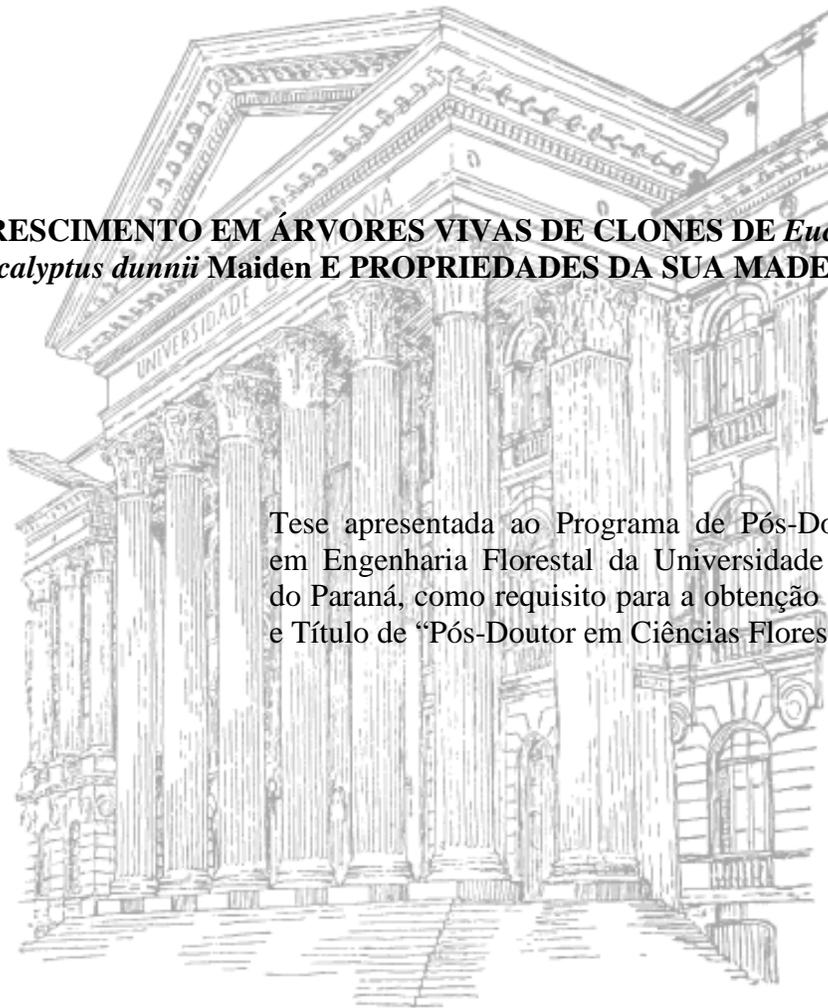


**TENSÃO DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES VIVAS DE CLONES DE *Eucalyptus*  
spp. E DE *Eucalyptus dunnii* Maiden E PROPRIEDADES DA SUA MADEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do Grau e Título de “Pós-Doutor em Ciências Florestais”.



CURITIBA

2005

**PAULO FERNANDO TRUGILHO**

**TENSÃO DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES VIVAS DE CLONES DE *Eucalyptus*  
spp. E DE *Eucalyptus dunnii* Maiden E PROPRIEDADES DA SUA MADEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do Grau e Título de “Pós-Doutor em Ciências Florestais”.

Colegiado Diretivo: Prof. Setsuo Iwakiri  
Prof. Carlos Roberto Sanqueta  
Prof. Sidon Keinert Jr.  
Prof. Roberto Tuyoshi Hosokawa

**CURITIBA**

**2005**

## **DEDICO ESTE TRABALHO**

*À minha esposa, Nelzy.*

*Ao meu filho Lair.*

*Ao meu pai, Lair (**in memoriam**).*

*À minha mãe, Naly.*

*Aos meus irmãos.*

*Aos meus amigos.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, pela oportunidade de realização do Curso em nível de Pós-Doutorado.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela liberação, facilitação e auxílio na complementação do trabalho realizado.

À minha esposa Nelzy e meu filho Lair, pela dedicação, confiança e compreensão.

À Votorantim Mineira de Metais (Unidade Agroflorestal) e Procopiak Compensados e Embalagens S.A., pelo apoio logístico e por ceder o material usado na pesquisa.

Aos professores Setsuo Iwakiri, Carlos Roberto Sanqueta, Sidon Keinert Jr. e Roberto Tuyoshi Hosokawa, membros do colegiado diretivo do programa de pós-doutorado, pela confiança depositada na realização do trabalho.

Aos professores do Laboratório de Tecnologia da Madeira do DCF-UFLA pela amizade, colaboração e incentivo.

Aos professores Márcio Pereira da Rocha e Jorge Luis Monteiro de Matos pelas sugestões e conselhos.

Aos professores Romano Timofeiczuk Júnior e Ricardo Jorge Klitzke pela amizade e cooperação.

Ao Engenheiro Florestal Leopoldo Karman Saldanha pelo companheirismo e ajuda na coleta dos dados de campo e laboratório.

Ao aluno Adalberto Caldas Oliveira pelo auxílio na coleta dos dados.

Aos peladeiros das quintas-feiras pela amizade e pelos momentos descontração.

A todos os demais amigos e servidores da Universidade Federal Paraná que, direta ou indiretamente, colaboram nas diversas fases e desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	<i>vii</i>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xi</i>
RESUMO .....	<i>xvi</i>
ABSTRACT .....	<i>xvii</i>
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. HIPÓTESES DIRETAMENTE RELACIONADAS AO ESTUDO PROPOSTO .....	05
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	07
3.1. As Tensões de Crescimento .....	07
3.2. A Origem das Tensões de Crescimento .....	07
3.3. A Distribuição das Tensões de Crescimento .....	09
3.4. Relação entre as Tensões de Crescimento e as Propriedades da Madeira ...	10
3.5. Emissão de Ondas Acústicas em Árvores Vivas.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
4.1. Material Experimental .....	12
4.2. Amostragem .....	12
4.3. Avaliação de Tábuas após Desdobro em Serraria .....	13
4.4. Avaliação da Deformação Residual Longitudinal (DRL) e Ondas Acústicas .....	16

4.5. Avaliação das Propriedades da Madeira .....	16
4.6. Avaliação da Relação entre a Tensão de Crescimento Longitudinal e as Propriedades da Madeira .....	20
4.7. Relação entre a DRL e a Velocidade de Propagação da Onda .....	20
4.8. Delineamento Experimental .....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5.1. Primeira Etapa – CAPÍTULO 1 (DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> ) .....	25
6.1. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1 .....	31
5.2. Primeira Etapa – CAPÍTULO 2 (INFLUÊNCIA DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS LONGITUDINAIS EM PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE <i>Eucalyptus</i> ) .....	32
5.2.1. Características físicas da madeira .....	32
5.2.1.1. Deformação residual longitudinal (DRL) .....	32
5.2.1.2. Índice de rachamento das tábuas (IR) .....	32
5.2.1.3. Densidades da madeira .....	34
5.2.1.4. Desvio da grã .....	35
5.2.1.5. Retratibilidade da madeira .....	36
5.2.2. Características mecânicas da madeira .....	38
5.2.3. Características químicas da madeira.....	39
5.2.4. Correlação entre as DRL e as outras características da madeira .....	40
6.2. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2 .....	43
5.3. Primeira Etapa – CAPÍTULO 3 (ESTIMATIVA DA TENSÃO DE CRESCIMENTO EM CLONES DE <i>Eucalyptus</i> ) .....	44
6.3. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3 .....	47

7.1. RELAÇÃO DOS TRABALHOS SUBMETIDOS À PUBLICAÇÃO EM REVISTAS CIENTÍFICAS NO BRASIL .....	48
8.1. TRABALHO PUBLICADO EM REVISTA CIENTÍFICA NO BRASIL .	48
9.1. TRABALHO PUBLICADO EM EVENTO NACIONAL .....	48
5.4. Segunda Etapa – CAPÍTULO 1 (AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM ÁROVRES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> : Efeito da Idade e das Características de Crescimento) .....	49
6.4. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1 .....	54
5.5. Segunda Etapa – CAPÍTULO 2 (DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM ÁROVRES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> : Relação com outras Características da Madeira) .....	55
5.5.1. Características físicas da madeira .....	55
5.5.2. Características químicas e dimensão das fibras da madeira.....	64
6.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2 .....	68
5.6. Segunda Etapa – CAPÍTULO 3 (TENSÃO LONGITUDINAL DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS RACHADURAS DE TOPO EM TÁBUAS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> ) .....	69
5.6.1. Oito anos de idade .....	69
5.6.2. Treze anos de idade .....	73
5.6.3. Quinze anos de idade .....	78
5.6.4. Dezenove anos de idade .....	84
6.6. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3 .....	91
5.7. Segunda Etapa – CAPÍTULO 4 (ESTIMATIVA DA TENSÃO DE CRESCIMENTO LONGITUDINAL: Módulo de elasticidade dinâmico versus módulo de elasticidade do ensaio destrutivo de tração paralela às fibras) .....	92
5.7.1. Oito anos de idade .....	92
5.7.2. Treze anos de idade .....	95
5.7.3. Quinze anos de idade .....	99

5.7.4. Dezenove anos de idade .....	102
5.7.5. Relações entre algumas características de resistência da madeira e as estimativas das tensões de crescimento .....	109
6.7. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 4 .....	110
7.2. TRABALHO SUBMETIDO À PUBLICAÇÃO EM REVISTAS CIENTÍFICAS NO BRASIL .....	111
8.2. TRABALHO APRESENTADO NA FORMA DE POSTER EM EVENTO NO BRASIL .....	111
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	112
ANEXO .....	116

## LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Procedimento adotado para a determinação das propriedades da madeira (Primeira e Segunda Etapa) .....	18
TABELA 2 – Estrutura da análise de variância para as características físicas, químicas e mecânicas da madeira (Primeira Etapa) .....	21
TABELA 3 – Estrutura da análise de variância para as características de crescimento (Primeira Etapa) .....	22
TABELA 4 – Resultados médios das características de crescimento e deformação residual longitudinal (DRL) estudadas em cada clone de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	25
TABELA 5 – Análise de variância da deformação residual longitudinal em função do clone, árvore e da posição 1 e 2 (1,30 m e 3,00 m) ao longo do fuste .....	26
TABELA 6 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e incremento médio anual (IMA) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	28
TABELA 7 – Matriz de correlação fenotípica entre as características deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) incremento médio anual (IMA) .....	31
TABELA 8 – Resultados médios obtidos das características analisadas na madeira de cada clone de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	33
TABELA 9 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores do quadrado médio para o índice de rachamento de tábuas e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	34

TABELA 10 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para deformação residual longitudinal (DRL), ângulo da grã (GRA), densidade dásica (DB), densidade seca (DS), contração volumétrica (CV), radial (CR) e tangencial (CT), coeficiente de anisotropia (CA) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para 11 clones de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	36
TABELA 11 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para resistência ao fendilhamento, resistência à tração paralela as fibras e módulo de elasticidade à tração paralela as fibras (MOE) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	39
TABELA 12 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para lignina insolúvel (LI), lignina solúvel (LS) e lignina total (LT) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para 11 clones de <i>Eucalyptus</i> , aos seis anos de idade .....	40
TABELA 13 – Valores das correlações simples entre as características avaliadas na madeira .....	41
TABELA 14 – Valores médios da deformação residual longitudinal (DRL), módulo de elasticidade (MOE) e estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) .....	44
TABELA 15 – Resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado para a DRL e TCL .....	45
TABELA 16 – Valores médios para a deformação residual longitudinal e as características de crescimento .....	49
TABELA 17 – Resumo da análise de variância para o efeito do fator idade .....	50
TABELA 18 – Resumo da análise de variância da regressão com o teste para falta de ajustamento .....	50
TABELA 19 – Deformação residual longitudinal por classe diamétrica .....	52
TABELA 20 – Equações de regressão ajustadas para as idades avaliadas .....	52
TABELA 21 – Valores médios das características avaliadas na madeira .....	55
TABELA 22 – Matriz de correlação geral entre a DRL e as características físicas da madeira .....	59

TABELA 23 – Matriz de correlação para as idades individuais .....	60
TABELA 24 – Valores médios dos coeficientes de contração e anisotropia da madeira .....	61
TABELA 25 – Valores médios dos componentes químicos e dimensões das fibras .....	65
TABELA 26 – Valores médios para a espessura, largura e comprimento de tábuas e pranchas radiais centrais obtidas após o processamento das toras .....	69
TABELA 27 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos oito anos de idade .....	70
TABELA 28 – Valores médios do índice de rachamento de tábuas e rendimento de tábuas, por tora, e a DRL da árvore aos oito anos de idade .....	72
TABELA 29 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 13 anos de idade .....	73
TABELA 30 – Valores médios para os índices de rachamento, desvio da grã e rendimentos em madeira serrada na tora A aos 13 anos de idade.	74
TABELA 31 – Valores médios para os índices de rachamento e rendimentos em madeira serrada na tora B aos 13 anos de idade .....	75
TABELA 32 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e geral aos 13 anos de idade .....	78
TABELA 33 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 15 anos de idade .....	79
TABELA 34 – Valores médios para os índices de rachamento, desvio da grã e rendimentos em madeira serrada na tora A aos 15 anos de idade.	80
TABELA 35 – Valores médios para as características avaliadas na tora B aos 15 anos de idade .....	81
TABELA 36 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e geral aos 15 anos de idade .....	84
TABELA 37 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 19 anos de idade .....	85

TABELA 38 – Valores médios para as características avaliadas na tora A aos 19 anos de idade .....	86
TABELA 39 – Valores médios para as características avaliadas na tora B aos 19 anos de idade .....	87
TABELA 40 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e o geral aos 19 anos de idade .....	90
TABELA 41 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos oito anos de idade .....	94
TABELA 42 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos oito anos de idade .....	95
TABELA 43 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 13 anos de idade .....	96
TABELA 44 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 13 anos de idade .....	98
TABELA 45 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 15 anos de idade .....	100
TABELA 46 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 15 anos de idade .....	102
TABELA 47 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 19 anos de idade .....	103
TABELA 48 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 19 anos de idade .....	106
TABELA 49 – Correlação simples entre as características de resistência da madeira, a estimativa da tensão de crescimento longitudinal e a velocidade de propagação da onda de tensão determinada na condição de 12% de umidade .....	109

## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Esquema da retirada dos toretes para determinação das propriedades da madeira e das toras para o desdobro (Primeira Etapa) .....	13
FIGURA 2 – Esquema do diagrama de corte simultâneo, em que A é a retirada simultânea das costaneiras, B é o corte simultâneo do semibloco e C as duas costaneiras .....	14
FIGURA 3 – Esquema de cortes paralelos balanceados, onde em A e B é a retirada das costaneiras, C retirada das tábuas e D é a prancha diametral radial .....	15
FIGURA 4 – Esquema do diagrama de corte simultâneo, em que A é a retirada simultânea de duas tábuas e costaneiras, B é o corte simultâneo do semibloco e C as duas tábuas e costaneiras que alimentam a refiladeira .....	15
FIGURA 5 – Detalhes dos instrumentos usados para medição da deformação residual longitudinal (DRL) (Primeira e Segunda Etapa) .....	17
FIGURA 6 – Sistema de aplicação de ondas de tensão modelo Metriguard 239A, mostrando o kit de laboratório (Segunda Etapa) .....	17
FIGURA 7 – Esquema da amostragem na árvore para a determinação das propriedades químicas, físicas e mecânicas (Primeira Etapa) .....	18
FIGURA 8 – Valores médios de DRL (mm) de onze clones de <i>Eucalyptus</i> , aos 6 anos de idade. Ganho esperado e médias com a seleção dos clones 2 e 7. Efeito de posição na estimativa da DRL. Clones e posições, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ( $p < 0,05$ ) .....	27
FIGURA 9 – Valores médios de altura total (HT), incremento médio anual (IMA) e diâmetro à altura do peito (DAP) de 11 clones de árvores de <i>Eucalyptus</i> cultivados em um sistema agrosilvopastoril, com espaçamento de 10,0 x 4,0 m e idade de 75 meses. Médias com as mesmas letras não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), usando o teste de Tukey-Kramer	30

FIGURA 10 – Comparação múltipla para o efeito de clone e posição longitudinal ( $P_1$ e $P_2$ ) da DRL. Clones e posição longitudinal seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) .....	46
FIGURA 11 – Comparação múltipla para o efeito de clone e posição longitudinal ( $P_1$ e $P_2$ ) na estimativa da TCL. Clones e posição longitudinal seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) .....	46
FIGURA 12 – Tendência da deformação residual longitudinal em função da idade .....	51
FIGURA 13 – Comportamento da DRL média em função da classe diamétrica ...	53
FIGURA 14 – Tendência da variação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade) .....	56
FIGURA 15 – Variação do tempo de propagação da onda de tensão (sentido radial) em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade) .....	57
FIGURA 16 – Variação do teor de umidade árvore em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade) .....	57
FIGURA 17 – Variação da densidade básica da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade) .....	58
FIGURA 18 – Variação do tempo de propagação da onda de tensão em função do DAP e idade .....	58
FIGURA 19 – Comportamento da variação dimensional da madeira da condição de saturação até a umidade de equilíbrio (13,46%) em função da idade .....	62
FIGURA 20 – Comportamento da variação dimensional da madeira da condição de saturação até seco em estufa em função da idade .....	62
FIGURA 21 – Comportamento do coeficiente de anisotropia da condição de saturação até a umidade de equilíbrio (13,46%) em função da idade .....	63

FIGURA 22 – Comportamento do coeficiente de anisotropia da condição de saturação até seco em estufa em função da idade .....	63
FIGURA 23 – Variação dos teores de lignina na madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	65
FIGURA 24 – Variação dos teores de cinzas e polifenóis na madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	66
FIGURA 25 – Variação no comprimento da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	66
FIGURA 26 – Variação na espessura da parede celular da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	67
FIGURA 27 – Variação na largura e diâmetro do lume da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade) .....	67
FIGURA 28 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas na tora A aos oito anos de idade .....	71
FIGURA 29 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas na tora B aos oito anos de idade .....	71
FIGURA 30 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 13 anos de idade .....	76
FIGURA 31 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 13 anos de idade .....	76
FIGURA 32 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 13 anos de idade .....	77
FIGURA 33 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 13 anos de idade .....	77

FIGURA 34 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 13 anos de idade .....	78
FIGURA 35 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 15 anos de idade .....	82
FIGURA 36 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 15 anos de idade .....	82
FIGURA 37 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 15 anos de idade .....	83
FIGURA 38 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 15 anos de idade .....	83
FIGURA 39 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 15 anos de idade .....	84
FIGURA 40 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 19 anos de idade .....	88
FIGURA 41 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 19 anos de idade .....	88
FIGURA 42 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 19 anos de idade .....	89
FIGURA 43 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 19 anos de idade .....	89
FIGURA 44 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 19 anos .....	90
FIGURA 45 – Tendência de variação da velocidade de propagação da onda de tensão em função da idade na condição de saturação e sentido radial (A), na condição de saturação e sentido longitudinal (B – VEL2) e na condição de umidade de 12% (B – VEL3) .....	107

FIGURA 46 – Tendência de variação do módulo de elasticidade dinâmico em função da idade na condição de saturação e sentido radial (A), na condição de saturação e sentido longitudinal (B – MOEd2) e na condição de umidade de 12% (B – MOEd3) .....	107
FIGURA 47 – Tendência de variação da estimativa da tensão de crescimento em função da idade na condição de saturação e sentido longitudinal (TCSAT) e na condição de umidade de 12% (TC3) .....	108
FIGURA 48 – Tendência de variação do módulo de elasticidade (A) e da tensão de crescimento longitudinal (B) em função da idade .....	108
FIGURA 49 – Tendência de variação da força máxima (A) e resistência à tração paralela às fibras (B) em função da idade .....	108

## ANEXO

FIGURA 1A – Vista geral dos plantios usados no trabalho, onde em A é 8, B é 13, C é 15 e D é 19 anos de idade .....	117
FIGURA 2A – Seqüência de derrubada das árvores no campo (15 anos de idade)	118
FIGURA 3A – Carregamento e transporte das toras para a serraria da Procopiak .	119
FIGURA 4A – Esquema do sistema de desdobro usado para as idades de 13, 15 e 19 anos de idade .....	120
FIGURA 5A – Exemplos de tábuas obtidas após desdobro, onde em A são da matriz número 12 de 19 anos de idade e em B e C de outras matrizes com 15 anos de idade .....	121
FIGURA 6A – Amostras de costaneiras opostas usadas na avaliação da retratibilidade, resistência à tração paralela e modulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal .....	121
FIGURA 7A – Exemplos de defeitos internos normalmente encontrados nas árvores matrizes, especialmente nas de idades mais avançadas (15 e 19 anos), sendo a podridão de cerne e a presença de vários nós .....	122
FIGURA 8A – Detalhe das toras da matriz número 12 de 19 anos de idade, a melhor de todas com DAP = 49 cm, altura total = 45,1 cm, DRL = 0,045 mm, IR = 0,42%, onde A é a segunda tora, B e C representam, respectivamente o topo e a base da primeira tora .....	122
FIGURA 9A – Exemplo de pila se madeira produzida no pátio da serraria da Procopiak com as tábuas obtidas no sistema de desdobro .....	123

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar a funcionalidade do método CIRAD-Forêt para determinação das deformações residuais longitudinais (DRL) e determinar o nível de variação da DRL em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Objetivou, ainda, determinar a variação da DRL inter e intra genótipos, avaliar a relação existente entre a DRL e algumas características da madeira, estimar a tensão de crescimento longitudinal usado à relação existente entre a DRL e o módulo de elasticidade dinâmico e, também, o módulo de elasticidade obtido no ensaio de tração paralela às fibras e verificar a relação existente entre a leitura obtida pelo método do CIRAD-Forêt e a técnica de aplicação de ondas de tensão (“stress wave timer”). O estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira etapa envolvendo a avaliação de 11 clones e a segunda etapa envolvendo a avaliação de 64 árvores matrizes. Os resultados do estudo envolvendo os clones indicaram que o aparelho do CIRAD-Forêt foi eficiente e funcional na avaliação de árvores no campo. A DRL não variou com a altura pesquisada e apresentou elevada herdabilidade clonal. Foi observada correlação significativa entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas, densidade e contração volumétrica e tangencial. A DRL não apresentou correlação com as características de crescimento e as químicas da madeira. A variação inter clonal da DRL foi maior que a intra clonal. Os resultados envolvendo as árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* indicam que a DRL não apresentou efeito significativo da idade, entretanto, na média, existe uma tendência de aumento. O efeito da classe diamétrica apresentou relação funcional, modelo quadrático, com a DRL. A estimativa da tensão de crescimento longitudinal foi de maior magnitude quando se utilizou o módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras em comparação ao módulo de elasticidade dinâmico. Existe tendência de aumento da intensidade das tensões de crescimento longitudinal com a idade do material. De modo geral as propriedades da madeira tenderam a aumentar até os 15 anos de idade e tenderam a estabilizar aos 19 anos devido, provavelmente, a mudança da madeira da fase juvenil para a adulta ou madura. Este fato ocorreu com várias propriedades avaliadas na madeira como, por exemplo, a densidade básica.

## ABSTRACT

This study evaluated the functionality of CIRAD-Forest method for determining longitudinal residual deformations (DRL) and the level of DRL variation in alive trees of *Eucalyptus* spp. clones and *Eucalyptus dunnii* Maiden seed trees. It also aimed at determining the variation of DRL inter and intra genotypes, evaluating if exists relationship between DRL and some wood characteristics, at evaluating the longitudinal growth tension used between DRL and the dynamic module of elasticity and, also, the module of elasticity obtained trial of parallel traction to the fibers and at verifying if there exist relationship among the results obtained by the CIRAD-Forest method and by the application of stress wave timer technique. The study was divided in two parts; in the first one 11 clones were evaluated and in the second one 64 seed trees were evaluated. The results of the clone analysis indicated that CIRAD-Forest gadget was efficient and functional in field tree evaluation of. DRL did not vary with the measured height, presenting high clone heritability. Significant correlation was observed among DRL and split index of boards, density and volumetric and tangential shrinkage. DRL did not present correlation with the growth characteristics and with wood chemical properties. The DRL inter clone variation was larger than the intra clone one. The results involving *Eucalyptus dunnii* seed trees indicated that DRL didn't present age significant effect, however, in average, an increase tendency exists. The effect of the diametric class presented functional relationship with DRL, in the quadratic model. Tension estimate of longitudinal growth was of larger magnitude, when using module of elasticity in trials of parallel traction to the fibers, as compared to the dynamic module of elasticity. There exists a tendency of longitudinal growth tension intensity to increase as trees grow old. In general wood properties tended to increase until 15 years of age, stabilizing at 19 years of age. Probably, because the juvenile wood phases finishes and the adult or mature phase begins. This occurred with several wood appraised properties, e.g., basic density.

## 1. INTRODUÇÃO

O eucalipto foi introduzido no Brasil pelo Dr. Edmundo Navarro de Andrade no início do século, quando na época ocupava o cargo de chefe do Setor Florestal da Companhia Paulista de Ferrovia, com a finalidade de estudar as várias espécies do gênero *Eucalyptus*, como forma de substituir as madeiras de espécies nativas, tanto para energia como dormentes. O gênero teve seu auge na década de 60, quando houve a criação do novo Código Florestal e com a promulgação da lei de incentivo fiscal, onde as áreas plantadas com eucalipto aumentaram significativamente.

Em Minas Gerais, entre as espécies utilizadas em plantios comerciais, o eucalipto se destaca em diversos indicadores, entre eles área plantada. As espécies predominantemente plantadas são o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus urophylla*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna*, dentre outros. Ocorre que, grande parte desta área era, até pouco tempo atrás, importante componente da matriz energética do setor siderúrgico e, hoje, apesar de manter ainda certa importância encontra severa concorrência com alternativas energéticas de menor custo. Surge então a necessidade de se buscar usos múltiplos para esta madeira que perdeu espaço no campo energético.

Na região sul destaca-se o *Eucalyptus dunnii*, espécie introduzida em regiões de ocorrência de geadas. A espécie ocorre naturalmente numa região restrita ao nordeste de New South Wales e sudeste de Queensland, na Austrália, nas latitudes entre 28 a 30 °S, em altitudes variando de 300 até 800 m. A precipitação pluviométrica média anual varia de 800 a 1500 mm, com período chuvoso concentrado no verão. A temperatura média máxima fica entre 27 e 30 °C e a mínima entre 0 e 8 °C. As geadas podem ocorrer de 30 a 60 dias na área de ocorrência natural e a estação seca, no inverno, não excede a três meses. A espécie prefere solos úmidos, férteis e bem drenados, suportando período de déficit hídrico de até três meses. A madeira moderadamente pesada sendo adequada para lenha, carvão vegetal, celulose, moirões, postes, serrados, laminados, chapas, etc. Apresenta boa capacidade de regeneração por brotação das cepas o que possibilita a geração de clones (Rech, 2003).

Devido as grandes ameaças dos ambientalistas e a grande distância da matéria-prima com os pólos madeireiros, os grandes centro de consumo, fez com que as madeiras nativas ficassem cada vez mais difícil de trabalhar, pois aumenta demais o custo.

Hoje vem se procurando substituir essa matéria-prima por outra, onde essa possua boas características para o setor de madeira serrada, de rápido crescimento e que possa estar mais próximo possível dos grandes centros consumidores, sendo, o eucalipto que se enquadra em todos os requisitos para a sua utilização no setor de madeira serrada.

A utilização da madeira de eucalipto na indústria madeireira seria num primeiro momento uma alternativa ao aproveitamento destas áreas agora ociosas e num segundo momento incentivadora de pesquisas para o plantio direcionado a esta indústria. No entanto, existem fatores que interferem bastante a qualidade desta madeira para este tipo de utilização, por exemplo, a tensão de crescimento.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam altos níveis de tensão de crescimento. Essas tensões são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e agente silviculturais (desbaste, poda e densidade de plantio).

Quando as árvores são derrubadas e suas toras são desdobradas, a tensão de crescimento se manifesta rotineiramente, na prática, como rachaduras de tábuas e empenamentos, o que resulta num produto final de má qualidade e em menor quantidade. Isto resulta num aumento de custos e conseqüente diminuição nos lucros.

As tensões de crescimento são determinadas a partir da medição da alteração nos comprimentos de peças de madeira, após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro de um tronco de uma árvore (Lisboa, 1993). Em conseqüência, os processos de medições utilizados determinam as deformações e não as tensões. De acordo com a distribuição das tensões no interior do tronco, peças de madeira removidas da periferia do tronco tenderão a diminuir de comprimento em resposta ao seu estado de tração e, inversamente, peças removidas próximas à medula tenderão a alongar-se em resposta ao estado de compressão anterior.

Uma vez determinada a deformação de uma peça em relação ao seu comprimento (deformação residual longitudinal – DRL), quando ainda no interior da árvore, basta multiplicar este valor pelo correspondente módulo de elasticidade determinado na própria peça em que foi medida a alteração de comprimento, ou simplesmente pelo valor médio deste módulo, determinado em laboratório para a espécie em questão (Lisboa, 1993).

Deformações longitudinais periféricas podem ser determinadas através da liberação de tensões proporcionada por dois orifícios perfurados acima e abaixo de extensômetros de medição fixados no tronco de uma árvore. A medição das deformações periféricas no

tronco refere-se tão somente à madeira mais recentemente formada. De acordo com Archer (1986) esse método é relativamente simples, de execução rápida, somente destrutivo localmente e pode ser aplicado na própria árvore. De acordo com esse método é possível examinar detalhadamente as tensões circunferenciais ao longo do comprimento de toras e árvores, permitindo a comparação entre árvores e o acompanhamento de alterações que possam ocorrer em tratamentos para redução e para seleção daquelas com baixas tensões, com fins a estudos genéticos e de utilização em experimentos de propagação vegetativa. A perfuração dos orifícios fornece uma estimativa da total liberação das deformações próximas a eles, 15 % inferior ao valor obtido com a remoção completa da peça de madeira (Nicholson, 1971). Conseqüentemente, este método é apenas indicado para trabalhos de campo, onde se deseja obter a intensidade aproximada das deformações de crescimento, sua distribuição periférica e sua variação entre árvores e espécies. Este método é chamado de método de Nicholson.

O método de medição das deformações periféricas é de importância prática, embora não informe a magnitude e a distribuição radial das tensões longitudinais no interior do tronco. Para isto pode-se empregar o denominado método de Jacobs. Este método é detalhadamente descrito por Archer (1986) e não será objeto de discussão neste trabalho.

Mesmo considerando a importância do conhecimento e dos efeitos das tensões de crescimento para a utilização da madeira, no Brasil este tema tem sido pouco estudado. Mais recentemente, entretanto, devido ao crescente emprego do *Eucalyptus* como produtor de madeira serrada, várias questões sobre os níveis, os efeitos, as variações e possíveis formas de controle das tensões de crescimento têm surgido. Entre outros, cita-se os trabalhos de Fernandes (1982), Garcia (1992), Lisboa (1993), Schacht et al. (1998) e Crespo (2000).

Outra técnica que pode ser utilizada é a de aplicação de emissão acústica, a qual geralmente é adaptada em estudo de classificação de tábuas que compõem as vigas laminadas coladas ou lâminas usadas na fabricação de compensados. A medição da velocidade de propagação das ondas sonoras pode permitir, além do cálculo do módulo de elasticidade dinâmico, podendo, também, dar uma idéia das condições locais no tronco, caso seja adaptado e acoplado a um osciloscópio.

A avaliação dos níveis de tensões de crescimento nas árvores é importante, pois resultará na seleção de material menos propenso a manifestações de defeitos ocasionados por estas tensões, durante o seu processamento industrial. Deve ser ressaltado, ainda que,

não existem muitos trabalhos nesse sentido e que essa carência se deve, em parte, pela dificuldade em se determinar a magnitude das tensões de crescimento principalmente nas árvores em pé e vivas.

O objetivo geral deste estudo é avaliar a funcionalidade do método CIRAD-Forêt para determinação das deformações residuais longitudinais (DRL) e determinar o nível de variação das deformações residuais longitudinais em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Determinar a variação da DRL inter e intra genótipos. Avaliar a relação existente entre a DRL e algumas características da madeira, visando ao ajuste de equações de regressão para o estabelecimento de modelos estatísticos que permitam a sua estimativa por meio de uma ou mais características da madeira de mais fácil medição. Estimar a tensão de crescimento longitudinal usando a relação existente entre a DRL e o módulo de elasticidade dinâmico e, também, o módulo de elasticidade obtido no ensaio de tração paralela às fibras. Verificar a relação existente entre a leitura obtida pelo método do CIRAD-Forêt e a técnica de aplicação de ondas de tensão (“stress wave timer”).

## 2. HIPÓTESES DIRETAMENTE RELACIONADAS AO ESTUDO PROPOSTO

### 1. Testar a funcionalidade do equipamento extensômetro – método CIRAD-Forêt

**Justificativa:** O equipamento tem a finalidade de determinar as deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em árvores em pé (vivas), sendo considerado um método não destrutivo. O teste é importante, pois esse método é de rápida execução o que possibilita a avaliação de grande quantidade de material no campo, podendo vir a ser uma ferramenta muito útil na seleção e classificação de genótipos, os quais apresentem baixos níveis de tensões de crescimento.

### 2. Avaliar os níveis de deformação residual longitudinal (DRL) em árvores matrizes e clones de *Eucalyptus* (usando o método CIRAD-Forêt)

**Justificativa:** A deformação residual longitudinal é decorrente das tensões longitudinais de crescimento, as quais são de extrema importância para a definição da utilização da madeira como sólidos. Os níveis de tensão diferenciado existente entre os diversos genótipos podem proporcionar a identificação daqueles de maior potencial de uso. Além disso, será possível a determinação da hereditariedade dessa característica o que possibilitará a indicação de genótipos para implantação de teste clonal.

### 3. Determinar os níveis de variação da DRL inter e intra genótipos

**Justificativa:** A variação inter e intra genótipos é importante do ponto de vista da maior ou menor homogeneidade e/ou heterogeneidade dos materiais a serem avaliados no campo. Essa avaliação será realizada por meio de análises estatísticas dos dados coletados nos diferentes genótipos.

### 4. Transformar a DRL em valor de tensão de crescimento

**Justificativa:** A DRL pode sofrer variação na sua magnitude dependendo do tipo de material, por exemplo, em materiais mais novos a DRL pode apresentar valor diferente de materiais mais maduros devido à diferença existente na resistência do material. A ideia é usar o sistema de aplicação de ondas de tensão para determinar o MOE e transformar a DRL em tensão de crescimento pela seguinte equação 1:

$$TCL = MOE \times \varepsilon \quad (1)$$

onde,

MOE é o módulo de elasticidade ( $\text{kgf/cm}^2$ );

$\epsilon$  é o deslocamento unitário ou deformação unitária (mm/mm).

Ensaio de laboratório para o ensaio de tração paralela às fibras serão realizados para ajustar o valor do MOE obtido com a técnica de aplicação de emissão de tensão (“stress wave timer”).

5. Avaliar a relação existente entre a DRL e outras propriedades da madeira

**Justificativa:** Relacionar a DRL e a tensão de crescimento com outras propriedades da madeira visando ajustar modelos estatísticos (regressão). Esta etapa será importante para a verificação das relações existentes entre a DRL e outras características da madeira cuja finalidade será entender melhor o comportamento dessa propriedade e tentar explicar suas prováveis causas.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. As Tensões de Crescimento**

A Sociedade Americana de Ciência Florestal definiu as tensões de crescimento como forças encontradas nos troncos lenhosos verdes. Desta maneira, são distintas das tensões e deformações que ocorrem na madeira como resultados da eliminação de água pela secagem (Dinwoodie, 1966). São características do crescimento natural das árvores e ocorrem igualmente tanto em folhosas como em coníferas (Jacobs, 1945).

Segundo Dinwoodie (1966), Boyd (1972), Chafe (1979) e Conradie (1980), a primeira tentativa de explicar a origem das tensões de crescimento foi empreendida por Martley em 1928, ao observar as curvaturas que ocorriam após os cortes de pranchas de olmo. Martley considerou inicialmente que as tensões poderiam ser causadas pelo aumento do peso da árvore durante o crescimento. Entretanto, após desenvolver alguns cálculos, concluiu que o peso da árvore produziria apenas pequenas frações das tensões de crescimento.

O papel principal destas tensões é fornecer suporte à árvore durante a sua vida. Através da sua ativação, a árvore regula a posição de sua copa em resposta às condições ambientais que lhe são impostas. Como as árvores estão imóveis, a ação das tensões em um de seus lados, por exemplo, permite que ela se curve numa direção mais favorável, embora árvores de grande diâmetro necessitam de vários anos para, lentamente, se endireitarem (Kubler, 1987; 1988).

As tensões de crescimento estão em equilíbrio enquanto a árvore está em pé, mas tão logo esta é cortada, ocorrem imediatamente deformações e rachaduras nos topos de toras, em função da modificação do estado de equilíbrio que vigorava durante o crescimento (Ferrand, 1983). Sendo assim, a zona periférica da tora, sob tração, tende, após o abate, a

expandir e empurrar a face do corte para o exterior, causando rachaduras de topo nas toras (Malan, 1979). Elas ocorrem na árvore antes da derrubada, atuando como uma forma de dar-lhes estabilidade (van Vyk, 1978).

### **3.2. A Origem das Tensões de Crescimento**

Segundo Dinwoodie (1966), Münch em 1938, estudando tensões na madeira de reação, sugeriu que tais tensões eram devido a contração das paredes celulares da madeira em tração, em função do inchamento das mesmas no sentido transversal através da deposição de substâncias sólidas nos espaços intercelulares durante a lignificação. Com o aumento da pressão ocorre o inchamento tanto da parede como da célula e subsequente alterações na orientação da microfibrila. Apesar da hipótese de Münch ser originalmente desenvolvida para madeira de tração, ela também tem sido usada para explicar as tensões de crescimento nos troncos de árvores normais e retas.

De acordo com Conradie (1980), Jacobs em 1938 foi o 1º pesquisador que sugeriu ser a origem das tensões o resultado de possíveis encurvamentos da nova camada de crescimento da madeira, e que esse fenômeno da mudança dimensional ocorre em um determinado estágio de desenvolvimento da célula.

Jacobs (1945) propõe uma teoria substitutiva para sua primeira hipótese, em que as tensões de crescimento surgiram como uma reação à tensão da seiva.

Boyd (1950) criticou a teoria de Jacobs (1945), onde este autor considerou que as forças de sucção nas árvores são maiores nos topos e sendo assim, as tensões deveriam apresentar uma distribuição semelhante, o que não é o caso e, que as forças de sucção consideradas para a formação de tensão são capazes de causar colapsos nas fibras, o que também não acontece normalmente.

As tensões de crescimento originam-se na região cambial dos troncos das árvores, durante a maturação das paredes celulares. Essas tendem a contraírem-se longitudinalmente e, simultaneamente, expandirem-se lateralmente. Sendo essas células parte integrante dos tecidos das árvores, elas são quase que inteiramente impedidas de sofrerem essas alterações dimensionais (Wilhelmy e Kubler, 1973).

As causas das altas tensões de crescimento não são bem conhecidas, mas há suspeita de que estejam relacionadas com fatores genéticos, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação do fuste (Opie et al., 1984).

A tensão de tração ocorrente da árvore é causada pelo encurtamento das fibras durante o desenvolvimento da parede secundária. Segundo Wilkins (1986) este encurtamento pode ser devido a duas causas, que são, por enquanto, hipóteses: inchamento pela lignina e tração da celulose. A primeira hipótese proposta por Watanabe e Boyd, citados por Wilkins (1986), sugere que a deposição da lignina durante a diferenciação celular resulta no inchamento da parede celular, e caso o ângulo das microfibrilas da camada  $S_2$  seja menor que  $40^\circ$ , ocorrerá encurtamento da célula e, se for maior que  $40^\circ$ , ocorrerá alongamento. A outra hipótese sugere que o encurtamento das células periféricas é resultante da contração dos cristais de celulose das microfibrilas da camada  $S_2$  e como, na hipótese anterior, é o ângulo microfibrilar desta camada que definirá se a célula encurtará ou alongará. Kubler, citado por Wilkins (1986), sustenta esta última hipótese, e argumenta que tração longitudinal está presente antes da deposição da lignina, o que contrapõe a hipótese do inchamento pela lignina.

Segundo Fernandes (1982) as rachaduras e empenamentos que ocorrem na madeira acima do ponto de saturação das fibras, têm origem nas tensões de crescimento. Deste modo, as avaliações efetuadas nas toras recém abatidas podem não manifestar o total das tensões de crescimento antes do abate, porém certamente refletem o nível de intensidade dessas forças, sem a presença das tensões de crescimento.

### **3.3. A Distribuição das Tensões de Crescimento**

Estudos realizados por Jacobs em 1945, citados por Hillis e Brown (1978) demonstraram a existência de um gradiente longitudinal de deformações que ocorre em qualquer seção transversal do tronco. Essas deformações são causadas por uma tração longitudinal do tronco, com intensidade crescente na direção da periferia, e uma tensão longitudinal de compressão na parte central do tronco que alcança um valor máximo próximo à medula. À medida que a árvore cresce, estas forças se distribuirão continuamente na área da seção transversal. Conseqüentemente, a tensão de compressão diminui em magnitude com o aumento do diâmetro. A média da tensão periférica é maior para as folhosas do que para coníferas, variando também entre espécies de eucalipto (Nicholson (1973), citado por Hillis e Brown, 1978).

Os índices que refletem o nível de tensões de crescimento apresentam três padrões de variação com a altura da árvore. Uma das tendências é a de diminuir com a altura, Chafe (1985); Purnell (1988); Gaiotto (1993); Schachat et al. (1998); Del Menezzi (1999), a outra

é de aumentar até a metade da altura da árvore e a partir desse ponto diminuir (Yao, 1979 e Malan, 1984) e a última, de aumentar com a altura (Chafe, 1981).

Existem três tipos de tensões nas árvores em desenvolvimento: tensões longitudinais de tração paralela às fibras, tensões compressivas na direção tangencial e tensões de tração em direção radial (Galvão, 1976).

Estudando a distribuição das tensões internas de crescimento, Jacobs (1965), observou este mesmo fenômeno de deformação tanto nos troncos como nos galhos e raízes de eucalipto.

A distribuição das tensões longitudinais de crescimento varia de uma tração máxima na periferia da árvore até um valor máximo de compressão, na medula. A transição entre tração e compressão se dá por volta de 2/3 (dois terços) do raio da tora, medindo a partir da medula (Jacobs, 1945).

Em algumas espécies o aumento do diâmetro e o efeito acumulativo das camadas sucessivas de crescimento em estado de tração induzem a parte central do tronco a uma compressão superior ao limite elástico, causando o desenvolvimento de inúmeras fendas de compressão tanto na madeira como nas paredes das células, observadas pela primeira vez na Austrália e denominada de madeira quebradiça (“brittleheart”) (Diwoodie, 1966 e Malan, 1984).

### **3.4. Relação entre as Tensões de Crescimento e as Propriedades da Madeira**

Poucos estudos tentaram relacionar a tensão de crescimento com as propriedades da madeira. Alguns estudos nessa linha de raciocínio são os de :a) Nicholson e Hillis (1975), que estudando o comportamento da madeira de *Eucalyptus regnans* concluíram que a contração volumétrica (a 12% de umidade) está relacionada com o comportamento longitudinal da tensão de crescimento, módulo de elasticidade, densidade básica e estrutura da fibra. b) Fernandes (1982), que trabalhando com cinco progênies de *Eucalyptus urophylla*, estudou as relações da tensão de crescimento destas com as variações de densidade da madeira, obtendo resultados que permitiram concluir a existência de grandes variações das rachaduras nas extremidades dos toretes, sendo as variações dentro de progênies maiores do que entre progênies.

A variabilidade da intensidade das tensões de crescimento é alta entre espécies, entre árvores da mesma espécie, e mesmo dentro da própria árvore em diferentes posições, variando na altura e no sentido medula-casca. Pesquisas realizadas não têm encontrado

correlações positivas entre a intensidade das tensões de crescimento e dimensões de árvore, idade, diâmetro do tronco ou taxa de crescimento, entretanto, é geralmente reconhecido que com o crescimento da tora em diâmetro, obtido por desbaste ou ampliação do prazo de rotação, os efeitos das tensões de crescimento são reduzidos (Shield, 1995).

### **3.5. Emissão de Ondas Acústicas em Árvores Vivas**

As aplicações não destrutivas de emissão acústica em árvores ou em toras permitem a seleção de material mais rapidamente no campo, além do conhecimento das condições físicas internas desses materiais. A deterioração e defeitos podem ser determinados porque a velocidade de propagação da onda de tensão e, conseqüentemente, o MOE reduzem drasticamente ao encontrar um defeito. Pesquisas de avaliação da relação entre os valores de velocidade de propagação acústica no tronco de árvores e sua relação com a qualidade e volume de madeiras e lâminas obtidas do processamento destas árvores, estão ainda em fase de análise. Os primeiros resultados demonstram que esta técnica é promissora para a classificação de árvores. Entretanto, não existe uma relação definida e estimada entre a velocidade de propagação da onda de tensão e a tensão de crescimento. O espectro da passagem da onda na circunferência do tronco pode permitir estimar correlação com a DRL obtida no método do CIRAD-Forêt. Matos (1997) ressalta a confiabilidade do método de emissão de ondas de tensão na avaliação da qualidade de lâminas para a fabricação de compensados, além de citar várias outras aplicações do referido método.

Entretanto, o seu emprego em árvores vivas ainda foi pouco explorado e os resultados preliminares não permitiram tirar conclusões definitivas. Dessa forma, experimentos devem ser conduzidos visando estabelecer a relação existente entre essas duas técnicas de avaliação de árvores em nível de campo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material Experimental

Para que se tenha um melhor entendimento em relação ao trabalho proposto, este foi dividido em duas etapas conforme descrição a seguir.

**Primeira Etapa** – a primeira etapa foi para avaliar a deformação residual longitudinal (DRL) na árvore em pé de 11 clones de *Eucalyptus* spp. plantados em povoamento com espaçamento de 10 x 4 m em sistema agroflorestal da Companhia Mineira de Metais (CMM), com idade de seis anos, previamente selecionados em função da taxa de incremento médio anual. Nesta fase será avaliada a DRL, os parâmetros genéticos e sua correlação com algumas propriedades da madeira. Esta fase tem por objetivo determinar a herdabilidade dessa característica e se herdável incluí-la como ferramenta de seleção de árvores no campo (árvores matrizes – etapa segunda).

**Segunda Etapa** – a segunda fase foi para avaliar a deformação residual longitudinal (DRL) em árvores matrizes (em pé). Nessa fase serão avaliadas árvores matrizes oriundas de plantio comercial de *Eucalyptus dunnii* proveniente da Procopiak Compensados e Embalagens S.A., localizada no município de Canoinhas/SC, Brasil. Foram avaliadas 16 árvores matrizes em quatro idades diferentes, sendo aos oito, 13, 15 e 19 anos de idade, o que perfaz um total de 64 árvores avaliadas. Esta fase tem como objetivo avaliar a influência da idade e permitir classificar o material em classe de qualidade quanto a DRL, para seleção massal. Nas árvores selecionadas foi, também, aplicada a metodologia de

emissão de ondas de tensão (em pé na altura do DAP – medição no sentido radial) e, também, em material amostrado em duas costaneiras opostas, o qual foi levado ao laboratório (medição no sentido longitudinal ou axial). A Figura 1A mostra a vista geral das áreas usadas no trabalho.

#### **4.2. Amostragem**

O trabalho foi dividido em duas etapas a saber:

**Primeira Etapa** – referente ao trabalho envolvendo os clones. Os clones foram inicialmente classificados quanto ao crescimento e foram avaliados os três mais produtivos (clone 3, 7 e 8), os quatro menos produtivos (clone 1, 4, 10 e 11) e quatro de produtividade intermediária (clone 2, 5, 6 e 9), avaliação visando verificar influência da taxa de crescimento. De cada clone foram avaliadas três árvores em duas posições longitudinais. As posições longitudinais compreenderam à altura do DAP e a três metros do solo, esta avaliação visou verificar a influência da posição longitudinal na DRL.

**Segunda Etapa** – referente às árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii*. Após a verificação da etapa anterior (avaliação dos clones) foram realizadas medições em dois locais envolvidos com material genético de três idades distintas, tendo sido mensuradas 16 árvores em cada idade.

#### **4.3. Avaliação de Tábuas após Desdobro em Serraria**

Na **primeira etapa** (avaliação dos clones), após o abate, as árvores foram seccionadas de acordo com o esquema apresentado na Figura 1. As toras seguiram, imediatamente após o abate e seccionamento, para a serraria da Companhia Mineira de Metais, onde foram desdobras em tábuas de 3 cm de espessura. As tábuas foram todas numeradas e em seguida foi medido o comprimento da maior rachadura que ocorre em ambos os lados da mesma. Foi determinado, dessa forma, o índice de rachamento após desdobro. As tábuas foram empilhadas no pátio da serraria para verificação posterior, caso necessário. O sistema de desdobro usado nessa etapa consistiu de uma multilâmina em cortes simultâneos – serra circular geminada, em que se retiram inicialmente duas costaneiras e o semibloco é serrado em corte simultâneo em uma multilâmina circular. A Figura 2 apresenta o esquema do diagrama de corte usado.

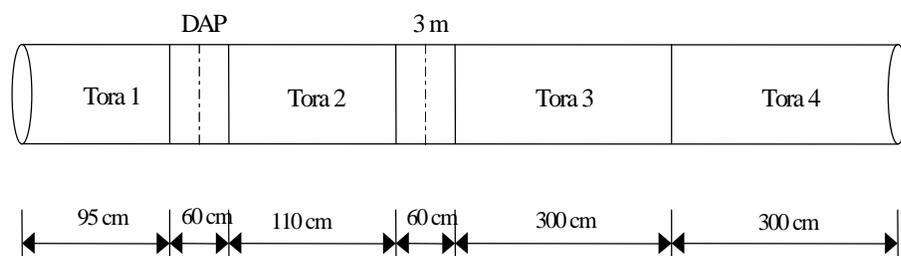


FIGURA 1 – Esquema da retirada dos toretes para determinação das propriedades da madeira e das toras para o desdobro (Primeira Etapa)

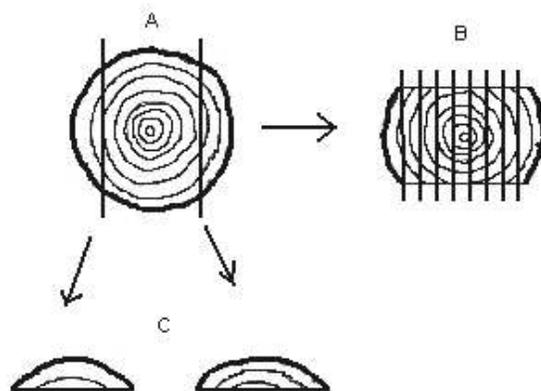


FIGURA 2 – Esquema do diagrama de corte simultâneo, em que A é a retirada simultânea das costaneiras, B é o corte simultâneo do semibloco e C as duas costaneiras

Na **segunda etapa** (avaliação de árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii*) as toras das árvores das idades de 13, 15 e 19 anos, sendo usadas as duas primeiras toras de 3 m de comprimento cada, foram desdobradas em tábuas 3 cm de espessura, convenientemente numeradas e medidas as suas dimensões (espessura e largura) e as rachaduras de topo imediatamente após o desdobro. As Figuras 2A, 3A e 4A ilustram o procedimento de derrubada das árvores, carregamento e desdobro das toras na serra de fita da Procopiak. As tábuas foram empilhadas no pátio da serraria para verificação posterior, caso necessário. O sistema de desdobro usado nessa para esse material, devido ao elevado diâmetro das toras, consistiu de uma serra de fita simples em cortes paralelos balanceados. A Figura 3 mostra o diagrama do sistema de desdobro em cortes paralelos balanceados, onde em A está ilustrado a retirada das duas costaneiras opostas, as quais forneceram material para a determinação de propriedades da madeira no laboratório. Para a idade de oito anos o sistema de desdobro, devido ao menor diâmetros das toras, consistiu de uma serra múltipla circular de dois eixos, conforme o esquema mostrado na Figura 4. O sistema de desdobro

para a idade de 8 anos foi semelhante ao utilizado nos clones avaliados na primeira etapa. A diferença é a retirada simultânea de duas tábuas junto com as costaneiras, as quais alimentam uma refiladeira. O comprimento das toras, para essa idade, foi de 2,6 m.

Antes do desdobro as duas toras tiveram seus diâmetros mensurados em intervalos a cada metro, para as idades de 13, 15 e 19 anos, e nas duas extremidades para oito anos de idade, visando a determinação do seu volume e cálculo do rendimento, após o processamento primário.

O índice de rachamento de tábuas foi determinado de acordo com a equação 2, tanto para a primeira como para a segunda etapa (Figura 5A).

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^2 CR_i}{CTT} \times 100 \quad (2)$$

onde,

IR é o índice de rachamento (%);

CR<sub>i</sub> é soma do comprimento da maior rachaduras nas duas extremidades da tábua (cm);

CTT é o comprimento total da tábua (cm).

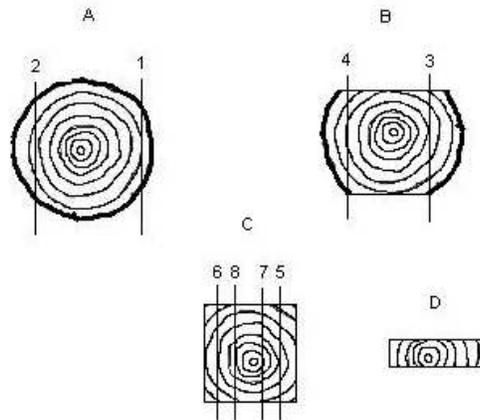


FIGURA 3 – Esquema de cortes paralelos balanceados, onde em A e B é a retirada das costaneiras, C retirada das tábuas e D é a prancha diametral radial

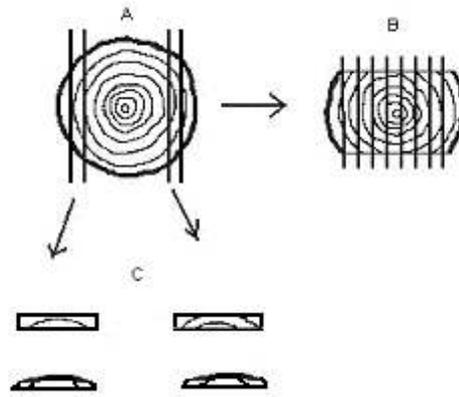


FIGURA 4 - Esquema do diagrama de corte simultâneo, em que A é a retirada simultânea de duas tábuas e costaneiras, B é o corte simultâneo do semibloco e C as duas tábuas e costaneiras que alimentam a refiladeira

#### 4.4. Avaliação da Deformação Residual Longitudinal (DRL) e Ondas Acústicas

A DRL foi avaliada na árvore em pé em dois pontos (DAP e 3m de altura) ao longo do tronco comercial, sendo medida na direção norte, sul, leste e oeste por posição longitudinal, para o estudo envolvendo os 11 clones (Primeira Etapa) e na altura do DAP para as 64 árvores matrizes (Segunda Etapa). Para a sua medição foi usado o aparelho “Growth Strain Gauge” (medidor de deformações de crescimento) e o sistema de aplicação de ondas de tensão (nas árvores matrizes). A Figura 5 mostra os aparelhos utilizados coleta de dados da DRL, onde 1 é o extensômetro, 2 são os pinos de fixação (45 mm de distância), 3 é o gabarito para fixação dos pinos no tronco das árvores, na direção da grã, e 4 é o arco de pua com broca de 20 mm. A estimativa da tensão de crescimento longitudinal foi obtida por meio da equação 3.

$$TCL = \frac{DRL * MOE}{45} \quad (3)$$

onde, TCL é a estimativa da tensão de crescimento longitudinal ( $\text{kgf/cm}^2$ ), MOE é o módulo de elasticidade para o ensaio de tração paralela a grã ( $\text{kgf/cm}^2$ ) e DRL é a deformação longitudinal residual (mm). A tensão de crescimento foi determinada nos dois materiais amostrados, ou seja, nos clones e nas árvores matrizes.

A Figura 6 mostra o sistema de aplicação de ondas de tensão. O sistema de aplicação foi o mesmo utilizado por Matos (1997).

#### 4.5. Avaliação das Propriedades da Madeira

Na **primeira etapa**, foram analisadas as características retratibilidade, densidade básica, teor de lignina, resistência ao fendilhamento, resistência à tração paralela à grã e desvio da grã. O desvio da grã foi determinado com auxílio do riscador nos mesmos locais onde se determinou a deformação residual longitudinal. Estes ensaios foram realizados em material obtido de acordo com o esquema de amostragem apresentado na Figura 7. A Tabela 1 apresenta a relação dos ensaios e normas utilizadas na avaliação das características químicas, físicas e mecânicas da madeira dos clones avaliados.

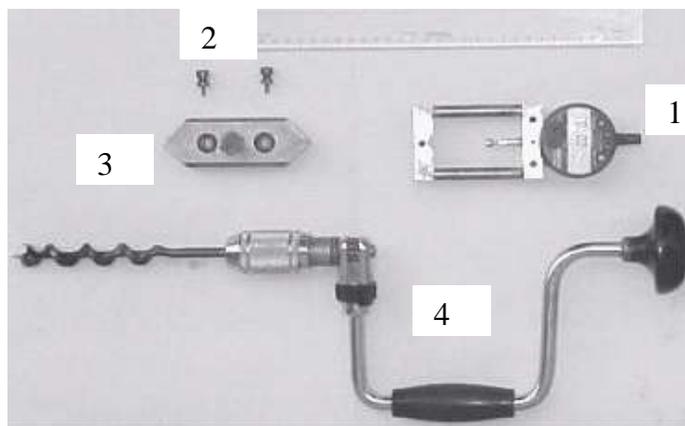


FIGURA 5 – Detalhes dos instrumentos usados para medição da deformação residual longitudinal (DRL) (Primeira e Segunda Etapa)



FIGURA 6 – Sistema de aplicação de ondas de tensão modelo Metriguard 239A, mostrando o kit de laboratório (Segunda Etapa)

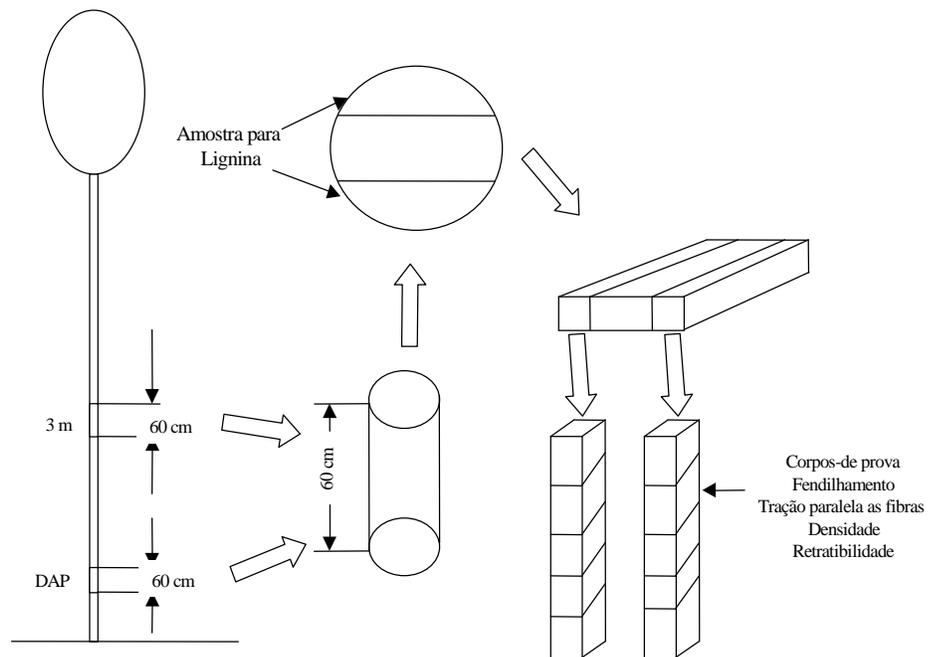


FIGURA 7 – Esquema da amostragem na árvore para a determinação das propriedades químicas, físicas e mecânicas (Primeira Etapa)

TABELA 1 – Procedimento adotado para a determinação das propriedades da madeira (Primeira e Segunda Etapa)

ENSAIO	NORMA
Retratibilidade	ASTM D 143/94 (1997)
Densidade básica	Método Hidrostático
Fendilhamento	ASTM D 143/94 (1997)
Tração paralela às fibras	ASTM D 143/94 (1997)
Teor de lignina insolúvel	GOMIDE e DEMUNER (1986).
Teor de lignina solúvel	GOLDSCHIMID (1971).

Na **segunda etapa**, foi avaliado a deformação residual longitudinal (DRL) e o módulo de elasticidade dinâmico na árvore em pé, o índice de rachamento de tábuas (3 cm de espessura) obtidas na serraria da Procopiak Compensados e Embalagens S.A., densidade básica, desvio da grã, teor de lignina, polifenóis, umidade, dimensão das fibras, resistência tração paralela às fibras, além das características de crescimento, ou sejam DAP e altura total. As análises das características da madeira foram realizadas em material amostrado a 1,30 m de altura, ou seja, no diâmetro à altura do peito (DAP).

Para a análise química, determinação do teor de lignina e de polifenóis, densidade básica, teor de umidade e dimensão das fibras, foi utilizado a maravalha coletada em ocasião da medição da DRL, ou seja, o material recolhido proveniente do furo, com arco de pua, efetuado no tronco das árvores amostradas. A densidade básica foi determinada pelo método do máximo teor de umidade, sendo calculada pela equação 4. O método do máximo teor de umidade é recomendado para material que apresenta pequena granulometria, como por exemplo cavacos, serragem ou maravalha. O desvio da grã foi obtido na altura do DAP pelo método do riscador. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado na árvore em pé (sentido radial) e em amostras obtidas das costaneira, após o desdobro das toras na serraria (sentido longitudinal da peça). O material amostrado foi proveniente de duas costaneiras opostas (Figura 6A) obtidas na primeira tora e na altura do DAP. Na Figura 3, em A, está ilustrado a retirada das duas costaneiras opostas, as quais forneceram material para a determinação de algumas propriedades da madeira no laboratório. Foi avaliada a velocidade da onda de tensão na madeira sob a condição de saturação e na condição de equilíbrio a 12% de umidade em câmara de climatização programada para a condição de 20 °C e 60% de umidade relativa. Este mesmo material foi

usado para determinação da resistência à tração paralela às fibras e da retratibilidade da madeira, ensaio destrutivo nas mesmas condições apresentadas da Tabela 1. A retratibilidade foi determinada da condição de saturação até seco ao ar e da condição de saturação até seco em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

$$DBmtu = \frac{1}{\left(\frac{Pu - Ps}{Ps}\right) + \frac{1}{1,53}} = \frac{1}{\frac{Pu}{Ps} - 0,34641} \quad (4)$$

onde,

DBmtu = é a densidade básica pelo método do máximo teor de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

Pu = peso úmido (saturado ou verde), em g;

Ps = peso seco, em g e;

1,53 = densidade média da substância madeira,  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

#### **4.6. Avaliação da Relação entre a Tensão de Crescimento Longitudinal e as Propriedades da Madeira**

Foi analisada a correlação e também foram ajustadas equações de regressão, visando estabelecer modelos que estimem o valor da tensão de crescimento em função de uma ou mais propriedades da madeira de fácil medição.

#### **4.7. Relação em a DRL e a Velocidade de Propagação da Onda**

A correlação entre a DRL e a velocidade de propagação da onda acústica foi determinada somente na altura do diâmetro do peito (DAP), para as árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* em estudo.

#### **4.8. Delineamento Experimental**

Na **primeira etapa** foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições (árvores) disposto em parcela subdividida, onde a parcela é o efeito de clone e a subparcela é o efeito da posição longitudinal (DAP e 3 metros de altura). O modelo

$$Y_{ik} = \mu + C_i + e_i + P_k + CP_{ik} + \varepsilon_{ik}$$

estatístico é da seguinte forma:

onde,

$Y_{ik}$  = i-ésima observação do clone i, na posição longitudinal P;

$\mu$  = constante inerente a todas as observações;

$C_i$  = efeito do i-ésimo clone ( $i = 1, 2, \dots, 11$ ), efeito fixo;

$e_i$  = erro a;

$P_k$  = efeito da k-ésima observação da posição longitudinal k ( $k = 1$  e  $2$ ), efeito fixo;

$CP_{ik}$  = efeito da interação do i-ésimo clone com a k-ésima posição longitudinal;

$\varepsilon_{ik}$  = erro b (erro experimental).

O esquema da análise de variância, segundo o modelo estatístico de parcela subdividida, é apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 – Estrutura da análise de variância para as características físicas, químicas e mecânicas da madeira (Primeira Etapa)

FV	GL	E (Q.M.)	QM	F
Clone (C)	(c-1)	$\sigma^2_\varepsilon + r\phi^2_c + t\sigma^2_a$	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>2</sub>
Erro a	(c-1)r	$\sigma^2_\varepsilon + t\sigma^2_a$	Q <sub>2</sub>	
Posição	(p-1)	$\sigma^2_\varepsilon + r\sigma^2_{CP} + cr\phi_p$	Q <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>4</sub>
C x P	(c-1)(p-1)	$\sigma^2_\varepsilon + r\sigma^2_{CP}$	Q <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub> /Q <sub>5</sub>
Erro b		$\sigma^2_\varepsilon$	Q <sub>5</sub>	

c: número de clones; r: número de repetições; p: número de posições.

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

a) Variância fenotípica

$$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{Q_1}{r \times p}$$

b) Variância genética

$$\phi_c^2 = \frac{Q_1 \times Q_2}{r \times p}$$

c) Variância ambiental

$$\hat{\sigma}_{ea}^2 = Q_2$$

$$\hat{\sigma}_{eb}^2 = Q_5$$

d) Coeficiente de determinação genotípica

$$\hat{h}_m^2 (\%) = \frac{\phi_c^2}{\phi_c^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r}} \times 100$$

e) Coeficiente de variação genética

$$CV_c (\%) = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\text{média}} \times 100$$

f) Coeficiente de variação fenotípica

$$CV_f (\%) = \frac{\hat{\sigma}_f^2}{\text{média}} \times 100$$

g) Coeficiente de variação ambiental

$$CV_{ea} (\%) = \frac{Q_2}{\text{média}} \times 100$$

$$CV_{eb} (\%) = \frac{Q_5}{\text{média}} \times 100$$

A estrutura de análise de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, está descrita na Tabela 3.

TABELA 3 – Estrutura da análise de variância para as características de crescimento (Primeira Etapa)

FV	GL	E (Q.M.)	Q.M.	F
Clone	(c - 1)	$\delta_e^2 + r \phi_c^2$	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1 ÷ Q<sub>2</sub></sub>
Erro	r (c- 1)	$\delta_e^2$	Q <sub>2</sub>	

Pela esperança de quadrados médios das análises de variância, foram estimados os parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, conforme Cruz (1997).

a) Variância fenotípica

$$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{Q_1}{r}$$

b) Variância ambiental

$$\hat{\sigma}_e^2 = Q_2$$

c) Componente quadrático genotípico

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

d) Coeficiente de determinação genotípica

$$h_m^2 (\%) = \frac{\phi_c^2}{\phi_c^2 + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{r}} \times 100$$

e) Coeficiente de variação genética

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

f) Coeficiente de variação fenotípica

$$CV_f (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_f^2}}{\text{média}} \times 100$$

g) Coeficiente de variação experimental

$$CV_e (\%) = \frac{\sqrt{Q_2}}{\text{média}} \times 100$$

h) Índice de variação

$$IV = \frac{CV_c}{CV_e} = \sqrt{\frac{\phi_c^2}{Q_2}}$$

i) Ganho esperado com a seleção

$$\text{Ganho (\%)} = \text{Diferencial de seleção (S)} \times h_c^2 \times 100$$

(S) = média da população selecionada – média da população

Na **segunda etapa** foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 16 repetições (árvores individuais). Nessa etapa foi avaliado o efeito da idade e da classe diamétrica. O modelo estatístico é da seguinte forma:

$$Y_i = \mu + t_i + e_i$$

em que,

$Y_i$  = i-ésima observação do tratamento i;

$\mu$  = constante inerente a todas as observações;

$t_i$  = efeito do tratamento i (idade ou classe diamétrica);

$e_i$  = erro experimental.

Também foi utilizada a análise de regressão para o ajuste de modelos estatísticos envolvendo a deformação residual longitudinal e as características de crescimento e da madeira.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao estudo da primeira e da segunda etapa estão apresentados a seguir. A primeira etapa foi subdividida em três capítulos, sendo que esta etapa é representada pelo trabalho realizado por Souza (2002) com algumas modificações. A primeira etapa visou atender ao especificado nas hipóteses relacionadas ao estudo proposto, especialmente àquelas referentes aos itens um, dois e três. A segunda etapa foi subdividida em quatro capítulos, para uma melhor discussão dos resultados alcançados, e trata da avaliação realizada com o *Eucalyptus dunnii* Maiden. A segunda etapa prioriza o atendimento das hipóteses formuladas nos itens dois, quatro e cinco.

A primeira etapa visou avaliar parâmetros genéticos relacionado à Deformação Residual Longitudinal (DRL) e estimativa da herdabilidade para uso dessa característica na seleção e indicação de material a ser propagado via assexuada.

Dessa forma, os resultados foram discutidos de forma separada, sendo que na primeira etapa avaliou-se um conjunto de 11 clones, híbridos naturais de *Eucalyptus* spp., cultivados em sistema agrossilvopastoril, e na segunda etapa foi avaliado um conjunto de 64 árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* Maiden, tendo sido considerado o efeito da idade e da classe diamétrica do povoamento.

A segunda etapa visou avaliar o efeito da idade sobre a DRL na expectativa de fazer a seleção de material o mais precocemente possível, contribuindo para a redução do tempo de avaliação dos testes clonais futuros e do custo da atividade florestal. Também visou estimar a magnitude da tensão de crescimento longitudinal em função da DRL e do módulo de elasticidade dinâmico e estático.

## 5.1. Primeira Etapa – CAPÍTULO 1

### DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DE CLONES DE *Eucalyptus*

Os resultados médios para cada característica analisada nos clones de *Eucalyptus* utilizados estão na Tabela 4. Pelos resultados médios da DRL, verifica-se a existência de grande variação entre os clones avaliados, o que demonstra a eficiência do extensômetro. A Tabela 5 apresenta o resumo da análise de variância considerando o delineamento inteiramente casualizado disposto em parcela subdividida para a DRL e estimativa da tensão de crescimento longitudinal.

TABELA 4 – Resultados médios das características de crescimento e deformação residual longitudinal (DRL) estudadas em cada clone de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

Clone	DRL (mm)			Característica de crescimento		
	DAP	3 m	Média	DAP (cm)	HT (m)	IMA(st/ha/ano)

1	0,069	0,078	0,073	24,5	26,9	32,6
2	0,053	0,064	0,059	31,1	28,5	49,1
3	0,120	0,121	0,120	27,6	30,8	51,2
4	0,112	0,105	0,109	26,7	26,7	40,3
5	0,082	0,079	0,080	25,8	29,3	42,9
6	0,063	0,074	0,069	26,8	30,0	47,0
7	0,070	0,076	0,073	30,7	30,6	53,2
8	0,086	0,088	0,087	28,9	31,4	54,7
9	0,087	0,096	0,096	27,9	25,9	43,2
10	0,146	0,144	0,145	26,2	29,5	40,9
11	0,077	0,078	0,078	25,0	27,0	38,0
Média	0,088	0,092	0,090	27,3	28,8	44,8

DAP = diâmetro a altura do peito; HT = altura total; IMA = incremento médio anual.

Pela Tabela 4, verifica-se que a deformação residual longitudinal (DRL) média nas árvores vivas, ocasionada pelas tensões de crescimento nos clones estudados, foi de 0,090 mm. Esse valor médio está acima do encontrado por Lima (2001), de 0,071mm, que trabalhou com clones de *Eucalyptus* em diferentes idades e do de Muneri et al. (2000) que, para *Eucalyptus cloeziana* aos 4 anos de idade, obtiveram valor de 0,077mm. Deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesma, o que pode ter, contribuído para a ocorrência dessa diferença. O clone 2 (0,059 mm) foi o que apresentou a menor média de deformação residual longitudinal (DRL), enquanto que a maior média ocorreu no clone 10 (0,145 mm). Observa-se ainda que o clone 2 não foi o maior IMA e nem o clone 10 o menor, sugerindo que esta propriedade não sofreu influência da taxa de crescimento.

Pela Tabela 5, verifica-se que somente o efeito do clone foi significativo. Como o efeito de posição longitudinal não foi significativo, isso indicando que a avaliação dessa característica pode ser simplificada e realizada somente na altura do DAP. Este resultado é semelhante ao obtido por Lima (2001), avaliando clones de eucalipto, porém de idades diferentes.

TABELA 5 – Análise de variância da deformação residual longitudinal em função do clone, árvore e da posição 1 e 2 (1,30 m e 3,00 m) ao longo do fuste

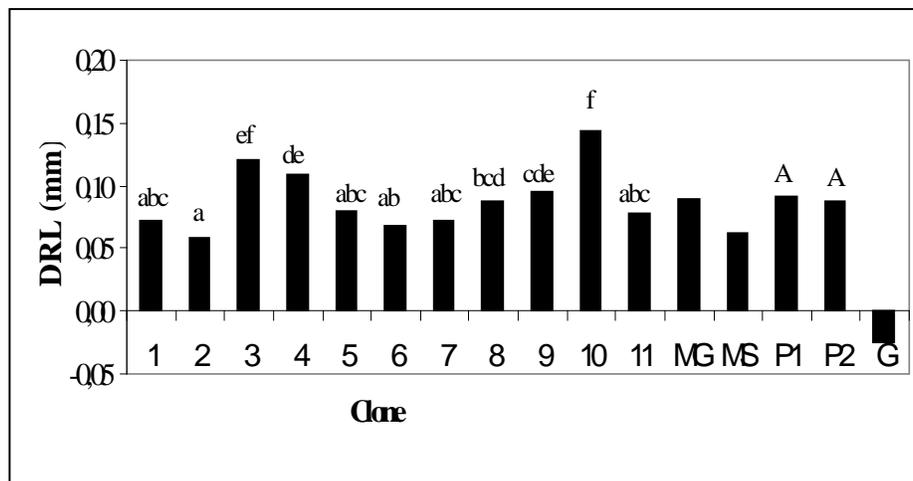
FV	GL	SQ	QM	Significância
Clone (C)	10	0,0390	0,0039	0,0001
Erro a	22	0,0035	0,0002	0,3754
Posição (P)	1	0,0003	0,0003	0,1553
P X C	10	0,0008	0,0001	0,8071
Erro b	22	0,0031	0,0001	
Total	65	0,0467		

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ e QM = soma de quadrado e quadrado médio, respectivamente.

Como o efeito de clone foi altamente significativo (Tabela 5), isso indica que a DRL pode apresentar grande potencial para avaliação de genótipos visando ao melhoramento genético. Lima (2001) também obteve diferença significativa da DRL entre clones. Já Muneri et al. (2000), trabalhando com *Eucalyptus cloeziana* com quatro anos de idade, não encontraram diferença significativa.

A Figura 8 ilustra melhor a variação existente entre os clones analisados e apresenta o teste de comparação múltipla realizado.

Para verificar a eficiência da exatidão dos resultados experimentais foram determinados os coeficientes de variação experimental, o qual é uma medida de variabilidade. No presente estudo, as estimativas dos coeficientes de variação experimental ( $CV_e$ ) foram de 13,0, 5,77, 3,69 e 10,12%, respectivamente para a DRL, DAP, altura total e IMA. Estes valores são considerados baixos, o que indica a boa confiabilidade na qualidade dos dados e a alta eficiência do delineamento utilizado.



MG: média geral dos 11 clones; MS: média dos clones selecionados (2 e 7); P1: posição 1 (DAP); P2: posição 2 (3,0 m) e G: ganho genético esperado com a seleção dos clones 2 e 7.

FIGURA 8 – Valores médios de DRL (mm) de onze clones de *Eucalyptus*, aos 6 anos de idade. Ganho esperado e médias com a seleção dos clones 2 e 7. Efeito de posição na estimativa da DRL. Clones e posições, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey-Kramer ( $p < 0,05$ )

Os estudos da variabilidade genética, envolvendo as das características de interesse do melhorista, são de extrema importância e são passíveis de serem realizados por meio do conhecimento dos parâmetros genéticos, como as variâncias genotípicas e fenotípicas e coeficientes de herdabilidade (Kageyama, 1980).

O conceito de herdabilidade é um dos mais importantes e mais utilizados em genética quantitativa, já que ela expressa a proporção de variação que é atribuída à diferença genética entre os indivíduos (Zobel e Talbert, 1984).

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de variância, considerando o modelo inteiramente casualizado, para deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e incremento médio anual (IMA), bem como as estimativas dos seus parâmetros genéticos e fenotípicos, obtidas a partir das esperanças dos quadrados médios. Para todas as características avaliadas, o efeito de clone foi altamente significativo, o que indica a existência de alta variabilidade, possibilitando obter ganho genético com a seleção dos melhores clones.

TABELA 6 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e incremento médio anual (IMA) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio			
		DRL	DAP	HT	IMA
Clone	10	0,00230**	14,46**	10,78**	140,96**
Resíduo	22	0,00013	2,5	1,13	20,57
Média	-	0,088 mm	27,4 cm	28,8 m	44,8 st/ha/ano
CVe (%)	-	13,0	5,77	3,69	10,12
$\sigma_f^2$	-	0,00077	4,82	3,59	46,99
$\sigma_e^2$	-	0,00013	2,5	1,13	20,57
$\phi_g^2$	-	0,00072	3,99	3,22	40,13
$h_m^2$	-	94,3	82,7	89,5	85,4
CV <sub>c</sub> (%)	-	30,6	7,3	6,2	14,1
CV <sub>f</sub> (%)	-	31,5	8,0	6,6	15,3
CV <sub>c</sub> /CV <sub>e</sub>	-	2,4	1,3	1,7	1,4
Média-S	-	0,062 mm	30,9 cm	29,6 m	51,2 st/ha/ano

Ganho	-	-0,025 mm	2,94 cm	0,70 m	5,51 st/ha/ano
Ganho (%)	-	-28,2	10,7	2,4	12,1

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

$\sigma_f^2$ : variação fenotípica;  $\sigma_e^2$ : variação ambiental;  $\phi_g^2$ : componente quadrático genotípico,  $h_m^2$ : coeficiente de determinação genotípica;  $CV_e$ : coeficiente de variação genética;  $CV_f$ : coeficiente de variação fenotípica,  $CV_e$ : coeficiente de variação experimental;  $CV_e/CV_f$ : índice de variação; Média-S: média dos dois clones selecionados (2 e 7); Ganho: ganho esperado em valores reais dos dois clones selecionados; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção dos dois clones.

Observa-se, ainda, que os coeficientes de herdabilidade estimados foram de 94,3%, 82,7%, 89,5% e 85,4%, respectivamente para DRL, DAP, HT e IMA. Valores elevados de herdabilidade indicam alto controle genético dessas características que, com isso, tornam-se muito passíveis de melhoramento. Vários autores também já encontraram valores elevados de herdabilidade para DAP e altura da árvore, tais como Silveira (1999) e Moura (2000).

O índice de variação, que é a relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação fenotípica ( $CV_e/CV_f$ ), para a DRL e para as características de crescimento, está apresentado na Tabela 4. O índice de variação da DRL foi o maior, 2,4, superior aos encontrados para as características de crescimento estudadas. Segundo Vencovsky (1978), esta relação é um importante indicador das possibilidades de sucesso na obtenção de ganhos genéticos, através da seleção, mostrando que a situação é favorável, quando os valores são maiores que 1,0.

Os resultados mostram que a deformação residual longitudinal e as características de crescimento apresentam-se, de maneira favorável, à obtenção de ganho com a seleção.

A capacidade de predição de ganhos genéticos, com base em um processo de seleção, é considerada uma das grandes contribuições da genética quantitativa (Paula, 1995). No presente estudo foram selecionados os clones 2 e 7, por apresentarem os menores valores de deformação residual longitudinal e bons incrementos médios anuais, como apresentado na Tabela 4. A seleção desses dois clones proporcionará um ganho genético esperado de 2,94 cm para o diâmetro à altura do peito, que representa 10,7%, 0,70 m para altura total; 2,4%, 5,41 st/ha/ano para o incremento médio anual, 12,1% e uma redução de 0,025 mm na deformação residual longitudinal, representando 28,2% (Tabela 6 e Figura 8).

O ganho genético esperado para a característica de crescimento do diâmetro à altura do peito foi menor do que o encontrado por Moura (2000) e próximos aos valores encontrados por Silveira (1999).

As características envolvidas no crescimento da árvore, tais como o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) e incremento médio anual (IMA), são de suma importância para o melhorista, pois representam a produção de um povoamento florestal. A Figura 9 mostra o teste de comparação múltipla para as características de crescimento.

De acordo com Tabela 8, os resultados das correlações entre as características de crescimento e deformação residual longitudinal foram baixos. Isso indica uma fraca influência das características de crescimento sobre esta propriedade. Este resultado mostra que a tensão de crescimento também não deve ser afetada pelas características de crescimento, pois a DRL é uma medida indireta dessa tensão. As características de crescimento, como o diâmetro à altura do peito e altura total, apresentarão correlação significativa com o incremento médio anual, o que era esperado.

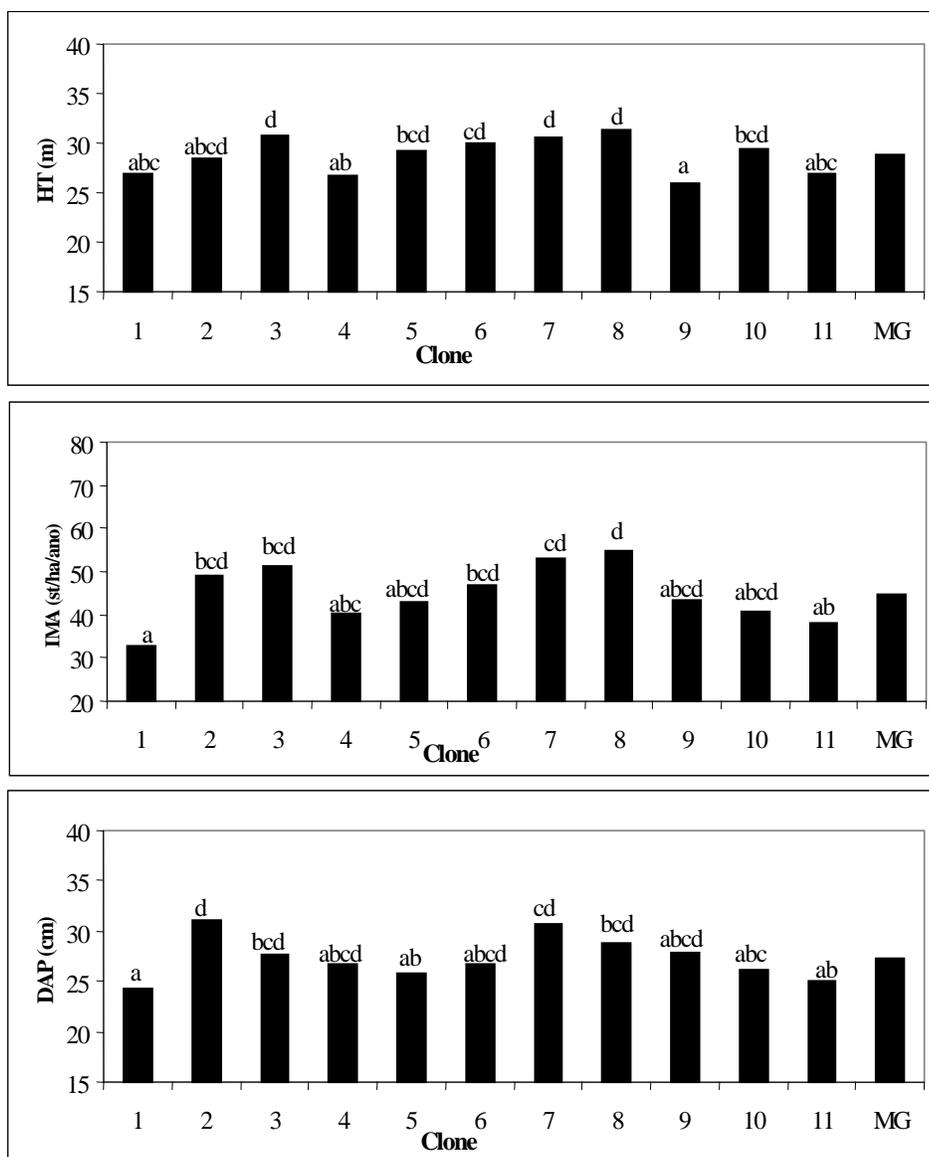


FIGURA 9 – Valores médios de altura total (HT), incremento médio anual (IMA) e diâmetro à altura do peito (DAP) de 11 clones de árvores de *Eucalyptus* cultivados em um sistema agrosilvopatoril, com espaçamento de 10,0 x 4,0 m e idade de 75 meses. Médias com as mesmas letras não são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), usando o teste de Tukey-Kramer

TABELA 7 – Matriz de correlação fenotípica entre as características deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT) incremento médio anual (IMA)

	DLR	DAP	HT	IMA
DLR	1	-0,26ns	0,10ns	-0,09ns
DAP		1	0,42ns	0,83**
HT			1	0,78**
IMA				1

\*\* Significativo a 1% de probabilidade

## 6.1. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ o instrumento mostrou ser bem confiável, de fácil operação e rapidez na coleta dos dados;
- ✓ para os 11 clones de *Eucalyptus* estudados, a deformação residual longitudinal média (DRL) foi de 0,090 mm;
- ✓ não houve diferença estatística significativa na DRL determinada no DAP e a 3 m de altura, demonstrando que a medição no DAP é suficiente para estimar a DRL da árvore, o que permite um ganho nas condições e rapidez do processo de coleta de dados;
- ✓ os coeficientes de variação experimental foram considerados baixos para todas as características avaliadas, o que indica a boa coleta de dados e a alta eficiência do delineamento usado;
- ✓ os valores de herdabilidade foram elevados para todas as características avaliadas, sendo de 94,3%, 82,7%, 89,5% e 85,4 %, respectivamente, para a DRL, DAP, altura total e IMA;
- ✓ não houve correlação entre a deformação residual longitudinal com as características de crescimentos DAP, HT e IMA;
- ✓ para todas as características avaliadas, o efeito de clone foi altamente significativo, o que torna possível a utilização das mesmas em um amplo programa de melhoramento florestal, buscando tanto o melhoramento das características de crescimento quanto da qualidade da madeira.

## **5.2. Primeira Etapa – CAPÍTULO 2**

### **INFLUÊNCIA DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS LONGITUDINAIS EM PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus***

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para cada característica analisada na madeira dos clones de *Eucalyptus* encontram-se na Tabela 8.

#### **5.2.1. Características físicas da madeira**

##### **5.2.1.1. Deformação residual longitudinal (DRL)**

Pela Tabela 8, verifica-se que a deformação residual longitudinal (DRL) média nas árvores vivas, ocasionadas pelas tensões de crescimentos nos clones estudados, foi de 0,090 mm. Este valor médio está acima do encontrado por Lima (2001), 0,071mm, que trabalhou com clones de *Eucalyptus* em diferentes idades, e de Muneri et al. (2000), que para *E. cloeziana* aos 4 anos de idade obtiveram valor de 0,077 mm. Deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesmas. Isso pode ter, sem dúvida, contribuído para a ocorrência dessa diferença. O clone 2 (0,059 mm) foi o que apresentou a menor média de deformação residual longitudinal (DRL), enquanto que a maior média ocorreu no clone 10 (0,144 mm). O efeito de clone foi significativo e os efeitos de posição longitudinal e a interação foi não significativa.

##### **5.2.1.2. Índice de rachamento das tábuas (IR)**

As rachaduras de topo em toras e em peças processadas constituem, provavelmente, a maior fonte de perdas na utilização industrial da madeira de eucalipto (Assis, 2001).

Na Tabela 8, são encontrados os valores médios em porcentagem de rachaduras em tábuas dos clones avaliados.

As rachaduras das tábuas variaram entre 4,1% e 19,8%, sendo, respectivamente, referentes aos clones 1 e 10. O valor médio foi de 9,2%, sendo menor que o encontrado por Caixeta (2000), em *Eucalyptus*, em idades variando de 13 a 17 anos.

A Tabela 9 apresenta o resumo da análise de variância e os parâmetros genotípicos e fenotípicos para rachadura em tábuas. Observa-se que o efeito de clone foi altamente significativo, indicando a existência de grande variabilidade genética, possibilitando o

TABELA 8 – Resultados médios obtidos das características analisadas na madeira de cada clone de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

Clone	Características avaliadas														
	DRL (mm)	Grã (°)	IR (%)	DB (g/cm <sup>3</sup> )	DS (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)	CT (%)	CR (%)	CA	Fend. (MPa)	Trac (MPa)	MOE (MPa)	LI (%)	LS (%)	LT (%)
1	0,073 abc	4,1 b	4,1 a	0,511 cde	0,592 bc	13,6 ab	8,6 ab	5,0 abc	1,7 ab	0,613 bc	103 ab	13790 abc	25,4 abc	2,3 ab	27,7 abc
2	0,059 a	3,1 ab	10,1 ab	0,421 a	0,483 a	12,8 a	8,2 a	3,8 a	2,2 ab	0,468 a	96 a	10321 a	27,3 cd	2,0 a	29,3 bcd
3	0,120 ef	3,8 ab	17,1 bc	0,512 cde	0,604 cd	15,1 b	9,8 b	5,0 abc	2,0 ab	0,603 bc	147 cd	15169 bc	23,7 ab	2,4 ab	26,1 ab
4	0,108 de	2,6 ab	7,2 a	0,501 bcd	0,578 bc	13,3 a	8,7 ab	4,4 ab	2,0 ab	0,517 ab	102 ab	10756 a	29,6 d	2,1 a	31,7 d
5	0,080 abc	3,1 ab	6,3 a	0,556 ef	0,656 de	15,2 b	9,5 ab	6,1 c	1,6 a	0,604 bc	160 d	15887 bc	26,2 abcd	2,3 ab	28,5 abcd
6	0,069 ab	1,8 a	4,8 a	0,541 def	0,629 cd	13,9 ab	8,7 ab	5,0 abc	1,8 ab	0,611 bc	119 abc	13133 abc	27,8 cd	2,4 ab	30,2 cd
7	0,073 abc	2,8 ab	7,6 a	0,462 ab	0,536 ab	14,0 ab	9,0 ab	4,5 ab	2,4 b	0,573 abc	106 ab	12252 ab	24,7 abc	2,3 ab	27,0 abc
8	0,087 bcd	2,0 a	9,8 ab	0,509 cd	0,591 bc	13,9 ab	8,2 ab	5,2 bc	1,6 a	0,600 bc	151 cd	14229 abc	26,8 bcd	2,6 b	29,4 bcd
9	0,095 cde	3,3 ab	9,3 ab	0,493 bc	0,568 bc	13,0 a	8,1 a	4,7 ab	1,7 ab	0,495 ab	134 bcd	16043 bc	23,2 a	2,2 ab	25,4 a
10	0,144 f	4,0 b	19,8 c	0,576 f	0,704 e	18,0 c	11,8 c	6,3 c	1,9 ab	0,689 c	127 abcd	13668 abc	25,8 abc	2,4 ab	28,2 abcd
11	0,078 abc	2,5 ab	5,3 a	0,512 cde	0,596 bcd	14,0 ab	8,7 ab	5,1 bc	1,7 ab	0,560 abc	147 cd	16658 c	27,0 bcd	2,4 ab	19,4 bcd
Média	0,090	3,0	9,2	0,508	0,594	14,2	9,0	5,0	1,87	0,526	126	13.810	26,1	2,3	27,5
P	1,30 m	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3,00 m	A	B	-	A	B	B	B	A	B	A	A	A	A	B

P = posição longitudinal de amostragem; DRL = deformação residual longitudinal; Grã = desvio da grã; IR = índice de rachamento de tábuas; DB e DS = densidade básica e seca; CV, CT e CR = contração volumétrica, tangencial e radial; CA = coeficiente de anisotropia; Fend e Trac = resistência ao fendilhamento e tração paralela às fibras; MOE = módulo de elasticidade do teste de tração paralela; LI, LS e LT = teor de lignina insolúvel, solúvel e total. Médias com a mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

melhoramento por meio da seleção.

Os estudos da variabilidade genética das características são de suma importância e são possíveis de serem realizadas por meio do conhecimento dos parâmetros genéticos, tais como as variâncias genótípicas e fenotípicas e os coeficientes de herdabilidade (Kageyama, 1980). Neste estudo, o coeficiente de herdabilidade estimado ( $h^2_m$ ) foi de 86,5%, demonstrando que essa característica apresenta alto controle genético, podendo ser melhorada geneticamente.

TABELA 9 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores do quadrado médio para o índice de rachamento de tábuas e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio
Clone	10	78,73030**
Resíduo	22	10,64720
Média (%)	-	9,26
CVe (%)	-	35,5
$\sigma^2_f$	-	26,24343
$\sigma^2_e$	-	10,64720
$\phi^2_g$	-	22,69437
$h^2_m$	-	86,5

\*\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

$\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_g$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_m$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental

O coeficiente de variação experimental (CV<sub>e</sub>) foi de 35,5%, valor mais alto dentre todas as demais características estudadas. Este fato pode ser consequência do tamanho diferenciado das toras e, também, por ter sido utilizado o valor médio, o qual não eleva em função da variação radial que esta característica apresenta. Ou seja, as tábuas mais à periferia tendem a desenvolver menores rachaduras do que as tábuas mais internas ou próximas à medula. Caixeta (2000) encontrou uma variação radial crescente da periferia para a medula de, respectivamente, 4,59%, 15,75% e 29,20% em *Eucalyptus*.

### 5.2.1.3. Densidades da madeira

A densidade é uma das propriedades mais estudadas, devido à facilidade de sua determinação, sua importância tecnológica e sua relação com outras características da madeira. A densidade básica média dos clones estudados foi de 0,508 g/cm<sup>3</sup> e a densidade seca média foi de 0,594 g/cm<sup>3</sup>. O clone 10 apresentou a maior média, tanto para densidade básica como para densidade seca, que foi de 0,576 g/cm<sup>3</sup> e 0,704 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Os valores médios da densidade básica estão de acordo com os encontrados por Cruz (2000), porém, foram inferiores aos obtidos por Silveira (1999), que também trabalhou com clones de *Eucalyptus*.

Pela análise de variância, Tabela 10, observa-se que, para a densidade básica, o efeito de clone foi altamente significativo e que não houve diferença significativa para o efeito de posição longitudinal (DAP e 3 m). Este mesmo resultado foi encontrado por Moura (2000). Para a densidade seca, tanto o efeito de clone como de posição longitudinal foram altamente significativos, indicando a necessidade da amostragem nas duas posições longitudinais para a sua estimativa. O efeito da interação não foi significativo para as duas características avaliadas.

O coeficiente de variação experimental da densidade básica foi de 4,4% e da densidade seca de 4,5%, valores próximos aos encontrados por Moura (2000) e Xavier (2001). De acordo com a classificação de Gomes (1990), os coeficientes de variação experimental são baixos, indicando a boa precisão da coleta de dados e a eficiência do delineamento utilizado.

Os valores de herdabilidade estimado foram altos, de 95,4% e 95,6% para a densidade básica e densidade seca, respectivamente. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Xavier (2001), Moura (2000) e Silveira (1999), estudando clones de *Eucalyptus*. Pelos altos valores de herdabilidade, verifica-se o alto controle genético dessas características, o que possibilita o melhoramento via seleção.

#### **5.2.1.4. Desvio da grã**

Harris (1998) conceitua desvio de grã (ou grã espiralada) como sendo o desvio das fibras da madeira em relação à direção paralela ao eixo do caule.

Pela Tabela 8, verifica-se que os maiores valores de desvio da grã ocorreram nos clone 1 e 10, sendo a média de 4,1° e 4,0°, respectivamente. O menor desvio da grã ocorreu no clone 6, com 1,8°. Esses valores foram superiores aos encontrados por Lima et al. (2001), estudando clones de eucalipto aos 8 anos de idade.

Pela análise de variância verificou-se que houve diferença significativa para o efeito de clone, como apresentado na Tabela 10. O mesmo foi encontrado por Lima et al. (2001). Para o efeito da posição longitudinal, também, houve diferença significativa, indicando a necessidade de amostragem nas duas posições (DAP e 3 m) para a sua estimativa. Este

resultado era, de certa forma, esperado uma vez que o desvio da grã modifica com a posição longitudinal do tronco.

TABELA 10 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para deformação residual longitudinal (DRL), ângulo da grã (GRA), densidade básica (DB), densidade seca (DS), contração volumétrica (CV), radial (CR) e tangencial (CT), coeficiente de anisotropia (CA) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para 11 clones de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio							
		DRL	GRA	DB	DS	CV	CR	CT	CA
Clone (C)	10	0,0039**	3,46**	0,0111**	0,0203**	12,4**	3,1**	6,9**	0,36**
Erro a	22	0,0002	0,92	0,0005	0,0009	0,70	0,4	0,6	0,95
Posição (P)	1	0,0003	12,48**	0,0004	0,0051**	45,2**	0,7	29,1**	0,38**
PxC	10	0,0001	0,82	0,0008	0,0012	2,4	0,2	2,3**	0,07
Erro b	22	0,0001	1,77	0,0005	0,0007	0,7	0,2	0,2	0,06
Média	-	0,090 mm	3,0 8	,508 g.cm <sup>-3</sup>	,594 g.cm <sup>-3</sup>	14,2 %	5,0 %	9,0 %	1,7
Cvea	-	15,7	32,0	4,4	5,1	5,9	12,6	8,8	18,1
CVeb	-	11,1	44,3	4,4	4,5	6,1	9,1	5,6	14,0
$\sigma_f^2$	-	0,0006	0,58	0,0018	0,0034	20,7	0,5	1,1	0,59
$\sigma_e^2$	-	0,0002	0,92	0,0005	0,0001	0,7	0,4	0,6	0,09
$\phi_g$	-	0,0006	0,42	0,0017	0,003	1,9	0,4	1,0	0,04
$H_m^2$	-	94,6	73,4	95,4	95,6	94,3	87,3	90,9	73,3

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

$\sigma_f^2$ : variação fenotípica,  $\sigma_e^2$ : variação ambiental,  $\phi_g^2$ : componente quadrático genotípico,  $h_m^2$ : coeficiente de determinação genotípica,  $CV_e$ : coeficiente de variação experimental.

Essa característica apresentou coeficiente de herdabilidade de 73,4%, demonstrando alto controle genético, permitindo a sua manipulação para o melhoramento. Lima (1999), trabalhando com 26 clones de eucaliptos plantados em quatro locais diferentes (três locais no Espírito Santos e um no sul da Bahia), encontrou uma herdabilidade no sentido amplo de 36,3%. Ainda segundo o mesmo autor, esse valor é comparativamente baixo quando comparado com outras propriedades da madeira e parece que, no sentido radial do tronco, tende a aumentar da medula para a casca.

### 5.2.1.5. Retratibilidade da madeira

É fato conhecido que a madeira se movimenta ou trabalha, isto é, retrai ou incha, de acordo com a umidade relativa ambiental (Galvão e Jankowsky, 1985). A variação dimensional da madeira é uma característica que pode limitá-la e até mesmo desqualificá-

la para algumas utilizações, causando, em alguns casos, a substituição por outros materiais (Moura, 2000).

Os resultados da análise de variância das características da variação dimensional da madeira (contração volumétrica, tangencial e radial e o coeficiente de anisotropia), estão apresentados na Tabela 10, bem como as estimativas de seus parâmetros genéticos e fenotípicos.

O clone 10 foi o que apresentou o maior valor médio para a contração volumétrica total, contração radial e contração tangencial, as quais foram de 18,0%, 6,3% e 11,8%, respectivamente. O clone 2 foi o que apresentou a menor média para essas três características, sendo de 12,8%, 3,8% e 8,2%, indicando que este clone apresenta potencial para uso como sólido de madeira, diferente do clone 10. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Moura (2000) com *Eucalyptus*.

O coeficiente de anisotropia médio (CA) foi maior para o clone 7, que foi de 2,4, enquanto que os clones 5 e 8 apresentaram os menores valores médios, de 1,6. A média do coeficiente de anisotropia dos clones avaliados foi 1,87, estando próxima à obtida por Xavier (2001), que foi de 1,81 e superior ao determinado por Moura (2000), que foi de 1,74.

Pela análise de variância pode-se verificar que houve diferença significativa para os efeitos de clone e posição longitudinal (DAP e 3 m) para contração volumétrica, contração tangencial e coeficiente de anisotropia. Para contração radial, somente foi significativo o efeito de clone. O efeito da interação clone x posição foi significativo somente para a contração tangencial (Tabela 10). A interação significativa indica que o efeito de clone depende do efeito de posição longitudinal

Observa-se, pela Tabela 10, que os valores dos coeficientes de variação experimental para a contração volumétrica, radial, tangencial e coeficiente de anisotropia foram, respectivamente, de 6,1%, 9,1%, 5,6% e 14,0%. Estes valores estão de acordo aos encontrados por Xavier (2001). De acordo com a classificação de Gomes (1990), estes resultados podem ser considerados baixos, indicando, com isso, a boa precisão da coleta de dados e a eficiência do delineamento utilizado.

A herdabilidade estimada foi de 94,3%, 87,3%, 90,9% e 73,3% para a contração volumétrica, contração radial, contração tangencial e coeficiente de anisotropia, respectivamente. Esses valores estão de acordo aos encontrados por Xavier (2001), Moura

(2000) e Silveira (1999). Estas características apresentam alto controle genético, o que possibilita o melhoramento por meio da seleção.

### **5.2.2. Características mecânicas da madeira**

O valor médio da resistência a tração paralela às fibras foi de 126 MPa. Os clones 5 e 2 apresentaram o maior e o menor valor médio, sendo de, respectivamente, 160 e 96 MPa. O módulo de elasticidade médio, para o ensaio de tração paralela às fibras, foi de 13.810 MPa, conforme observado na Tabela 8. Estes valores estão de acordo com os obtidos por Xavier (2001) e Moura (2000). Segundo Lima (1999), estes clones podem ser classificados como sendo de média resistência.

A resistência ao fendilhamento apresentou valor médio de 0,575 MPa. Os clones 1 e 2 foram os que apresentaram o maior e o menor valor médio, de 0,613 e 0,468 MPa, respectivamente, conforme observado na Tabela 8. Esses valores estão em conformidade aos encontrados por Mainieri (1978), em madeiras nativas de densidades básicas médias semelhantes a dos clones avaliados.

Os coeficientes de variação experimental para resistência à tração paralela às fibras, módulo de elasticidade e resistência ao fendilhamento, foram de 15,5%, 16,6% e 10,8%, respectivamente (Tabela 11). Esses valores são considerados baixos, indicando a boa coleta dos dados e a eficiência do delineamento estatístico utilizado.

Pela análise de variância, Tabela 11, verificou-se que houve diferença significativa para o efeito de clones para as três propriedades mecânicas estudadas. Isso indica a existência de grande variabilidade entre os materiais avaliados, o que possibilita obter ganho genético com a seleção. Os efeitos de posição longitudinal de amostragem, no DAP e a 3 m de altura do solo, e da interação clone x posição foram não significativos.

Pela Tabela 11, verifica-se que os valores estimados de herdabilidade para a resistência ao fendilhamento, tração paralela às fibras e módulo de elasticidade foram de 83,1%, 91,2% e 83,0%, respectivamente. Os valores de herdabilidade para a resistência a tração paralela às fibras e o módulo de elasticidade estão de acordo com os encontrados por Xavier (2001) e Moura (2000). Estas características apresentaram alto controle genético, o que possibilita o melhoramento por meio da seleção. Devem, assim, serem consideradas nos programas de melhoramento genético visando uso estrutural.

TABELA 11 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para resistência ao fendilhamento, resistência à tração paralela as fibras e módulo de elasticidade à tração paralela as fibras (MOE) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para onze clones de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio		
		Fendilhamento	Tração Paralela	MOE
Clone (C)	10	0,0237**	3141,0314**	2,6E+07**
Erro a	22	0,004	276,7425	4,4E+06
Posição (P)	1	0,0017	20,0311	7,3E+04
PxC	10	0,0061	589,8346	8,3E+06
Erro b	22	0,0032	383,6438	5,2E+06
Média (MPa)		0,526	126	1,4E+04
Cvea		12,0	13,2	15,1
CVeb		10,8	15,5	16,6
$\sigma_f^2$		0,00395	523,50523	4.384.166,666
$\sigma_e^2$		0,00400	276,74250	4.367.736,803
$\phi_g$		0,00328	477,38148	3.656.210,533
$H_m^2$ (%)		83,1	91,2	83,0

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

$\sigma_f^2$ : variação fenotípica,  $\sigma_e^2$ : variação ambiental,  $\phi_g^2$ : componente quadrático genotípico,  $h_m^2$ : coeficiente de determinação genotípica, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental.

### 5.2.3. Características químicas da madeira

Na Tabela 8 estão os valores médios das características lignina insolúvel, solúvel e lignina total dos clones estudados. Os valores médios estão em conformidade com a literatura usual. O clone 4 foi o que apresentou o maior valor médio para lignina insolúvel (29,6%) e o clone 9 foi o que apresentou o menor valor (23,2%). A lignina solúvel apresentou valor médio de 2,3%, com amplitude de variando de 2,0% a 2,6%. A lignina total apresentou valores médios variando de 25,4% a 31,7%, com uma média de 28,4%. Esse valor foi um pouco superior à encontrada por Trugilho et al. (1996), para *Eucalyptus saligna* de idades diferentes; porém, o mesmo está dentro do normalmente relatado na literatura para a madeira de *Eucalyptus*.

Os coeficientes de variação experimental da lignina insolúvel, lignina solúvel e lignina total foram de 7,8%, 8,9% e 7,3%, respectivamente (Tabela 12). Esses valores são considerados baixos, o que indica a boa coleta de dados e a alta eficiência do delineamento estatístico utilizado.

Os valores de herdabilidade estimados para a lignina insolúvel, solúvel e lignina total foram de 86,4, 84,6 e 60,7%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 12. As

características lignina insolúvel e total apresentam alto controle genético, o que possibilita o melhoramento por meio da seleção. Estas características devem ser consideradas nos programas de melhoramento genético visando o uso como energia ou para produção de celulose. Como a herdabilidade da lignina insolúvel foi maior que a lignina total, isso indica que a seleção pode ser feita com base na lignina insolúvel somente. Isso porque a lignina solúvel apresentou um valor relativamente baixo de herdabilidade. Esse valor baixo de herdabilidade pode estar relacionado ao procedimento de análise (método), pois a quantidade de lignina solúvel em *Eucalyptus* não é muito variável.

TABELA 12 – Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para lignina insolúvel (LI), lignina solúvel (LS) e lignina total (LT) e as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos para 11 clones de *Eucalyptus*, aos seis anos de idade

FV	GL	Quadrado Médio		
		LI	LS	LT
Clone (C)	10	20,5841**	0,1423**	20,1365**
Erro a	22	2,7911	0,0559	3,105
Posição (P)	1	0,6014	0,1856**	0,1105
(PxC)	10	1,7797	0,0449	1,6958
Erro b	22	4,0971	0,0423	4,0571
Média (%)		26,1	2,3	27,5
Cvea		6,4	10,3	6,4
CVeb		7,8	8,9	7,3
$\sigma_f^2$		3,43068	0,02372	3,35608
$\sigma_e^2$		2,7911	0,05590	3,10500
$\phi_g$		2,96550	0,01440	2,83858
$h_m^2$		86,4 %	60,7 %	84,6 %

\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

$\sigma_f^2$ : variação fenotípica,  $\sigma_e^2$ : variação ambiental,  $\phi_g^2$ : componente quadrático genotípico,  $h_m^2$ : coeficiente de determinação genotípica,  $CV_e$ : coeficiente de variação experimental

Pela análise de variância, (Tabela 12), observa-se que o efeito de clone foi significativo para as características avaliadas. Para a lignina solúvel, o efeito posição foi significativo, indicando a necessidade de se fazer as avaliações nas duas posições longitudinais (DAP e 3 m), ou seja, o efeito de clone depende da posição longitudinal.

#### 5.2.4. Correlação entre as DRL e as outras características da madeira

A Tabela 13 apresenta os coeficientes de correlação simples obtidos entre as características avaliadas.

TABELA 13 – Valores das correlações simples entre as características avaliadas na madeira

	DRL	GRA	IR	DB	DS	CV	CR	CT	CA	F <sub>E</sub>	F <sub>A</sub>	MOE	LI	LS	LT
DRL	1	0,34*	0,68**	0,52**	0,58**	0,69**	0,46**	0,71**	-0,41ns	0,40**	0,24ns	0,17ns	-0,12ns	0,17ns	-0,11ns
GRA		1	0,31*	0,14ns	0,19ns	0,33*	0,15ns	0,40*	0,16ns	0,23ns	-0,06ns	0,12ns	-0,43**	0,02ns	-0,43**
IR			1	0,15ns	0,24ns	0,53**	0,16ns	0,51**	0,16ns	0,21ns	0,12ns	-0,02ns	-0,29*	0,11ns	-0,28ns
DB				1	0,99**	0,73**	0,87**	0,64**	-0,52**	0,71**	0,43**	0,43**	-0,04ns	0,33*	-0,01ns
DS					1	0,82**	0,89**	0,73**	-0,47**	0,74**	0,42**	0,40*	-0,07ns	0,33*	-0,03ns
CV						1	0,81**	0,93**	-0,18ns	0,72**	0,28ns	0,22ns	-0,18ns	0,24ns	-0,15ns
CR							1	0,70**	-0,59**	0,70**	0,44**	0,42**	-0,20ns	0,32*	-0,17ns
CT								1	0,02ns	0,71**	0,17ns	0,06ns	-0,13ns	0,15ns	-0,12ns
CA									1	-0,20ns	-0,36*	-0,37*	0,02ns	-0,18ns	0,00ns
F <sub>E</sub>										1	0,23ns	0,20ns	-0,12ns	0,42**	-0,08ns
F <sub>A</sub>											1	0,74**	-0,18ns	0,44*	-0,13ns
MOE												1	-0,43**	0,29*	-0,40*
LI													1	0,00ns	0,99**
LS														1	0,00ns
LT															1

\* e \*\* Significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente e ns não significativo, pelo teste de F.

DRL = Deformação residual longitudinal (%), GRA = Desvio da grã (graus), IR = Índice de rachamento de tábuas (%), DB = Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>), DS = densidade seca (g/cm<sup>3</sup>), CV = Contração volumétrica (%), CR = Contração radial (%), CT = Contração tangencial (%), CA = Coeficiente de anisotropia (CT/CR), F<sub>E</sub> = Resistência ao fendilhamento (MPa), F<sub>A</sub> = Resistência a tração Paralela às Fibras (MPa), MOE = Módulo de Elasticidade (MPa), LI = Teor de lignina insolúvel (%), LS = Teor de lignina solúvel (%), LT = Teor de lignina total (%)

Pode-se observar que a deformação residual longitudinal (DRL) apresentou um significativo coeficiente de correlação simples de 0,68 com o índice de rachamento de tábuas, indicando que é possível se prever a tendência de rachamento de tábuas fazendo-se, no campo, a avaliação da DRL. O valor do coeficiente de correlação foi relativamente baixo, devido ao efeito de clone, tamanho diferenciado das tábuas e sua variação radial, uma vez que a DRL é obtida na periferia da tora. Caso fossem utilizadas somente as tábuas mais externas para estimar o seu índice de rachamento, o valor da correlação deveria aumentar. Também, observou-se que a DRL apresenta correlação positiva e significativa com o ângulo da grã (0,34), densidade básica (0,52) e seca (0,58), contração volumétrica (0,69), radial (0,46) e tangencial (0,71) e resistência ao fendilhamento (0,40). Estes resultados estão de acordo aos encontrados por Nicholson e Hillis (1975) e Fernandes (1982). Lima (2001) também encontrou correlação significativa e positiva entre a DRL e a densidade básica (0,53) da madeira em híbridos naturais de *Eucalyptus*. A DRL não apresentou correlação com o coeficiente de anisotropia, resistência à tração paralela, módulo de elasticidade, teores de lignina insolúvel, solúvel e total.

O ângulo da grã apresentou correlação significativa e positiva com o índice de rachamento (0,31), contração volumétrica (0,33) e tangencial (0,40) e negativa com o teor de lignina insolúvel e total (-0,43).

O índice de rachamento apresentou correlação significativa e positiva somente com as contrações volumétrica (0,53), tangencial (0,51) e negativa com o teor de lignina insolúvel (-0,29). Pelo fato da correlação entre a contração volumétrica e tangencial ter sido elevada (0,93), pode-se usar qualquer uma dessas variáveis para se prever a tendência de rachamento em tábuas.

As densidades básica e seca apresentaram correlação significativa e positiva com as contrações volumétrica, radial e tangencial, sendo significativa e negativa com o coeficiente de anisotropia. Este resultado está de acordo com a literatura usual. Entretanto, a correlação foi de maior magnitude entre as densidades e a contração radial. As duas densidades se correlacionam significativamente e positivamente com a resistência ao fendilhamento, resistência à tração paralela às fibras e o módulo de elasticidade, sendo de maior magnitude com o primeiro caso.

As contrações volumétrica, radial e tangencial apresentaram correlação significativa e positiva com a resistência ao fendilhamento, sendo de 0,72, 0,70 e 0,71, respectivamente.

Os teores de lignina insolúvel e total praticamente não apresentaram correlação significativa com as outras características da madeira, exceto para o ângulo da grã e módulo de elasticidade, em que a correlação foi significativa e negativa. O teor de lignina solúvel apresentou correlação significativa e positiva com as densidades básica e seca, contração radial e resistência ao fendilhamento, além da tração paralela às fibras e o seu módulo de elasticidade. Porém, os valores são de baixa magnitude.

## 6.2. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ para todas as características o efeito de clone foi altamente significativo. O efeito de posição longitudinal (DAP e 3 m) foi significativo para a grã, densidade seca, contração volumétrica e tangencial, coeficiente de anisotropia e teor de lignina solúvel. A interação clone x posição longitudinal foi significativa somente para a contração tangencial;
- ✓ como não houve efeito significativo da posição longitudinal para a DRL, isso indica que a determinação na altura do DAP é suficiente para estimar a DRL média da árvore, o que permite um ganho nas condições e rapidez do processo de coleta de dados;
- ✓ os coeficientes de variação experimental foram baixos para todas as características, exceto para o índice de rachamento de tábuas;
- ✓ os coeficientes de herdabilidade estimados foram elevados para todas as características avaliadas, indicando a existência de um alto controle genético e permitindo o melhoramento pela seleção;
- ✓ existe grande variabilidade entre os materiais genéticos estudados, o que permite obter ganho com a seleção;
- ✓ a correlação entre a DRL e o índice de rachamento foi elevada (0,68), o que permite utilizar esta variável como uma ferramenta confiável para a seleção de genótipos menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras em tábuas;
- ✓ a DRL apresentou correlação positiva e significativa com as densidades básica e seca, ângulo da grã, contração volumétrica, radial e tangencial e resistência ao fendilhamento. Não foi observada correlação com os teores de lignina insolúvel, solúvel e total;
- ✓ a variação inter clonal foi maior que a variação intra clonal para as características avaliadas.

### 5.3. Primeira Etapa – CAPÍTULO 3

#### ESTIMATIVA DA TENSÃO DE CRESCIMENTO EM CLONES DE *Eucalyptus*

Os resultados médios da deformação residual longitudinal, módulo de elasticidade e a estimativa da tensão longitudinal de crescimento estão apresentados na Tabela 14. Os valores obtidos para o módulo de elasticidade estão de acordo com os normalmente encontrados na literatura. Segundo Lima (1999), estes clones podem ser classificados como sendo de média resistência.

Verifica-se que o valor médio relativo à deformação residual longitudinal (DRL) foi de 0,090 mm. Esse valor médio está acima do encontrado por Lima (2001), de 0,071 mm, que trabalhou com clones de *Eucalyptus* em diferentes idades e do de Muneri et al. (2000) que, para *Eucalyptus cloeziana* aos 4 anos de idade, obtiveram valor de 0,077 mm. Deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesmas, o que pode ter contribuído para a ocorrência dessa diferença. Os clones 2 (0,059 mm) e 10 (0,145 mm) foram os que apresentaram a menor e a maior média de deformação residual longitudinal (DRL), respectivamente. Estes mesmos clones foram os que apresentaram os menores e maiores valores de tensão de crescimento longitudinal, sendo de, respectivamente, 139 e 448 kgf/cm<sup>2</sup>. Essa faixa de variação foi maior que a encontrada por Boyd (1950), citado por Gaiotto (1993) (70 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>).

Tabela 14 – Valores médios da deformação residual longitudinal (DRL), módulo de elasticidade (MOE) e estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL)

Clone	DRL (mm)			MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )			TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	Média	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	Média	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	Média
1	0,069	0,078	0,073	145606	135629	140618	224	234	229
2	0,053	0,064	0,059	95621	114865	105243	112	165	139
3	0,120	0,121	0,120	161005	148371	154688	433	402	417
4	0,112	0,105	0,109	140443	123492	131968	354	290	309
5	0,082	0,079	0,080	155176	168830	162003	283	296	290
6	0,063	0,074	0,069	127502	140338	133920	180	225	203
7	0,070	0,076	0,073	111564	138313	124939	173	234	204
8	0,086	0,088	0,087	145735	144454	145095	280	282	281
9	0,087	0,096	0,096	157936	169253	163595	307	390	349
10	0,146	0,144	0,145	133121	145623	139372	431	464	448
11	0,077	0,078	0,078	171595	168140	169868	292	303	298
Média	0,088	0,092	0,090	140482	145210	142846	279	299	288

P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> representam as posições longitudinais (1,30 e 3 metros de altura)

A Tabela 15 apresenta o resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado para as variáveis DRL e TCL. Pode-se verificar que o efeito de clone foi altamente significativo, indicando a existência de grande variabilidade entre os materiais avaliados. Essa variabilidade é desejada, pois possibilita a seleção de clones que apresentem menor valor de tensão de crescimento e que conseqüentemente produzirão madeira menos propensa a apresentarem defeitos indesejáveis nas peças após abate e desdobro na serraria. Verifica-se, também, que os efeitos da posição longitudinal e interação foram não significativos. Este resultado é interessante pois permite que a estimativa da tensão de crescimento seja obtida somente a 1,30 m de altura, uma vez que em posições mais altas no tronco é mais difícil a sua obtenção.

Tabela 15 – Resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado para a DRL e TCL

FV	GL	DRL (mm)		TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		QM	Significância	QM	Significância
Clone (C)	10	0,003903	0,0001	51985,369697	0,0001
Erro a	22	0,000160		5014,606061	
Posição (P)	1	0,000301	0,1553	4940,015152	0,2188
P x C	10	0,000082	0,8071	3393,915152	0,4035
Erro b	22	0,000139		3082,787879	
Total	65				

As Figuras 10 e 11 apresentam o teste de comparação múltipla para o efeito de clone em relação às duas variáveis estudadas.

Analisando os resultados presentes nas Figuras 10 e 11 pode-se verificar que, de forma geral, os clones podem ser classificados em três grupos. O grupo um seria representado pelos clones de número 1, 2, 6 e 7, com DRL e TCF média de 0,069 mm e 194 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. O grupo dois seria representado pelos clones 4, 5, 8 e 11, com DRL e TCF média de 0,089 mm e 295 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. O grupo três seria representado pelos clones 3, 9 e 10, com DRL e TCF média de 0,120 mm e 405 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. O grupo um, por apresentar menor valor médio de DRL e TCL, possui clones com maiores chances de produzirem madeira de melhor qualidade para finalidade de produção de sólidos.

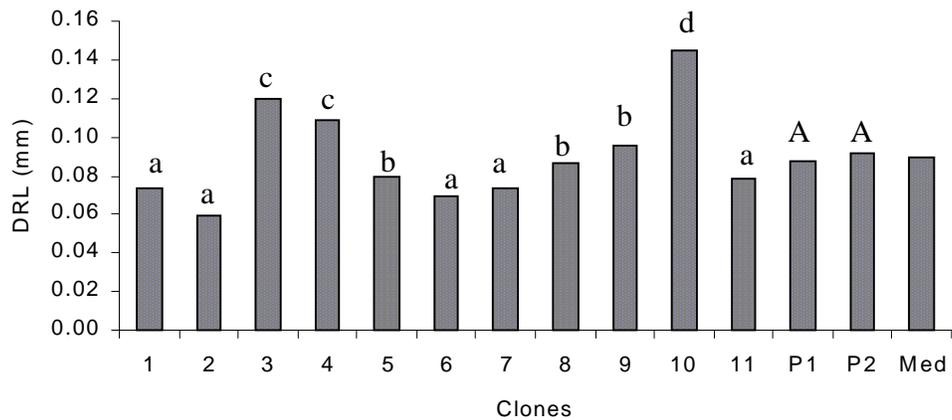


FIGURA 10 – Comparação múltipla para o efeito de clone e posição longitudinal (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) da DRL. Clones e posição longitudinal seguido pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

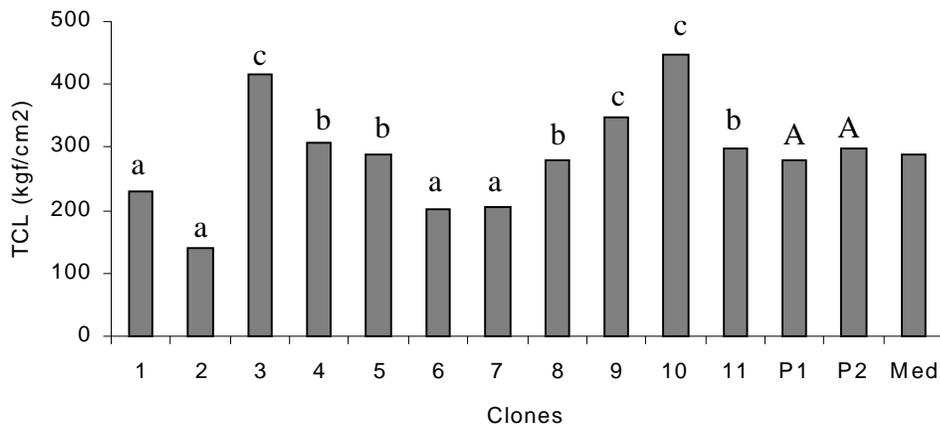


FIGURA 11 – Comparação múltipla para o efeito de clone e posição longitudinal (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) na estimativa da TCL. Clones e posição longitudinal seguido pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ )

### 6.3. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ o efeito de clone foi altamente significativo, indicando a existência de uma grande variação entre os materiais avaliados, tanto para a DRL como para a TCL;
- ✓ os efeitos de posição longitudinal e interação clone x posição longitudinal não foram estatisticamente significativos;
- ✓ os valores médios da DRL e TCL foram de 0,090 mm e 288 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente;
- ✓ os clones 2 e 10 foram os que apresentaram, respectivamente, o menor e maior valor médio de DRL e TCL;
- ✓ o teste de comparação múltipla sugere uma possibilidade de classificação dos 11 clones de três grupos distintos, sendo o grupo um formado pelos clones 1, 2, 6 e 7, o grupo dois pelos clones 4, 5, 8 e 11 e o grupo três pelos clones 3, 9 e 10;
- ✓ pelos valores médios da DRL e TCL, o grupo um apresenta clones de maior potencial para produção de sólidos de madeira.

## **7.1. RELAÇÃO DOS TRABALHOS SUBMETIDOS À PUBLICAÇÃO EM REVISTAS CIENTÍFICAS NO BRASIL**

SOUZA, M.A.M.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T. Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus*. Artigo enviado para a **Revista Ciência Florestal** em 2002.

SOUZA, M.A.M.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. Curitiba, **Revista Floresta**, v.33, n.3, p. 275-284, 2004.

## **8.1. TRABALHO PUBLICADO EM REVISTA CIENTÍFICA NO BRASIL**

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; MENDES, L.M. MORI, F.A.; SOUZA, M.A.M. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Ciência e Ambiente**, Seropédica/RJ, v.9, n.1, p. 38-44, jan./dez., 2002.

## **9.1. TRABALHO PUBLICADO EM EVENTO NACIONAL**

TRUGILHO, P.F.; SOUZA, M.A.M.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; MENDES, L.M.; MORI, F.A.; SILVA, J.R.M. Deformação residual longitudinal e propriedades da madeira em clones de *Eucalyptus*. In: **IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – IX EBRAMEM**, Cuiabá/MT, 27 A 29 de julho de 2004. 1 CD-ROM

#### 5.4. Segunda Etapa – CAPÍTULO 1

### AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM ÁROVRES DE *Eucalyptus dunnii*: Efeito da Idade e das Características de Crescimento

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para a deformação residual longitudinal e as características de crescimento estão apresentados na Tabela 16. Pela Tabela 16 observa-se que, para as características de crescimento, os coeficientes de variação foram baixos, enquanto que, para a deformação residual longitudinal (DRL), os coeficientes de variação foram mais elevados, demonstrando a alta variabilidade dessa característica. O menor e o maior coeficiente de variação para a DRL foi, respectivamente, para a idade de 8 e 19 anos. A elevada variação ocorrida entre os genótipos ou árvores indica que, dentro de todas as idades, pode-se selecionar materiais superiores para a DRL.

TABELA 16 – Valores médios para a deformação residual longitudinal e as características de crescimento

Idade (anos)	Local	DAP (cm)	HT (m)	DRL (mm)
15	São João	42,50 AB	43,53 A	0,111 A
	CV	15,61	5,57	26,64
8	Rio da Areia	25,70 C	27,41 C	0,107 A
	CV	17,96	6,56	23,66
13	Rio da Areia	38,00 B	36,80 B	0,113 A
	CV	14,24	8,95	33,02
19	Rio da Areia	47,20 A	44,46 A	0,123 A
	CV	13,59	3,68	35,88

CV = coeficiente de variação; DAP = diâmetro à altura do peito; HT = altura total; DRL = deformação residual longitudinal; Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A Tabela 17 apresenta o resumo da análise de variância para a DRL e as características de crescimento. A análise de variância para o delineamento experimental adotado indicou que o efeito da idade foi não significativo para a DRL, ou seja, não existe diferença significativa entre as médias das idades. Este resultado é interessante, pois indica a possibilidade de selecionar as árvores mais precocemente ou em idades mais jovens, o que apresenta reflexo tanto no tempo como no custo da etapa do programa de melhoramento genético florestal. Para as variáveis DAP e HT o efeito da idade foi altamente significativo, o que era esperado.

Apesar de não haver sido encontrado diferença estatística significativa da DRL com as idades foi ajustada uma equação de regressão, modelo linear, visando predizer o valor

da característica DRL em função da idade. A Tabela 18 apresenta o resumo da análise de variância da regressão. Observa-se que a regressão foi significativa a 24% de probabilidade e que o teste para a falta de ajustamento foi não significativo, indicando que o modelo ajustado é adequado e representativo do fenômeno abordado.

TABELA 17 – Resumo da análise de variância para o efeito do fator idade

FV	GL	Quadrado Médio		
		DRL (mm)	DAP (cm)	HT (m)
Idade	3	0,000758 ns	1362,823906**	991,110977**
Resíduo	60	0,001295	36,149740	5,703326
Total	63			

ns = não significativo; \*\* = significativo a 1% de probabilidade; DAP = diâmetro a altura do peito; HT = altura total; DRL = deformação residual longitudinal

A Figura 12 mostra a tendência da influência da idade sobre a DRL, sendo que DRLObs e DRLEst se referem, respectivamente à média observada e a média estimada pela equação de regressão ajustada. A equação de regressão ajustada é da seguinte forma:

$$\hat{Y}_i = 0,0953609 + 0,00132943 X_i \quad r^2 = 77,32$$

onde,  $\hat{Y}_i$  é o valor da DRL, dada em mm, e  $X_i$  é a idade, dada em anos.

Pela Figura 12 pode-se observar que a tendência da DRL é de aumentar linearmente com o aumento da idade, indicando que a tensão longitudinal de crescimento tem a mesma tendência.

TABELA 18 – Resumo da análise de variância da regressão com o teste para falta de ajustamento

FV	GL	Quadrado Médio
Regressão	1	0,001778 *
Resíduo da Regressão	62	0,001266
Falta de Ajustamento	2	0,0002603 ns
Resíduo	60	0,001295
Total	63	

ns = não significativo; \* = significativo em nível de 24% de probabilidade

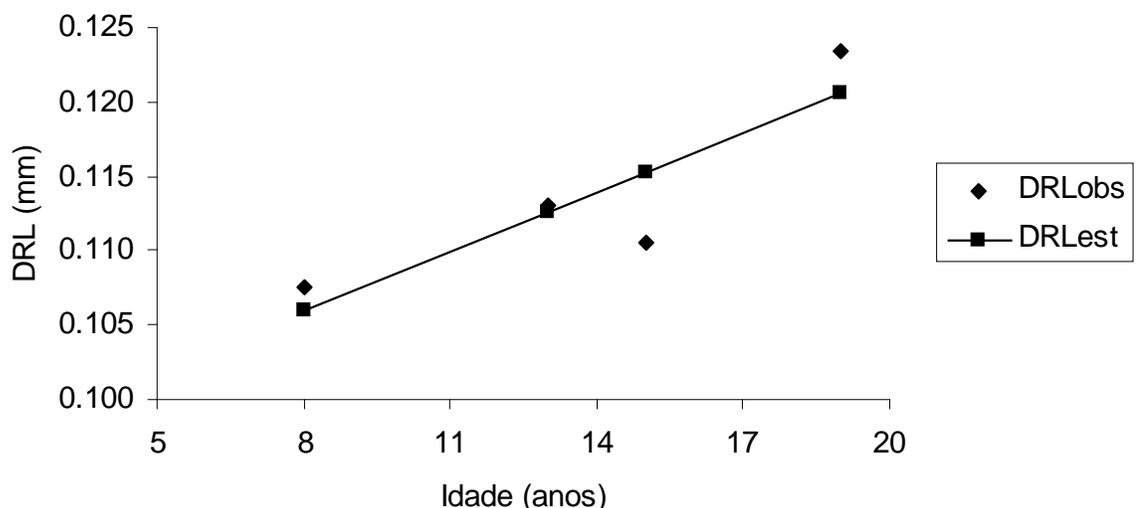


FIGURA 12 – Tendência da deformação residual longitudinal em função da idade

Deve-se ressaltar que as árvores cujas DRLs forem mais baixas são as de maior potencial para serem utilizadas como serrados. Os valores médios de DRL encontrados para o *Eucalyptus dunnii* foram maiores do que o normalmente encontrado em clones de *Eucalyptus* spp (híbridos naturais) de ocorrência nas fazendas da Companhia Mineira de Metais do grupo Votorantim, localizadas no noroeste de Minas Gerais, municípios de Vazante e Paracatu. O valor médio da DRL de um teste clonal composto de 56 clones, dispostos em 105 parcelas, foi de 0,069 mm com coeficiente de variação de 33,91%. Lima et al. (2003) encontrou valor de 0,071 mm em cinco materiais genéticos cultivados experimentalmente pela Aracruz Celulose no Espírito Santo.

A Tabela 19 apresenta os valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) por classe diamétrica e os respectivos coeficientes de variação. Observa-se uma menor variação para a idade de oito anos e uma maior para os 19 anos.

A correlação simples entre o valor da DRL média com o centro da classe e o DAP médio foi de -0,541 e -0,596 para oito anos, -0,879 e -0,908 para 13 anos, 0,318 e 0,321 para 15 anos, 0,249 e 0,381 para 19 anos de idade. Verifica-se que a correlação foi negativa para oito e 13 anos e positiva para 15 e 19 anos de idade. Somente para as idades de oito e 13 anos a correlação simples foi significativa. Para essas duas idades a DRL tende a diminuir com o aumento do diâmetro, ou seja, árvore de maior incremento diamétrico apresenta menor valor da DRL.

TABELA 19 – Deformação residual longitudinal (DRL) por classe diamétrica

Idade	Classe DAP	Di	Ds	Freq	Centro da Classe (cm)	DAP Médio	DRL Média	CV
8	1	17,50	21,60	4	19,55	19,00	0,139	17,92
8	2	21,65	25,75	3	23,70	25,00	0,096	5,09
8	3	25,80	29,90	6	27,85	27,30	0,091	22,59
8	4	29,95	34,05	3	31,90	32,00	0,111	12,73
13	1	29,30	34,50	4	31,90	32,10	0,120	28,61
13	2	34,55	39,75	7	37,15	36,50	0,132	31,40
13	3	39,80	45,00	3	42,40	42,70	0,091	13,04
13	4	45,05	50,70	2	47,65	48,30	0,069	28,59
15	1	32,50	38,10	4	35,30	34,70	0,115	38,62
15	2	38,15	43,75	7	40,95	41,00	0,104	25,79
15	3	43,80	49,40	2	46,60	47,00	0,096	5,16
15	4	49,45	55,05	3	52,25	53,30	0,129	23,20
19	1	34,10	40,70	2	37,40	37,40	0,128	57,48
19	2	40,75	47,35	7	44,05	44,40	0,124	31,02
19	3	47,40	54,00	4	50,70	48,70	0,105	57,40
19	4	54,05	60,65	3	57,35	58,30	0,144	29,35

Di e Ds = diâmetro inferior e superior (cm), respectivamente; Freq = frequência; CV = coeficiente de variação (%); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); DRL = deformação residual longitudinal (mm)

A Tabela 20 apresenta as equações de regressão ajustadas, modelo quadrático, dentro de cada idade avaliada. Pode-se verificar que para as idades de oito e treze anos a regressão foi significativa e os coeficientes de determinação bastante elevados. Para 15 e 19 anos de idade a regressão foi não significativa. Apesar da não significância da regressão observa-se a existência de uma forte tendência de ajuste do modelo quadrático.

TABELA 20 – Equações de regressão ajustadas para as idades avaliadas

Idade	Equação Ajustada	R <sup>2</sup>
8	$\hat{Y}_i = 0,752978 - 0,0494057X_i + 0,000918209X_i^2$	99,68**
13	$\hat{Y}_i = -0,220630 + 0,0204388X_i - 0,000302856X_i^2$	89,02*
15	$\hat{Y}_i = 0,726719 - 0,0293783X_i + 0,000342723X_i^2$	87,38ns
19	$\hat{Y}_i = 0,630088 - 0,0223387X_i + 0,000240635X_i^2$	66,06ns

ns, \*\*e \* não significativo, significativo a 1 e 10% de probabilidade

$\hat{Y}_i$  = DRL média da classe diamétrica;  $X_i$  = diâmetro do centro da classe

Considerando as regressões significativas, para oito anos verifica-se que a função passa por ponto de mínimo, sendo o diâmetro de 26,90 cm e a DRL de 0,096 mm. Para a idade de 13 anos a função passa por ponto de máximo, com diâmetro de 33,74 cm e a DRL de 0,124 mm.

A Figura 13 mostra o comportamento da DRL em função da classe diamétrica para cada idade avaliada. Observa-se que as funções para a DRL média aos 8 (DRL8), 15 (DRL15) e 19 (DRL19) anos apresentam comportamento semelhante, ou seja, as funções passam por ponto de mínimo. Entretanto, para os 13 (DRL13) anos a função passa por ponto de máximo, indicando uma redução da DRL média com o aumento da classe diamétrica. Este resultado indica que árvores com maiores taxas de crescimento diamétrico tendem a possuir menores valores da DRL, estando em conformidade com o encontrado por Fernandes et al. (1989). Este resultado indica a existência de uma interação entre a classe diamétrica e a idade avaliada. Todavia, Souza (2002) não encontrou correlação significativa entre a DRL e as características de crescimento da árvore.

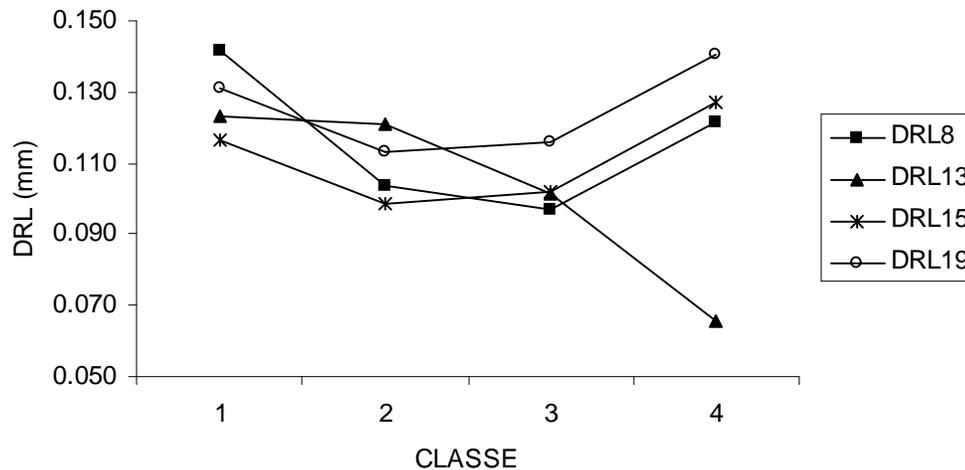


FIGURA 13 – Comportamento da DRL média em função da classe diamétrica

## 6.4. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 1

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- ✓ existe elevada variabilidade no material estudado, indicando a possibilidade de seleção de material superior para uso como sólido;
- ✓ o efeito da idade foi não significativo, indicando a possibilidade de seleção de material precocemente;
- ✓ existe, na média, uma tendência forte de aumento da DRL em função da idade;
- ✓ a correlação simples entre a DRL e o centro da classe e o diâmetro médio da classe foi negativa e significativa para as idades de oito e 13 anos e positiva, porém de baixa magnitude, para 15 e 19 anos;
- ✓ o efeito de classe diamétrica apresentou relação funcional, modelo quadrático, significativa para as idades de oito e 13 anos e não significativo para 15 e 19 anos de idade. Apesar da não significância da regressão observa-se a existência de uma forte tendência de ajuste do modelo quadrático.

## 5.5. Segunda Etapa – CAPÍTULO 2

### DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM ÁROVRES DE *Eucalyptus dunnii*: Relação com outras Características da Madeira

Este capítulo será discutido separadamente, em itens, de acordo com as características avaliadas na madeira e a sua relação com a deformação residual longitudinal (DRL).

#### 5.5.1. Características físicas da madeira

A Tabela 21 apresenta os valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) e algumas características físicas e de resistência avaliadas na madeira. Os resultados demonstram que a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi menor para a idade de oito anos e maior para a idade de 19 anos. Os valores médios de velocidade de propagação no sentido radial foram muito baixos devido, provavelmente, ao decréscimo acústico provocado pelo cruzamento com o componente lignina, o qual é um polímero amorfo e inelástico (Matos, 1997). Esse decréscimo na velocidade de propagação da onda de tensão, também, é devido à passagem por regiões com diferentes propriedades no sentido radial do tronco, além de defeitos internos comumente encontrados no *Eucalyptus dunnii*, como o observado na Figura 7A. Os baixos valores de velocidade de propagação da onda de tensão refletem no baixo valor do módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial, o qual apresenta valor médio bem menor que o normalmente determinado no sentido longitudinal. Apesar dos reduzidos valores do módulo de elasticidade observa-se uma tendência crescente em função da idade. Essa tendência é mostrada na Figura 14.

TABELA 21 – Valores médios das características avaliadas na madeira

Idade	Local	DRL	SW	Casca	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
8	Rio da Areia	0,107	754	1,2	3,00	147,21	0,478	33851,39	559,63
	CV	23,66	9,71	18,32	58,80	17,95	12,615	10,80	21,64
13	Rio da Areia	0,113	886	1,6	2,24	131,78	0,511	43978,37	1065,91
	CV	33,02	11,95	11,11	43,25	12,48	8,571	24,51	51,56
15	São João	0,111	874	1,3	2,59	117,99	0,547	49865,23	1463,99
	CV	26,64	14,89	20,31	49,69	8,03	5,25	24,41	51,88
19	Rio da Areia	0,123	833	1,7	3,10	143,09	0,483	57820,55	1692,89
	CV	35,88	15,08	12,19	90,14	12,66	8,560	19,42	36,47

SW = stress wave timer ( $\mu$ s); Casca = espessura da casca (cm); DG = desvio da grã (cm); TU = teor de umidade, base seca, (%); DBmtu = densidade básica, método do máximo teor de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); Veloc = velocidade da onda de tensão no sentido radial (m/s); MOEd = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ); CV = Coeficiente de variação (%)

Os resultados de espessura da casca indicam que o *Eucalyptus dunnii* apresenta elevada porcentagem de casca e que a variação dessa característica foi pequena para as idades. Os desvios da grã, convertidos em graus, foram, respectivamente, de 13,11 (CV = 68,19%), 13,21 (CV = 40,84%), 14,31 (CV = 47,71%) e 15,97 (CV = 75,01%), para as idades de oito, 13, 15 e 19 anos. Observa-se que a variação foi bem elevada, sendo maior para a idade de 19 anos. Estes valores foram bem superiores aos encontrados no estudo envolvendo os clones (Primeira Etapa).

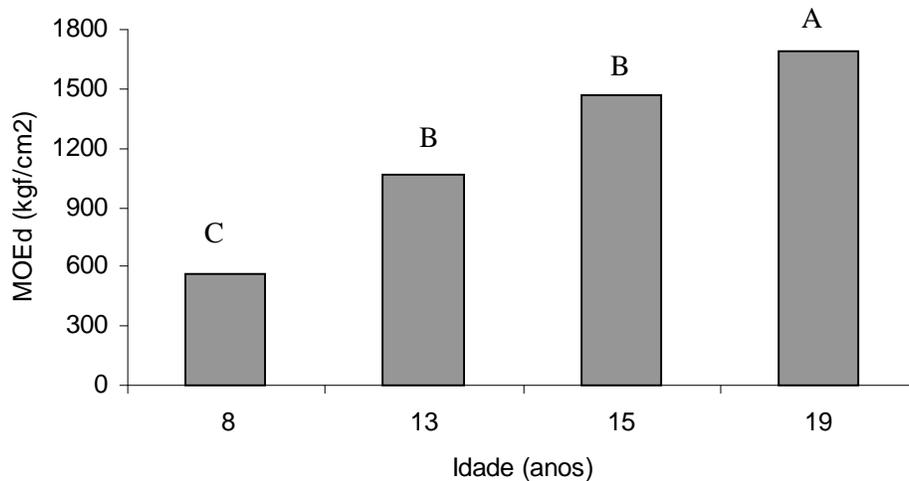


FIGURA 14 – Tendência da variação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade)

O teor de umidade e a densidade básica apresentaram pequena variação, indicando que estas são características bem específicas. O valor médio da densidade básica foi menor que o encontrado por Rocha (2000). Deve ser ressaltado que o valor de densidade obtido no estudo é da madeira mais externa do tronco, a qual, de modo geral, é menos densa. A densidade básica apresentou comportamento curioso, em que as idades de oito e 19 anos obtiveram valores bem semelhantes.

As Figuras 15, 16 e 17 mostram o comportamento e a variação para as características tempo de propagação da onda de tensão (SW), teor de umidade (TU) e densidade básica (DB), respectivamente.

A Figura 18 mostra a relação observada entre o tempo de propagação da onda de tensão (SW) e o diâmetro a altura do peito (DAP) dentro das idades avaliadas. Observa-se que existe uma tendência de estabilização do tempo de propagação da onda de tensão

mesmo que o diâmetro aumente consideravelmente. O tempo de propagação da onda de tensão sofre influência do tipo de madeira e do teor de umidade, pois variou de forma diferenciada nas idades em função do espaço percorrido, ou seja, o tempo de propagação foi maior na idade de 13 anos, porém a maior distância média ocorreu na idade de 19 anos.

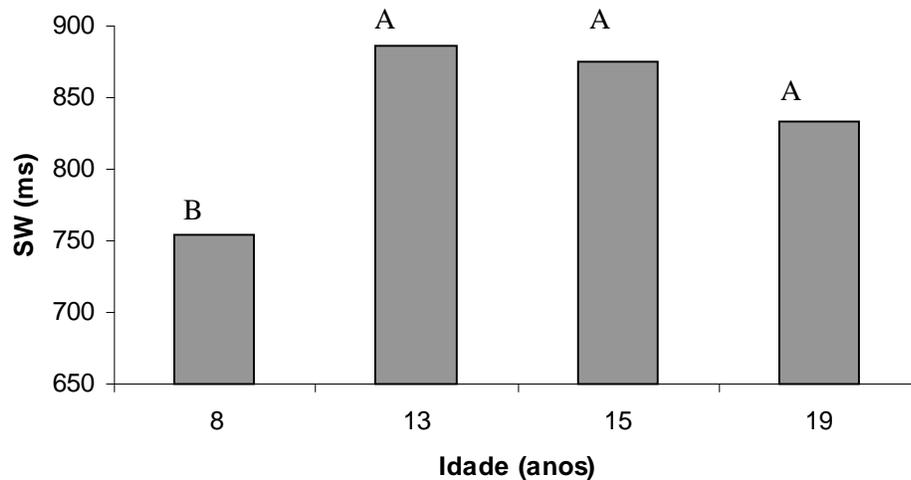


FIGURA 15 – Variação do tempo de propagação da onda de tensão (sentido radial) em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade)

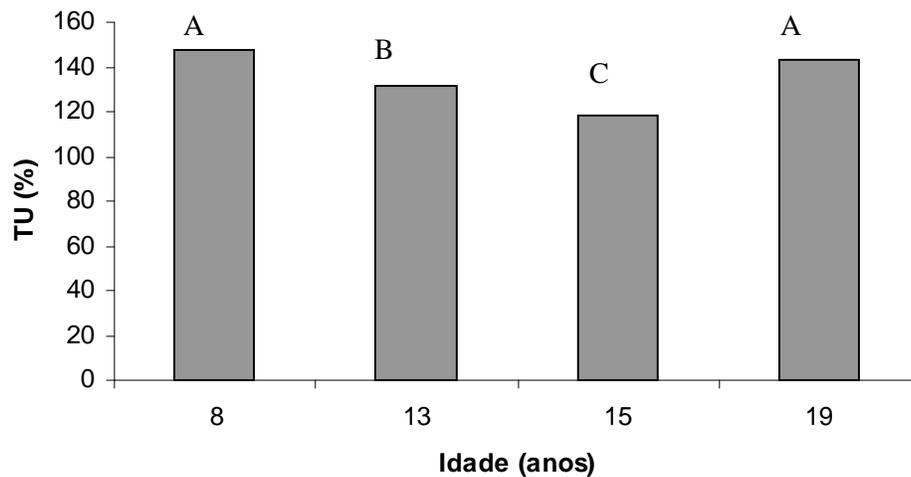


FIGURA 16 – Variação do teor de umidade árvore em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade)

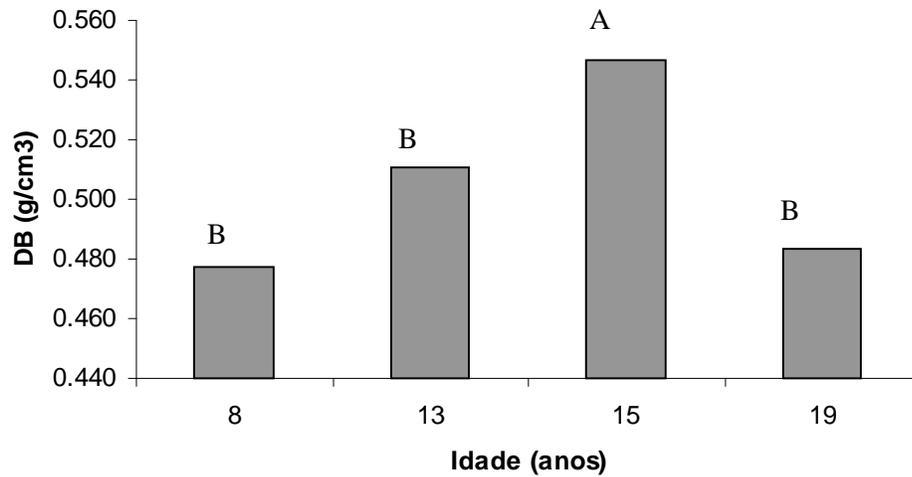


FIGURA 17 – Variação da densidade básica da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade)

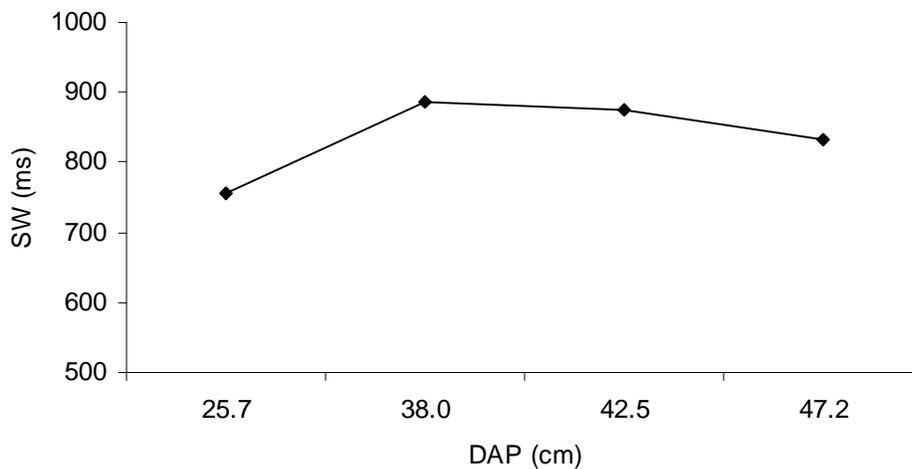


FIGURA 18 – Variação do tempo de propagação da onda de tensão em função do DAP e idade

A Tabela 22 apresenta a matriz de correlação geral entre a DRL e algumas características físicas da madeira avaliadas. Pela Tabela 22 pode-se observar que a DRL não apresentou correlação significativa com nenhuma característica física avaliada. Somente as características “stress wave timer” (SW), teor de umidade (TU) e velocidade

de propagação da onda de tensão no sentido radial (Veloc) apresentaram correlação significativa. O SW apresentou correlação negativa com Veloc e MOEd, o que era esperado, uma vez que quanto mais úmido menor a velocidade de propagação da onda de tensão. O TU apresentou correlação negativa com a DBmtu, resultado também esperado uma vez que o cálculo da densidade pelo método do máximo teor de umidade é dependente da umidade de saturação da madeira. A Veloc apresentou correlação positiva com o MOEd, o que, também, era esperado.

TABELA 22 – Matriz de correlação geral entre a DRL e as características físicas da madeira

	DRL	SW	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
DRL	1,0	0,0453	0,0459	-0,0686	0,0689	0,0453	0,0724
SW		1,0	0,0536	-0,1679	0,1691	-0,2867**	-0,3061**
DG			1,0	-0,0128	0,0059	0,0231	0,0262
TU				1,0	-0,9921**	0,0037	0,1165
DBmtu					1,0	0,0230	0,1165
Veloc						1,0	0,9772**
MOEd							1,0

DRL = deformação residual longitudinal, SW = stress wave timer; DG = desvio da grã; TU = teor de umidade, base seca; DBmtu = densidade básica, método do máximo teor de umidade; Veloc = velocidade da onda de tensão no sentido radial; MOEd = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial; \*\* significativo a 1% de probabilidade

As correlações foram, na maioria dos casos, de magnitude bastante reduzida. Este fato pode estar relacionado ao efeito da idade e também ao efeito dos genótipos, uma vez que cada árvore é um genótipo diferente devido serem oriundas de propagação sexuada. Dessa forma, para contornar o efeito da idade, foram determinadas as matrizes de correlação para cada idade isoladamente.

A Tabela 23 apresenta os valores das correlações estimadas dentro de cada idade. Pelos resultados da Tabela 23 pode-se observar que não existe uma relação definida entre a DRL e as características físicas avaliadas na madeira dentro das idades. Somente nas idades de oito e 13 anos a DRL apresentou correlação negativa e significativa com a Veloc, com o MOEd a correlação foi negativa, porém significativa aos 13 anos. A característica SW apresentou correlação negativa e significativa com Veloc e MOEd para as idades de 13, 15 e 19 anos, o que era esperado. O TU apresentou elevada correlação negativa e

TABELA 23 – Matriz de correlação para as idades individuais

8 Anos							
	DRL	SW	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
DRL	1,0	-0,4263*	0,0478	-0,2183	0,2491	-0,4807*	-0,3444
SW		1,0	0,3825	0,4896*	-0,5136*	0,6273**	0,33367
DG			1,0	0,2271	-0,2272	0,3864	0,2533
TU				1,0	-0,9944**	0,3628	-0,2248
DBmtu					1,0	-0,3724	0,2117
Veloc						1,0	0,8244**
MOEd							1,0
13 Anos							
	DRL	SW	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
DRL	1,0	0,4116	0,4827*	0,2813	-0,2501	-0,4747*	-0,5045*
SW		1,0	0,0709	0,0846	-0,0647	-0,8101**	-0,8015**
DG			1,0	-0,1328	0,1348	-0,4347*	-0,3925
TU				1,0	-0,9967**	-0,1087	-0,2086
DBmtu					1,0	0,0967	0,1995
Veloc						1,0	0,9897**
MOEd							1,0
15 Anos							
	DRL	SW	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
DRL	1,0	-0,1222	0,2341	-0,4583*	0,4393*	0,2146	0,2540
SW		1,0	-0,1127	-0,1117	0,1217	-0,7528**	-0,7377**
DG			1,0	0,4097	-0,4114	0,3345	0,3203
TU				1,0	-0,9986**	0,1448	0,0539
DBmtu					1,0	-0,1515	-0,0601
Veloc						1,0	0,9861**
MOEd							1,0
19 Anos							
	DRL	SW	DG	TU	DBmtu	Veloc	MOEd
DRL	1,0	0,0312	-0,1868	-0,1242	0,0883	0,0595	0,1027
SW		1,0	0,0113	-0,2763	0,2698	-0,6968**	-0,6295**
DG			1,0	-0,3508	0,3721	-0,3085	-0,2455
TU				1,0	-0,9935**	0,3246	0,0871
DBmtu					1,0	-0,3413	-0,1067
Veloc						1,0	0,9681**
MOEd							1,0

DRL = deformação residual longitudinal, SW = stress wave timer; DG = desvio da grã; TU = teor de umidade, base seca; DBmtu = densidade básica, método do máximo teor de umidade; Veloc = velocidade da onda de tensão no sentido radial; MOEd = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial; \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente

significativa com a DBmtu, resultado também esperado e já observado na Tabela 22. O TU não apresentou correlação positiva e significativa com SW para a idade de oito anos. A característica Veloc apresentou elevada correlação positiva e significativa com o MOEd, como era esperado, para todas as idades avaliadas. Resultado também observado na Tabela 21.

A falta de correlação esperada entre SW e DBmtu e TU pode ser explicada pelo fato da densidade e teor de umidade terem sido determinados na periferia do tronco, não representando a variação total existente no sentido radial e nem o valor médio da árvore. Kang e Booker (2002) avaliaram o efeito da temperatura e do conteúdo de umidade da madeira sobre velocidade de propagação da onda sonora e concluíram que o aumento do conteúdo de umidade afeta negativamente a velocidade, decrescendo marcadamente de 0% até o ponto de saturação das fibras (PSF) e decrescendo a pequenas taxas acima do PSF.

A Tabela 24 apresenta os valores médios dos coeficientes de contração apresentados pela madeira em duas condições, ou seja, da saturação até a umidade de equilíbrio (13,46%) e da saturação até seco em estufa a  $103 \pm 2$  °C, além dos coeficientes de anisotropia da madeira. Os resultados observados no material de 25 anos encontram-se um pouco acima do normalmente relatado na literatura. Este fato pode estar relacionado com o local de amostragem, que no presente estudo foi na porção mais externa do tronco, ou seja, mais próximo da casca. As demais idades apresentaram valores de contração semelhantes ao observado por Rocha (2002).

TABELA 24 – Valores médios dos coeficientes de contração e anisotropia da madeira

Idade	Local	CV		CR		CT		CA	
		1	2	1	2	1	2	1	2
8	Rio da Areia	9,21	15,63	3,15	5,79	7,53	11,51	2,61	2,11
	CV	9,23	8,57	26,15	19,65	17,54	10,92	27,85	26,81
13	Rio da Areia	10,82	17,90	3,86	7,05	8,15	12,37	2,28	1,82
	CV	13,87	10,51	25,85	19,96	19,07	14,84	21,98	14,80
15	São João	18,49	25,29	5,82	9,75	12,73	17,23	2,25	1,79
	CV	14,88	9,51	20,78	13,96	20,54	11,81	21,94	12,42
19	Rio da Areia	12,11	19,32	3,97	7,27	9,08	13,81	2,49	1,98
	CV	9,28	8,39	21,73	18,58	12,38	9,75	24,78	20,38

CV, CR, CT e CA = contração volumétrica, radial e tangencial (%) e coeficiente de anisotropia, 1 e 2 = condição de saturação até seco ao ar (umidade média de 13,80%) e condição de saturação até seco em estufa

Pela Tabela 24 pode-se verificar que as maiores variações ocorreram nas contrações radiais e tangenciais, em ambas condições avaliadas, enquanto que a menor variação ocorreu na contração volumétrica. Observa-se, também, que existe uma tendência de

ocorrer uma menor variação na condição de medição anidra, ou seja, da condição de saturação até seco em estufa.

Verifica-se, ainda, pela Tabela 24, que ocorre um aumento dos valores de contração até a idade de 15 anos e redução aos 19 anos, indicando que a madeira já esteja passando do estágio juvenil para o maduro. Este fato foi também observado para a densidade básica (DBmtu). Esse mesmo efeito não foi observado nos coeficientes de anisotropia. As Figuras 19 e 20 ilustram o comportamento da variação dimensional, enquanto que as Figuras 21 e 22 mostram o comportamento dos coeficientes de anisotropia observados nas duas condições avaliadas.

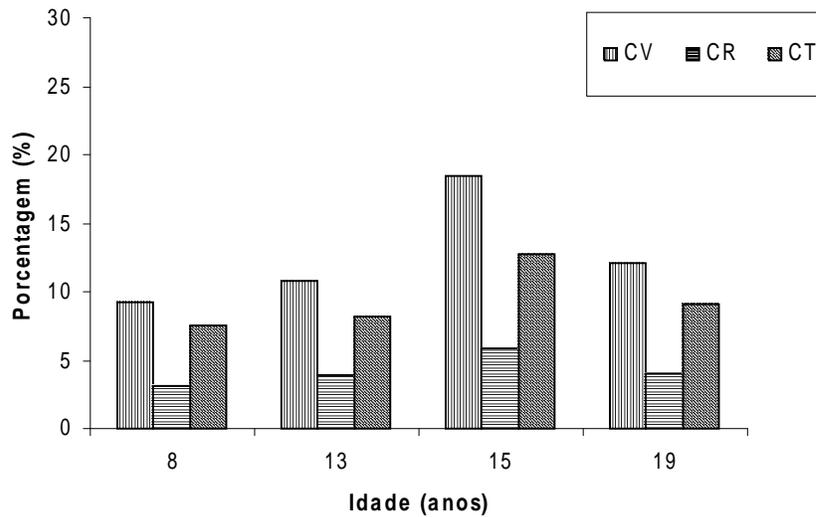


FIGURA 19 – Comportamento da variação dimensional da madeira da condição de saturação até a umidade de equilíbrio (13,46%) em função da idade

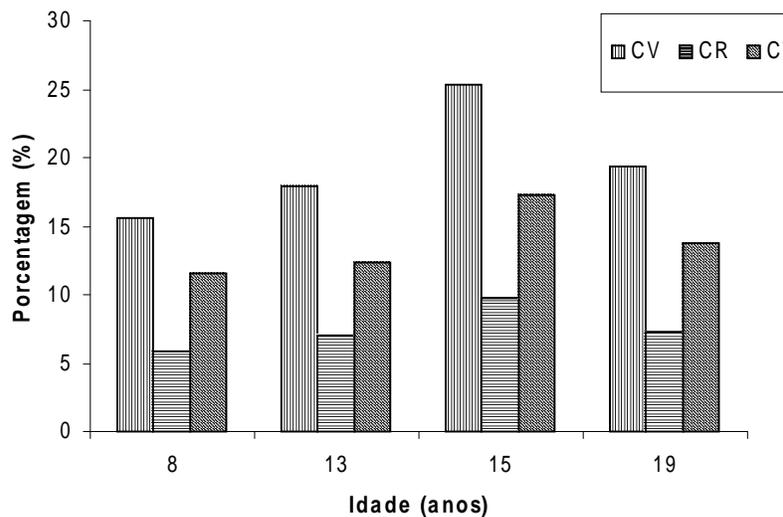


FIGURA 20 – Comportamento da variação dimensional da madeira da condição de saturação até seco em estufa em função da idade

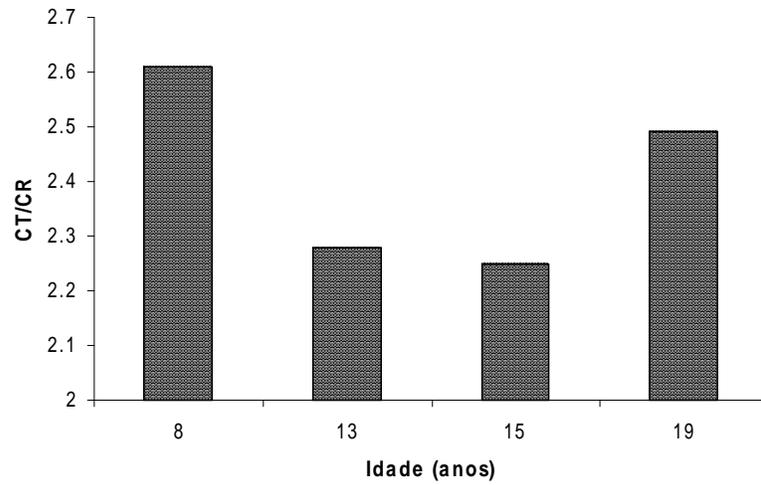


FIGURA 21 – Comportamento do coeficiente de anisotropia da condição de saturação até a unidade de equilíbrio (13,46%) em função da idade

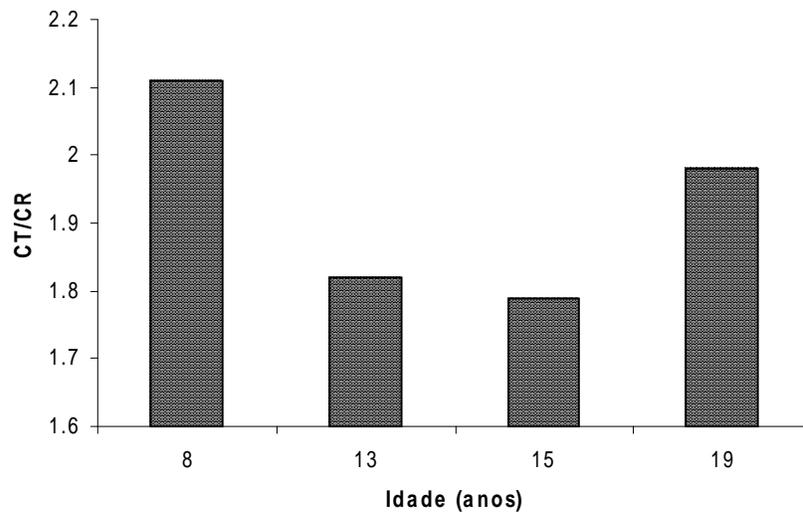


FIGURA 22 – Comportamento do coeficiente de anisotropia da condição de saturação até seco em estufa em função da idade

### 5.5.2. Características químicas e dimensões das fibras da madeira

A Tabela 25 apresenta os valores médios das características químicas e das dimensões das fibras do material avaliado. Observa-se que os valores referentes aos teores de lignina não apresentaram grande variação independentemente da idade. Este fato indica que o teor de lignina é uma característica da espécie, sofrendo pouca variabilidade dentro da mesma.

Verifica-se, ainda, que o teor de lignina insolúvel foi maior e menor, respectivamente, na idade de oito e 19 anos, o que era esperado, tendo em vista que a madeira mais juvenil apresenta maiores teores de lignina que a madeira adulta. Os valores encontrados para os teores de lignina na madeira estão um pouco abaixo aos normalmente encontrados para as demais espécies e clones de eucaliptos plantados em Minas Gerais. Essa diferença é, sem dúvida, decorrente do fator espécie e, também, pelo fato desses valores serem representativos da periferia do tronco, ou seja, dos locais onde foi medida a deformação residual longitudinal (DRL). Porém, os valores estão dentro do normalmente observado para outras espécies do gênero, como por exemplo, *Eucalyptus maculata*. Trugilho (1995) encontrou valor médio do teor de lignina total de 22,82 e 21,81%, respectivamente aos sete e nove anos de idade, para *Eucalyptus maculata*.

O teor de cinzas e de polifenóis apresentaram grande variação entre as idades avaliadas, sendo que na idade de 13 anos obteve-se o menor teor de cinzas (0,22%) e o maior teor de polifenóis (2,91%). Deve-se ressaltar que tanto o teor de cinzas como o de polifenóis são grandemente influenciados pelo tipo de solo onde a planta cresce.

As Figuras 23 e 24 mostram a variação observada no teor de lignina, cinzas e polifenóis na madeira em função da idade da árvore. Observa-se que somente o teor de lignina solúvel e de polifenóis apresentaram diferença estatística entre as idades avaliadas.

Pela Tabela 25 verifica-se que as dimensões das fibras estão de acordo com o normalmente observado para as espécies do gênero *Eucalyptus*. As Figuras 25, 26 e 27 ilustram a variação observada entre os materiais avaliados. Pode-se observar que o maior comprimento e espessura média das fibras ocorreram para a idade de 19 anos, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa.

Pelas Figuras 26 e 27 observa-se que ocorreu diferença estatística significativa para a espessura da parede celular, largura e diâmetro do lume. Observa-se que a espessura da

parede celular e largura da fibra aumentaram com a idade do material, enquanto que o diâmetro do lume não apresentou esse mesmo comportamento.

TABELA 25 – Valores médios dos componentes químicos e dimensões das fibras

IDADE	LIGins	LIGsol	LIGtot	CIN	POLI	COMP	LARG	LUM	ESP
8	21,07	4,05	25,12	0,34	2,51	1241,00	19,85	11,33	4,26
CV	6,93	13,39	5,14	55,78	19,40	1,67	4,18	7,14	7,27
13	20,40	4,56	24,96	0,22	2,91	1247,76	20,76	11,43	4,67
CV	6,37	5,69	5,31	35,80	24,75	5,85	4,42	8,68	8,54
15	20,95	3,52	24,47	0,31	2,26	1238,01	20,36	10,53	4,92
CV	4,89	8,11	4,46	66,91	14,48	6,04	3,70	6,58	7,23
19	19,87	4,29	24,16	0,32	2,10	1288,35	21,13	11,04	5,04
CV	10,61	4,58	8,49	44,35	25,03	4,57	5,15	5,92	8,81

LIGins, LIGsol, LIGtot = teor de lignina insolúvel, solúvel e total (%), respectivamente; CIN = teor de cinzas (%); POLI = teor de polifenóis (%); COMP = comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); LARG = largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); LUM = diâmetro do lume celular ( $\mu\text{m}$ ); ESP = espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ ); CV = coeficiente de variação (%)

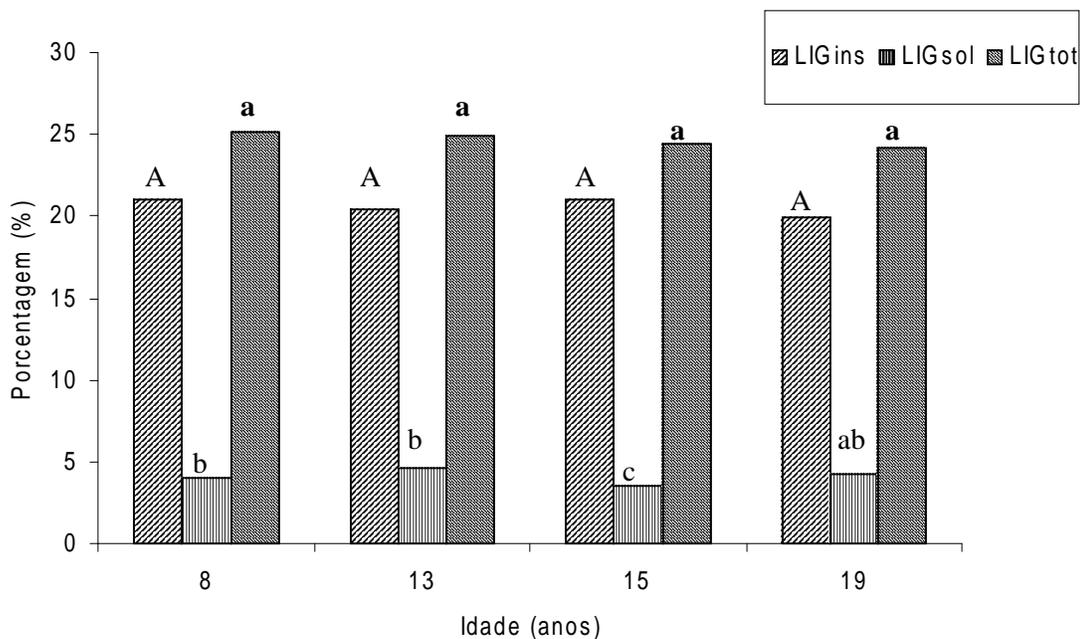


FIGURA 23 – Variação dos teores de lignina na madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

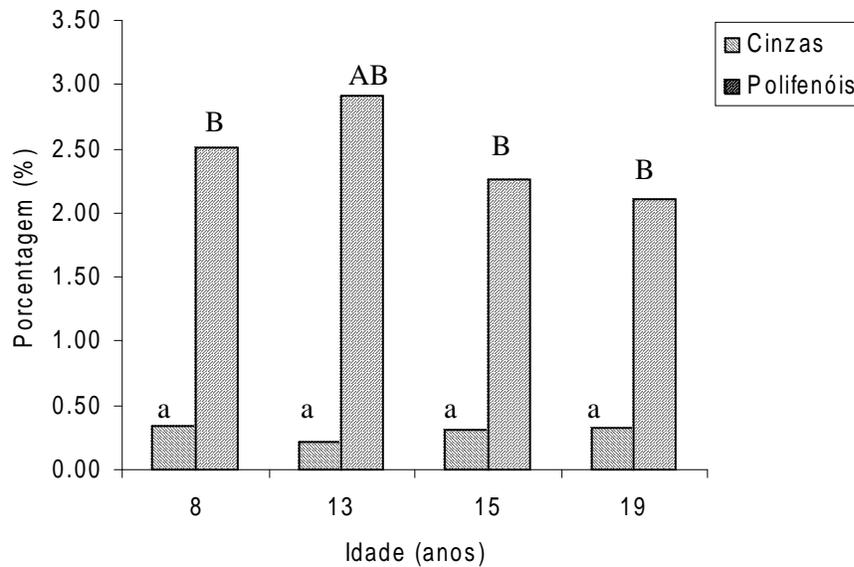


FIGURA 24 – Variação dos teores de cinzas e polifenóis na madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

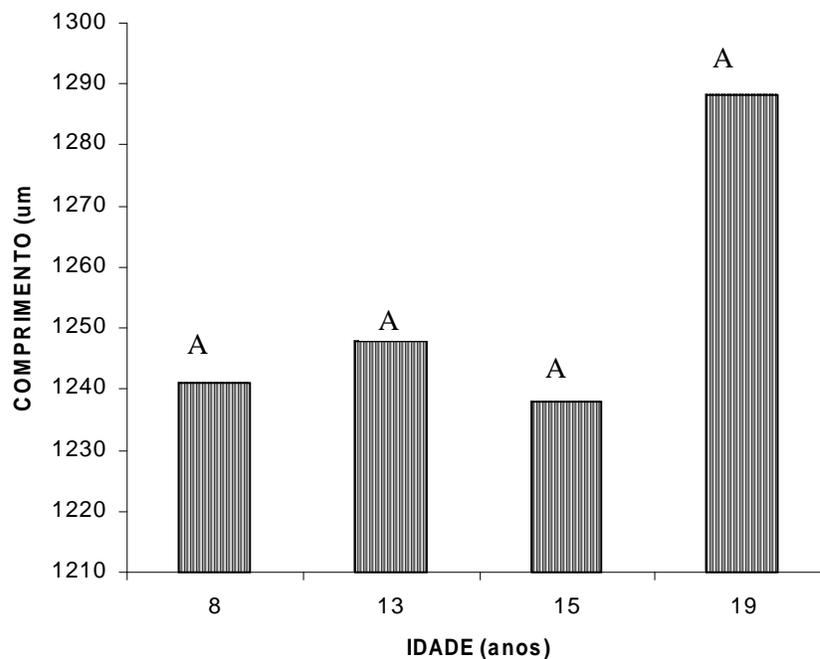


FIGURA 25 – Variação no comprimento da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

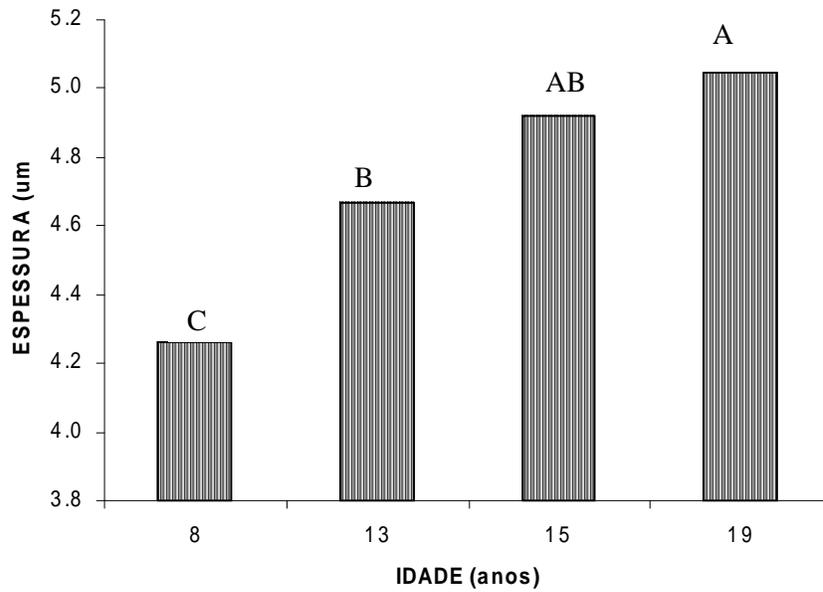


FIGURA 26 – Variação na espessura da parede celular da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

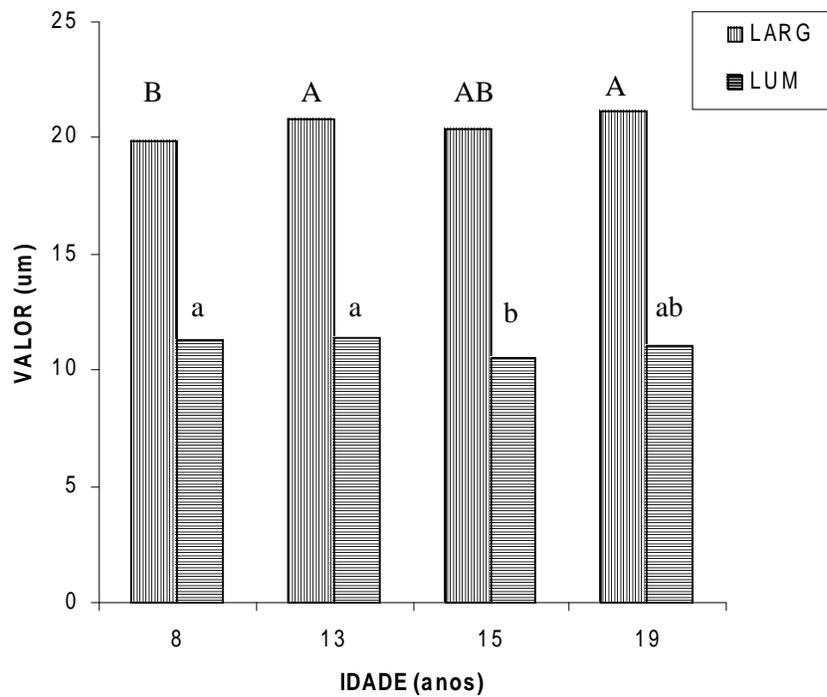


FIGURA 27 – Variação na largura e diâmetro do lume da fibra da madeira em função da idade (médias seguidas de mesma letra e mesma fonte não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)

## 6.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 2

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- ✓ a velocidade de propagação da onda de tensão e o módulo de elasticidade dinâmico, determinado no sentido radial na árvore viva, tenderam a aumentar com a idade do material;
- ✓ o desvio da grã apresentou variação bem elevada, sendo maior para 19 anos de idade;
- ✓ o teor de umidade, a densidade básica, o teor de lignina e as características dimensionais das fibras da madeira apresentaram pequena variação, independentemente da idade, indicando que estas características são específicas;
- ✓ de modo geral, a DRL não apresentou correlação significativa com as características físicas avaliadas;
- ✓ a contração radial e a tangencial apresentaram elevada variação, nas duas condições avaliadas, enquanto que a contração volumétrica apresentou a menor variação;
- ✓ as contrações lineares e a volumétrica apresentaram o mesmo comportamento da densidade básica, ou seja, tenderam a aumentar até a idade de 15 anos e apresentaram ligeiro decréscimo aos 19 anos;
- ✓ este fenômeno observado indica que a madeira possa estar passando da fase juvenil para a madura ou adulta a partir dos 19 anos de idade;
- ✓ De modo geral a madeira apresentou grandes variações em suas propriedades pesquisadas indicando a possibilidade de seleção via melhoramento genético florestal.

## 5.6. Segunda Etapa – CAPÍTULO 3

### TENSÃO LONGITUDINAL DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS RACHADURAS DE TOPO EM TÁBUAS DE *Eucalyptus dunnii*

Este capítulo, para facilitar a sua compreensão, será discutido de forma separada considerando-se isoladamente as diferentes idades do material avaliado. A Tabela 26 apresenta os valores médios das espessuras, larguras e comprimento de tábuas e pranchas radiais centrais obtidas após os processamentos mecânicos efetuados, ou seja, para a idade de oito anos o sistema de desdobro foi composto de uma serra múltipla ajustada para desdobro de madeira de *Pinus*, e nas idades de 13, 15 e 19 anos foi usado uma serra de fita simples, em cortes balanceados, a qual foi responsável pela sobra de uma prancha radial central em cada tora processada. Como foram avaliadas duas toras por árvore, duas pranchas radiais centrais foram geradas por árvore.

TABELA 26 – Valores médios para a espessura, largura e comprimento de tábuas e pranchas radiais centrais obtidas após o processamento das toras

IDADE	NT	NPRC	ESPESSURA (cm)	LARGURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)
8	89		2,49	12,17	260
	CV		5,84	19,46	
13	137		3,49	20,30	300
	CV		5,78	32,18	
		32	7,28	24,17	300
		CV	11,20	18,11	
15	164		3,25	25,16	300
	CV		10,73	27,32	
		32	8,65	27,96	300
		CV	12,21	17,21	
19	183		3,28	26,97	300
	CV		20,89	26,77	
		32	8,75	30,25	300
		CV	10,16	16,13	

NP = número de tábuas medidas; NPRC = número de pranchas radiais centrais; CV = coeficiente de variação (%).

#### 5.6.1. Oito anos de idade

A Tabela 27 apresenta os valores médios para as características de crescimento (DAP e ALT), bem como a DRL, teor de umidade, densidade básica, desvio da grã e índice de rachamento de tábuas. Observa-se que os maiores coeficientes de variação ocorreram para as características desvio da grã, dada em cm e grau, e o índice de rachamento de tábuas. Deve ser considerado que algumas árvores e toras não foram desdobradas nessa idade

devido à ocorrência de problemas de ordem operacional na serraria. A serraria estava ajustada para a madeira de *Pinus* e a madeira de *Eucalyptus dunnii* não passava de forma adequada pela serra múltipla. Era comum, devido ao avanço mais lento, que algumas toras ficassem presas na multilâmina e tinham que ser descartadas uma vez que não era possível a sua repassagem pela serra.

TABELA 27 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos oito anos de idade

ARV	DAP	ALT	DRL	TU	DBmtu	Gcm	Gg	IRG1
1	26,1	28,5	0,082	145,24	0,475	1,50	8,53	11,01
2	25,9	27,3	0,058	162,10	0,440	1,50	8,53	3,06
3	31,0	29,4	0,101	171,39	0,422	7,25	35,94	5,47
4	29,1	27,6	0,110	132,64	0,505	5,50	28,81	14,02
5	33,9	28,9	0,105	140,02	0,487	1,25	7,13	5,38
6	25,5	25,5	0,091	168,97	0,427	2,25	12,68	2,66
7	31,2	25,8	0,127	187,23	0,396	5,00	26,57	13,50
8	25,1	25,8	0,099	188,41	0,394	1,50	8,53	9,52
9	17,5	23,0	0,159	145,12	0,475	1,25	7,13	-
10	27,4	29,0	0,103	135,87	0,497	1,63	9,23	7,15
11	26,9	28,4	0,082	124,51	0,527	1,63	9,23	5,94
12	17,5	27,2	0,149	110,65	0,568	1,88	10,62	14,09
13	20,2	26,1	0,103	126,96	0,520	1,63	9,23	5,73
14	24,4	29,6	0,099	110,27	0,569	2,00	11,31	-
15	20,8	27,4	0,144	117,71	0,546	1,88	10,62	-
16	28,6	29,1	0,110	188,35	0,394	1,00	5,71	9,95
Média	25,7	27,41	0,107	147,21	0,478	3,00	13,11	8,27
CV	17,96	6,35	23,66	17,95	12,615	58,80	68,19	48,66

ARV = árvore; DAP = diâmetro à altura do peito (cm); ALT = altura total (m); DRL = deformação residual longitudinal (mm); TU = teor de umidade da árvore (%); DBmtu = densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ), método de máximo teor de umidade; Gcm e Gg = desvio da grã, respectivamente, em cm e graus; IRG1 = índice de rachamento de tábuas (%); CV= coeficiente de variação.

Pode-se observar ainda que as árvores 4, 7 e 12 apresentaram elevados valores de DRL e do índice de rachamento de tábuas, enquanto que as árvores 2 e 11 apresentaram baixos valores de DRL e índice de rachamento de tábuas. Este resultado sugere que a DRL apresente relação com o índice de rachamento de tábuas, o que era esperado.

As Figuras 28 e 29 mostram a tendência de relação existente entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas nas toras A e B, respectivamente. Pelas figuras verifica-se que existe uma tendência de aumento do índice de rachamento de tabuas com o aumento do valor da DRL. Este fato indica que a DRL está associada diretamente à tensão longitudinal de crescimento, sendo uma medida indireta e se apresentando como uma ferramenta de

fácil aplicação e eficiente na seleção de indivíduos com menores níveis de tensões diretamente no campo.

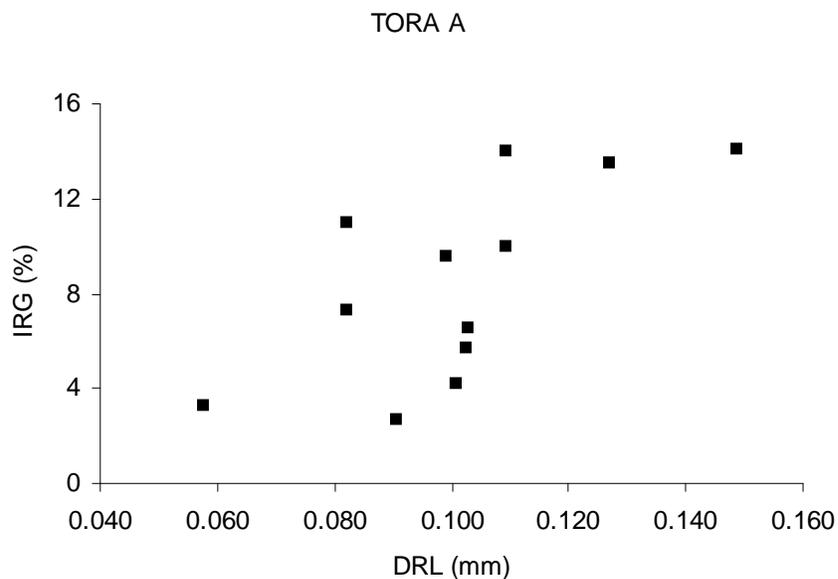


FIGURA 28 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas na tora A aos oito anos de idade

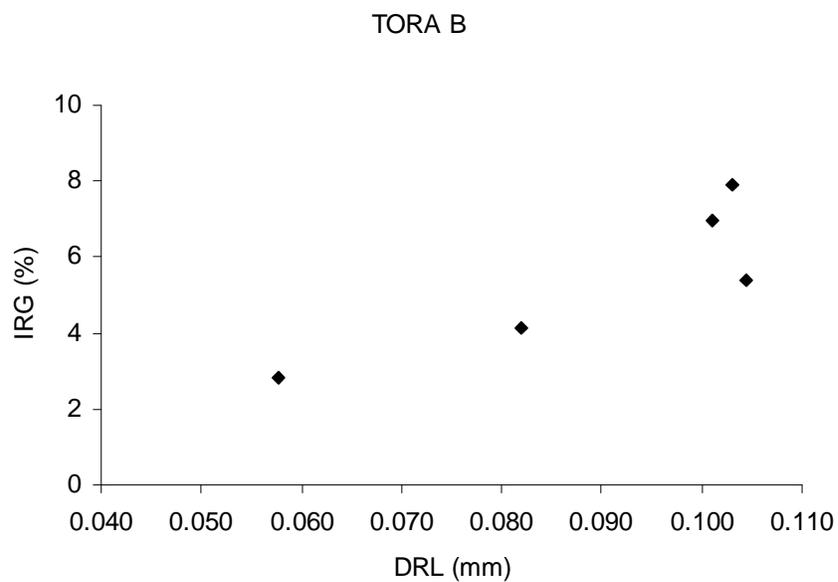


FIGURA 29 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas na tora B aos oito anos de idade

O valor da correlação existente entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas foi de 0,6762 e 0,8645 nas toras A e B, respectivamente, sendo que a correlação geral foi de 0,6904, resultado semelhante ao encontrado por Souza (2002), que trabalhou com clones de *Eucalyptus* aos seis anos de idade. Os valores das correlações podem ser considerados como médios. Este fato pode estar relacionado com o sistema de desdobro usado, o qual possibilita a liberação gradual das tensões de crescimento. A maior correlação verificada na tora B ocorreu, provavelmente, devido ao acaso, e em face ao pequeno número de observações consideradas.

A Tabela 28 apresenta os valores dos índices de rachamento de tábuas e rendimento total por tora e a DRL da árvore. Observa-se que os rendimentos foram baixos, exceto para as árvores matrizes 2 e 10. O pequeno rendimento ocorreu devido à retirada das duas costaneiras iniciais, as quais são destinadas ao refilo e que, nesse caso, não foram medidas e computados os seus volumes. Também pelo fato de que a espessura média das tábuas foi menor que nas demais idades (2,49 cm), indicando maior número de corte e ocasionado redução do rendimento. Também, não foi possível determinar os índices de rachamento por posição externa e interna, uma vez que a forma de desdobro provoca uma mistura das tábuas e fica difícil a separação das mesmas na plataforma de saída das mesmas.

TABELA 28 – Valores médios do índice de rachamento de tábuas e rendimento de tábuas, por tora, e a DRL da árvore aos oito anos de idade

ARV	TORA	DRL	IRG1	RENTAB
1	A	0,082	11,01	25,07
2	A	0,058	3,24	46,72
	B		2,82	33,85
3	A	0,101	4,21	26,08
	B		6,98	24,44
4	A	0,110	14,02	24,28
5	B	0,105	5,38	26,61
6	A	0,091	2,66	34,66
7	A	0,127	13,50	23,63
8	A	0,099	9,52	24,90
10	A	0,103	6,51	33,39
	B		7,93	35,34
11	A	0,082	7,27	27,45
	B		4,13	32,78
12	A	0,149	14,09	27,10
13	A	0,103	5,73	30,03
16	A	0,110	9,95	25,90

ARV = árvore; DRL = deformação residual longitudinal (mm); IRG1 = índice de rachamento médio das tábuas (%); RENTAB = rendimento em tábuas (%).

### 5.6.2. Treze anos de idade

A Tabela 29 apresenta os valores médios das características de crescimento (DAP e HT), bem como da DRL, teor de umidade, densidade básica, desvio da grã (em cm e graus) e os índices de rachamento médios, não considerando a prancha radial central (IRG1) e considerando a prancha radial central (IRG2). Observa-se que as características de crescimento apresentaram variação semelhante à ocorrida aos oito anos de idade, ou seja, os coeficientes de variação foram bem próximos. O mesmo comportamento ocorreu com o desvio da grã e com os índices de rachamento de tábuas. A variação da DRL foi superior ao encontrado aos oito anos de idade, indicando maior variabilidade entre as árvores aos 13 anos. O teor de umidade não apresentou grande variação, tanto aos oito como aos 13 anos de idade.

TABELA 29 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 13 anos de idade

ARV	DAP	ALT	DRL	TU	DBmtu	Gcm	Gg	IRG1	IRG2
1	46,5	38,5	0,083	151,88	0,460	1,00	5,71	29,80	28,59
2	42,0	39,6	0,104	142,06	0,482	1,25	7,13	7,36	8,26
3	35,0	37,1	0,079	131,73	0,507	1,88	10,62	9,10	10,80
4	34,5	33,6	0,134	128,93	0,515	2,63	14,71	8,88	9,63
5	36,3	36,0	0,137	122,07	0,534	3,25	18,00	17,02	18,19
6	33,6	34,2	0,161	164,03	0,436	2,63	14,71	10,25	12,28
7	36,9	37,3	0,206	150,22	0,464	3,25	18,00	43,25	40,59
8	29,3	33,0	0,093	149,50	0,465	1,88	10,62	8,39	8,83
9	36,9	37,6	0,103	138,14	0,491	2,38	13,36	19,99	20,24
10	38,2	35,2	0,114	107,56	0,578	2,25	12,68	11,57	12,13
11	30,9	28,8	0,091	135,53	0,498	4,38	23,63	12,69	13,42
12	41,5	38,8	0,088	111,53	0,565	1,50	8,53	6,40	11,10
13	44,4	42,2	0,081	117,25	0,548	3,13	17,35	19,40	19,75
14	36,3	38,7	0,125	108,78	0,574	3,00	16,70	16,32	16,37
15	50,1	40,4	0,055	132,52	0,505	0,50	2,86	16,67	16,60
16	35,8	38,2	0,158	116,68	0,549	3,00	16,70	18,73	19,40
Média	38,0	36,80	0,113	131,78	0,511	2,24	13,21	15,99	16,64
CV	14,24	8,67	33,02	12,48	8,57	43,25	40,84	59,46	50,14

ARV = árvore; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); ALT = altura total (m); DRL = deformação residual longitudinal (mm); TU = teor de umidade da árvore (%); DBmtu = densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ), método de máximo teor de umidade; Gcm e Gg = desvio da grã, respectivamente, em cm e grau; IRG1 e IRG2 = índice de rachamento médio de tábuas (%), sem levar em consideração a prancha radial central, e índice de rachamento médio tábuas + prancha radial central (%); CV = coeficiente de variação (%).

Pela Tabela 29 observa-se que a árvore matriz 15 apresentou o menor valor de DRL (0,055 mm), porém o seu índice de rachamento médio de tábuas foi de 16,67%. A árvore matriz 12 obteve o menor índice de rachamento médio de tábuas de 6,40%, mas uma DRL

de 0,088 mm. Este fato sugere que a DRL apresente pouca associação com o índice de rachamento médio de tábuas, porém deve ser ressaltado que a DRL é medida na altura do DAP (1,3 m de altura do solo), sendo um índice mais representativo na primeira tora e das tábuas mais da periferia do tronco.

As Tabelas 30 e 31 apresentam os valores médios dos índices de rachamento das tábuas mais externas e internas, índice de rachamento médio de tábuas (%), desconsiderando e considerando a prancha radial central, desvio de medula, rendimento em tábuas, prancha radial central e total para as toras A e B, respectivamente.

TABELA 30 – Valores médios para os índices de rachamento, desvio da grã e rendimentos em madeira serrada na tora A aos 13 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1	IRG2	DEVMED	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	9,83	28,25	23,23	22,99	4,8	35,09	16,97	52,06
2	2,96	10,35	6,51	7,58	3,5	36,78	13,49	50,28
3	3,45	16,10	8,12	11,04	3	30,19	17,82	48,01
4	5,68	8,22	6,74	7,21	6,3	28,43	15,36	43,79
5	10,23	18,34	14,08	15,10	1,5	27,31	17,01	44,32
6	4,12	12,40	6,91	9,09	1,9	27,17	18,78	45,96
7	37,87	52,24	52,15	46,49	1,5	29,65	16,93	46,59
8	7,53	10,62	10,30	10,73	0,5	23,51	18,31	41,82
9	19,68	25,81	22,80	23,36	3	29,35	17,27	46,62
10	4,40	12,43	8,83	9,51	3,5	29,39	18,98	48,38
11	6,37	13,08	9,30	11,20	2,5	21,67	18,64	40,30
12	4,72	20,31	6,01	13,63	1,5	34,75	17,40	52,15
13	8,85	17,91	14,29	15,39	6	29,97	16,23	46,19
14	9,70	24,80	20,03	18,76	3,5	27,18	15,68	42,87
15	3,08	9,18	5,31	6,13	2	31,97	12,08	44,06
16	17,37	22,32	19,09	20,34	0,5	32,57	17,95	50,53
Média	9,74	18,90	14,61	15,53	2,84	29,69	16,81	46,49
CV	91,73	57,52	80,43	63,81	61,04	13,52	11,31	7,68

ARV = árvore; IREXT e IRINT = índice de rachamento externo e interno (%), respectivamente; IRG1 e IRG2 = índice de rachamento médio tábuas (%), sem levar em consideração a prancha radial central, e índice de rachamento médio tábuas + prancha radial central (%); DEVMED = desvio da medula (cm); RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

Pela Tabela 30 pode-se observar que existe elevada variabilidade entre as matrizes considerando-se os índices de rachamento de tábuas, e que o índice de rachamento das tábuas mais externas apresentou a maior variação. O desvio da grã também apresentou elevada variação entre as árvores. Os rendimentos apresentam pequena variação, sendo mais influenciados pelo diâmetro das toras e pelo sistema de desdobro utilizado.

Na Tabela 30 observa-se a mesma tendência de variabilidade, contudo em magnitude ligeiramente menor para os índices de rachamento de tábuas e superior para os rendimentos em madeira serrada. Nas Tabelas 30 e 31 pode-se verificar, ainda, que o índice de rachamento das tábuas mais externas foi sempre menor que o das tábuas mais internas, o que era esperado. A matriz 15 apresentou os menores valores para os índices de rachamento de tábuas, independentemente da posição considerada, na tora A. Essa matriz foi a que obteve o menor valor de DRL e merece ser aproveitada em um programa de melhoramento genético florestal devido ao seu desempenho apresentado, sendo considerada a de destaque entre as demais.

As Figuras 30, 31, 32 e 33 apresentam a tendência de variação existente entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas mais externas (IREXT) e internas (IRINT) para as toras A e B. Verifica-se que a tendência de relação linear foi melhor observada na Figura 30. Este resultado está de acordo com Trugilho et al. (2003) que, trabalhando com árvores de *Eucalyptus urophylla*, observaram a mesma relação, especialmente na tora A. As Figuras 31 e 33 mostram que a DRL não apresentou forte tendência de relação linear com o índice de rachamento interno, respectivamente na tora A como na B. Este resultado também foi observado por Trugilho et al. (2003).

TABELA 31 – Valores médios para os índices de rachamento e rendimentos em madeira serrada na tora B aos 13 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1B	IRG2B	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	20,15	42,63	37,68	35,13	33,73	19,11	52,84
2	4,52	11,51	8,56	9,18	35,95	19,43	55,38
3	6,72	13,12	10,08	10,56	30,61	18,72	49,33
4	10,53	13,30	11,73	12,67	28,47	21,09	49,55
5	16,85	24,24	19,97	21,29	27,15	17,09	44,23
6	15,60	21,76	14,70	16,27	24,20	27,34	51,54
7	34,53	28,41	34,34	34,68	33,80	19,28	53,08
8	4,65	13,34	6,49	6,93	20,07	22,41	42,48
9	16,58	12,57	16,24	16,35	27,59	19,96	47,55
10	11,93	17,50	14,98	15,27	30,80	19,72	50,52
11	6,37	20,17	16,08	15,64	29,22	24,75	53,97
12	4,92	9,33	6,98	7,57	33,04	19,62	52,65
13	18,08	27,13	24,52	24,12	37,10	16,79	53,90
14	7,67	12,72	11,38	13,38	23,57	27,96	51,54
15	8,27	36,70	29,93	28,58	39,43	18,37	57,80
16	15,42	20,49	18,37	18,46	29,98	18,49	48,48
Média	12,67	20,31	17,63	17,88	30,29	20,63	50,93
CV	62,05	47,04	53,95	49,29	17,10	16,20	7,78

ARV = árvore; IREXT, IRINT e IRMED = índice de rachamento externo, interno e médio (%), respectivamente; DEVMED = desvio da medula (cm); RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

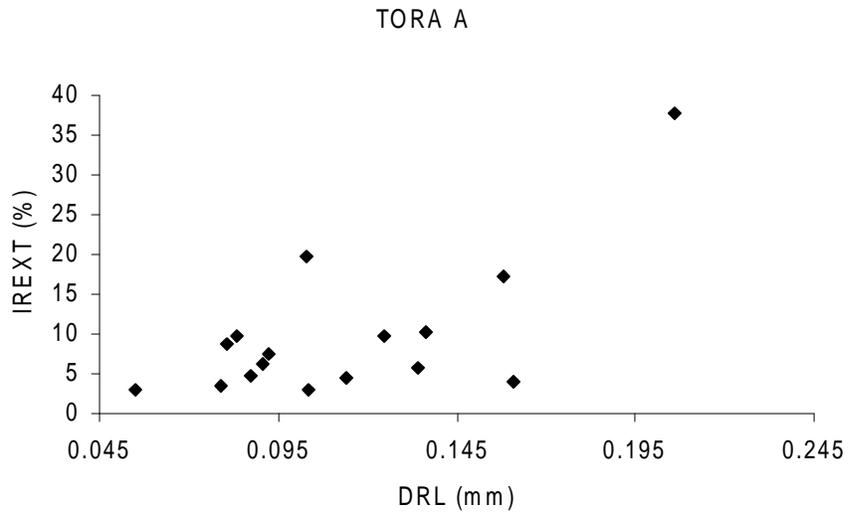


FIGURA 30 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 13 anos de idade

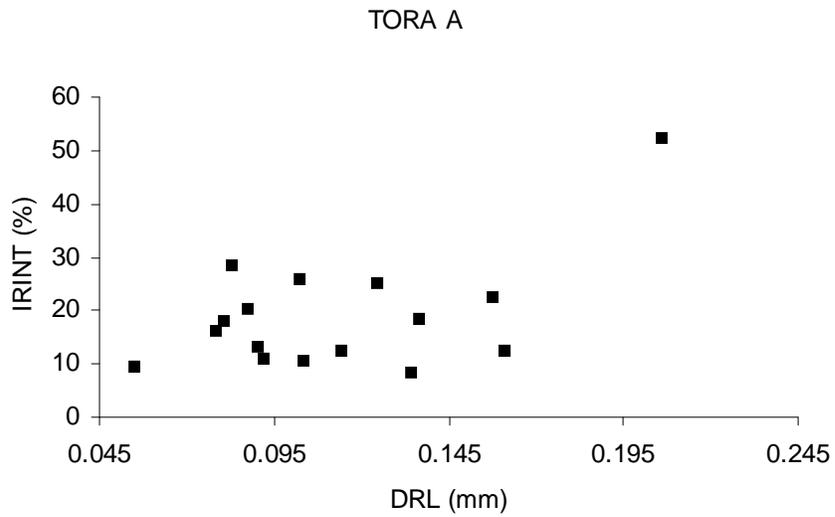


FIGURA 31 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 13 anos de idade

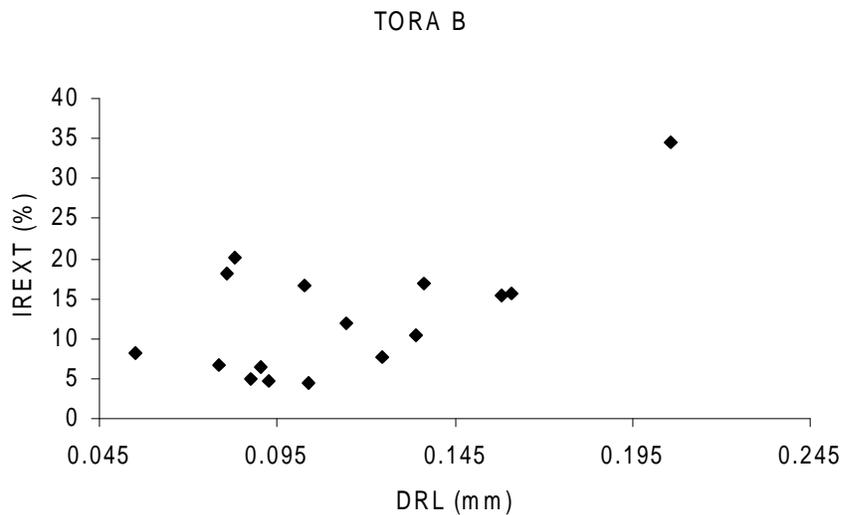


FIGURA 32 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 13 anos de idade

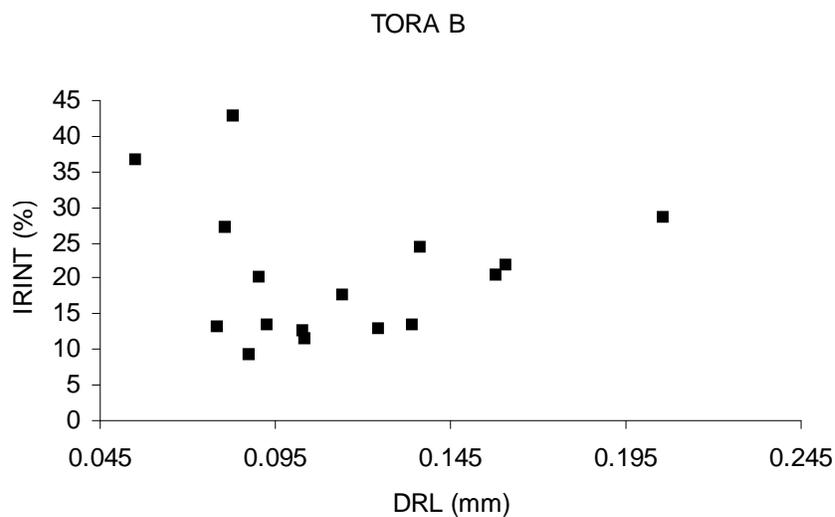


FIGURA 33 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 13 anos de idade

A Tabela 32 apresenta as equações de regressão ajustadas, modelo linear, entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno e externo, nas toras A e B. Pelos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) observa-se que a relação linear é mais definida na tora A, especialmente para o índice de rachamento das tábuas mais externas. Na tora B praticamente não existe a relação linear entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas.

A Figura 34 mostra a tendência da relação funcional existente entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas desconsiderando-se a prancha radial central (IRG1) e o índice de rachamento médio das tábuas considerando-se a prancha radial central (IRG2). Observa-se que a tendência foi semelhante ao ocorrido na tora A.

TABELA 32 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e geral aos 13 anos de idade

TORA	IR	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	r	r <sup>2</sup>
A	EXTERNO	-7,71126	154,3057	0,6662	0,4438
	INTERNO	1,432219	154,4432	0,5480	0,3003
GERAL	TÁBUA	-5,76896	163,5200	0,5912	0,3495
B	EXTERNO	-1,98329	129,6026	0,6356	0,4040
	INTERNO	21,9	-14,0816	-0,0569	0,0032
GERAL	TÁBUA	-5,76896	163,5200	0,5912	0,3495

Modelo estatístico da seguinte forma:  $Y_i = B_0 + B_1X_i + e_i$ , onde  $Y_i = IR$  (interno ou externo),  $X_i = DRL$  e  $e_i =$  erro experimental; r e r<sup>2</sup> = coeficientes de correlação e determinação, respectivamente.

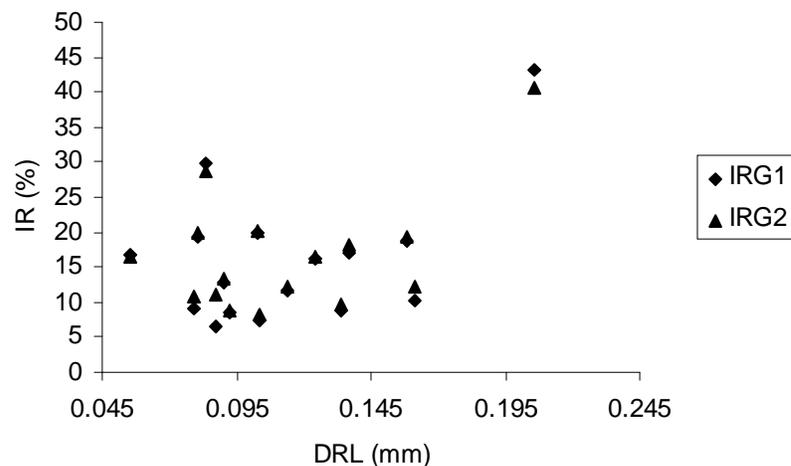


FIGURA 34 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 13 anos de idade

### 5.6.3. Quinze anos de idade

A Tabela 33 apresenta os valores das características de crescimento (diâmetro e altura), características físicas (deformação residual longitudinal, teor de umidade, densidade básica, desvio da grã, índice de rachamento). Pela Tabela 33 observa-se que os

coeficientes de variação associados às características de desvio da grã, em cm e graus, e o índice de rachamento, desconsiderando e considerando a prancha radial foram bastante elevados, indicando a existência de uma alta variabilidade entre as árvores matrizes. Este resultado é importante do ponto de vista da seleção do material visando o planejamento de um programa de melhoramento genético florestal. Quanto maior for a variabilidade do material maior será a possibilidade de se conseguir ganhos com o melhoramento.

A árvore de destaque considerando-se o índice de rachamento médio (IRG1 ou IRG2) é a número 13, a qual apresentou, respectivamente 6,26 e 6,70% de rachaduras nas tábuas, desconsiderando e considerando a prancha radial central, após o desdobro.

TABELA 33 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 15 anos de idade

ARV	DAP	ALT	DRL	TU	DBmtu	Gcm	Gg	IRG1	IRG2
1	38,8	40,80	0,099	117,00	0,548	2,50	14,04	12,57	13,49
2	47,7	44,55	0,093	105,65	0,585	1,50	8,53	13,03	15,51
3	36,0	43,60	0,153	105,66	0,585	1,00	5,71	22,63	24,88
4	43,6	44,70	0,131	99,71	0,606	2,25	12,68	32,79	34,37
5	51,6	46,15	0,100	130,54	0,510	2,50	14,04	27,93	29,96
6	41,7	38,90	0,143	115,64	0,552	3,25	18,00	44,06	43,30
7	41,7	42,30	0,085	131,04	0,509	3,00	16,70	28,98	29,96
8	32,5	39,70	0,124	107,44	0,579	2,75	15,38	23,26	24,03
9	46,2	44,20	0,100	126,04	0,522	5,75	29,90	12,80	13,47
10	37,7	44,00	0,132	117,49	0,547	2,00	11,31	38,79	39,53
11	43,4	44,40	0,113	114,66	0,556	1,50	8,53	12,56	13,84
12	53,5	47,00	0,129	119,78	0,540	2,38	13,36	55,17	55,99
13	32,5	42,00	0,051	132,86	0,504	2,38	13,36	6,26	6,70
14	39,0	42,10	0,064	118,00	0,545	0,75	4,29	12,37	13,20
15	54,7	47,35	0,160	123,26	0,530	5,25	27,70	34,37	36,49
16	38,8	44,65	0,097	123,00	0,531	2,75	15,38	13,02	14,08
Média	42,5	43,53	0,111	117,99	0,547	2,59	14,31	24,41	25,55
CV	15,61	5,39	26,64	8,03	5,25	49,69	46,19	55,10	52,19

ARV = árvore; DAP = diâmetro à altura do peito (cm); ALT = altura total (m); DRL = deformação residual longitudinal (mm); TU = teor de umidade da árvore (%); DBmtu = densidade básica ( $g/cm^3$ ), método de máximo teor de umidade; Gcm e Gg = desvio da grã, respectivamente, em cm e grau; IRG1 e IRG2 = índice de rachamento médio tábuas (%), sem levar em consideração a prancha radial, e índice de rachamento médio tábuas + prancha radial central (%); CV = coeficiente de variação (%).

A densidade básica e a altura total apresentaram pequena variação entre as árvores, este resultado era, de certa forma, esperado uma vez que estas características são muito específicas da espécie.

A deformação residual longitudinal (DRL) apresentou elevada variação entre as árvores amostradas. O valor médio, entretanto, foi mais elevado que os encontrados em clones de eucaliptos estudados em Minas Gerais e no Espírito Santo. A variação

diamétrica foi relativamente alta, devido à amostragem que foi direcionada para se obter uma representatividade dos diâmetros da floresta.

As Tabelas 34 e 35 apresentam os valores médios das características avaliadas após o processamento primário nas toras A e B, para cada árvore selecionada. Pelas Tabelas 34 e 35 pode-se verificar que o índice de rachamento externo foi menor que o índice de rachamento interno, essa mesma tendência foi encontrada por Caixeta (2000). As tábuas mais de fora tendem a desenvolver menos rachaduras que as mais internas devido, dentre outros fatores, a diferenças na madeira. A madeira formada mais internamente é mais jovem e, portanto, de menor resistência mecânica. Observa-se também a elevada variação existente entre as árvores avaliadas, tanto na tora A como na B. Este resultado também foi observado no material genético de 13 anos.

O elevado valor de rendimento total se deve pela presença da prancha radial, sendo que esse resultado está de acordo com Caixeta (2000). O rendimento total também apresentou baixa variação, nas duas toras avaliadas.

TABELA 34 – Valores médios para os índices de rachamento, desvio da grã e rendimentos em madeira serrada na tora A aos 15 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1	IRG2	DEVMED	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	6,22	16,00	10,03	11,11	5	33,03	19,73	52,76
2	2,44	16,33	10,00	11,13	6,5	42,51	11,99	54,50
3	28,50	32,50	29,17	30,90	2	24,17	18,02	42,20
4	23,11	41,13	31,03	33,40	2	36,55	18,91	55,46
5	19,29	31,49	24,76	26,07	1	32,32	14,50	46,83
6	34,17	35,33	35,42	34,87	6	25,81	22,68	48,49
7	18,71	47,89	32,56	33,30	4	35,21	22,76	57,98
8	17,17	26,33	21,92	22,67	4	28,89	22,17	51,05
9	9,11	17,66	12,72	14,00	2	31,21	18,59	49,79
10	18,16	43,89	32,69	31,02	1	33,03	23,13	56,16
11	7,11	14,44	9,27	10,78	0,5	28,34	19,88	48,23
12	36,21	62,27	50,40	50,69	3	35,29	16,11	51,40
13	1,11	5,00	2,17	2,67	6	33,21	17,53	50,74
14	12,25	20,17	17,17	17,00	1	22,69	21,87	44,56
15	44,79	55,25	47,50	50,02	1,5	38,89	17,23	56,12
16	1,92	19,50	11,17	12,47	0,5	28,74	24,22	52,96
Média	17,52	30,323	23,62	24,50	2,875	31,87	19,33	51,20
CV	72,79	51,97	58,26	57,95	70,51	16,15	17,06	8,34

ARV = árvore; IREXT, IRINT e IRMED = índice de rachamento externo, interno e médio (%), respectivamente; DEVMED = desvio da medula (cm); RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

O desvio de medula, que representa o desvio, em centímetro, da medula em relação à posição central da tora apresentou elevada variação, todavia aparentemente esta característica não apresenta relação com o índice de rachamento de tábuas.

TABELA 35 – Valores médios para as características avaliadas na tora B aos 15 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1	IRG2	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	14,53	17,57	15,75	16,35	28,19	20,82	49,00
2	2,61	33,94	16,57	20,51	36,30	17,51	53,81
3	12,83	22,89	16,08	18,87	31,62	23,04	54,66
4	25,17	40,67	34,90	35,50	37,92	24,68	62,61
5	21,78	41,87	31,55	34,33	39,48	16,87	56,35
6	51,50	51,89	52,71	51,73	22,70	21,19	43,90
7	24,21	29,01	25,40	26,61	37,03	23,65	60,68
8	23,73	27,58	25,95	26,30	18,16	28,77	46,93
9	11,33	14,17	12,89	12,95	36,24	14,39	50,63
10	18,50	70,56	46,42	49,73	34,71	28,36	63,07
11	13,42	20,39	15,85	16,91	33,20	18,62	51,82
12	51,67	72,25	60,62	61,96	41,94	15,65	57,59
13	6,47	17,13	10,35	10,73	26,57	24,25	50,82
14	7,08	10,94	7,57	9,40	28,36	22,59	50,96
15	15,08	30,83	21,24	22,96	38,19	18,16	56,35
16	13,42	17,21	14,88	15,69	28,80	21,03	49,83
Média	19,58	32,431	25,54	26,91	32,462	21,23	53,69
CV	69,64	56,29	59,80	58,50	19,50	19,25	9,92

ARV = árvore; IREXT, IRINT e IRMED = índice de rachamento externo, interno e médio (%), respectivamente; RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

As Figuras 35, 36, 37 e 38 mostram a relação existente entre a deformação residual longitudinal (DRL) e o índice de rachamento de tábuas interno (IRINT) e externo (IREXT). Verifica-se que a tendência de relação linear é melhor observada na Figura 35, ou seja, na tora A. Este resultado está de acordo com Trugilho et al. (2003) que, trabalhando com árvores de *Eucalyptus urophylla*, observaram a mesma relação, especialmente na tora A. Também foi o mesmo comportamento do material de 13 anos de idade.

As Figuras 36 e 38 mostram que a DRL não apresentou forte tendência de relação linear com o índice de rachamento interno, tanto na tora A como na B. Este resultado também foi observado por Trugilho et al. (2003). O mesmo comportamento foi observado no material de 13 anos de idade.

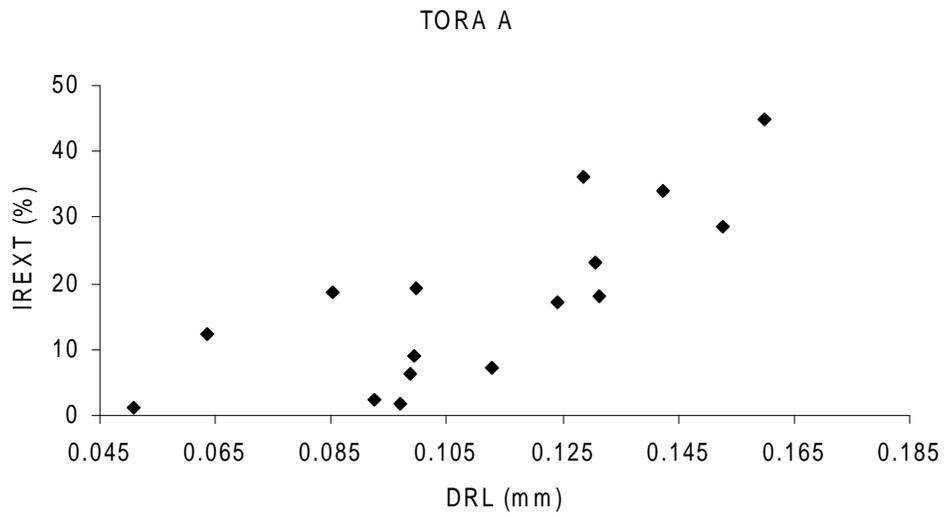


FIGURA 35 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 15 anos de idade

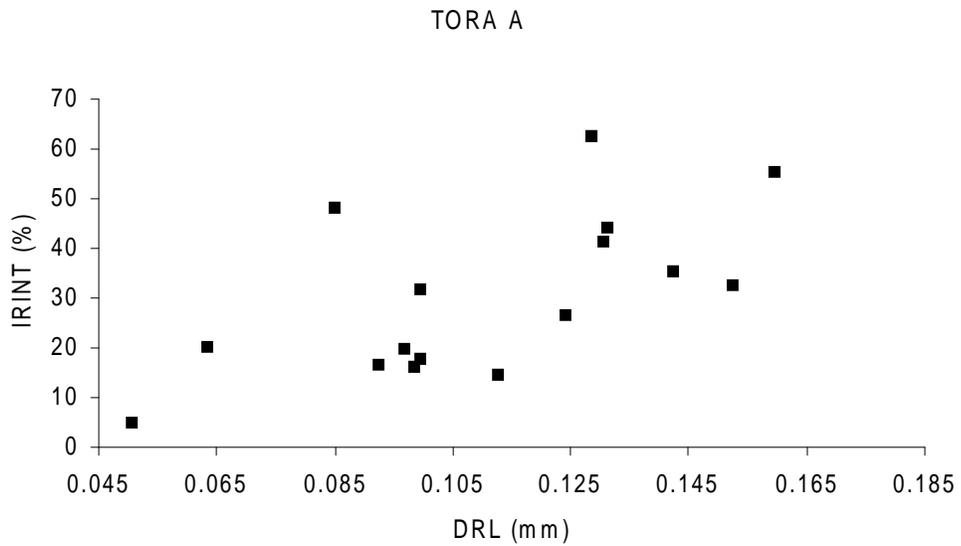


FIGURA 36 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 15 anos de idade

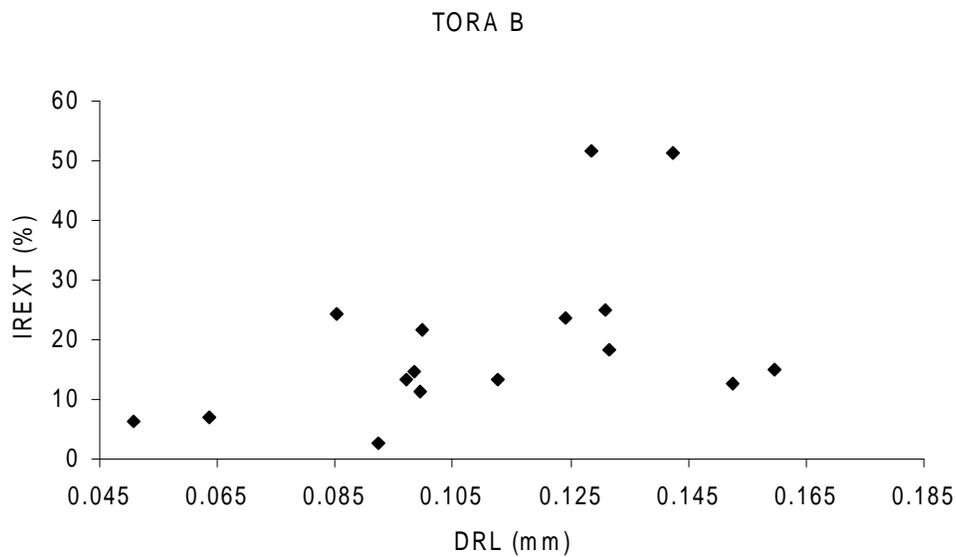


FIGURA 37 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 15 anos de idade

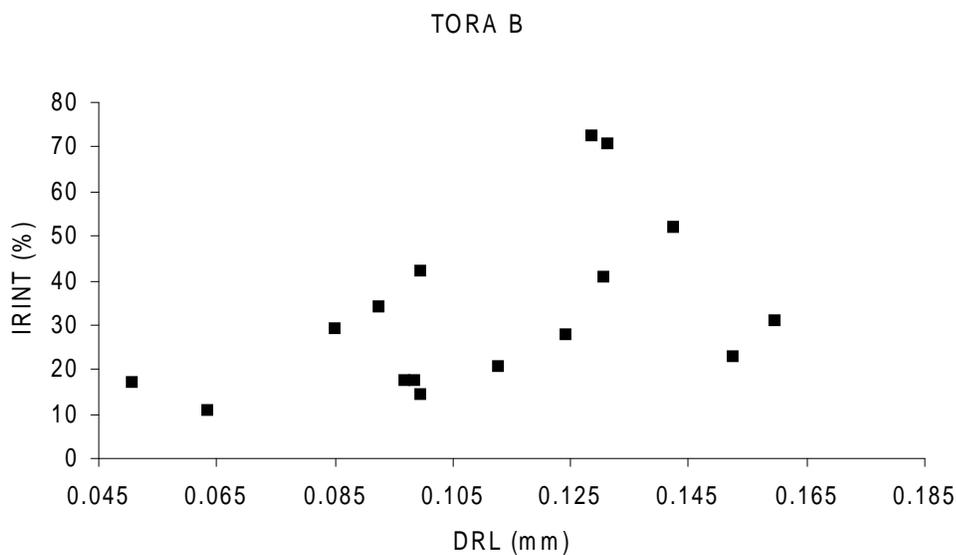


FIGURA 38 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 15 anos de idade

A Tabela 36 apresenta as equações de regressão ajustadas, modelo linear, entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno e externo, na tora A e B. Pelos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) observa-se que a relação linear é mais definida na tora A. Na tora B praticamente não existe a relação linear entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas.

TABELA 36 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e geral aos 15 anos de idade

TORA	IR	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	r	r <sup>2</sup>
A	EXTERNO	-19,5977	335,6410	0,7755	0,6013
	INTERNO	-7,19055	339,2535	0,6342	0,4023
GERAL	TÁBUA	-8,65832	-7,99803	0,6550	0,4290
B	EXTERNO	-4,29088	215,9067	0,4664	0,2175
	INTERNO	-1,01415	302,4579	0,4881	0,2382
GERAL	TÁBUA	-8,65832	-7,99803	0,6550	0,4290

Modelo estatístico da seguinte forma:  $Y_i = B_0 + B_1X_i + e_i$ , onde  $Y_i = IR$  (interno ou externo),  $X_i = DRL$  e  $e_i =$  erro experimental; r e r<sup>2</sup> = coeficientes de correlação e determinação, respectivamente.

A Figura 39 mostra a tendência da relação funcional existente entre a DRL e o índice de rachamento médio geral (IRG1 e IRG2). Observa-se que a tendência é semelhante ao ocorrido na tora A.

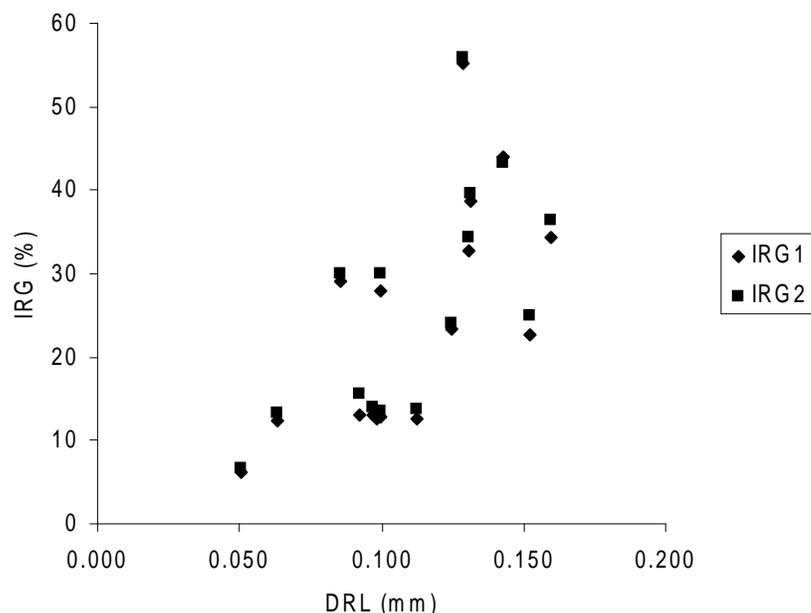


FIGURA 39 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 15 anos de idade

#### 5.6.4. Dezenove anos de idade

A Tabela 37 apresenta os resultados referentes às características de crescimento (DAP e HT), além de algumas características físicas e índice de rachamento de tábuas.

Pela Tabela 37 observa-se que o desvio da grã foi, em média, de 15,97°, valor ligeiramente superior ao obtido para 15 anos, o qual foi de 14,31°, sendo, ainda, superior para ao verificado aos oito (13,11°) e 13 anos (13,83°) de idade. Observa-se, também, que a densidade básica seguiu a mesma tendência de variação observada nas outras idades, sendo igual a do material de 13 anos. As maiores variações ocorreram para as características desvio da grã, em cm e graus, e os índices de rachamento médio de tábuas, desconsiderando a prancha radial central (IRG1) e considerando a prancha radial central (IRG2), porém as magnitudes foram superiores às demais idades.

TABELA 37 – Valores das características de crescimento e as físicas das árvores individuais aos 19 anos de idade

ARV	DAP	ALT	DRL	TU	DBmtu	Gcm	Gg	IRG1	IRG2
1	47,7	46,6	0,187	148,46	0,468	3,00	16,70	38,07	37,09
2	45,2	45,6	0,095	122,83	0,531	1,75	9,93	7,18	7,87
3	48,1	44,4	0,081	146,48	0,472	1,75	9,93	7,30	8,59
4	58,3	46,2	0,105	147,07	0,471	1,50	8,53	24,45	26,83
5	42,7	44,3	0,112	145,26	0,475	1,50	8,53	37,64	37,68
6	40,7	41,5	0,180	140,96	0,485	3,00	16,70	25,36	25,55
7	58,6	47,0	0,139	150,71	0,463	5,00	26,57	39,38	41,01
8	43,9	43,8	0,105	143,41	0,479	1,75	9,93	13,90	14,99
9	50,0	43,2	0,108	135,97	0,497	3,75	20,56	15,03	16,09
10	45,8	42,9	0,197	144,48	0,477	3,25	18,00	53,87	53,05
11	34,1	41,8	0,076	116,13	0,551	12,50	51,34	3,92	5,22
12	49,0	45,1	0,045	185,52	0,399	1,13	6,42	0,42	1,03
13	57,9	43,0	0,189	120,69	0,537	1,25	7,13	49,45	50,26
14	42,8	45,9	0,125	124,13	0,528	0,75	4,29	31,67	32,54
15	44,6	45,1	0,149	178,55	0,410	1,88	10,62	24,52	25,89
16	45,8	46,6	0,084	138,84	0,490	5,88	30,43	6,34	7,07
Média	47,2	44,55	0,123	143,09	0,483	3,10	15,97	23,66	24,42
CV	13,59	3,78	35,88	12,66	8,56	90,14	75,01	71,03	67,48

ARV = árvore; DAP = diâmetro à altura do peito (cm); ALT = altura total (m); DRL = deformação residual longitudinal (mm); TU = teor de umidade da árvore (%); DBmtu = densidade básica ( $g/cm^3$ ), método de máximo teor de umidade; Gcm e Gg = desvio da grã, respectivamente, em cm e grau; IRG1 e IRG2 = índice de rachamento médio tábuas (%), sem levar em consideração a prancha radial, e índice de rachamento médio tábuas + prancha radial central (%); CV = coeficiente de variação (%).

Verifica-se que, na média, houve uma redução na magnitude da densidade básica, o que não era esperado, porém deve ser ressaltado que a densidade foi obtida na periferia do tronco, onde foram tomados os valores de DRL, representando, portanto, a densidade da madeira mais de fora do tronco. Outro fato que deve ser considerado é a tendência de estabilização no valor de características da madeira caracterizando a mudança da madeira da fase juvenil para o estágio adulto ou maduro.

A matriz de destaque, aos 19 anos de idade, foi a número 12, a qual apresentou o menor índice de rachamento médio de tábuas (0,42%) e a menor DRL (0,045 mm), indicando que essa matriz deve ser multiplicada assexualmente (clonada) para futuro plantio comercial. Essa árvore foi a de maior destaque entre todas as idades avaliadas. A Figura 8A, do anexo, mostra os topos das duas toras dessa árvore matriz. A árvore matriz número 11 também apresentou desempenho muito favorável para essas mesmas características e deve, também, ser multiplicada para plantio clonal futuro.

As Tabelas 38 e 39 apresentam os valores das características determinadas nas toras A e B, respectivamente. Pelas Tabelas 38 e 39 pode-se verificar que o comportamento foi semelhante ao ocorrido aos 13 e 15 anos de idade, ou seja, o índice de rachamento das tábuas mais externas (IREXT) apresentou maior variabilidade e menor magnitude que o índice de rachamento de tábuas mais internas (IRINT). Verifica-se, também, que os rendimentos em madeira serrada apresentam pequena variabilidade. Esta tendência ocorreu em todas as idades avaliadas anteriormente.

TABELA 38 – Valores médios para as características avaliadas na tora A aos 19 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1	IRG2	DEVMED	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	32,50	42,19	40,80	39,77	2,0	35,20	16,49	51,69
2	6,20	9,60	8,32	8,63	1,5	31,05	18,70	49,75
3	3,92	11,81	7,42	8,65	2,5	33,15	18,04	51,20
4	5,47	37,23	24,77	26,64	1,0	36,51	18,15	54,66
5	10,50	36,01	30,82	30,87	4,0	35,61	18,91	54,52
6	22,83	25,07	25,05	24,32	0,6	30,98	22,42	53,40
7	17,71	43,50	31,94	33,18	4,5	35,58	14,10	49,68
8	11,28	16,08	14,16	15,36	2,0	26,08	18,68	44,76
9	6,65	15,74	10,63	12,11	2,5	23,66	29,45	53,11
10	58,00	57,98	57,48	57,94	1,0	28,11	16,72	44,84
11	4,23	8,03	5,03	6,51	1,5	19,87	26,52	46,39
12	0,00	3,26	0,45	1,40	1,5	28,96	16,99	45,96
13	47,86	46,94	47,41	47,35	2,5	35,30	15,74	51,04
14	15,08	33,21	26,42	28,03	1,5	29,94	17,06	47,00
15	24,05	32,26	26,32	28,97	3,0	34,73	15,85	50,58
16	0,44	4,04	1,67	2,50	2,0	31,84	16,31	48,16
Média	16,67	26,43	22,42	23,26	2,10	31,04	18,76	49,79
CV	101,43	64,36	75,02	70,92	50,40	15,42	21,74	6,65

ARV = árvore; IREXT e IRINT = índice de rachamento externo e interno (%), respectivamente; IRG1 e IRG2 = índice de rachamento médio tábuas (%), sem levar em consideração a prancha radial central, e índice de rachamento médio tábuas + prancha radial central (%); DEVMED = desvio da medula (cm); RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

Os rendimentos em tábua, prancha radial central e total, foram sempre maiores na tora B, devido provavelmente a menor conicidade da mesma em relação à tora A. Este resultado também foi observado para as idades de 13 e 15 anos.

TABELA 39 – Valores médios para as características avaliadas na tora B aos 19 anos de idade

ARV	IREXT	IRINT	IRG1	IRG2	RENTAB	RENPRAN	RENTOT
1	33,64	33,64	34,25	33,52	27,39	17,81	45,20
2	1,23	9,46	6,04	7,11	40,92	20,30	61,23
3	2,00	11,15	7,32	8,53	35,39	19,30	54,68
4	10,42	31,77	24,13	27,02	45,19	15,34	60,53
5	32,88	52,02	45,83	45,64	35,02	23,25	58,27
6	18,53	30,91	25,67	26,78	33,24	21,59	54,84
7	42,88	55,15	47,74	49,70	40,37	14,39	54,76
8	4,67	19,59	13,64	14,62	29,58	22,01	51,59
9	11,90	21,75	17,97	18,93	35,82	15,81	51,63
10	61,82	41,33	50,27	48,16	33,01	19,01	52,02
11	1,53	5,53	2,81	3,93	19,57	30,73	50,30
12	0,00	1,56	0,38	0,67	33,77	21,16	54,93
13	50,62	58,76	53,53	55,50	38,42	16,61	55,03
14	34,83	39,28	37,97	37,79	31,52	19,39	50,91
15	19,42	25,28	23,09	23,33	30,76	18,49	49,25
16	10,00	13,59	11,94	12,39	31,31	19,81	51,12
Média	21,02	28,17	25,16	25,85	33,83	19,69	53,52
CV	92,54	63,33	70,95	68,24	17,11	18,98	7,53

ARV = árvore; IREXT, IRINT e IRMED = índice de rachamento externo, interno e médio (%), respectivamente; RENTAB, RENPRAN e RENTOT = rendimento em tábuas, prancha radial e total (%), respectivamente; CV = coeficiente de variação (%).

As Figuras 40, 41, 42 e 43 mostram a tendência da relação existente entre a DRL e os índices de rachamento das tábuas mais externas e internas, sendo que as duas primeiras são referentes à tora A e as duas últimas referentes à tora B. Pelas figuras observa-se que a tendência de relação existente entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas foi mais forte na tora A do que na tora B. Este resultado foi o mesmo observado aos 13 e 15 anos de idade.

Para a idade de 19 anos ocorreu uma tendência de relação forte também com o índice de rachamento de tábuas mais internas (IRINT), tanto na tora A como na B (Figuras 42 e 43). Essa relação não era esperada uma vez que mais internamente ao tronco ocorrem as tensões de compressão, as quais seriam as responsáveis pelos defeitos na madeira processada. Uma possível explicação para esse fato é que na idade de 19 anos a madeira já é mais madura e, portanto, pode apresentar uma melhor distribuição das tensões internas.

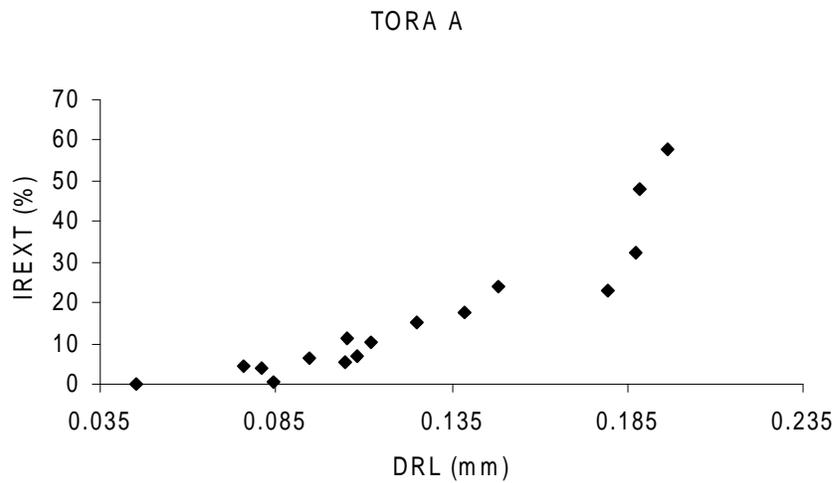


FIGURA 40 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora A aos 19 anos de idade

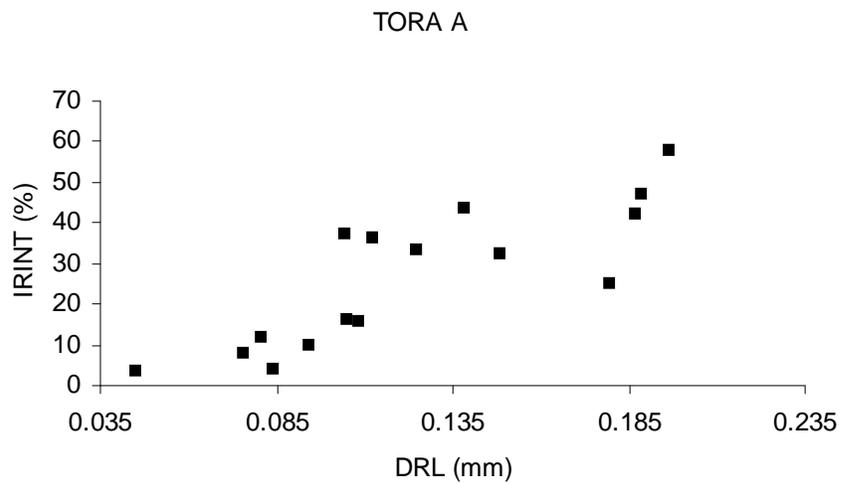


FIGURA 41 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora A aos 19 anos de idade

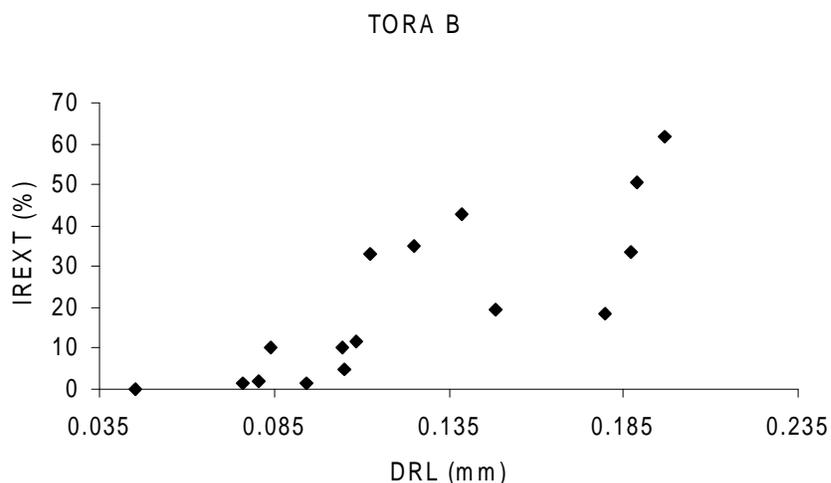


FIGURA 42 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais externas na tora B aos 19 anos de idade

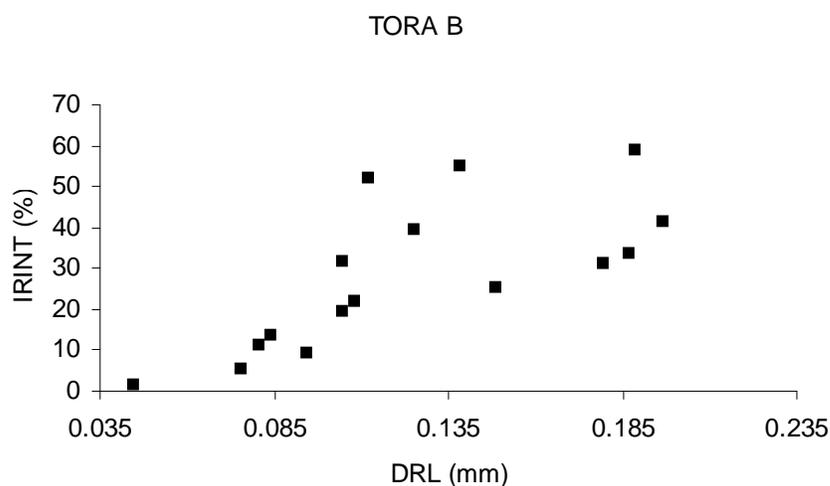


FIGURA 43 – Tendência de variação da DRL em função do índice de rachamento de tábuas mais internas na tora B aos 19 anos de idade

A Tabela 40 apresenta as equações de regressão ajustadas, modelo linear, entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno e externo, nas toras A e B, e o índice de rachamento médio das tábuas da árvore. Pode-se observar que a correlação entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas foi mais elevada na tora A. Observa-se, também, que a correlação foi elevada tanto entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas mais externas e internas, tanto na tora A como na B. A Figura 44 mostra a tendência de relação existente entre a DRL e os índices de rachamento médio das tábuas. Observa-se que a tendência de

relação linear é forte tanto para o índice de rachamento de tábuas desconsiderando-se a prancha radial central (IRG1) como para o índice de rachamento de tábuas considerando-se a prancha radial central (IRG2). A tendência de ralação foi maior que nas idades de 13 e 15 anos. Verifica-se que a tendência de relação tende a aumentar com a idade do material, ou seja, maior correlação existirá entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas a medida que a idade aumenta, para um mesmo sistema de processamento mecânico.

TABELA 40 – Equações de regressão ajustadas entre a DRL e os índices de rachamento de tábuas interno, externo e o geral aos 19 anos de idade

TORA	IR	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	r	r <sup>2</sup>
A	EXTERNO	-24,7644	335,7148	0,9081	0,8246
	INTERNO	-11,8098	309,8625	0,8331	0,6940
GERAL	TÁBUA	-15,4537	316,8806	0,8625	0,7440
B	EXTERNO	-21,4568	344,1869	0,8092	0,6548
	INTERNO	-6,22104	278,6620	0,7143	0,5103
GERAL	TÁBUA	-15,4537	316,8806	0,8625	0,7440

Modelo estatístico da seguinte forma:  $Y_i = B_0 + B_1X_i + e_i$ , onde  $Y_i = IR$  (interno ou externo),  $X_i = DRL$  e  $e_i =$  erro experimental; r e r<sup>2</sup> = coeficientes de correlação e determinação, respectivamente.

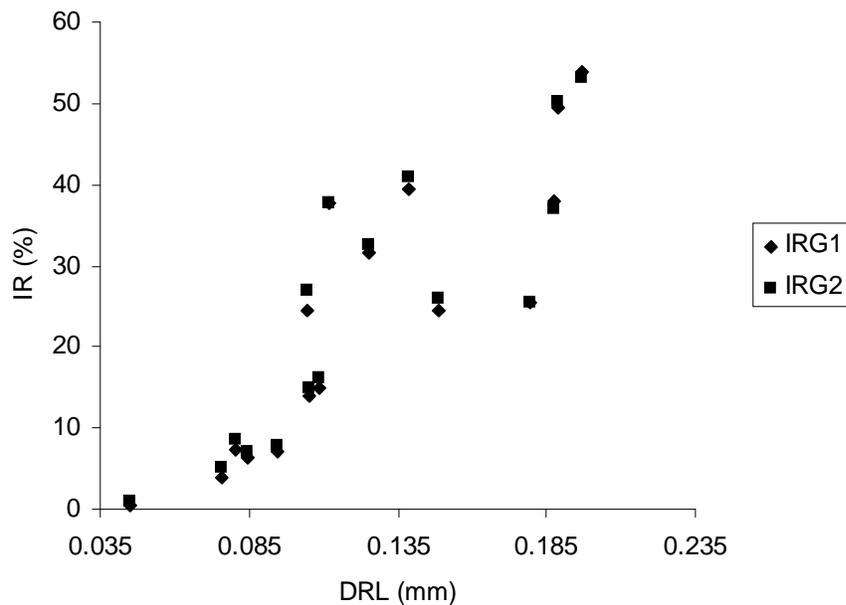


FIGURA 44 – Relação entre a DRL e o índice de rachamento médio das tábuas (IRG1 e IRG2) aos 19 anos

## 6.6. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3

Pelos resultados obtidos no trabalho pode-se concluir que:

- ✓ existe grande variabilidade entre as árvores matrizes avaliadas, o que é interessante do ponto de vista do melhoramento genético florestal;
- ✓ as matrizes número 2, 3 e 6, aos oito anos, a matriz 15, aos 13 anos, a matriz 13, aos 15 anos, e a matriz 12, aos 19 anos, foram as que apresentaram os menores índices de rachamento de tábuas e DRL, devendo ser consideradas em programa de melhoramento genético florestal;
- ✓ destaque especial para a matriz número 12, aos 19 anos de idade, a qual, dentre todas as avaliadas, apresentou o menor índice de rachamento médio de tábuas (0,42%) e DRL (0,045 mm);
- ✓ existe uma relação linear entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas, sendo mais perceptível nas tábuas mais externas da tora A. Para a idade de 19 anos a correlação entre DRL e índice de rachamento de tábuas foi alta, tanto nas tábuas mais internas como nas mais externas devido, provavelmente, a melhor distribuição das tensões internas de crescimento na madeira mais madura;
- ✓ a correlação média entre a DRL e o índice de rachamento de tábuas foi de 0,6904, 0,5912, 0,6550 e 0,8625, respectivamente para oito, 13, 15 e 19 anos de idade. Estes valores sugerem que a DRL possa ser utilizada como importante índice de seleção de material genético diretamente no campo;
- ✓ o rendimento em tábuas foi baixo para todas as árvores matrizes aos oito anos de idade, exceto para as matrizes 2 e 10, o mesmo não ocorrendo nas demais idade. Para 19 anos o rendimento foi maior na tora B devido provavelmente a menor conicidade dessas toras, fato não observado nas idades de 13 e 15 anos.

## 5.7. Segunda Etapa – CAPÍTULO 4

### **ESTIMATIVA DA TENSÃO DE CRESCIMENTO LONGITUDINAL: Módulo de elasticidade dinâmico versus módulo de elasticidade do ensaio destrutivo de tração paralela às fibras**

Este capítulo, para facilitar a sua compreensão, será também discutido de forma separada considerando-se isoladamente as diferentes idades do material avaliado.

Nas Tabelas 41, 43, 45 e 47 estão apresentados os valores médios das velocidades de propagação da onda de tensão, no sentido radial, condição de saturação, e longitudinal condição de saturação e a 12% de umidade, módulo de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade dinâmico, razão entre a velocidade da onda de tensão e estimativa da tensão de crescimento nas duas condições de umidade, ou seja, na saturação e a 12% de umidade para as idades de oito, 13, 15 e 19 anos, respectivamente.

As Tabelas 42, 44, 46 e 48 apresentam os valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal, respectivamente para oito, 13, 15 e 19 anos de idade.

#### **5.7.1. Oito anos de idade**

Pela Tabela 41 pode-se observar que os coeficientes de variação foram baixos, exceto para a razão entre módulos de elasticidade e razão entre velocidades de propagação da onda de tensão. Observa-se, ainda, que a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi bem inferior à obtida no sentido longitudinal. A velocidade propagação da onda tensão e o modulo de elasticidade dinâmico aumentam da condição de saturação para a condição de 12% de umidade, o que está de acordo com os resultados obtidos por Kang e Booker (2002).

A velocidade de propagação média da onda de tensão no sentido radial, condição de saturação, e longitudinal, condição de saturação e a 12% de umidade, foram, respectivamente, 34.734,99, 385.955,81 e 504.597,92 cm/s e o módulo de elasticidade dinâmico foi 571,36, 71.417,96 e 121.078,82 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

A velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi, em média, 126 vezes menor que a velocidade de propagação no sentido longitudinal na condição de saturação, enquanto que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial foi somente 11 vezes menor.

A estimativa da tensão de crescimento longitudinal média, obtida considerando o módulo de elasticidade dinâmico, na condição de saturação e a 12% de umidade, foi de 153,26 e 259,48 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Observa-se, pela Tabela 41, que a matriz número 2 foi a que apresentou o menor valor de tensão de crescimento, coincidentemente a de menor valor de DRL. A matriz número 13 foi a que apresentou o maior valor de tensão de crescimento, porém não foi a de maior DRL.

A variação da tensão de crescimento na condição de saturação foi de 73,02 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 2) a 204,09 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 13). Estes valores estão de acordo com Boyd (1950) *apud* Gaiotto (1993) (70 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>). A variação da tensão de crescimento na condição de 12% de umidade foi de 138,73 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 2) a 347,33 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 13), o que está de acordo com Trugilho et al. (2002b) (139 e 448 kgf/cm<sup>2</sup>), que trabalharam com clones de eucaliptos plantados em Minas Gerais com seis anos de idade.

A matriz 2 foi a que apresentou o melhor desempenho na serraria, em relação ao índice de rachamento de tábuas, e menor estimativa de tensão de crescimento, merecendo ser propagada assexualmente e plantada em teste clonal para avaliação futura.

TABELA 41 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos oito anos de idade

ARV	VEL1	VEL2	VEL3	MOEd1	MOEd2	MOEd3	REL1	REL2	TCSAT	TC3
1	31657,26	358024,69	497247,71	485,38	62081,65	119752,03	128	11	113,13	218,21
2	34022,63	356166,93	490957,93	519,08	56895,68	108103,21	110	10	73,02	138,73
3	35652,17	356645,96	485282,41	547,62	54802,22	101578,24	100	10	123,00	227,99
4	39385,20	391324,73	495107,38	799,11	79402,45	126739,46	99	10	193,21	308,40
6	35051,33	416891,89	531372,55	534,79	75652,80	122906,91	141	12	152,57	247,86
7	36916,41	349862,05	484306,63	550,32	49460,99	94715,44	90	9	139,59	267,31
8	35442,54	386526,84	496330,28	504,90	60174,92	99016,13	119	11	132,72	218,39
10	33963,59	397639,03	503478,17	584,69	80197,12	128517,73	137	12	183,56	294,16
11	34999,59	428391,12	528595,24	658,07	98772,98	150186,49	150	12	179,99	273,67
12	30033,70	405479,45	515238,10	478,40	87198,53	140795,05	182	14	198,62	320,70
13	34886,40	398711,19	520716,60	706,81	92535,59	157480,29	131	11	204,09	347,33
16	34809,10	385805,86	506542,06	487,13	59840,64	103154,83	123	11	145,61	251,01
Média	34734,99	385955,81	504597,92	571,36	71417,96	121078,82	126	11	153,26	259,48
CV	6,76	6,67	3,19	17,54	22,81	17,08	29,29	39,53	26,03	21,58

ARV = árvore; VEL1 = velocidade de propagação da onda no sentido radial (cm/s); VEL2 e VEL3 = velocidade de propagação da onda no sentido longitudinal (cm/s) na condição de saturação e a 12% de umidade; MOE1 = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial (kgf/cm<sup>2</sup>); MOEd2 e MOEd3 = módulo de elasticidade no sentido longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; TCSAT e TC3 = estimativa da tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; REL1 e REL2 = razão entre MOEd2/MOEd1 e VEL2/VEL1; CV = coeficiente de variação.

A Tabela 42 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal da madeira. Observa-se que o valor médio da tensão de crescimento longitudinal estimada pelo módulo de elasticidade do teste destrutivo (368,03 kgf/cm<sup>2</sup>) foi maior que o valor estimado pelo teste não destrutivo (259,48 kgf/cm<sup>2</sup>). Este fato ocorreu devido o módulo de elasticidade do ensaio destrutivo ter sido maior que o do ensaio não destrutivo, ou seja, o módulo de elasticidade dinâmico estimado pelo “stress wave timer”.

TABELA 42 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos oito anos de idade

ARV	MOEt (kgf/cm <sup>2</sup> )	DRL (mm)	TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )	Rtp (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fmax (kgf)
1	149009,72	0,082	271,53	1425,23	323,93
2	125304,00	0,058	160,81	999,89	229,65
3	161548,21	0,101	362,59	1331,87	311,83
4	205954,43	0,110	501,16	1607,38	373,36
7	138995,12	0,127	392,28	1086,23	252,59
8	163607,35	0,099	360,85	1339,03	317,80
10	174957,19	0,103	400,46	1500,92	363,11
11	231927,85	0,082	422,62	1480,83	353,56
12	129661,25	0,103	295,34	1034,47	236,98
13	198534,18	0,099	437,88	1789,34	422,36
16	181980,26	0,110	442,82	1640,79	384,77
Média	174868,64	0,098	368,03	1412,98	331,06
CV	29,85	18,61	25,84	31,60	32,41

ARV = árvore; MOEt = módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras; DRL = deformação residual longitudinal; TCL = tensão de crescimento longitudinal; Rtp = resistência a tração paralela às fibras; Fmax = força máxima no ensaio de tração paralela às fibras; CV = coeficiente de variação.

### 5.7.2. Treze anos de idade

Observa-se, pela Tabela 43, que os coeficientes de variação foram elevados para o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial, razão entre os módulos de elasticidade dinâmico e as estimativas das tensões de crescimento. Verifica-se, ainda, que a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi bem inferior à obtida no sentido longitudinal. A velocidade propagação da onda tensão e o modulo de elasticidade dinâmico aumentam da condição de saturação para a condição de 12% de umidade. Este

TABELA 43 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 13 anos de idade

ARV	VEL1	VEL2	VEL3	MOEd1	MOEd2	MOEd3	REL1	REL2	TCSAT	TC3
1	69002,59	406135,85	530714,29	2235,61	77584,80	132421,69	35	6	143,53	244,98
2	50410,20	415991,29	515302,20	1249,66	85140,53	130582,67	68	8	196,30	301,07
3	37408,21	439344,63	536724,69	724,22	99909,05	149152,64	138	12	174,84	261,02
4	39024,43	440000,00	546196,66	799,51	101742,17	156621,14	127	11	303,53	467,25
5	36524,74	438215,40	544500,00	725,98	104526,03	161358,54	144	12	317,06	489,45
6	32430,41	387889,24	519711,54	467,65	67231,64	120099,99	144	12	240,54	429,69
7	41163,82	414792,98	523786,41	801,71	81458,95	129805,72	102	10	372,90	594,22
8	33277,85	396060,96	502923,28	525,71	74548,39	120098,38	142	12	153,24	246,87
9	40464,60	396336,55	516247,71	820,70	79292,33	133820,00	97	10	181,05	305,56
10	42702,28	392711,18	512340,52	1075,61	90995,86	154843,53	85	9	231,03	393,13
11	38403,06	378160,59	489152,33	748,82	72646,79	121491,96	97	10	146,10	244,33
12	40565,86	384960,69	496788,99	948,91	85458,62	142315,63	90	9	166,17	276,72
13	62673,58	404975,79	514767,12	2194,01	91732,98	148039,65	42	6	164,61	265,65
14	44064,76	419439,26	528616,03	1137,33	103363,89	163786,87	91	10	285,97	453,14
15	61513,87	381098,86	511832,05	1950,44	74942,91	135140,65	38	6	92,01	165,92
16	34023,62	427004,83	545510,20	648,61	102204,58	166752,38	158	13	358,85	585,49
Média	43978,37	407694,88	520944,63	1065,91	87048,72	141645,72	100	10	220,48	357,78
CV	25,32	5,14	3,28	53,26	14,26	11,22	40,09	22,12	38,16	36,63

ARV = árvore; VEL1 = velocidade de propagação da onda no sentido radial (cm/s); VEL2 e VEL3 = velocidade de propagação da onda no sentido longitudinal c(m/s) na condição de saturação e a 12% de umidade; MOE1 = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial (kgf/cm<sup>2</sup>); MOE2 e MOE3 = módulo de elasticidade no sentido longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; TCSAT e TC3 = estimativa da tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; REL1 e REL2 = razão entre MOE2/MOE1 e VEL2/VEL1; CV = coeficiente de variação.

resultado está de acordo com Kang e Booker (2002). Resultados que seguiram a mesma tendência dos observados para oito anos de idade.

O menor valor de velocidade no sentido radial em comparação com o sentido longitudinal está relacionado a diversos fatores, dentre eles pode-se destacar a elevada variação da madeira nesse sentido, além de fatores como a presença de nós internos, devido a não realização da operação de desrrama artificial.

A velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi, em média, 100 vezes menor que a velocidade de propagação no sentido longitudinal na condição de saturação, enquanto que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial foi somente 10 vezes menor. Estes valores foram inferiores aos observados para 8 anos de idade.

A velocidade de propagação média da onda de tensão no sentido radial, condição de saturação, e longitudinal, condição de saturação e a 12% de umidade, foram, respectivamente, 43.978,37, 407.694,88 e 520.944,63 cm/s e o módulo de elasticidade dinâmico foi 1.065,91, 87.048,72 e 141.645,72 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Estes valores também foram superiores aos observados para a idade de 8 anos. O módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e na condição de 12% de umidade aumentaram em 17 e 3,2%, respectivamente, em relação à idade de 8 anos, enquanto que no sentido radial e na condição de saturação houve um aumento de 87 e 27%, respectivamente.

A estimativa da tensão de crescimento longitudinal média obtida considerando o módulo de elasticidade dinâmico, na condição de saturação e a 12% de umidade, foi de 220,48 e 357,78 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Observa-se ainda, pela Tabela 42, que a matriz número 15 foi a que apresentou o menor valor de tensão de crescimento, coincidentemente a de menor valor de DRL. A matriz número 7 foi a que apresentou o maior valor de tensão de crescimento, sendo também a de maior DRL.

A variação da tensão de crescimento na condição de saturação foi de 92,01 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 15) a 372,90 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 7). Estes valores foram superiores aos obtidos por Boyd (1950) *apud* Gaiotto (1993) (70 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>). A variação da tensão de crescimento na condição de 12% de umidade foi de 165,92 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 15) a 594,22 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 7). Este resultado foi superior aos observados aos 8 anos de idade e próximos aos observados por Trugilho et al. (2002) (139 e 448 kgf/cm<sup>2</sup>), que trabalharam com clones de eucaliptos com seis anos de idade plantados em Minas Gerais. Observa-se que, aparentemente, os valores de estimativa das tensões de crescimento estão aumentando com a idade do material.

A Tabela 44 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal da madeira. Observa-se que o módulo de elasticidade médio apresentou maior magnitude que o relativo aos oito anos.

TABELA 44 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 13 anos de idade

ARV	MOEt (kgf/cm <sup>2</sup> )	DRL (mm)	TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )	Rtp (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fmax (kgf)
1	200569,40	0,083	371,05	1497,19	353,08
2	205437,76	0,104	473,65	1634,46	375,85
3	214553,08	0,079	375,47	1791,44	403,88
4	266004,81	0,134	793,58	2250,82	542,54
5	288100,42	0,137	873,90	1947,08	457,87
6	153321,47	0,161	548,55	918,01	209,43
7	202092,50	0,206	925,13	1207,93	284,52
8	182923,94	0,093	376,01	1245,92	292,64
9	222515,16	0,103	508,08	1776,60	416,39
10	163087,37	0,114	414,06	1234,18	294,47
11	212830,06	0,091	428,02	1558,87	365,51
12	162110,31	0,088	315,21	1232,04	290,65
13	208481,86	0,081	374,11	1572,22	360,30
14	252071,60	0,125	697,40	2011,32	473,88
15	194848,91	0,055	239,23	1509,93	352,54
16	283129,37	0,158	994,10	1543,38	369,37
Média	212830,06	0,113	544,22	1558,87	365,51
CV	22,09	34,11	43,48	27,21	28,06

ARV = árvore; MOEt = módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras; DRL = deformação residual longitudinal; TCL = tensão de crescimento longitudinal; Rtp = resistência a tração paralela às fibras; Fmax = força máxima no ensaio de tração paralela às fibras; CV = coeficiente de variação.

Pode-se verificar, pelas Tabelas 41 e 43, ensaio não destrutivo, que as amplitudes de variação das estimativas das tensões de crescimento foram bem maiores para a idade de 13 anos, em relação a 8 anos, tanto na condição de saturação como na condição de 12% de umidade. A amplitude de variação passou de 137,07 kgf/cm<sup>2</sup> para 280,89 kgf/cm<sup>2</sup> na condição de saturação e de 208,60 kgf/cm<sup>2</sup> para 428,30 kgf/cm<sup>2</sup> na condição de 12% de umidade, respectivamente para 8 e 13 anos de idade. O mesmo fato ocorreu para o ensaio destrutivo, Tabelas 42 e 44, porém de maior magnitude, considerando-se somente a condição de 12% de umidade.

A matriz 15 foi a que apresentou excelente desempenho na serraria, em relação ao índice de rachamento de tábuas, e menor estimativa de tensão de crescimento, merecendo ser propagada assexualmente e plantada em teste clonal para avaliação futura.

### **5.7.3. Quinze anos de idade**

Pela Tabela 45 verifica-se que os coeficientes de variação foram elevados para o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial, razão entre os módulos de elasticidade dinâmico e as estimativas das tensões de crescimento. Este resultado foi semelhante ao observado para a idade de 13 anos. Observa-se, ainda, que a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi bem inferior à obtida no sentido longitudinal. A velocidade propagação da onda tensão e o modulo de elasticidade dinâmico aumentam da condição de saturação para a condição de 12% de umidade. Este resultado está de acordo com Kang e Booker (2002). Resultado também observado para as idades de 8 e 13 anos.

A velocidade de propagação média da onda de tensão no sentido radial, condição de saturação, e longitudinal, condição de saturação e a 12% de umidade, foram, respectivamente, 49.865,23, 436.208,54 e 532.518,02 cm/s e o módulo de elasticidade dinâmico foi 1.463,99, 106.581,50 e 158.445,44 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Estes valores foram superiores aos observados para a idade de 8 e bem próximos daqueles obtidos aos 13 anos. O módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e na condição de 12% de umidade aumentaram em 12 e 2,2%, respectivamente, em relação à idade de 13 anos, enquanto que no sentido radial e na condição de saturação houve um aumento de 37 e 13%, respectivamente. Observa-se nitidamente uma continuidade no aumento dessas características, especialmente do módulo de elasticidade.

A velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi, em média, 91 vezes menor que a velocidade de propagação no sentido longitudinal na condição de saturação, enquanto que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial foi somente 9 vezes menor. Estes valores foram inferiores aos observados para 8 e 13 anos de idade.

A estimativa da tensão de crescimento longitudinal média obtida considerando o módulo de elasticidade dinâmico, na condição de saturação e a 12% de umidade, foi de



TABELA 45 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 15 anos de idade

ARV	VEL1	VEL2	VEL3	MOEd1	MOEd2	MOEd3	REL1	REL2	TCSAT	TC3
1	53674,92	444405,30	522624,11	1611,46	110482,66	152824,47	69	8	241,83	334,52
2	67725,51	416740,60	510343,23	2735,82	103617,52	155440,27	38	6	212,99	319,52
3	42820,26	457882,67	538798,70	1093,56	125457,46	173190,68	115	11	425,16	586,92
4	38202,76	454038,68	534086,76	901,82	127417,97	176263,44	141	12	370,22	512,14
5	55387,97	411376,03	514062,86	1597,35	88264,38	137846,27	55	7	195,65	305,56
6	43210,98	432562,86	511832,81	1052,21	105500,35	147630,25	100	10	334,08	467,50
7	55413,42	429676,67	522296,84	1594,77	96308,61	141772,54	60	8	182,45	268,58
8	38560,10	437425,96	538078,82	877,65	112986,03	171205,93	129	11	311,97	472,72
9	47265,68	413131,97	524646,46	1190,55	91011,59	146741,76	76	9	201,24	324,46
10	53238,84	462498,91	560977,44	1581,07	119369,56	175543,99	75	9	348,82	512,98
11	45401,57	458414,92	566304,35	1167,96	119073,84	181724,22	102	10	298,35	455,32
12	59483,94	402440,29	513267,41	1949,39	89228,71	145189,88	46	7	254,80	414,60
13	33334,30	452087,49	545071,27	571,78	105360,31	153002,54	184	14	118,82	172,55
14	38247,14	429573,24	532022,73	813,75	102940,65	157510,10	127	11	145,26	222,26
15	82144,49	432919,08	540420,05	3648,99	101430,85	158119,80	28	5	360,08	561,33
16	43731,76	444161,97	545454,55	1035,63	106853,47	161120,84	103	10	230,33	347,30
Média	49865,23	436208,54	532518,02	1463,99	106581,50	158445,44	91	9	264,50	392,39
CV	25,21	4,24	3,18	53,58	11,37	8,53	46,74	24,44	33,36	31,37

ARV = árvore; VEL1 = velocidade de propagação da onda no sentido radial (cm/s); VEL2 e VEL3 = velocidade de propagação da onda no sentido longitudinal (cm/s) na condição de saturação e a 12% de umidade; MOE1 = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial (kgf/cm<sup>2</sup>); MOEd2 e MOEd3 = módulo de elasticidade no sentido longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; TCSAT e TC3 = estimativa da tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; REL1 e REL2 = razão entre MOEd2/MOEd1 e VEL2/VEL1; CV = coeficiente de variação.

264,50 e 392,39 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Observa-se ainda, pela Tabela 45, que a matriz número 13 foi a que apresentou o menor valor de tensão de crescimento, coincidentemente a de menor valor de DRL. A matriz número 3 foi a que apresentou o maior valor de tensão de crescimento, sendo a segunda maior DRL. A variação da tensão de crescimento na condição de saturação foi de 118,82 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 13) a 425,16 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 3). Estes valores foram superiores aos obtidos por Boyd (1950) *apud* Gaiotto (1993) (70 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>).

A variação da tensão de crescimento na condição de 12% de umidade foi de 172,51 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 13) a 586,92 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 3). Este resultado foi superior aos observados aos oito anos de idade e próximos aos observados aos 13 anos e por Trugilho et al. (2002) (139 e 448 kgf/cm<sup>2</sup>), que trabalharam com clones de eucaliptos com seis anos de idade plantados em Minas Gerais. Aparentemente os valores de estimativa das tensões de crescimento continuam aumentando na média com a idade do material.

Pode-se verificar, pelas Tabelas 41, 43 e 45, que as amplitudes de variação das estimativas das tensões de crescimento continuaram maior para a idade de 13 anos, em relação a oito e 15 anos, tanto na condição de saturação como na condição de 12% de umidade. A amplitude de variação passou de 137,07 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 8 anos) para 280,89 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 13 anos) e para 252,02 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 15 anos) na condição de saturação e de 208,60 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 8 anos), para 428,30 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 13 anos) e para 414,37 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 15 anos) na condição de 12% de umidade. Observa-se que ocorreu uma ligeira redução na amplitude de variação na estimativa da tensão de crescimento dos 13 para os 15 anos de idade. Este fato pode estar relacionado com a variabilidade do material de origem.

A matriz 13 foi a que apresentou o melhor desempenho na serraria, em relação ao índice de rachamento de tábuas, e menor estimativa de tensão de crescimento, merecendo ser propagada assexualmente e plantada em teste clonal para avaliação futura.

A Tabela 46 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal da madeira.

Pelas Tabelas 42, 44 e 46 observa-se que o módulo de elasticidade, resistência à tração paralela as fibras, força máxima e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aumentaram, em média, com a idade. A estimativa da tensão de crescimento longitudinal passou, em média, de 368,03 kgf/cm<sup>2</sup>, aos oito anos, para 544,22 kgf/cm<sup>2</sup>, aos 13 anos e para 647,57 kgf/cm<sup>2</sup>, aos 15 anos de idade. O mesmo efeito ocorreu com o módulo de elasticidade.

TABELA 46 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 15 ano de idade

ARV	MOEt (kgf/cm <sup>2</sup> )	DRL (mm)	TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )	Rtp (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fmax (kgf)
1	254478,22	0,099	557,02	2642,84	586,08
2	253093,13	0,093	520,25	2177,35	504,54
3	306501,78	0,153	1038,70	1924,64	459,15
4	269991,22	0,131	784,47	1611,75	380,31
5	211868,22	0,100	469,64	1895,74	449,99
6	236407,40	0,143	748,62	1538,31	363,91
7	235539,20	0,085	446,22	1704,10	416,62
8	284231,97	0,124	784,80	1220,67	302,59
9	240132,83	0,100	530,96	1198,22	280,54
10	316969,00	0,132	926,25	2144,13	492,99
11	338270,04	0,113	847,55	2350,32	549,05
12	241376,06	0,129	689,26	1266,45	300,68
13	233503,11	0,051	263,34	1162,69	268,99
14	229221,86	0,064	323,46	1939,64	443,86
15	227608,20	0,160	808,01	1892,39	445,92
16	288792,65	0,097	622,51	2134,73	501,67
Média	258935,63	0,111	647,57	1763,87	414,48
CV	22,19	27,52	33,58	32,09	31,16

ARV = árvore; MOEt = módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras; DRL = deformação residual longitudinal; TCL = tensão de crescimento longitudinal; Rtp = resistência a tração paralela às fibras; Fmax = força máxima no ensaio de tração paralela às fibras; CV = coeficiente de variação.

#### 5.7.4. Dezenove anos de idade

Observa-se, pela Tabela 47, que os coeficientes de variação foram elevados para o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial, razão entre os módulos de elasticidade dinâmico e as estimativas das tensões de crescimento. Este resultado foi semelhante ao observado para as idades de 13 e 15 anos. Observa-se, ainda, que a velocidade de

TABELA 47 – Valores médios para as velocidades de propagação da onda de tensão, módulos de elasticidade dinâmico, razão entre módulo de elasticidade, razão velocidade da onda e estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 19 anos de idade

ARV	VEL1	VEL2	VEL3	MOEd1	MOEd2	MOEd3	REL1	REL2	TCSAT	TC3
1	61767,77	414205,73	524400,34	1819,97	81863,38	131181,94	45	7	340,64	545,86
2	44227,01	396162,64	508018,87	1060,19	85312,37	139885,29	80	9	179,16	293,76
3	68762,22	386298,74	528179,61	2276,60	71932,55	134345,29	32	6	129,08	241,08
4	76494,69	421851,91	511855,35	2809,58	85579,12	125799,13	30	6	199,21	292,83
5	44757,11	428187,61	558603,65	970,10	88828,58	151117,82	92	10	221,58	376,95
6	44214,50	445902,05	548232,32	966,46	98428,21	148589,10	102	10	392,62	592,71
7	74044,27	397343,16	521985,16	2588,08	74677,59	129076,83	29	5	229,84	397,27
8	54063,71	395231,62	528355,88	1428,01	76577,93	136474,97	54	7	178,68	318,44
9	42101,64	403896,10	519065,42	898,03	82751,38	136723,45	92	10	199,06	328,90
10	59297,06	423949,16	541000,00	1709,11	87385,44	142264,77	51	7	382,07	622,01
11	41611,68	390727,30	517088,14	973,14	85984,38	150385,53	88	9	144,74	253,15
12	65534,39	367073,08	488255,53	1746,08	54858,81	96929,73	31	6	54,86	96,93
13	68115,70	408004,39	537825,82	2543,63	91302,85	158623,28	36	6	382,96	665,34
14	60512,62	459809,16	562539,34	1971,06	113861,38	170346,53	58	8	316,28	473,18
15	56445,07	425384,66	545010,20	1332,35	75674,80	124230,12	57	8	249,73	409,96
16	63179,36	377583,03	501460,64	1993,85	71547,13	125889,89	36	6	133,95	235,69
Média	57820,55	408850,65	527617,27	1692,89	82910,37	137616,48	57	7	233,40	384,00
CV	20,06	6,03	3,88	37,67	15,71	12,22	44,93	22,65	43,89	41,46

ARV = árvore; VEL1 = velocidade de propagação da onda no sentido radial (cm/s); VEL2 e VEL3 = velocidade de propagação da onda no sentido longitudinal (cm/s) na condição de saturação e a 12% de umidade; MOE1 = módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial (kgf/cm<sup>2</sup>); MOE2 e MOE3 = módulo de elasticidade no sentido longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; TCSAT e TC3 = estimativa da tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) na condição de saturação e a 12% de umidade; REL1 e REL2 = razão entre MOE2/MOE1 e VEL2/VEL1; CV = coeficiente de variação.

propagação da onda de tensão no sentido radial foi bem inferior à obtida no sentido longitudinal. A velocidade propagação da onda tensão e o módulo de elasticidade dinâmico aumentam da condição de saturação para a condição de 12% de umidade. Este resultado está de acordo com Kang e Booker (2002).

Pela Tabela 47 verifica-se que a velocidade de propagação média da onda de tensão no sentido radial, condição de saturação, e longitudinal, condição de saturação e a 12% de umidade, foram, respectivamente, 57.820,55, 408.850,65 e 527.617,27 cm/s e o módulo de elasticidade dinâmico foi 1.692,89, 82.910,37 e 137.616,48 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Estes valores foram superiores aos observados para a idade de oito e bem próximos dos aos 13 e 15 anos. O módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal e na condição de 12% de umidade reduziram em 15 e 1%, respectivamente, em relação à idade de 15 anos, enquanto que no sentido radial e na condição de saturação houve um aumento de 16% para as duas características. Aparentemente, aos 19 anos, a madeira já possui maior proporção de madeira madura o que tende a estabilizar o valor dessas características, dessa forma seria normal esse aumento e redução nestas duas variáveis.

A velocidade de propagação da onda de tensão no sentido radial foi, em média, 57 vezes menor que a velocidade de propagação no sentido longitudinal na condição de saturação, enquanto que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido radial foi somente 7 vezes menor. Valores bem inferiores aos observados para oito, 13 e 15 anos de idade. A estimativa da tensão de crescimento longitudinal média obtida considerando o módulo de elasticidade dinâmico, na condição de saturação e a 12% de umidade, foi de 233,40 e 384,00 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Observa-se ainda, pela Tabela 47, que a matriz número 12 foi a que apresentou o menor valor de tensão de crescimento, coincidentemente a de menor valor de DRL. A matriz número 6 foi a que apresentou o maior valor de tensão de crescimento, na condição de saturação, sendo uma das de maior DRL. Na condição de 12% de umidade a matriz 12 continua sendo a que apresenta a menor estimativa de tensão de crescimento, enquanto que a matriz 13 apresentou o maior valor de tensão de crescimento. Esta matriz apresentou o segundo mais alto valor de DRL. A variação da tensão de crescimento na condição de saturação foi de 54,86 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 12) a 392,62 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 3). Valores superiores aos obtidos por Boyd (1950) *apud* Gaiotto (1993) (70 a 280 kgf/cm<sup>2</sup>). A variação da tensão de crescimento na condição de 12% de umidade foi de 96,93 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 12) a 665,34 kgf/cm<sup>2</sup> (matriz 13). Este resultado foi superior aos observados aos oito anos de idade e próximos aos observados aos 13 e 15 anos e por

Trugilho et al. (2002) (139 e 448 kgf/cm<sup>2</sup>), que trabalharam com clones de eucaliptos com seis anos de idade plantados em Minas Gerais. Aparentemente os valores de estimativa das tensões de crescimento continuam aumentando na média com a idade do material.

Verifica-se, pelas Tabelas 41, 43, 45 e 47, que as amplitudes de variação das estimativas das tensões de crescimento continuaram maior para a idade de 13 anos, em relação a oito e 15 anos, tanto na condição de saturação como na condição de 12% de umidade. A amplitude de variação passou de 137,07 kgf/cm<sup>2</sup> (aos oito anos) para 280,89 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 13 anos) e para 252,02 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 15 anos) na condição de saturação e de 208,60 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 8 anos), para 428,30 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 13 anos) e para 414,37 kgf/cm<sup>2</sup> (aos 15 anos) na condição de 12% de umidade. Observa-se que ocorreu uma ligeira redução na amplitude de variação na estimativa da tensão de crescimento dos 13 para os 15 anos de idade. Este fato pode estar relacionado com a variabilidade do material de origem.

As Tabelas 42, 44, 46 e 48 apresentam comportamento semelhante em relação às amplitudes de variação das estimativas das tensões de crescimento longitudinal, porém considerando-se a condição de 12% de umidade.

A matriz 12 foi a que apresentou o melhor desempenho na serraria, em relação ao índice de rachamento de tábuas, e menor estimativa de tensão de crescimento dentre todas as 64 árvores avaliadas, merecendo ser propagada assexualmente e plantada em teste clonal para avaliação futura.

A Tabela 48 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal da madeira. Pela Tabela 48 verifica-se que a tensão de crescimento longitudinal tendeu a reduzir com o aumento da idade do material. O mesmo fato ocorreu para o módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras.

As Figuras 45, 46 e 47 mostram a variação encontrada para a velocidade de propagação da onda de tensão, módulo de elasticidade dinâmico e estimativa da tensão de crescimento em função da idade do material avaliado, tanto na condição de saturação como para 12% de umidade da madeira. Pela Figura 47 verifica-se que a tensão de crescimento apresenta comportamento de estabilizar a partir da idade de 15 anos. Isso pode indicar que a partir dessa idade a madeira pode estar passando pela fase de transição entre a madeira madura e a juvenil, ou seja, saindo da fase juvenil e entrando na fase adulta.

TABELA 48 – Valores médios do módulo de elasticidade, resistência e força máxima do ensaio de tração paralela às fibras e a estimativa da tensão de crescimento longitudinal aos 19 anos de idade

ARV	MOEt (kgf/cm <sup>2</sup> )	DRL (mm)	TCL (kgf/cm <sup>2</sup> )	Rtp (kgf/cm <sup>2</sup> )	Fmax (kgf)
1	241129,07	0,187	1003,36	1847,94	439,96
2	228143,24	0,095	479,10	1753,72	412,88
3	215488,35	0,081	386,68	1748,55	408,74
4	199889,08	0,105	465,30	1478,13	349,73
5	229217,81	0,112	571,77	1938,62	455,01
6	261393,88	0,180	1042,67	1295,06	307,29
7	176644,87	0,139	543,67	855,83	205,93
8	200134,64	0,105	466,98	1575,39	360,88
9	201571,97	0,108	484,89	1417,64	316,85
10	244608,35	0,197	1069,48	2156,73	505,01
11	134915,09	0,076	227,11	1408,47	328,88
12	159180,20	0,045	159,18	1308,21	291,21
13	207359,97	0,189	869,76	2041,29	503,79
14	250574,14	0,125	696,04	1792,64	409,30
15	232215,16	0,149	766,31	1656,36	389,39
16	214042,40	0,084	400,73	1467,50	329,75
Média	214430,35	0,123	602,07	1607,31	374,90
CV	22,44	37,06	46,49	27,20	28,15

ARV = árvore; MOEt = módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras; DRL = deformação residual longitudinal; TCL = tensão de crescimento longitudinal; Rtp = resistência a tração paralela às fibras; Fmax = força máxima no ensaio de tração paralela às fibras; CV = coeficiente de variação.

As Figuras 48 e 49 mostram o comportamento do módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela às fibras, estimativa da tensão de crescimento longitudinal, resistência à tração paralela às fibras e força máxima no ensaio de tração paralela. Pode-se observar que a tendência de variação foi bem semelhante para estas características e idêntico ao mostrado nas Figuras 46 (B) e 47.

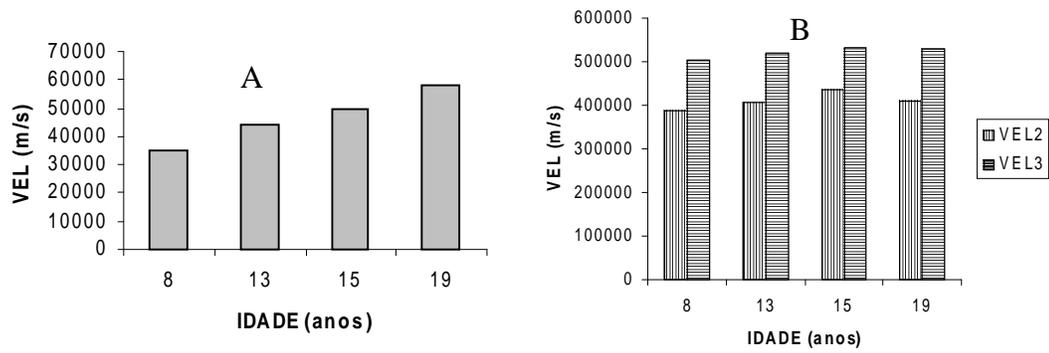


FIGURA 45 – Tendência de variação da velocidade de propagação da onda de tensão em função da idade na condição de saturação e sentido radial (A), na condição de saturação e sentido longitudinal (B – VEL2) e na condição de umidade de 12% (B – VEL3)

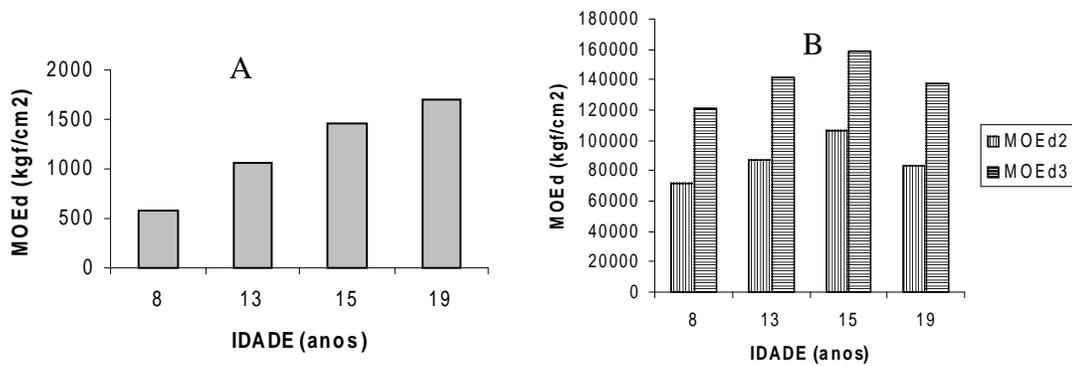


FIGURA 46 – Tendência de variação do módulo de elasticidade dinâmico em função da idade na condição de saturação e sentido radial (A), na condição de saturação e sentido longitudinal (B – MOEd2) e na condição de umidade de 12% (B – MOEd3)

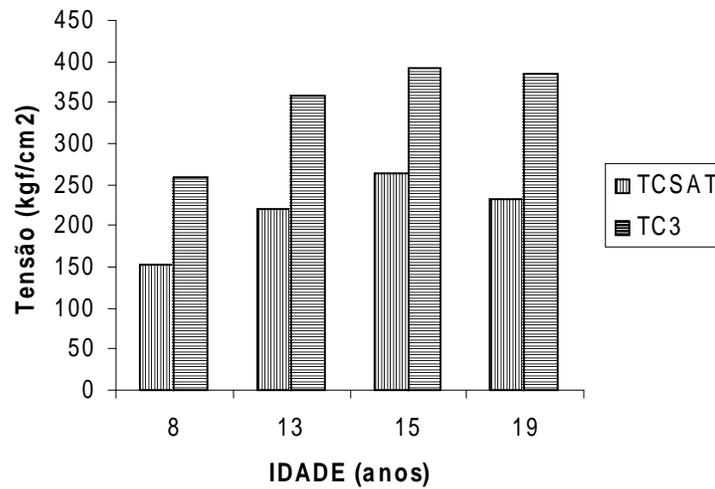


FIGURA 47 – Tendência de variação da estimativa da tensão de crescimento em função da idade na condição de saturação e sentido longitudinal (TCSAT) e na condição de umidade de 12% (TC3)

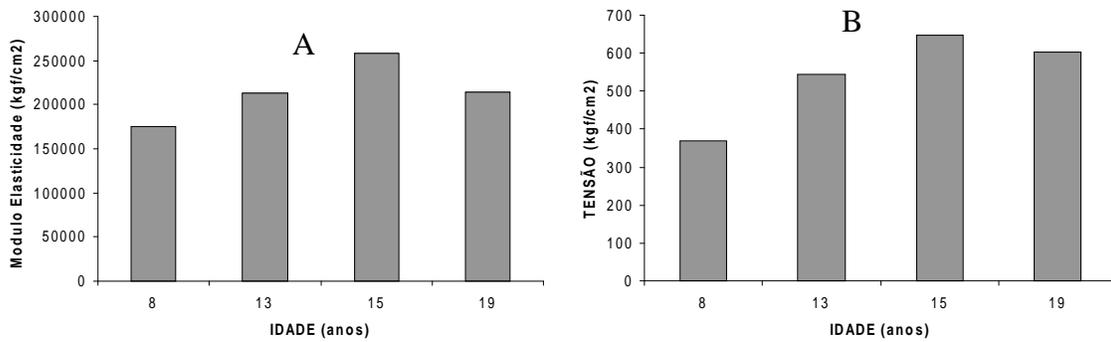


FIGURA 48 – Tendência de variação do módulo de elasticidade (A) e da tensão de crescimento longitudinal (B) em função da idade

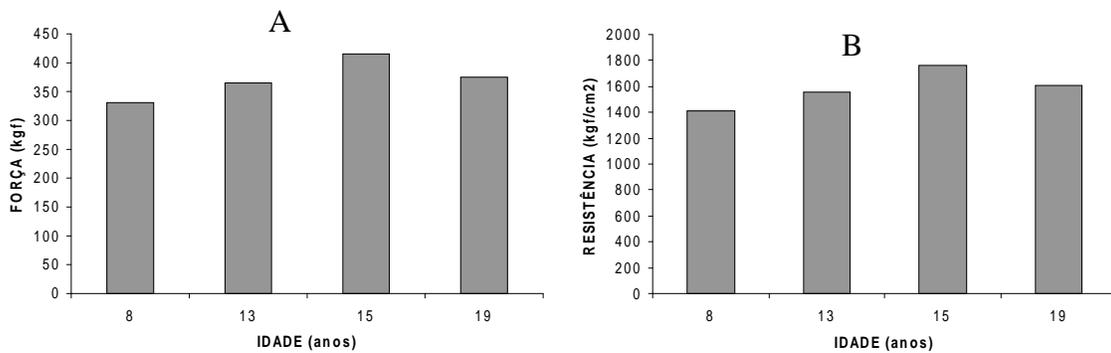


FIGURA 49 – Tendência de variação da força máxima (A) e resistência à tração paralela às fibras (B) em função da idade

### 5.7.5. Relações entre algumas características de resistência da madeira e as estimativas das tensões de crescimento

A Tabela 49 apresenta o valor das correlações existente entre as características de resistência da madeira no ensaio de tração paralela às fibras, estimativa da tensão de crescimento longitudinal, utilizando-se o módulo de elasticidade do ensaio não destrutivo (stress wave timer) e destrutivo (tração paralela às fibras) e a velocidade da onda de tensão obtida na condição de 12% de umidade. Pode-se observar que as correlações foram todas significativas em nível de 1% de probabilidade e que a tensão de crescimento estimada pelo módulo de elasticidade obtido no ensaio de tração paralela às fibras (TCL) apresenta elevada correlação com a tensão de crescimento estimada pelo módulo de elasticidade dinâmico na condição de saturação (TCsat) da madeira e na condição de equilíbrio de 12% de umidade (TC3). Elevada correlação foi observada entre as tensões estimadas pelo método não destrutivo (stress wave timer) na condição de saturação da madeira e em equilíbrio a 12% de umidade. A correlação entre a resistência à tração paralela às fibras e a força máxima no ensaio de tração paralela foi elevada, como era esperado.

TABELA 49 – Correlação simples entre as características de resistência da madeira, a estimativa da tensão de crescimento longitudinal e a velocidade de propagação da onda de tensão determinada na condição de 12% de umidade

	MOEt	Rtf	Fmax	TCL	VEL3	MOEd3	TCsat	TC3
MOEt	1,0	0,65**	0,67**	0,73**	0,74**	0,75**	0,65**	0,57**
Rtf		1,0	0,99**	0,41**	0,49**	0,52**	0,37**	0,32**
Fmax			1,0	0,45**	0,51**	0,54**	0,41**	0,36**
TCL				1,0	0,64**	0,53**	0,95**	0,95**
VEL3					1,0	0,77**	0,65**	0,62**
MOEd3						1,0	0,64**	0,57**
TCsat							1,0	0,98**
TC3								1,0

MOEt = módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela as fibras; Rtf = resistência a tração paralela as fibras; Fmax = força máxima do ensaio de tração paralela; TCL = estimativa da tensão longitudinal de crescimento usando o MOEt; VEL3 = velocidade de propagação da onda de tensão no sentido longitudinal na condição de 12% de umidade; MOEd3 = módulo de elasticidade dinâmico na condição de 12% de umidade no sentido longitudinal; TCsat = estimativa da tensão de crescimento usando o módulo de elasticidade dinâmico da madeira na condição de saturação; TC3 = estimativa da tensão de crescimento usando o módulo de elasticidade dinâmico da madeira na condição de 12% de umidade.

## 6.7. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 4

Pelos resultados obtidos no trabalho pode-se concluir que:

- ✓ existe grande variabilidade entre as árvores matrizes avaliadas, o que é interessante do ponto de vista do melhoramento genético florestal;
- ✓ a velocidade de propagação da onda de tensão e o módulo de elasticidade dinâmico foram menores no sentido radial em relação ao sentido longitudinal para todas as idades consideradas;
- ✓ a estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) média, usando o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd), foi de 153,26, 220,48, 264,50 e 233,40 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente para oito, 13, 15 e 19 anos de idade considerando a madeira na condição de saturação. Considerando a madeira na condição de 12% de umidade os valores foram de 259,48, 357,78, 392,37 e 384,00 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente;
- ✓ a estimativa da tensão de crescimento longitudinal média, usando o módulo de elasticidade do ensaio de tração paralela as fibras (MOEf), foi de 368,06, 554,22, 647,57 e 602,07 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente para oito, 13, 15 e 19 anos considerando a madeira na condição de 12% de umidade. Estes valores foram, respectivamente, 41,85, 52,11, 65,03 e 56,79% superiores aos estimados com o MOEd na mesma condição de umidade (12%);
- ✓ a matriz número 2, aos oito anos, a matriz 15, aos 13 anos, a matriz 13, aos 15 anos, e a matriz 12, aos 19 anos foram as que apresentaram os menores valores de TCL, tanto na condição de saturação como na condição de 12% de umidade, usando-se o MOEd ou o MOEf. Destaque especial para a matriz número 12, pois apresentou valores de 96,93 kgf/cm<sup>2</sup> considerando o MOEd, e de 159,18 kgf/cm<sup>2</sup> considerando o MOEf, na condição de 12% de umidade;
- ✓ os valores de estimativas de TCL foram sempre maiores quando se considera o MOEf;
- ✓ existe uma tendência de aumento da TCL estimada em função da idade até 15 anos e, aparentemente, ocorre uma estabilização aos 19 anos devido a mudança da madeira da fase juvenil para a adulta ou madura. Este fato ocorreu com outras propriedades avaliadas na madeira, por exemplo, a densidade básica.
- ✓ a correlação foi significativa e elevada entre as estimativas das tensões de crescimento usando o MOEd e o MOEf.

## **7.2. TRABALHO SUBMETIDO À PUBLICAÇÃO EM REVISTA CIENTÍFICA NO BRASIL**

TRUGILHO, P.F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M.P.; MATOS, J.L.M.; SALDANHA, L.K. Efeito da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii*. **Rev. Árvore**, v.28, n.5, p. 725-731. 2004.

## **8.2. TRABALHO APRESENTADO NA FORMA DE POSTER EM EVENTO NO BRASIL**

TRUGILHO, P.F.; IWAKIRI, S.; ROCHA; M.P.; MATOS, J.L.M. Tensão de crescimento em árvores de *Eucalyptus dunnii*: I – Efeito da idade. In: 8 CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais ...** São Paulo, 2003. 1CD-ROM ([www.congressoflorestal.com.br](http://www.congressoflorestal.com.br)).

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARCHER, R. R. **Growth stresses and strains in trees**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 24 p.

BOYD, J. D. The growth stresses: III. The origin of growth stresses. **Australian Journal of Scientific Research: Serie B – Biological Sciences**, Melbourne, v. 3, p. 294-309, 1950.

BOYD, J. D. The growth stresses: V. Evidence of the origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, New York, v. 6, n. 4, p. 251-62, 1972.

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

CHAFE, S. C. Growth stress in trees. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 9, n. 3, p. 203-223, 1979.

CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress basic density and modulus of elasticity with height in the Tree. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 11, n. 1, p. 79-82, 1981.

CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 15, n. 1, p. 51-5, 1985.

CONRADIE, W. E. **Utilization of South African grown *E. grandis* . (W. Hill ex-Maiden) as veneer log**: Part 1. Control of end-splitting in veneer logs Pretoria: **National Timber Research Institute**, 1980. 26 p. (CSIRO Special Report, 206).

CRESPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 2000. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DEL MENEZZI, C. H. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *E. cloesiana* F. Muell**. 1999. 77 p Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

- DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, London, v. 39, n. 2, p. 162-70, 1966.
- FERNANDES, P. S. **Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênie de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 1982. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- FERRAND, J. Ch. Growth stresses and silviculture of eucalyptus. **Australian Forest Research**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 75-81, 1983.
- GAIOTTO, M. R. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* para produção de lâmina.** 1993. 119 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- GALVÃO, A. P. M. Aspecto da utilização da madeira de eucalipto no Brasil: seu aproveitamento em serraria. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 1- 23, jul. 1976.
- GARCIA, J. N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada.** 1992. 262 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reations.** New York: John Wiley, 1971. p. 241-266.
- 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, ago. 1986.
- HASLETT, A. N. A guide to handling and grade-sawing plantation-grown eucalipts. **Forest Research Institute Bulletin**, n. 142, p. 1-72, 1988.
- HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. ***Eucalyptus* for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1978. 434 p.
- JACOBS, M. R. The growth stresses of wood stems. **BULL. Commonwealth Forestry Bureau**, Canberra, n. 28, p. 1-67, 1945.
- JACOBS, M. R. Stresses and strains, in tree trunks as they growth in length and width. Leaflet. Commonwealth of Australian Department of national Development. **Forestry and Rimber Bureau**, Canberra, n. 96, p. 1-15, 1965.
- KANG, H.; BOOKER, R. E. Variation of stress wave velocity with MC and temperature. **Wood Science and Technology**, New York, v. 36, n. 1, p. 41-54, Feb. 2002.
- KIKUTI, P. Manejo do eucalipto para uso múltiplo na Klabin. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. p. 41.
- KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 61-119, mar. 1987.
- LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./dez. 2000.

- LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S. Novas metodologias empregadas para avaliar variações nas características da madeira de *Eucalyptus*. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 135-149.
- LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 1993. 298 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MAINIERI, C. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** Piracicaba: Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT – Divisão de Madeira, 1978.
- MALAN, F. S. The control and-splitting in saw logs: a short literature review. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 109, p. 14-18, 1979.
- MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of south African grown *Eucalyptus grandis* Stellenbosch: US\AS.** 1984. 272 p. Thesis (Doctor) - University of Stellenbosch.
- MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 2003. 117 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MUNERI, A.; KNIGHT, J.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE - THE FUTURE EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, Australia. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000. p. 292-300.
- NICHOLSON, J. E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 3, p. 169-174, 1973.
- NICHOLSON, J. E. A rapid method for estimating longitudinal growth stresses in logs. **Wood Science and Technology**, New York, v. 5, n. 1, p. 40-48, 1971.
- NICHOLSON, J. E.; HILLIS, W. E. Some tree growth-wood property relationships of *Eucalyptus*. **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, v. 5, p. 424-432, 1975.
- OPIE, J. E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W. D. Stand management. In: HILLS, W. E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalyptos for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1984. 434 p.
- PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nites* in a Provenance trial on the Eastern Transvaal Highveld in South African. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 144, p. 10-22, 1988.
- RECH, C. Eucalipto: Pesquisa amplia usos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 13, p. 8-16, ago. 2003. Edição Especial.
- RECH, C.; SILVA, J. C. Características intrínsecas da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 10, p. 60-65, set. 2001. Edição especial.
- RECH, C.; SILVA, J. C. Melhoramento genético para a qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 10, p. 48-54, set. 2001. Edição especial.

ROCHA, M. P. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serraria. 2000. 185 p. Tese (Doutorado) – Universidade federal do Paraná, Curitiba.

SCHACHAT, L.; GARCIA, J. N.; DIAS, C. T. dos S. Variação de rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus urophylla*: uma investigação metodológica. In: \_\_\_\_\_. **Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 1998. Cap. 3, p. 17-25. Dissertação (Mestrado) – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

SEVERO, E. T. D. Avanço no desdobro e secagem da madeira de eucaliptos. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002 Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 188-196.

SHIELD, E. D. Plantation grown eucalyptus: utilization for lumber and rotary veneers – primary conversion. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP, 1995. p. 133-139.

SKOLMEN, R. G. Lumber potential of 12-year-old saligna eucalyptus trees in Hawaii. **Forest Service. PSW Research Note**, Washington, n. 288, p. 1-7, 1974.

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

TRUGIHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; MENDES, L. M. Relação entre as rachaduras de toras e tábuas com a tensão de crescimento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. CD-ROM.

TRUGIHO, P. F.; LIMA, J. T. , ROSADO, S. C. S.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; SOUZA, M. A. M. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Ciência e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 9, n. 1, p. 38-44, jan. dez. 2002b.

TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; SOUZA, M. A. M.; Tensões de crescimento: recentes experiências com medições não-destrutivas. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002a. p. 125-134.

VAN VYK, J. L. Hardwood sawmilling can have a bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 109, p. 47-53 dez. 1978.

WALKER, J. C. F. Characteristics of stemwood and their manipulation. In: WALKER, J. C. F.; BUTERFIELD, B. J.; LANGRISH, T. A. G.; HARRIS, J. M.; UPRICHARD, J. M. **Primary wood processing: principles and practice.** London: Chapman & Hall, 1993. p. 153-196.

WILHELMY, V.; KUBLER, H. Stresses and cheks in log ends from relieved growth stresses. **Wood Science**, Madison, v. 6, n. 2, p. 136-142, 1973.

WILKINS, A. P. Nature and origin of growth stress in trees. **Australian Forestry**, Canberra, v. 49, n. 1, p 56-62, 1986.

YAO, J. Relationships between height and growth stresses within and among white ash, water oak, and shagbark hickory. **Wood science**, Madison, v. 11, n. 4, 246-251, 1979.

## ANEXO



DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS  
FLORESTAIS  
Campus Universitário  
Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras - MG  
Fone: (35)829-1411 - Fax: (35)829-1436  
[dcf@ufla.br](mailto:dcf@ufla.br)



# TENSÃO DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES VIVAS DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. E DE *Eucalyptus dunnii* Maiden E PROPRIEDADES DA SUA MADEIRA

PAULO FERNANDO TRUGILHO  
DCF - UFLA

# INTRODUÇÃO

- **TENSÕES DE CRESCIMENTO – RADIAL, TANGENCIAL E LONGITUDINAL.**
- **ORIGEM – REGIÃO CAMBIAL.**
- **HIPÓTESES: 1 – inchamento da parede celular pela deposição de lignina; 2 – encurtamento das células periféricas resultante da contração da celulose (microfibrila) na camada S2.**
- **IMPORTÂNCIA PARA A ÁRVORE.**
- **RELAÇÃO COM FATORES AMBIENTAIS, GENÉTICOS, IDADE E DIMENSÃO DAS TORAS.**
- **REFLEXOS NO VEGETAL E NA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA.**

## OBJETIVOS

- ✓ Determinar o nível de variação das deformações residuais longitudinais (DRL) em árvores vivas em clones de *Eucalyptus* spp. e em árvores matrizes de *Eucalyptus dunnii* Maiden.
- ✓ Estimar a tensão de crescimento longitudinal.
- ✓ Determinar a variação da DRL inter e intra genótipos.
- ✓ Estimar parâmetros genéticos associados às tensões.
- ✓ Avaliar a relação existente entre a DRL e algumas características da madeira.

# MATERIAL E MÉTODOS

## DUAS ETAPAS

### ➤ PRIMEIRA ETAPA:

**MATERIAL BIOLÓGICO:** 11 CLONES DE *Eucalyptus* spp.

**LOCAL:** REGIÃO NOROESTE DE MINAS GERAIS

**TESTE CLONAL:** 6 ANOS.

**ESPAÇAMENTO:** 10 x 4 m em regime Agrossilvopastoril.

### ➤ SEGUNDA ETAPA:

**MATERIAL BIOLÓGICO:** 64 ÁRVORES MATRIZES DE *Eucalyptus dunnii* Maiden, 4 idade (8, 13, 15 e 19 anos), 16 árvores em cada idade.

**LOCAL:** PLANALTO NORTE CATARINENSE

**ESPAÇAMENTO:** 3 x 2 m

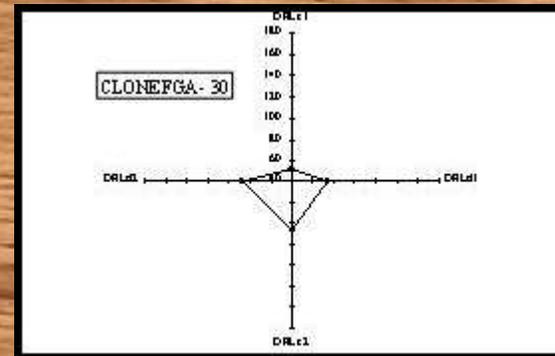
## **AVALIAÇÕES**

- **ÁRVORE VIVA:** Deformação Residual Longitudinal (DRL), ondas de tensão (SWT) e desvio da grã mensurados na altura de 1,3 m (DAP).
- **TORAS:** desdobro e avaliação das rachaduras de topo da tábuas.

## **SISTEMAS DE DESDOBRO**

- **1 – CLONES** – retirada simultânea de duas costaneiras e semibloco desdobrado em serra múltipla (serra circular).
- **2 – ÁRVORES MATRIZES – DOIS SISTEMAS DE DESDOBRO**
  - **IDADE 8 ANOS** – retirada simultânea de duas tábuas e duas costaneira e semibloco desdobrado em serra múltipla (serra circular).
  - **IDADE 13, 15 E 19 ANOS** – cortes paralelos balanceados em serra de fita simples.

**Registro, no relógio digital, do valor da DRL/Tensão de crescimento longitudinal (clone e/ou árvore matriz selecionada)**



**Registro da Velocidade de Propagação da Onda de Tensão (SWT)**



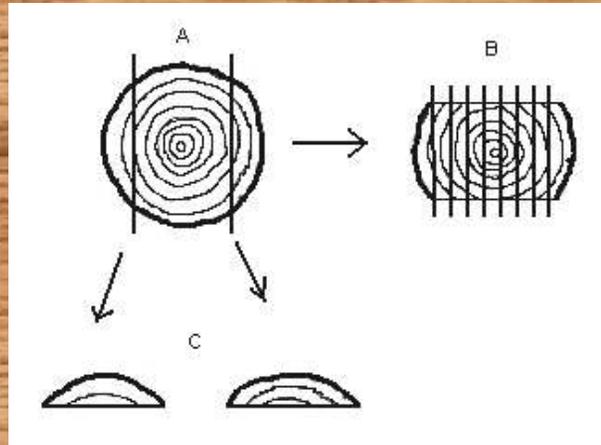
**Kit de Campo**



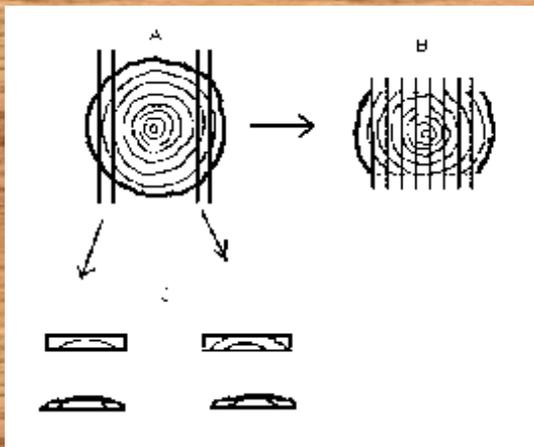
**Kit de Laboratório**



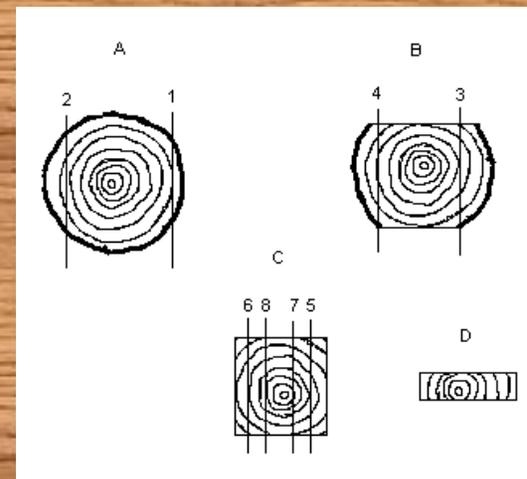
**CLONES 6 anos**



***Eucalyptus dunnii* 8 anos**



***Eucalyptus dunnii* 13, 15 e 19 anos**



## MADEIRA

- **ANÁLISE FÍSICA:** densidade básica e instabilidade dimensional.
- **ANÁLISE QUÍMICA:** teor de lignina, polifenóis e cinzas.
- **RESISTÊNCIA MECÂNICA:** tração paralela às fibras, dureza janka e fendilhamento.
- **ANÁLISE DAS FIBRAS:** comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular.

## TÁBUAS OBTIDAS NO DESDOBRO

- Rachaduras de topo (índice de rachamento de tábuas).

# RESULTADOS E CONCLUSÕES

## PRIMEIRA ETAPA – Avaliação dos Clones

- Existência de alta variabilidade entre os clones.
- A variação intra foi menor que a inter genótipos.
- DRL média de 0,090 mm, MOE de 140.482 kgf/cm<sup>2</sup> e tensão estimada de 288 kgf/cm<sup>2</sup>.
- DRL variou de 0,059 a 0,145 mm e a tensão estimada de 139 a 448 kgf/cm<sup>2</sup>.
- DRL apresentou herdabilidade de 94,3%, sentido amplo.
- DRL não apresentou correlação com DAP, altura total, IMA e o teor de lignina da madeira.
- DRL apresentou correlação de 0,68 com o índice de rachamento de tábuas.
- DRL apresentou correlação positiva e significativa com a DB, contração volumétrica, radial e tangencial e resistência ao fendilhamento.



**Primeiro Ano  
Arroz**



**Segundo Ano  
Soja**



**Terceiro Ano em Diante  
Carne Bovina**

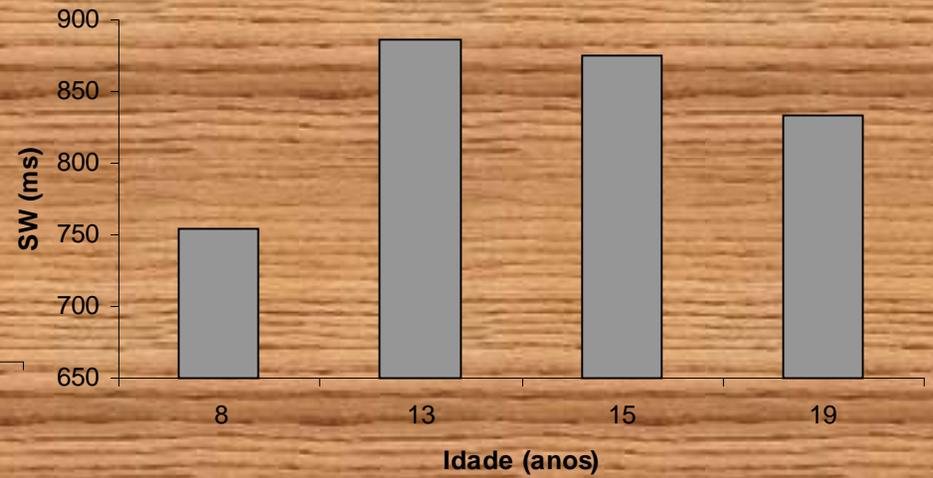
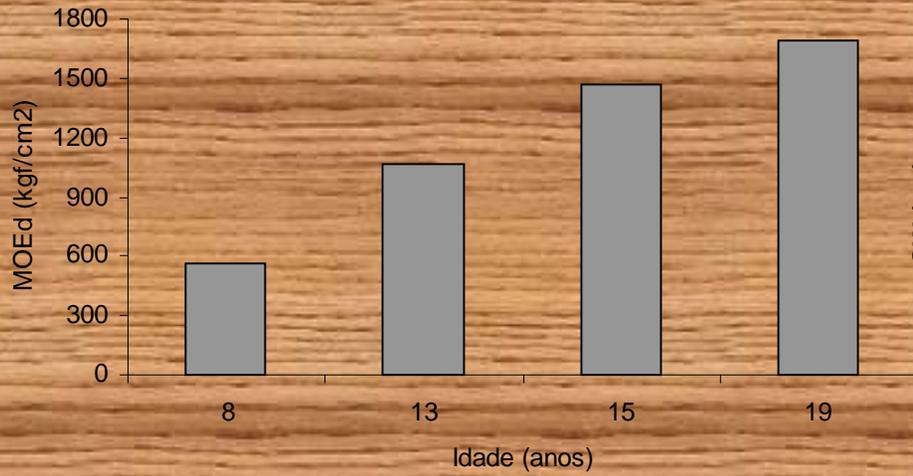
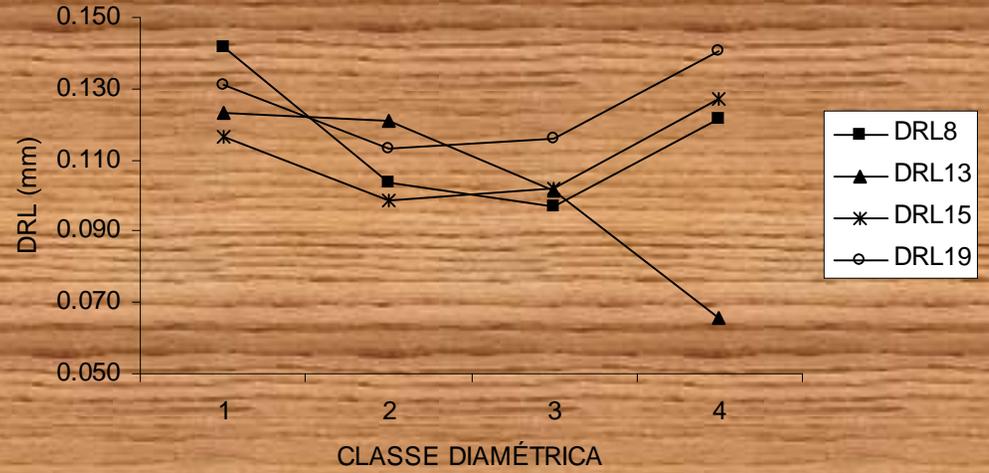
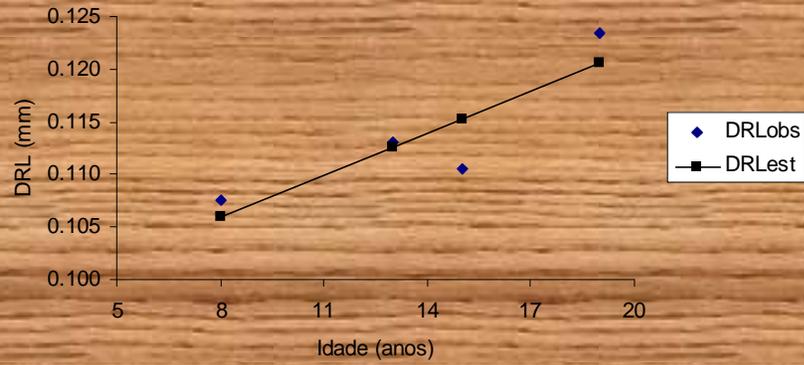


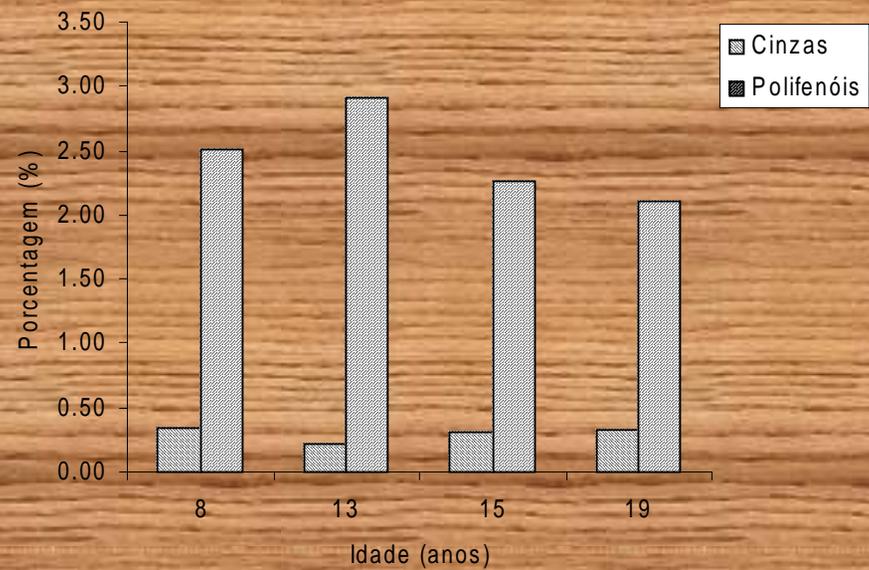
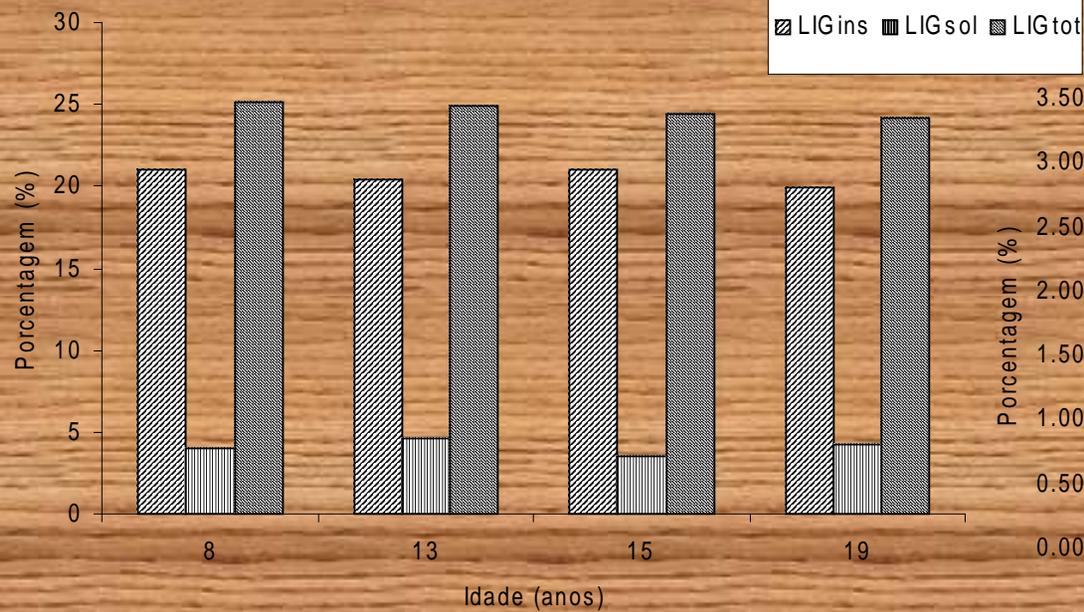
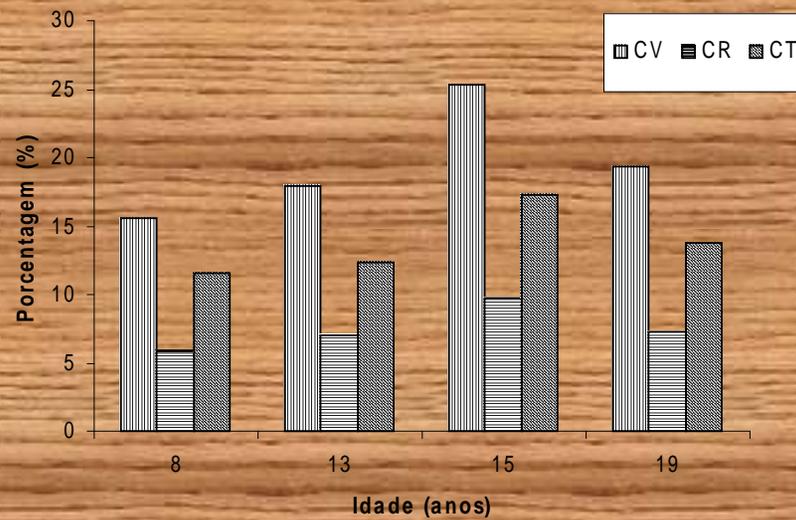
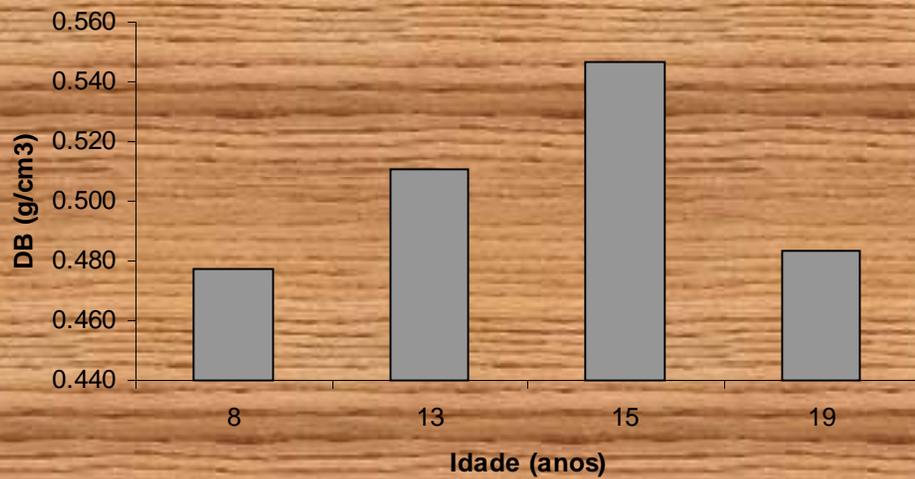
**Vista Geral  
Sistema Agrossilvopastoril  
CMM – AgroFlorestal  
Grupo Votorantim**

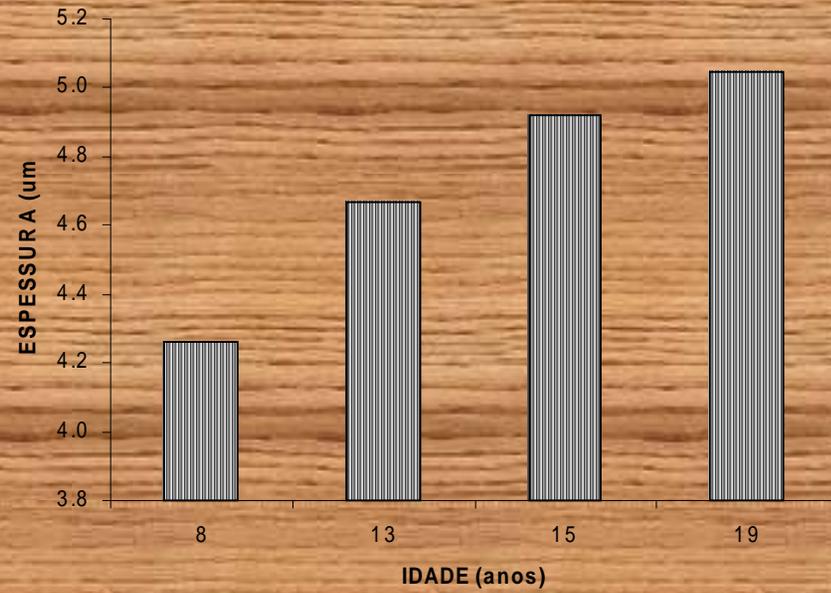
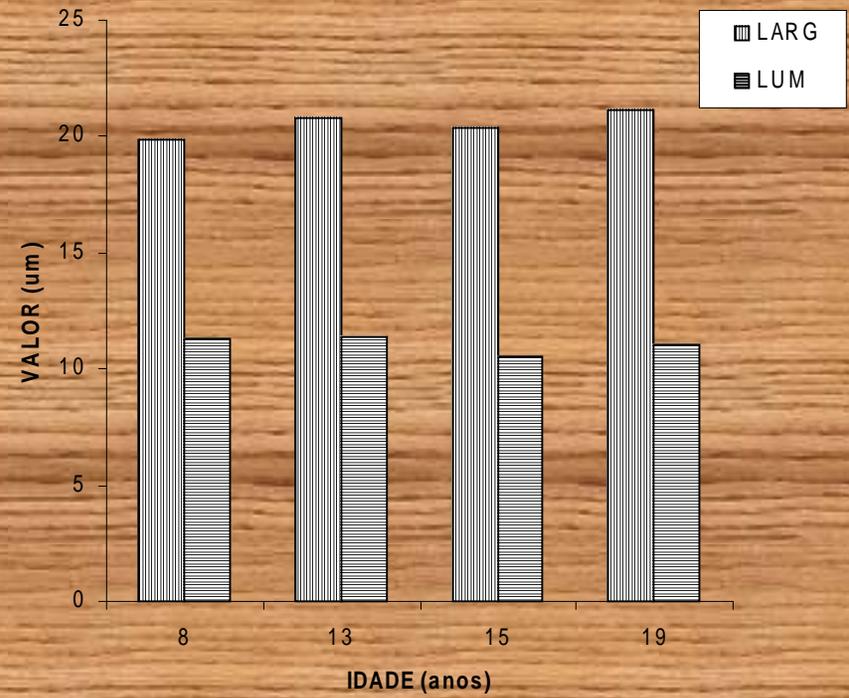
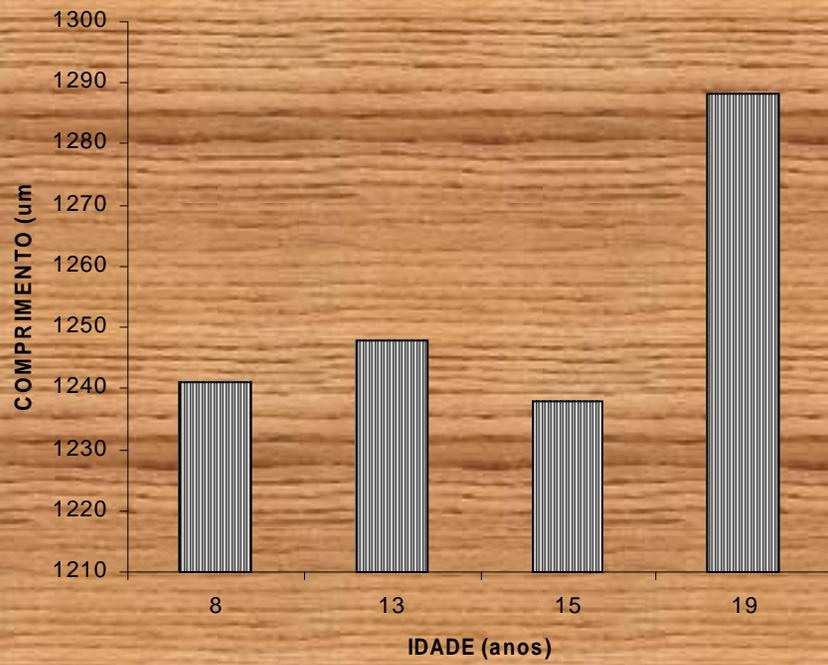
## **SEGUNDA ETAPA – Avaliação das Árvores Matrizes**

- **DRL apresentou elevada variabilidade.**
- **O efeito da idade foi não significativo, porém verificou-se um tendência de aumento com a idade.**
- **O efeito da classe diamétrica apresentou relação funcional, modelo quadrático, significativa, para 8 e 13 anos, e não significativa, para 15 e 19 anos.**
- **O MOEd no sentido radial aumentou com a idade e o tempo de propagação da onda de tensão não apresentou o mesmo comportamento.**
- **A densidade básica e a instabilidade dimensional apresentaram comportamento semelhantes (estabilidade a partir de 15 anos).**
- **O teor de lignina e cinzas não apresentam grandes variações com a idade. O teor de polifenóis apresentou variação.**
- **O comprimento, a largura e o diâmetro do lume apresentaram pequena variação, enquanto a espessura da parede aumentou com a idade.**

$$\hat{Y}_i = 0,0953609 + 0,00132943 X_i \quad r^2 = 77,32$$

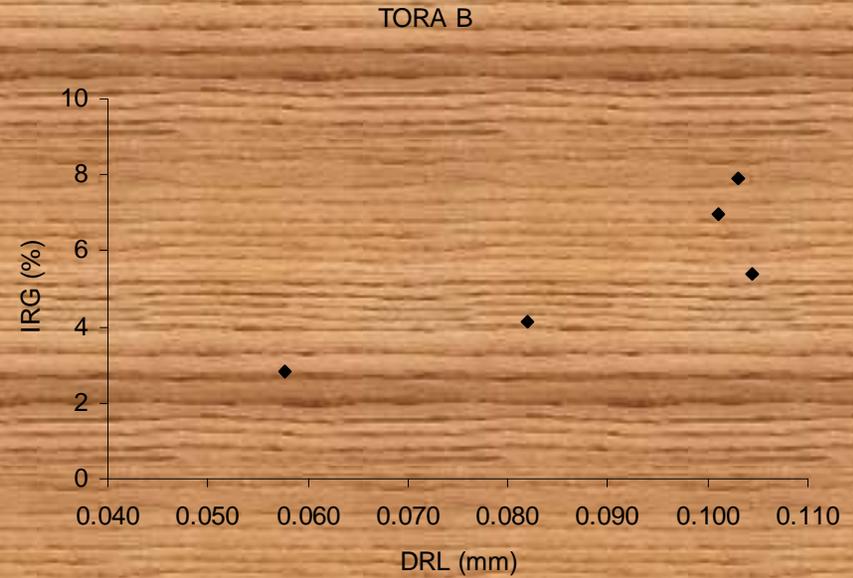
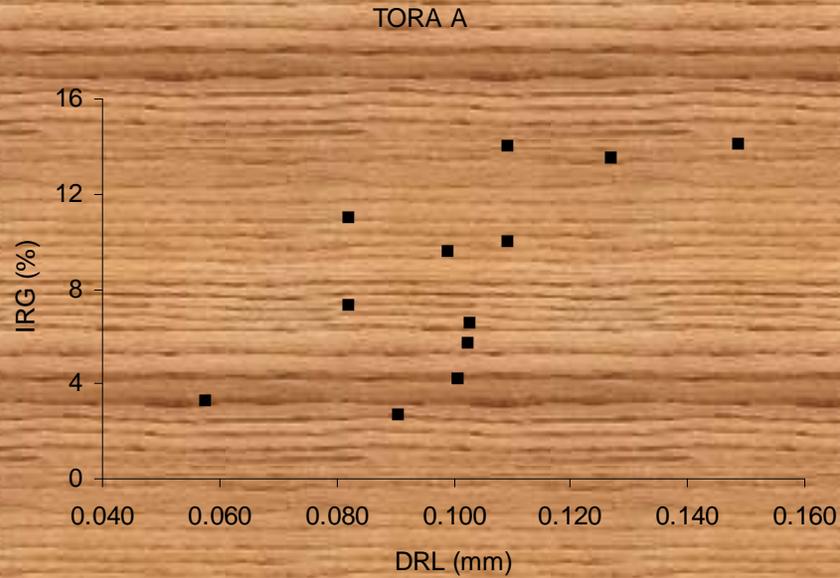






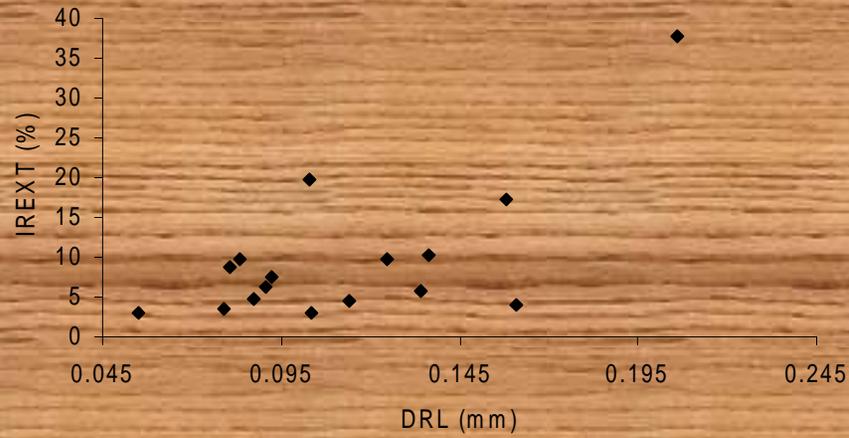
# RELAÇÃO COM AS RACHADURAS DE TOPO EM TÁBUAS

8 ANOS –  $r = 0,6904$

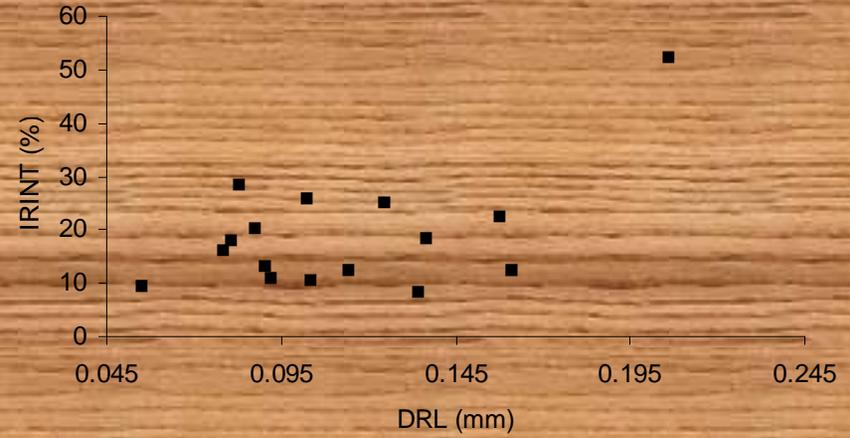


# 13 ANOS – $r = 0,5912$

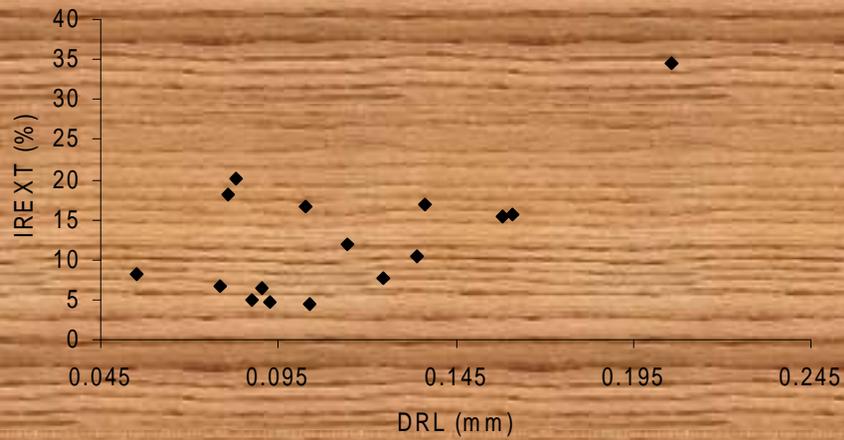
TORA A



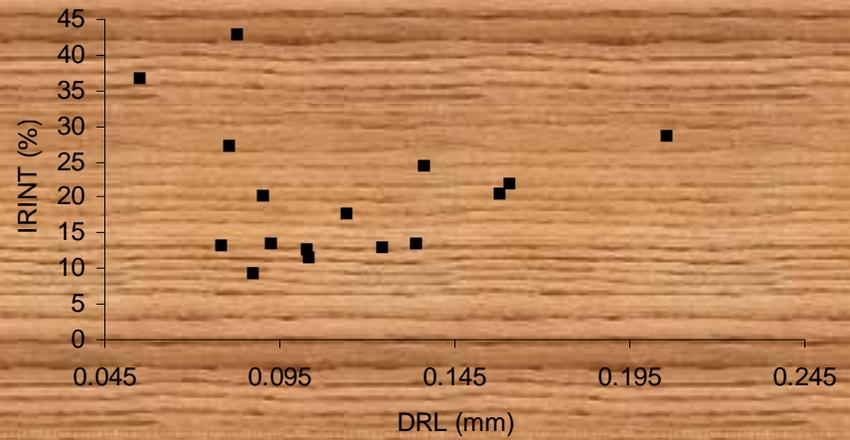
TORA A



TORA B



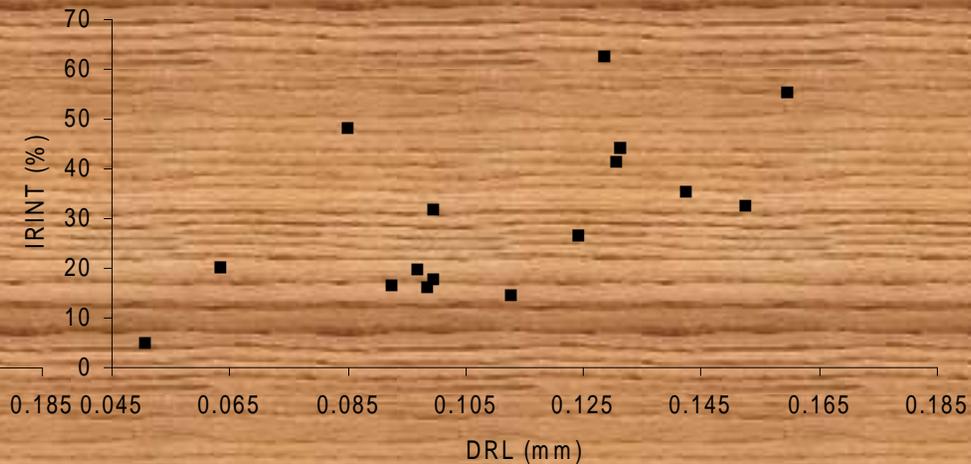
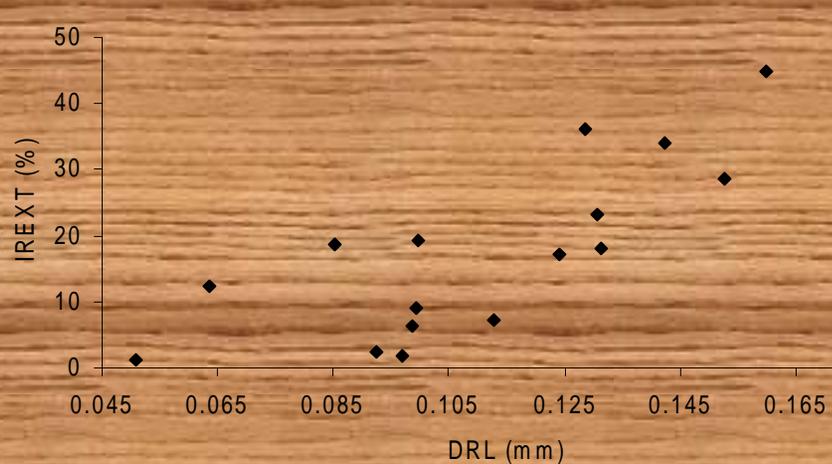
TORA B



# 15 ANOS – r = 0,6550

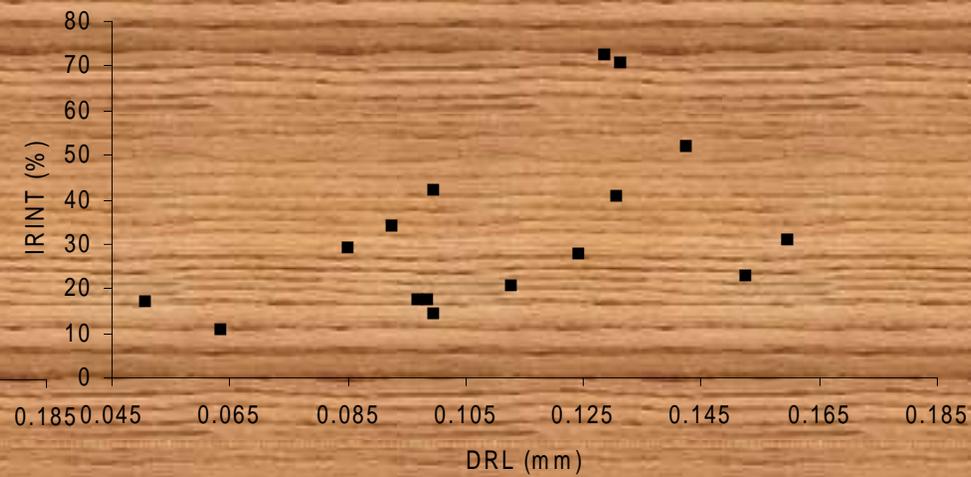
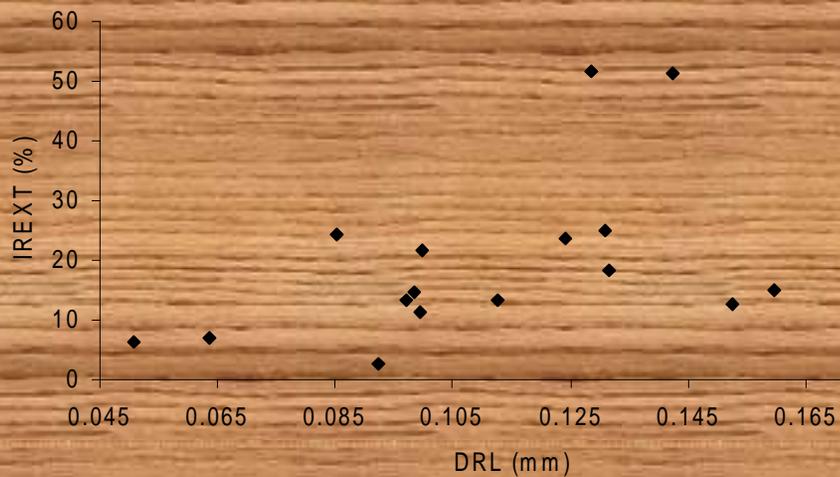
TORA A

TORA A



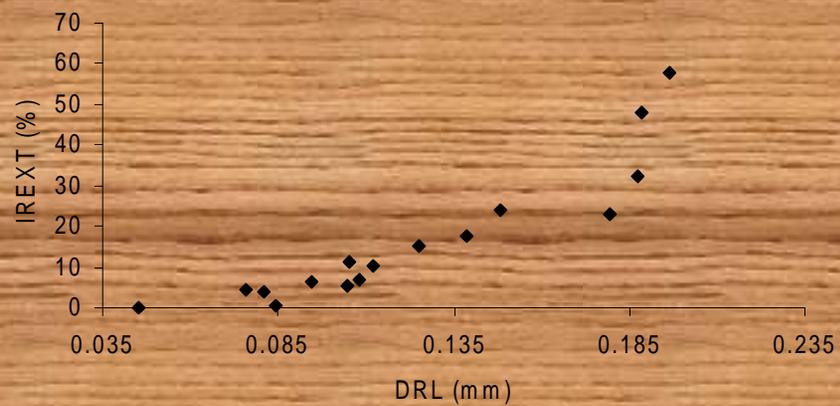
TORA B

TORA B

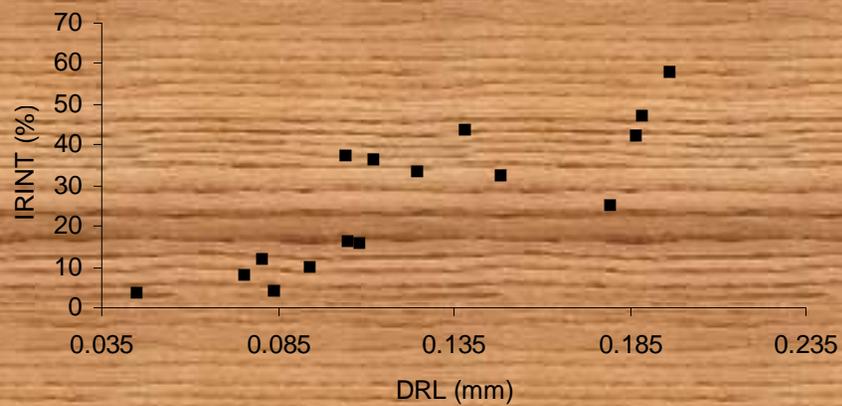


# 19 ANOS – $r = 0,8625$

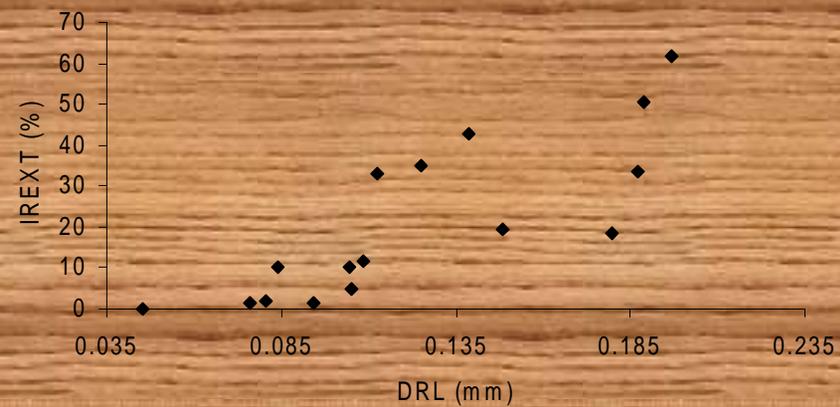
TORA A



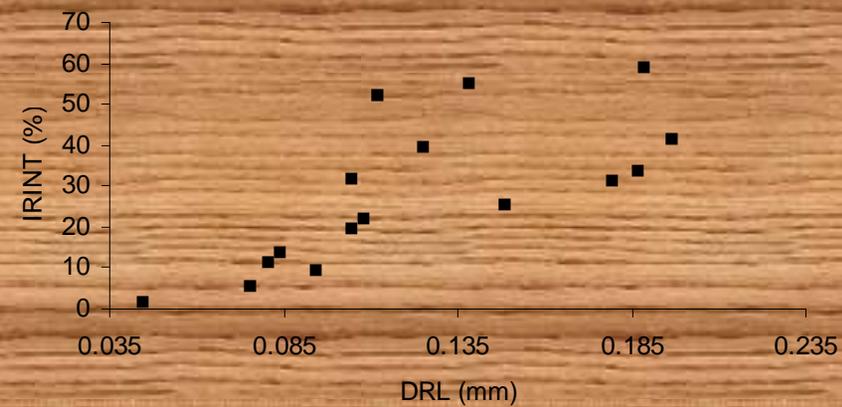
TORA A



TORA B



TORA B



# ESTIMATIVA DA TENSÃO DE CRESCIMENTO LONGITUDINAL

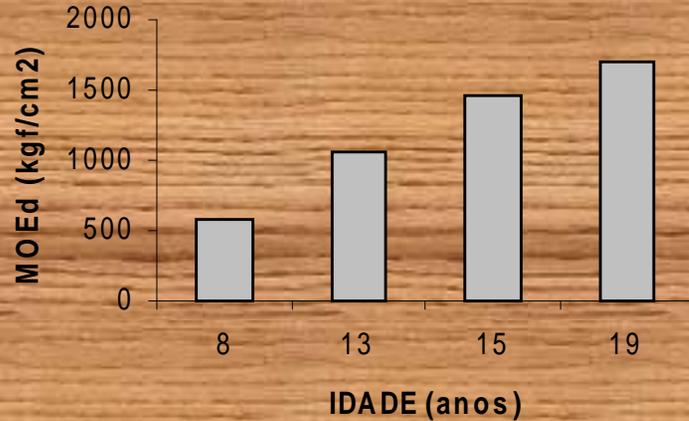
## MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

- Sentido radial, madeira saturada – árvore viva.
- Sentido longitudinal, madeira saturada – régua retiradas das costaneiras.
- Sentido longitudinal, madeira com 12% de umidade – régua retiradas das costaneiras

## MÓDULO DE ELASTICIDADE DO ENSAIO DESTRUTIVO DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRA

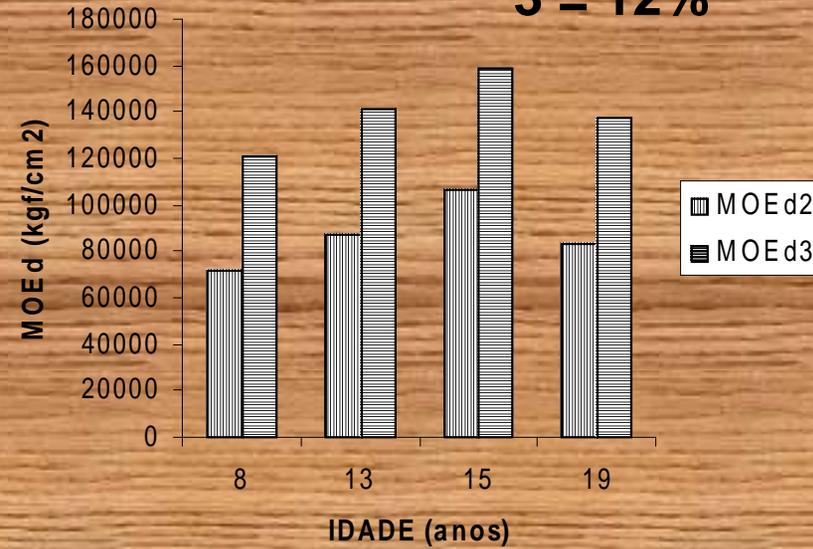
- Sentido longitudinal, madeira com 12% de umidade – régua retiradas das costaneiras.

## Sentido Radial



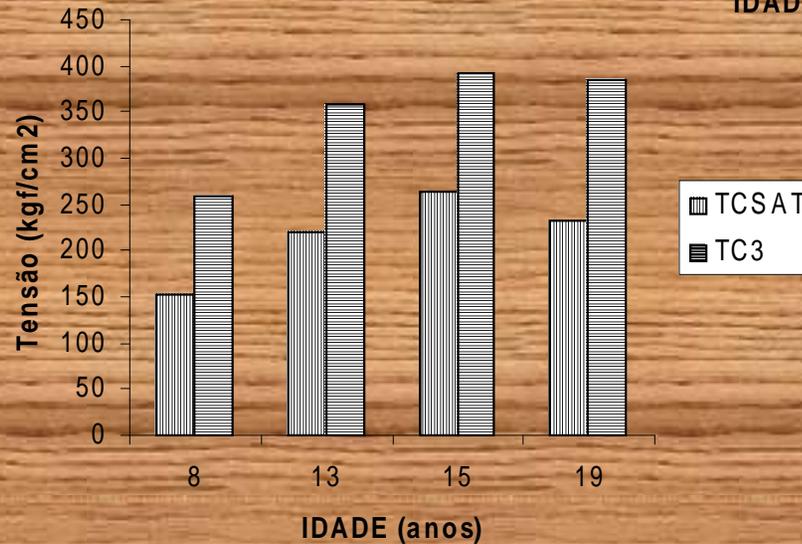
## Sentido Longitudinal

**2 = Saturado**  
**3 = 12%**



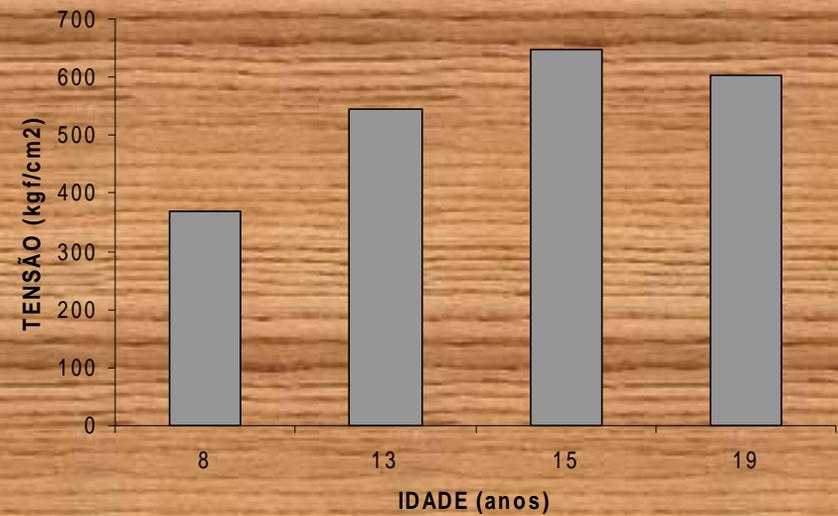
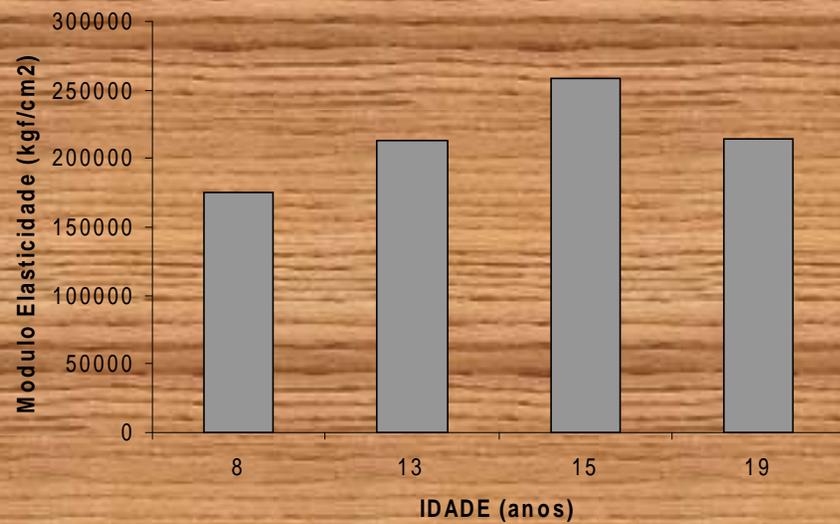
## Madeira Saturada

**8 anos = 153,26**  
**13 anos = 220,48**  
**15 anos = 264,50**  
**19 anos = 233,40**  
**(kgf/cm²)**



## Madeira com 12%

**8 anos = 259,48**  
**13 anos = 357,78**  
**15 anos = 392,37**  
**19 anos = 384,00**  
**(kgf/cm²)**



### **Madeira com 12% de Umidade**

**8 anos = 368,06**  
**13 anos = 554,22**  
**15 anos = 647,57**  
**19 anos = 602,07**  
**(kgf/cm<sup>2</sup>)**



**13 anos**



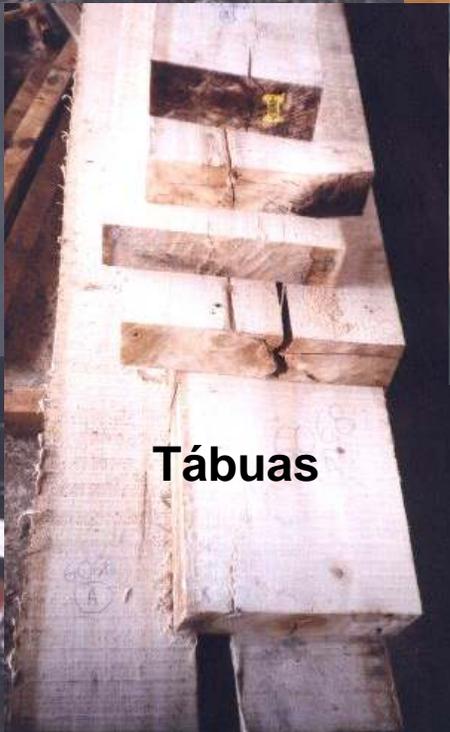
**Derrubada**



**Transporte**



**Desdobro**



**Tábuas**



**Matriz Destaque**



**Bloco Formado**



**Podrião**

**Costaneiras**

# **AGRADECIMENTOS**

- **UFPR**
- **DEPARTAMENTO**
- **PROCOPIAK**
- **COLEGIADO DIRETIVO**
- **PROFESSORES E AMIGOS**



FIGURA 1A – Vista geral dos plantios usados no trabalho, onde em A é 8, B é 13, C é 15 e D é 19 anos de idade



FIGURA 2A – Seqüência de derrubada das árvores no campo (15 anos de idade)



FIGURA 3A – Carregamento e transporte das toras para a serraria da Procopiak



FIGURA 4A – Esquema do sistema de desdobro usado para as idades de 13, 15 e 19 anos de idade



FIGURA 5A – Exemplos de tábuas obtidas após desdobro, onde em A são da matriz número 12 de 19 anos de idade e em B e C de outras matrizes com 15 anos de idade



FIGURA 6A – Amostras de costaneiras opostas usadas na avaliação da retratibilidade, resistência à tração paralela e módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal

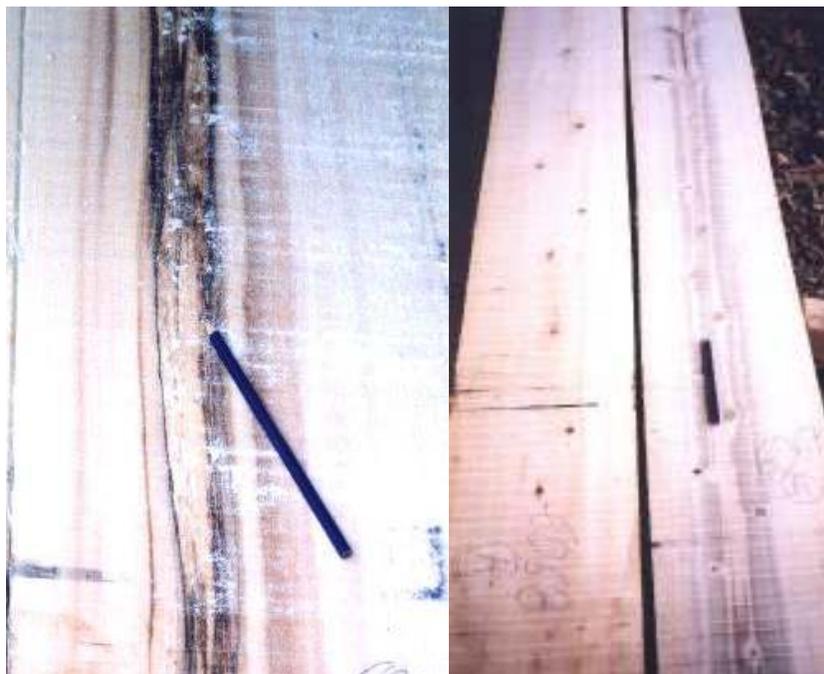


FIGURA 7A – Exemplos de defeitos internos normalmente encontrados nas árvores matrizes, especialmente nas de idades mais avançadas (15 e 19 anos), sendo a podridão de cerne e a presença de vários nós



FIGURA 8A – Detalhe das toras da matriz número 12 de 19 anos de idade, a melhor de todas com DAP = 49 cm, altura total = 45,1 cm, DRL = 0,045 mm, IR = 0,42%, onde A é a segunda tora, B e C representam, respectivamente o topo e a base da primeira tora



FIGURA 9A – Exemplo de pila se madeira produzida no pátio da serraria da Procopiak com as tábuas obtidas no sistema de desdobro