23 B
7018	20,18 A	20,67 A
7020	23,22 A	16,75 A
7023	24,65 A	29,36 A
7025	27,46 A	20,01 B
7026	21,38 A	20,12 A
7051	20,50 A	20,79 A
7053	27,40 A	33,82 A
7081	18,83 B	28,34 A
7085	19,32 A	19,88 A
8B	25,00 A	25,83 A

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

No Gráfico 10 observam-se o comportamento observado em relação à amplitude e o teste de comparação múltipla realizado. Verifica-se que a amplitude apresentou a mesma tendência observada na DRL, ou seja, de aumento com a idade. Porém, essa diferença não foi estatisticamente significativa.



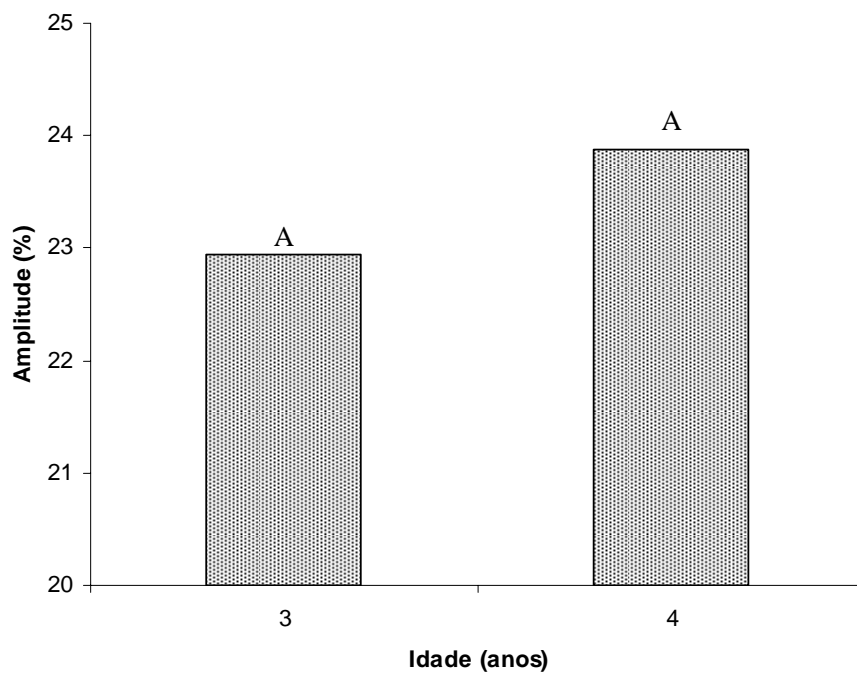


Gráfico 10 Efeito da idade na característica amplitude

Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

## 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se chegar às conclusões expostas a seguir.

### 5.1 Não destrutivo – três anos

- a) a amostragem para a DRL e DRT não permitiram uma definição e qual de a face predominante de ocorrência do maior nível de tensão de crescimento em relação aos pontos amostrados em torno do tronco das árvores, superior (face votada para a parte de cima do declive do terreno), inferior (face voltada para a parte de baixo do declive do terreno), direita e esquerda (posições de entre a linha de plantio);
- b) o clone 58 apresentou uniformidade nos níveis de tensão longitudinal de crescimento (DRL), em relação aos pontos amostrados no perímetro do tronco das árvores, entretanto, o mesmo não ocorreu com a deformação residual tangencial (DRT). O clone 4057, além das menores magnitudes médias de DRL e DRT, apresentou um bom equilíbrio nos níveis de tensão, tanto para a DRL como para a DRT. Estes clones apresentam menores valores de tensões de crescimento e têm potencial para uso como sólidos. O clone 1000 foi outro que pode ter potencial para este uso;
- c) os clones 7025, 4195, 7023 e 7053 foram os que apresentaram os maiores valores de DRL, apresentando elevado nível de tensão longitudinal de crescimento, o que compromete a sua utilização como produto sólido;
- d) a resistência à penetração do pino do Pilodyn, as velocidades de propagação da onda de tensão no sentido transversal ao tronco, o

módulo de elasticidade dinâmico e a amplitude não apresentaram efeito significativo da posição de amostragem no tronco das árvores. A velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal apresentou efeito significativo da posição de amostragem no tronco das árvores;

- e) a velocidade de propagação da onda de tensão apresentou menor magnitude no sentido longitudinal ao tronco das árvores;
- f) a avaliação por meio da amostragem não destrutiva permitiu a classificação dos clones.

## **5.2 Destrutivo – três anos**

- a) a densidade básica da madeira permitiu classificar os clones em quatro grupos, com uma variação de  $0,410 \text{ g/cm}^3$  (clone 7003) a  $0,534 \text{ g/cm}^3$  (clone 4080). Pelo maior valor médio de DB, pode-se dizer que o clone 4080 apresenta grande potencial para produção de biomassa e uso como fonte de energia;
- b) o efeito de clone foi não significativo para as características dimensionais das fibras e teor de extrativos, demonstrando que os clones estão ainda em fase muito jovem para utilização destas variáveis na sua classificação;
- c) o teor de lignina total e o poder calorífico superior apresentaram efeito de clone significativo, o que indica que a avaliação destas características aos três anos de idade pode ser considerada para a classificação dos clones.

### **5.3 Relação entre os métodos destrutivos e não destrutivos – Três anos**

- a) no geral, as correlações foram de baixas magnitudes, tendo as mais expressivas ocorrido entre DB e Pilodyn (-0,7780), DRL e comprimento de fibra (0,5937) e espessura de parede e DRT (-0,5304);
- b) a amplitude apresentou fraca relação com a densidade básica da madeira (DB).

### **5.4 Não destrutivo – quatro anos**

- a) para todas as características avaliadas, somente o efeito clone foi significativo;
- b) os clones 4057 e 58 foram os que apresentaram as menores magnitudes de DRL. O clone 4057 manteve a mesma magnitude de DRL nas duas idades consideradas e o clone 58 apresentou um pequeno acréscimo na DRL, ou seja, de 70  $\mu\text{m}$ , aos três, para 72  $\mu\text{m}$  aos quatro anos;
- c) todos os coeficientes de variação experimental tenderam a aumentar com a idade dos clones, indicando que a madeira encontra-se em fase de grande mudança em suas propriedades.

### **5.5 Efeito da idade**

- a) o efeito da idade foi não significativo para a DRL e amplitude;
- b) a resistência à penetração do pino do Pilodyn e a amplitude apresentaram efeito significativo da interação clone x idade;

- c) para as características de DRL e DRT, os efeitos de interação foram não significativos;
- d) o período de intervalo tempo considerado entre as medições foi curto para se verificar maiores de variações entre os clones.
- e) O clone 58 apresentou uniformidade nos níveis de tensão longitudinal de crescimento (DRL), em relação aos pontos amostrados no perímetro do tronco das árvores, entretanto, o mesmo não ocorreu com a deformação residual tangencial (DRT). Os clone 4057 e 7026, além das menores magnitudes médias de DRL e DRT, apresentou um bom equilíbrio nos níveis de tensão, tanto para a DRL como para a DRT. Estes clones apresentam menores valores de tensões de crescimento e têm potencial para uso como sólidos. O clone 1000 foi outro que pode ter potencial para este uso.

## REFERÊNCIAS

ABBOTT, A. R.; ELCOCK, G. Pole testing in the European context. In: NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD SYMPOSIUM, 6., 1987, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1987. p. 277-302.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *E. urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, ago. 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983. 13 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo, 1974. 12 p.

BARADIT, E.; AEDO, R.; CORREA, J. Knots detection in wood using microwaves. **Wood Science and Technology**, New York, v. 40, n. 2, p. 118-123, Apr. 2005.

BARRICHELO, L. E. G. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBF, 1992. p. 726-731.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Madeira de *Eucalyptus* como matéria prima para indústria de celulose e papel**. São Paulo: PRODEPEF, 1976. 145 p.

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, fev. 1983.

BARTHOLOMEU, A.; GONÇALVES, R.; HERNÁNDEZ, R. E. Montagem de equipamento para ensaios não-destrutivos em madeira utilizando ultra-som. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 345-354.

BERALDO, A. L.; RODRIGUES, M. dos S.; MENDES, A. S. Compósitos com adição de serragem de eucalipto submetidos ao ensaio não destrutivo (END). In: SEMINÁRIO SOBRE APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MADEIRA E MATERIAIS À BASE DE MADEIRA, 1., 2006, Itatiba. **Anais...** São Paulo: ABENDE, 2006. p. 1-6.

BERTHOLF, L. D. **Use of elementary stress wave theory for prediction of dynamic strain in wood.** Pullman: Washington State University, 1965. 43 p. (Bulletin, 291).

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites.** Malabar: Krieger, 1993. 712 p.

BORACOL. **Pilodyn.** Disponível em: <<http://www.krsis.dk/201-pilodyn.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

BUCUR, V. **Acoustics of wood.** New York: CRC, 1995. 284 p.

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

CRUZ, C. R. **Aplicação de ondas de tensão para a estimativa da umidade em madeira de clones de *Eucalyptus*.** 2006. 72 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

\_\_\_\_\_. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira.** 2000. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

FERREIRA, M. **Características da madeira de espécies/árvores superiores e clones de *Eucalyptus*: revisão aplicada ao melhoramento para produção de pasta celulósica.** Piracicaba: IPEF, 1994. 18 p.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species.** 2002. 78 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) - North Carolina State University, Raleigh, 2002.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed.). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions.** New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.

GOMES, A. F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva.** 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GONZÁLEZ, A. M. B.; KARSULOVIC, J. T. C. Efecto de nudos e inclinación de fibras en la velocidad de propagación e impedancia acústica de ondas ultrasónicas em madeira de Pino radiata. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN PRODUCTOS FORESTALES, 1., 2000, Concepción. **Anales...** Concepción: Universidad del Concepción, 2000. 1 CD-ROM.

HEARMON, R. F. S. Theory of the vibration testing of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 16, n. 8, p. 29-40, Aug. 1966.

HEIN, P. R. G. **Adequação do resistograph para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*.** 2006. 32 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

HILLIS, W. E. Chemical aspects of heartwood formation. **Appita**, Victoria, v. 26, n. 2, p. 113-120, June 1972.

KAISERLIK, J. H.; PELLERIN, R. F. Stress wave attenuation as an indicator of lumber strength. **Forest Products Journal**, Madison, v. 27, n. 6, p. 39-43, June 1977.

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



LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. da S.; OLIVEIRA, A. D. Évaluation précoce de la densité du bois de clones de *Eucalyptus grandis*. In: WORD CONGRESS IUFRO, 19., 1990, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IUFRO, 1990. p. 440.

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

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood: the internal optimization of trees.** Berlin: Springer-Verlag, 1995. 129 p.

OLIVEIRA, A. C. **Influência da umidade de equilíbrio da madeira na velocidade de propagação de onda de tensão.** 2005. 29 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

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

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

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

PÁDUA, F. A. de; TRUGILHO, Paulo Fernando ; LIMA, José Tarcísio . Amostragem da madeira para a avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM, 2006, São Pedro. **Anais do X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2006.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1964. v. 1, 705 p.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 113 p. (Documentos, 38).

PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Ed.). **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. p. 54-126.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 4 p.

RAYMOND, C. A. Genetics of *Eucalyptus* wood properties. **Annals of Forest Science**, Nancy, v. 59, n. 5/6, p. 525-531, July/Oct. 2002.

ROCHA, J. de S. **A segurança de estruturas de madeira determinadas a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeira Amazônicas**. 1994. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ROSADO, S. C. da S. **Avaliação da densidade básica da madeira com diferentes idades, em *Eucalyptus* spp.** 1982. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1982.

ROSS, R. J. Stress wave propagation in wood products. In: NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD SYMPOSIUM, 5., 1985, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1985. p. 291-318.

ROSS, R. J. et al. **Inspection of timber bridges using stress wave timing nondestructive evaluation tools: a guide for use and interpretation**. Madison: USDA, 1999. 15 p.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review**. Madison: USDA, 1994. 40 p.

SANCHES-ACOSTA, M. Experiência argentina en el uso de la madera de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 74-91.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, 1989.

SILVA JÚNIOR, F. G.; BRAGA, E. P. Potencialidade da seleção precoce de *Eucalyptus urophylla* em função da qualidade da madeira destinada à produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1997. p. 281-292.

SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

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 *E. Saligna***. Piracicaba: IPEF, 1986. 72 p.

THIERSCH, C. R. et al. O uso de modelos matemáticos na estimativa da densidade básica da madeira em plantios de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 264-278, jul./set. 2006.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123 p. Tese (Pós-Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

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

\_\_\_\_\_. Padrão de variação longitudinal da densidade básica da madeira em um clone híbrido de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: IBRAMEM, 2008. p. 1-14.

\_\_\_\_\_. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 55-62, 2007.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 97-111, jan./jun. 1996.

WU, H. X. Study of early selection in tree breeding. **Silva Genetica**, Frankfurt, v. 47, n. 2/3, p. 146-155, 1998.

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