

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**RAFAEL LEITE BRAZ**

**INFLUÊNCIA DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO E DA PODA SOBRE A  
QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* E  
*Eucalyptus saligna***

**CURITIBA-PR**

**2014**

RAFAEL LEITE BRAZ

**INFLUÊNCIA DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO E DA PODA SOBRE A  
QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* E  
*Eucalyptus saligna***

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira Rocha

Prof. Dr. José Guilherme Prata

CURITIBA-PR

2014

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR  
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Braz, Rafael Leite

Influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* / Rafael Leite Braz. – 2014

253 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira Rocha  
Prof. Dr. José Guilherme Prata

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 12/12/2014.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Madeira - Qualidade. 2. Madeira - Deformação. 3. Eucalipto. 4. Poda. 5. Teses. I. Matos, Jorge Luis Monteiro de. II. Rocha, Márcio Pereira. III. Prata, José Guilherme. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.851




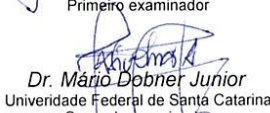
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

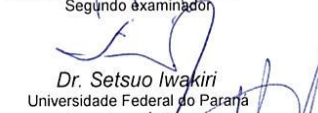
## PARECER

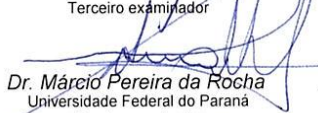
Defesa nº. 1067

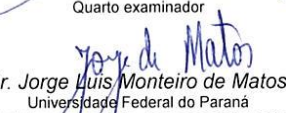
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Rafael Leite Braz* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**INFLUÊNCIA DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO E DA PODA SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna***", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

  
Dr. José de Castro Silva  
Universidade Federal de Viçosa - UFV  
Primeiro examinador

  
Dr. Mário Dobner Junior  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Segundo examinador


  
Dr. Setsuo Iwakiri  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador

  
Dr. Márcio Pereira da Rocha  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador

  
Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 12 de dezembro de 2014

  
Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela existência e pelo propósito do dom da vida.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pelas possibilidades, oportunidade e crescimento intelectual, pessoal e profissional.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante a realização do doutorado e ao programa CAPES/DAAD/GIZ/NOPA pela bolsa de doutorado sanduíche.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos pela orientação, conselhos, diálogos, amizade e ciência transmitida que contribuíram para minha formação.

Aos Professores Dr. José Guilherme Prata, Dr. Márcio Pereira da Rocha, Dr. Setsuo Iwakiri, Dra. Rosilani Trianoski e Dr. Ricardo Jorge Klitzke pelo incentivo, ensinamento e contribuição.

Aos demais professores e funcionários do CIFLOMA e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, em especial aos da área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Aos examinadores da banca, pelas contribuições para melhoria da tese.

Aos funcionários Ademir e Vitor por todo auxílio no desenvolvimento prático da pesquisa.

À técnica de laboratório Mariuci por toda colaboração durante a coleta de dados.

Ao Leif Nutto, pela amizade, colaboração e oportunidades cedidas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço também a GRANFLOR - Empreendimentos Florestais, pela concessão de uso dos plantios florestais para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos, que fizeram parte dessa caminhada, nos diversos momentos, Jaçanan, Tomaz, Jonas, Aline, Rafaella, Gabrielle, Emanuel (calango), Vinicius Castro, Rafael (azamba), Ramiro, Thiago, Pedro (cabeleira), Douglas, Raquel, Gumane, Reinaldo, Narciso, Roberto, Elder, Zatt, Lucas, Emanuel, Thaís, Maisa, Vinicius, Gisele, Lúcia e aos demais amigos da universidade.

A galera do futeba, foram muitas jogadas, muitos gols e risadas, tudo o que rege no bom e descontraído futebol.

Minhas saudações e agradecimentos também aos amigos e companheiros de república que contribuíram para o meu crescimento, pela amizade e momentos de descontração: Pedro, Ana Paula, Rômulo, Hassan, Rafael (rasta), Paulo A. (badé) e Pompeu.

Agradeço em especial toda a minha família, base de sustentação e de crescimento pessoal, dando todo apoio possível para a concretização de mais uma caminhada, entre outras já alcançadas e, de muitas que, ainda, virão. Só tenho a agradecer e muito, aos meus pais, Geraldo e Maria Dilma e as minhas irmãs Raquel e Rossana.

Ao povo brasileiro pela oportunidade, ademais a todos que de alguma forma colaboraram para a concretização de mais uma etapa...

**Muito Obrigado!**

## BIOGRAFIA

**Rafael Leite Braz**, filho de Geraldo de Castro Braz e Maria Dilma Leite Braz, nasceu na cidade de Ipatinga, Estado de Minas Gerais, aos 22 dias de Maio do ano 1984.

Engenheiro Florestal formado pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) no ano de 2009, na cidade de Alegre-ES. Em Março do mesmo ano, ingressou ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, onde desenvolveu sua pesquisa na área de Tecnologia de Produtos Florestais, sob o título "*Caracterização do lenho de árvores de clones de eucalyptus urophylla x eucalyptus grandis em áreas sujeitas a danos por ventos*". Em fevereiro de 2011, submeteu-se a defesa da dissertação, concluindo os requisitos necessários para obtenção do título de Mestre, ingressando em Fevereiro do mesmo ano, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para realização do doutorado. Desenvolveu o projeto na linha de pesquisa de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, sob o título "*Influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de Eucalyptus dunnii, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna*", concluindo o doutorado em Dezembro de 2014.

*“Compreendi que viver é ser livre...  
Que ter amigos é necessário...  
Que lutar é manter-se vivo...  
Que pra ser feliz basta querer...  
Aprendi que o tempo cura...  
Que magoa passa...  
Que decepção não mata...  
Que hoje é reflexo de ontem...  
Compreendi que podemos chorar sem derramar lagrimas... Que os verdadeiros amigos  
permanecem...  
Que dor fortalece... Que vencer engrandece...  
Aprendi que sonhar não é fantasiar...  
Que pra sorrir tem que fazer alguém sorrir... Que a beleza não está no que vemos, e sim no que  
sentimos... Que o valor está na força da conquista...  
Compreendi que as palavras tem força... Que fazer é melhor que falar... Que o olhar não mente...  
Que viver é aprender com os erros... Aprendi que tudo depende da vontade... Que o melhor é ser  
nós mesmos...  
Que o SEGREDO da vida é VIVER !!!”  
“E umas das coisas que aprendi é que se deve viver apesar de.  
Apesar de, se deve comer.  
Apesar de, se deve amar.  
Apesar de, se deve morrer.  
Inclusive muitas vezes é o próprio apesar de que nos empurra para frente.  
Foi o apesar de que me deu uma angústia que insatisfeita foi criadora de minha própria vida.”*

*Clarice Lispector*

...” e embora tentasse mostrar-se severo com os seus alunos, Francisco Gaivota viu-os de repente como eram realmente, por um momento, e, mais do que gostou, amou o que viu. “Não há limites, Fernão?”, pensou, e sorriu. **A sua corrida para a aprendizagem acabava de começar”** ...

Richard Bach (Fernão Capelo Gaivota)



## RESUMO

### INFLUÊNCIA DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO E DA PODA SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna*

No Brasil, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais plantadas, sendo amplamente empregadas em diversos setores de base florestal e madeireira. Um dos problemas encontrados no uso da madeira para obtenção de produtos sólidos são as tensões de crescimento e a presença de nós. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira destinada à geração de produtos sólidos de espécies do gênero *Eucalyptus*, entre elas o *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna*, através do uso de metodologias não destrutivas e convencionais. O material utilizado para o desenvolvimento da pesquisa foi proveniente de plantios florestais da empresa GRANFLOR, localizados na região de Rosário do Sul – RS, com 28, 40, 52 e 65 meses de idade. A avaliação da qualidade da madeira foi realizada em duas etapas: *Capítulo 1: Avaliação das tensões de crescimento sobre a qualidade da madeira de Eucalyptus para geração de produtos sólidos*. Neste capítulo, avaliaram-se as tensões de crescimento da madeira, através da deformação residual longitudinal (DRL), analisando, também, as variáveis de crescimento da árvore, bem como algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira. As informações foram obtidas por métodos convencionais de acordo com normas já estabelecidas e por técnicas não destrutivas para mensuração da DRL e análise por espectroscopia de infravermelho próximo. Com base nos resultados foram realizadas análises estatísticas, com o intuito de determinar e agrupar as informações a respeito da qualidade tecnológica da madeira e suas perspectivas. *Capítulo 2: Efeito da poda sobre a qualidade da madeira de Eucalyptus*. Avaliou-se o sistema de poda empregado pela empresa, verificando a qualidade da cicatrização interna dos nós, bem como a extensão do núcleo nodoso e a estimativa da madeira limpa. De modo geral, os métodos utilizados, tanto convencionais quanto os não destrutivos, demonstraram ser promissores e apresentaram-se como uma possível ferramenta para a caracterização da madeira. Os resultados colaboraram para a obtenção de informações e na indicação de material que tendem a apresentar as características de maior interesse, visando à obtenção de uma madeira com maior valor agregado e livre de defeitos, destinada à geração de produtos sólidos.

Palavras-chave: *Eucalyptus*. Deformação residual longitudinal. Nós. Produtos sólidos.

## ABSTRACT

### **INFLUENCE OF GROWTH STRESSES AND PRUNING ON THE WOOD QUALITY OF *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* AND *Eucalyptus saligna***

In Brazil, species of *Eucalyptus* are commonly grown, is widely employed in various sectors of based forest industries. One of the problems found in the use of wood to obtain solid products are growth stresses and the presence of knots. In this context, the present study aimed to evaluate of the influence of growth stresses and pruning on the wood quality of for the making of solid products of *Eucalyptus* species, among them the *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* using non-destructive and conventional methodologies. The material used for the development of the research came from forest plantations the GRANFLOR company located in the region of Rosário do Sul - RS, with 28, 40, 52 and 65 months of age. Evaluation wood quality was performed in two stages: *Chapter 1: Evaluation of growth stress on quality of Eucalyptus wood for making of solid products*. This chapter analyzed the growth stresses in wood by longitudinal residual strain, also analyzing the variables of tree growth, the physical and mechanical properties of wood. Information has been obtained by conventional methods according to established standards and through non-destructive techniques used to measure the longitudinal residual strain and analysis of near-infrared spectroscopy. Based on the results were performed statistical analyzes in order to determine and cluster the information about the technological quality of the wood and its perspectives. *Chapter 2: Effect of pruning on quality of Eucalyptus wood*. Evaluated the system of pruning employed by the company, checking the quality of the internal healing of the knots as well as the extent of the knotty core and the estimation of clear wood. In general, the methods used in both conventional and non-destructive be demonstrated promising and presented as a possible tool for characterization of timber. The results contributed to obtain information and indication of material that to present more characteristic tend to have higher interest, in order a superior wood with higher value added and free from defects intended for making solid products.

Keywords: *Eucalyptus*. Longitudinal residual strain. Knots. Solid products.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1 – LOCAL DE COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO EM ROSÁRIO DO SUL, RS .....	74
FIGURA 1.2 – POVOAMENTO, COLETA DO MATERIAL EM CAMPO E ARMAZENAGEM NO PÁTIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ .....	75
FIGURA 1.3 – MENSURAÇÃO DA PROJEÇÃO DA COPA DAS ÁRVORES PELO MÉTODO DE OITO RAIOS COM ÂNGULOS VARIÁVEIS .....	77
FIGURA 1.4 – COORDENADAS POLARES E CARTESIANAS COLETADAS PARA A PROJEÇÃO DAS COPAS .....	77
FIGURA 1.5 – POSIÇÕES DE TOMADA DA DRL AO LONGO DO FUSTE NAS ÁRVORES .....	79
FIGURA 1.6 – MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL .....	80
FIGURA 1.7 – POSIÇÃO DAS AMOSTRAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS .....	81
FIGURA 1.8 – PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS .....	82
FIGURA 1.9 – MENSURAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA CONTRAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA .....	84
FIGURA 1.10 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS .....	87
FIGURA 1.11 – RETIRADA DOS CORPOS DE PROVAS PARA LEITURA NA FACE RADIAL DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO .....	88
FIGURA 1.12 – COLETA DOS ESPECTROS DAS MADEIRAS PARA .....	89
FIGURA 1.13 – VARIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES, IDADES E POSIÇÕES .....	94
FIGURA 1.14 – COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DA DRL EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA DIFERENTES EUCALIPTOS ENCONTRADOS NO PRESENTE TRABALHO E NA LITERATURA .....	96

FIGURA 1.15 – VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> .....	98
FIGURA 1.16 – VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NO TRONCO PARA A MADEIRA DE <i>E. saligna</i> .....	100
FIGURA 1.17 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> , AOS 40 MESES DE IDADE .....	102
FIGURA 1.18 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> , AOS 52 MESES DE IDADE .....	103
FIGURA 1.19 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O <i>E. dunnii</i> E <i>E. grandis</i> , AOS 65 MESES DE IDADE ..	104
FIGURA 1.20 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> NA IDADE SUPERIOR .....	105
FIGURA 1.21 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO <i>E. dunnii</i> .....	111
FIGURA 1.22 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO <i>E. grandis</i> .....	111
FIGURA 1.23 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO DE <i>E. saligna</i> .....	112
FIGURA 1.24 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalytputs</i> NAS DIFERENTES IDADES .....	124
FIGURA 1.25 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalytputs</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	127
FIGURA 1.26 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalytputs</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	131
FIGURA 1.27 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalytputs</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	133

FIGURA 1.28 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	134
FIGURA 1.29 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	136
FIGURA 1.30 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	138
FIGURA 1.31 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	147
FIGURA 1.32 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	147
FIGURA 1.33 – ESPECTROS DE ABSORBÂNCIA DAS AMOSTRAS DAS MADEIRAS .....	154
FIGURA 1.34 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL .....	156
FIGURA 1.35 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, APARENTE E VERDE ...	158
FIGURA 1.36 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS VARIÁVEIS CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E O COEFICIENTE DE ANISOTROPIA .....	160
FIGURA 1.37 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS VARIÁVEIS MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA	161
 <b>CAPÍTULO 2</b>	
FIGURA 2.1 – INFLUÊNCIA DA PODA NA ÁREA CENTRAL DOS FUSTE EM RELAÇÃO AO NÚCLEO NODOSO .....	207
FIGURA 2.2 – CICATRIZAÇÃO NA PARTE EXTERNA DO TRONCO APÓS A PODA EM UM GALHO MORTO E UM GALHO VIVO .....	212
FIGURA 2.3 – REAÇÃO APÓS A PODA UM GALHO MORTO (A) E UM GALHO VIVO (B) .....	214

FIGURA 2.4 – CICATRIZAÇÃO DO NÓ EM UM GALHO VIVO E MORTO .....	214
FIGURA 2.5 – QUALIDADE DA PODA EM ÁRVORES DE EUCALIPTO .....	216
FIGURA 2.6 – RETIRADA DOS TOCOS PARA A AVALIAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO INTERNA DOS NÓS APÓS A PODA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> .....	222
FIGURA 2.7 – FUSTE DAS ÁRVORES EVIDENCIANDO A REGIÃO DE INSERÇÃO DOS GALHOS PODADOS PARA AVALIAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO INTERNA DOS .....	222
FIGURA 2.8 – CORTE NO SENTIDO LONGITUDINAL DOS TOCOS PARA ANÁLISE DA PODA NAS DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> .....	223
FIGURA 2.9 – VARIÁVEIS MENSURADAS .....	224
FIGURA 2.10 – COMPORTAMENTO INTERNO DA ÁRVORE PODADA .....	225
FIGURA 2.12 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO TAMANHO VERTICAL DO NÓ E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> .....	229
FIGURA 2.13 – RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DO GALHO PODADO E O TAMANHO VERTICAL DA CICATRIZAÇÃO DO NÓ .....	231
FIGURA 2.14 – DIÂMETRO (A) E EXTENSÃO DO RAIOS (B) DA MADEIRA LIMPA ESTIMADOS PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. saligna</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. dunnii</i> ESTIMADOS ENTRE 40 E 60 cm DE DIÂMETRO .....	237
FIGURA 2.15 – CORTE LONGITUDINAL NAS SEÇÕES DO TRONCO DAS ÁRVORES DE DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> , COM A OCLUSÃO DO NÓ .....	239

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

TABELA 1.1 – ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> UTILIZADAS COM A RESPECTIVA IDADE E INFORMAÇÕES DA LOCALIDADE DO PLANTIO .....	73
TABELA 1.2 – AMOSTRAGEM DO MATERIAL .....	75
TABELA 1.3 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (mm) PARA AS ESPÉCIES <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> NAS DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONGO DO TRONCO .....	92
TABELA 1.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) EM FUNÇÃO DA IDADE E POSIÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> .....	97
TABELA 1.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> , <i>E. dunnii</i> E <i>E. saligna</i> , AOS 40 MESES DE IDADE .....	101
TABELA 1.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> , <i>E. dunnii</i> E <i>E. saligna</i> , AOS 52 MESES DE IDADE .....	102
TABELA 1.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE <i>E. grandis</i> , <i>E. dunnii</i> E <i>E. saligna</i> , AOS 65 MESES DE IDADE .....	105
TABELA 1.8 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURAS AO REDOR DO TRONCO .....	107
TABELA 1.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE <i>E. dunnii</i> , EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO .....	108
TABELA 1.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE <i>E. grandis</i> EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO .....	109
TABELA 1.11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE <i>E. saligna</i> EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO .....	109
TABELA 1.12 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL E DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO PARA AS ESPÉCIES <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> , NAS DIFERENTES IDADES .....	115

TABELA 1.13 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE AS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E A DRL PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i>	117
TABELA 1.14 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA <i>E. dunnii</i>	118
TABELA 1.15 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA <i>E. grandis</i>	119
TABELA 1.16 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA <i>E. saligna</i>	120
TABELA 1.17 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS AVALIADAS EM FUNÇÃO DAS IDADES PARA AS ESPÉCIES <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i>	123
TABELA 1.18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MASSA ESPECÍFICA APARENTE PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	124
TABELA 1.19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	126
TABELA 1.20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO TANGENCIAL PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	130
TABELA 1.21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO RADIAL PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	132
TABELA 1.22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	134
TABELA 1.23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	135
TABELA 1.24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	137
TABELA 1.25 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i>	139
TABELA 1.26 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE <i>E. dunnii</i>	141
TABELA 1.27 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE <i>E. grandis</i>	142



TABELA 1.28 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE <i>E. saligna</i>	143
TABELA 1.29 – VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS	145
TABELA 1.30 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	146
TABELA 1.31 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i>	150
TABELA 1.32 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE <i>E. dunnii</i>	150
TABELA 1.33 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE <i>E. grandis</i>	151
TABELA 1.34 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE <i>E. saligna</i>	152
TABELA 1.35 – RESUMOS DAS CALIBRAÇÕES POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA	155

## **CAPÍTULO 2**

TABELA 2.1 – VALORES MÉDIOS, MÁXIMO, MÍNIMO E O DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS MENSURADAS PARA AS TRÊS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	226
TABELA 2.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS MAIS REPRESENTATIVAS ENTRE AS ESPÉCIES DE <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> E <i>E. saligna</i> SUBMETIDAS A PODA	228
TABELA 2.3 – VALORES ESTIMADOS DA EXTENSÃO DA MADEIRA LIMPA PARA AS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> CONSIDERANDO OS DIÂMETROS MÉDIOS META PARA O DESBASTE DE 40, 50 E 60 cm	236

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>2 HIPÓTESE DA PESQUISA</b> .....	<b>22</b>
<b>3 OBJETIVOS DA PESQUISA</b> .....	<b>23</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>4 ESTRUTURA DA PESQUISA</b> .....	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> PARA GERAÇÃO DE PRODUTOS SÓLIDOS</b> .....	<b>25</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>26</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>27</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	30
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	30
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>31</b>
3.1 GÊNERO <i>Eucalyptus</i> .....	31
3.1.1 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	33
3.1.2 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	35
3.1.3 Clone <i>Eucalyptus saligna</i> .....	36
3.2 TENSÕES DE CRESCIMENTO .....	37
3.2.1 Origem e distribuição das tensões de crescimento .....	39
3.2.2 Metodologias empregadas na medição da tensão de crescimento .....	42
3.2.3 Efeitos decorrentes das tensões de crescimento .....	44
3.2.4 Alternativas para minimizar as tensões de crescimento .....	46
3.2.5 Tensão de crescimento e característica da árvore e da madeira .....	48
3.3 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO .....	49
3.3.1 Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht) .....	50
3.3.2 Projeção da copa das árvores .....	51

3.4 QUALIDADE DA MADEIRA .....	53
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	56
3.5.1 Massa específica da madeira.....	56
3.5.2 Retratibilidade da madeira .....	59
3.6 RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA .....	61
3.6.1 Compressão paralela às fibras.....	63
3.6.2 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura.....	64
3.7 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	65
3.8 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO .....	67
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>72</b>
4.1 MATERIAL DE ESTUDO.....	72
4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA .....	73
4.3 SELEÇÃO DAS ÁRVORES E AMOSTRAGEM DO MATERIAL .....	74
4.4 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DA ÁRVORE .....	76
4.5 AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL .....	78
4.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	80
4.6.1 Determinação das propriedades físicas .....	82
4.6.1.1 Massa específica.....	82
4.6.1.2 Retratibilidade da madeira.....	84
4.6.2 Determinação da propriedade mecânica da madeira .....	86
4.6.2.1 Compressão paralela às fibras.....	86
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	87
4.8 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO .....	88
4.8.1 Calibração e validação dos modelos.....	89
4.8.2 Seleção de modelos .....	90
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>92</b>
5.1 DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL .....	92
5.2 DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL NAS DIFERENTES ORIENTAÇÕES AO REDOR DO TRONCO .....	106
5.3 CORRELAÇÕES DA DRL COM AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	114
5.3.1 Variáveis de crescimento .....	114
5.3.2 Propriedades físicas da madeira .....	122

5.3.2.1 Massa específica aparente da madeira.....	123
5.3.2.2 Massa específica básica da madeira .....	126
5.3.2.3 Retratibilidade da madeira.....	129
5.3.2.4 Correlação da DRL com as propriedades físicas da madeira .....	139
5.3.3 Propriedades mecânica da madeira .....	144
5.3.3.1 Compressão paralela as fibras.....	144
5.3.3.2 Correlação da DRL com a compressão paralela a grã da madeira .....	149
5.4 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO .....	153
5.4.1 Calibração dos modelos matemáticos.....	153
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>164</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>166</b>
<b>CAPÍTULO 2 – EFEITO DA PODA SOBRE QUALIDADE DA MADEIRA DE</b> <b><i>Eucalyptus</i> .....</b>	<b>195</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>196</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>197</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>198</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>200</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	200
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	200
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>201</b>
3.1 NÓS DA MADEIRA .....	201
3.1.1 Núcleo Nodoso.....	206
3.2 PODA .....	207
3.2.1 Efeito e Cicatrização da poda.....	213
3.3 QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA APÓS A PODA.....	218
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>221</b>
4.1. MATERIAL DE ESTUDO.....	221
4.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS.....	221
4.3 SELEÇÃO DAS ÁRVORES.....	221
4.4 AVALIAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO INTERNA DO FERIMENTO DO NÓ APÓS PODA .....	223
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>225</b>
5.1 DIÂMETRO DO NÓ E TAMANHO VERTICAL DA CICATRIZAÇÃO.....	229

5.2 EXTENSÃO DA OCLUSÃO DO NÓ.....	231
5.3 NÚCLEO NODOSO .....	232
5.4 EXTENSÃO DA MADEIRA LIMPA.....	233
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>242</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>243</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>244</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil se caracteriza pelas boas condições e potencial silvicultural para o desenvolvimento e crescimento de diversas espécies florestais, entre elas, as espécies do gênero *Eucalyptus*, plantadas como alternativa de produção inicial de madeira para energia, visto que possuem um rápido crescimento, além dos interesses econômicos e incentivos fiscais. Essas também colaboram para minimizar as pressões em florestas nativas ou conduz a fazer uso do manejo florestal sustentável. As florestas plantadas favorecem a busca por um material com propriedades e características mais homogêneas, permitindo a padronização dentro de uma cadeia de produção, otimizando o tempo e reduzindo a perda de material e dos custos financeiros adicionais.

Diversas espécies deste gênero, ao longo dos anos passaram a ser plantadas como alternativa de produção para suprir demandas das indústrias dos setores florestais e madeireiros, uma vez que podem ser empregadas e utilizadas em diferentes situações e possuem alta capacidade produtiva. Antigamente, as espécies eram empregadas, principalmente, para geração de energia e produção de celulose, e com a pretensão de novas alternativas e produtos, buscou-se a necessidade do uso múltiplo da madeira de eucalipto, atuando em novos setores, tais como o da construção civil, painéis e madeira serrada e transformada, obtendo produtos de alto valor agregado.

Na região sul do país, empresas do setor florestal estão investindo em plantios florestais de *Eucalyptus*, destinados à produção de madeira para produtos sólidos. Torna-se necessária a obtenção da matéria prima com características favoráveis à produção e obtenção de produtos de qualidade e com alto valor agregado. Um dos principais problemas encontrados pelas empresas e produtores de madeira para este fim é a falta de orientação e informações tecnológicas necessárias que agreguem qualidade do povoamento florestal, a madeira e ao produto final, minimizando os defeitos.

Quando o objetivo das florestas é a produção da madeira serrada, livre de defeito, entre as características indesejáveis é o desenvolvimento das tensões de crescimento, espécies do gênero *Eucalyptus* possuem altos níveis.

As tensões de crescimento se manifestam durante a fase de crescimento das árvores, auxiliando no equilíbrio da mesma, porém, podem comprometer a qualidade

madeira, principalmente quando árvores são cortadas, nas operações de desdobro e no processo de secagem, ocasionando defeitos, como rachaduras, fendas e empenamento. Desta forma, tornam-se necessárias pesquisas, levando em conta as propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira nas diferentes espécies de *Eucalyptus*, incluindo clones e híbridos específicos, com intuito de entender o comportamento das árvores à ação dos diferentes níveis das tensões de crescimento e os defeitos causados, bem como a sua caracterização tecnológica.

Fatores ambientais e genéticos, as condições de crescimento do povoamento bem como os tratamentos silviculturais e o manejo florestal são atributos que também estão relacionados ao desenvolvimento das tensões de crescimento e influenciam na qualidade da madeira, visto que estão relacionados as taxas de crescimento, no desenvolvimento das árvores dentro dos plantios florestais.

Uma técnica silvicultural e que é pouco aplicado no Brasil para o *Eucalyptus* é a poda, proporcionando uma redução do núcleo nodoso, eleva a proporção da madeira limpa e a resistência mecânica favorecendo a qualidade da madeira. Assim, as práticas silviculturais, bem como o manejo florestal adotado e as informações tecnológicas da madeira, também, são ferramentas que podem contribuir na seleção de espécies e na indicação de fatores que proporcionem melhor rendimentos e qualidade da madeira nas indústrias que têm como objetivo a produção a madeira serrada com alto valor agregado.

O emprego de novas tecnologias e metodologias para o setor florestal e madeireiro devem ser alcançados, principalmente, na produção de madeira sólida e utilização dos produtos florestais de forma racional. Fornecer informações quanto à qualidade e às características da madeira das espécies de *Eucalyptus* que indicam o seu comportamento quanto às tensões de crescimento e às práticas silviculturais adotadas, dando ênfase a aplicabilidade e uso final da madeira com qualidade.

## **2 HIPÓTESE DA PESQUISA**

### **Capítulo 1**

As tensões de crescimento fazem parte do crescimento e desenvolvimento das árvores, uma vez que são responsáveis por mantê-las em equilíbrio, por outro lado, irão proporcionar diversos defeitos na madeira durante o corte e nas etapas de desdobro e secagem. Compreender a ação da deformação residual longitudinal decorrente das tensões longitudinais de crescimento, nos plantios florestais ainda jovens, e medidas em diferentes posições ao longo do tronco são indicativos para a seleção de material que tende a apresentar as menores propensões às tensões de crescimento.

### **Capítulo 2**

Regimes de poda adotados por empresas melhoram, significativamente, a qualidade de madeira, reduzem o tamanho do núcleo nodoso e, portanto, resultam em uma maior extensão de madeira limpa para um produto final, com elevado valor agregado.

A disponibilização de informações quanto à qualidade da madeira, após o trato silvicultural de poda para eucalipto, no Brasil, ainda é pouca, havendo a necessidade de pesquisas em relação a prática da poda em florestas plantadas para obtenção de madeira limpa, livres de defeitos, maximizando a qualidade do produto final.

Constatado o valor informacional, proporcionará um novo segmento silvicultural para a madeira de eucalipto voltada para a produção de madeira para a geração de produtos sólidos, com maior valor agregado, caso a poda seja viável para a redução do núcleo nodoso e outros defeitos.



### 3 OBJETIVOS DA PESQUISA

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das tensões de crescimento e da poda sobre a qualidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna* para a geração de produtos sólidos.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os níveis de intensidade da tensão de crescimento, através da deformação residual longitudinal, e associá-las as características de crescimento da árvore e de algumas propriedades da madeira, através da aplicação de técnicas convencionais e não destrutivas, estabelecendo fatores indicativos da qualidade da madeira;
- Avaliar o efeito da poda sobre a qualidade da madeira de três diferentes espécies de *Eucalyptus*.

## 4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Realizou-se inicialmente uma introdução geral, abordando a importância e contextualização do tema, as hipóteses que justificam a pesquisa, a relevância e os subsídios científicos, além dos objetivos da pesquisa.

Em seguida, a pesquisa foi estruturada em dois capítulos, de forma a levar a compreensão da importância da qualidade da madeira destinada à geração de produtos sólidos, apresentados numa revisão bibliográfica específica, introdução, material e métodos, resultados e discussão, além da conclusão e recomendações das perspectivas da pesquisa. É apresentado um resumo sobre o que foi trabalhado em cada capítulo.

No Capítulo 1, sob o título “AVALIAÇÃO DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* PARA GERAÇÃO DE PRODUTOS SÓLIDOS”, investigou-se a tensão de crescimento, através da deformação residual longitudinal (DRL) quanto aos efeitos idade e posições de medidas ao redor e ao longo do tronco para as três espécies de *Eucalyptus*. Avaliaram-se as influências das variáveis de crescimento das árvores, bem como realizou-se uma caracterização tecnológica da madeira, através de ensaios físicos (massa específica e retratibilidade) e mecânico (compressão paralela as fibras) para verificar as possíveis relações com as tensões de crescimento. O método convencional utilizado para avaliação do material, seguiu-se as normas pré-estabelecidas pela COPANT (1972), os métodos não destrutivos aplicados envolveram às medições da DRL, através do extensômetro e a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), com o intuito de agrupar informações e estabelecer parâmetros para a predição das variáveis investigadas e indicar ou selecionar materiais com as características desejáveis.

No Capítulo 2, sob o título “EFEITO DA PODA SOBRE QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus*”, avaliaram-se o regime de poda nas árvores, adotado pela empresa, em relação à cicatrização interna dos nós no plano radial, com intuito de quantificar o diâmetro do núcleo nodoso e a proporção de madeira limpa, maximizando a qualidade da madeira. Realizaram-se estimativas da extensão da madeira limpa para árvores com diâmetro superiores aos pretendidos pela empresa para o corte do material, reportando à importância da poda como atividade essencial das práticas silviculturais.

**CAPÍTULO 1**  
**AVALIAÇÃO DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO SOBRE A QUALIDADE DA**  
**MADEIRA DE *Eucalyptus* PARA GERAÇÃO DE PRODUTOS SÓLIDOS**

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* PARA GERAÇÃO DE PRODUTOS SÓLIDO

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar os níveis da deformação residual longitudinal (DRL) decorrentes das tensões nas diferentes posições ao longo do fuste (1,30 m do solo, 25% e 50% da altura total) aos 28, 40, 52 e 65 meses de idade, caracterizando tecnologicamente, a madeira das espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* com o intuito de determinar fatores indicativos para a seleção de material. O método *CIRAD-Forêt* foi utilizado para tomadas das medidas da DRL, através do extensômetro. Os valores encontrados, foram associados às variáveis de crescimento e às propriedades físico-mecânicas da madeira para verificar a correlação existente. As propriedades da madeira foram obtidas de acordo com as normas COPANT (1972). Realizou-se, ainda, a análise de espectroscopia do infravermelho próximo (NIR), na qual foram tomados os espectros das amostras de madeira no sentido casca-medula com o intuito de associar as informações espectrais com a DRL e demais propriedades através de técnicas de análise, com a finalidade de predizer essas características de forma mais simples, rápida e confiável. Os resultados indicam uma alta variabilidade nos valores de DRL, apresentando *E. grandis* os menores níveis. O efeito da idade foi significativo em todas as espécies, aumentando os níveis da DRL proporcionalmente à idade das árvores, o efeito posição, apenas foi significativo para a *E. saligna*, com a maior DRL na posição de 50%. Ao avaliar as correlações, sem a estratificações da idade, observou-se que as variáveis de crescimento, massa específica aparente e básica apresentaram uma correlação mais evidente e significativa com a DRL apenas para o *E. saligna*. Em relação às contrações da madeira, as correlações com a DRL foram baixas ou quase inexistentes, para a resistência à compressão paralela as fibras, as correlações foram de melhor magnitude no *E. dunnii*. Ao estratificar as idades, *E. grandis* aos 52 e 65 meses apresentou as correlações mais evidentes entre a DRL e as variáveis crescimento e propriedades da madeira. Em relação à predição da DRL e as demais variáveis investigadas através do NIR, as calibrações dos modelos foram ajustadas por regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS), a partir dos espectros originais, entretanto, os modelos de calibração não apresentaram coeficientes de seleção dos modelos satisfatórios, com exceção das variáveis massa específica básica, aparente e verde que foram as mais promissoras. Contudo, a madeira de *E. grandis* foi a que apresentou o melhor desempenho quanto aos níveis de DRL e às propriedades da madeira, tendendo a oferecer uma madeira de melhor qualidade para a obtenção dos produtos sólidos de alto valor agregado, podendo ser indicada em programas para a seleção de material genético com as características de interesse.

Palavras chaves: *Eucalyptus*. Deformação residual longitudinal. Espectroscopia do infravermelho próximo

## ABSTRACT

### EVALUATION OF GROWTH STRESS ON QUALITY OF *Eucalyptus* WOOD FOR MAKING OF SOLID PRODUCTS

The present study aimed to assess the levels of longitudinal residual strain resulted from growth stresses in different positions along the stem (1.30 m, 25% and 50% of the total height) at 28, 40, 52 and 65 months of ages, characterizing technologically the of *E.dunnii*, *E grandis* and *E.saligna* species to determine indicative factors for material selection. The CIRAD-Forêt method was used for measurement of longitudinal residual strain using extensometer. The values found, were associated to growth variables and physical and mechanical properties of wood to verify the existent correlation. The wood properties were obtained according the standards COPANT (1972). It also carried out the near infrared spectroscopy analysis, in which the spectra were taken from the bark to pith in the samples of wood, aiming to associate the spectral information with longitudinal residual strain and other properties through analysis techniques, predicting these characteristics more simply, quickly and reliably. The results indicate a high variability in the values of longitudinal residual strain, presenting the *E. grandis* the lowest levels. The effect of age was significant for all species, increasing the levels of longitudinal residual strain as the age of the tree, the position effect was only significant for *E. saligna*, with the highest strain in the position of 50% of the total height. When evaluating the correlations without the ages stratifications, it was observed that the growth variables, apparent specific gravity and basic specific gravity pronounced more evident and significant correlation with the longitudinal residual strain only for *E. saligna*. Regarding to shrinkage of wood, the correlations with the longitudinal residual strain were low or almost nonexistent, and the resistance to compression parallel to the fibers, the correlations were of better magnitude in *E. dunnii*. When stratifying the age, *E. grandis* and 65 to 52 months had the most evident correlations between longitudinal residual strain and the variables growth and properties of wood. Regarding the prediction of the longitudinal residual strain and the other variables investigated by near infrared spectroscopy, the calibrations of the models were adjusted for partial least squares regression (PLS) from the original spectra. However, the calibration models not showed selection coefficients of satisfactory models excepting for the variables of basic specific gravity, apparent specific gravity and green specific gravity, which were the most promising. However, the wood of *E. grandis* showed the best performance in longitudinal residual strain levels and of wood properties, tending to offer a better quality of wood for making of solid products with high added value, which may be indicated in programs for the selection of genetic material with interesting characteristics.

Key words: *Eucalyptus*. Longitudinal residual strain. Near infrared spectroscopy

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira serrada de qualidade com alto valor agregado proveniente de florestas plantadas de *Eucalyptus* é um segmento do setor florestal e madeireiro com uma tendência de crescimento na produção da madeira destinada a geração de produtos sólidos.

Um dos principais problemas encontrados na madeira de eucalipto é a propensão ao desenvolvimento das tensões de crescimento que acarreta diversos defeitos. Estas tensões se desenvolvem no interior das árvores durante a formação e constituição da madeira, e tem como objetivo principal sua sustentação e equilíbrio. As tensões de crescimento ocasionam defeitos, tais como as rachaduras, fendilhamentos e empenamentos das toras e tábuas da madeira, após serem cortadas e serradas. Conseqüentemente, ocorre diversos problemas durante o processamento e armazenagem do material, afetando o rendimento e a eficiência do processo produtivo, além dos prejuízos econômicos.

A tensões de crescimento e sua magnitude podem ser determinadas a partir da medição da deformação residual longitudinal (DRL), que consiste na medição da tensão, quando liberada no sentido longitudinal, nas árvores ainda eretas. Tais valores da DRL, quando associados a outras propriedades da madeira, podem contribuir para estabelecer parâmetros que gerem modelos para estimar as tensões de crescimento e indicar fatores que colaboram para a seleção de materiais com menores propensão de defeitos.

A necessidade de obter informações quanto a DRL nos plantios florestais ainda jovens, justifica-se porque, nesta idade, ocorre o maior desenvolvimento das tensões de crescimento. Também é preciso verificar os níveis da DRL em diferentes alturas do tronco, uma vez que estas posições apresentarão o maior diâmetro. Esses fatores são indicativos para a seleção de material e na obtenção de novas ferramentas aplicadas ao melhoramento genético, práticas de manejo e silviculturais para a obtenção de material com menor propensão à manifestação das tensões, com isto proporcionará a geração de produtos sólidos com características de interesse, maior valor agregado, além do maior aproveitamento da madeira nos processos de produção.

Uma alternativa para classificar, quantificar e selecionar a madeira, de maneira rápida e precisa, são as avaliações do material, através de métodos não destrutivos, indicando o potencial tecnológico e orientando o seu uso final.

Entre as tecnologias utilizadas para identificar os níveis das deformações residuais longitudinais e as propriedades tecnológicas da madeira, destacam-se as análises não destrutivas, através do extensômetro, método proposto por CIRAD - Fôret, bem como o uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), técnica baseada nas interações entre a matéria e radiações eletromagnéticas, ambas são ferramentas empregadas para caracterizar diversas espécies florestais e estabelecer o nível de relação entre as propriedades.

O uso dessas ferramentas permite a obtenção de informações quantitativas e qualitativas, o que pode contribuir na indicação de fatores que reduzem as tensões, ou direcionar o uso final da madeira. Além dos métodos não destrutivos, podem ser utilizados outras práticas como técnicas de desdobro, anelamento dos troncos das árvores com aplicação de herbicidas, e a vaporização das toras com o intuito de aliviar as tensões de crescimento.

Neste contexto, justificam-se os estudos nesta área de conhecimento, de tal forma a gerar informações adicionais, atributos tecnológicos e o entendimento sobre a deformação residual longitudinal e sua relação com as variáveis de crescimento das árvores e propriedades tecnológicas da madeira. Este fatores contribuirão para direcionar e indicar o material que tende a apresentar o menores níveis de deformação, minimizando os defeitos na madeira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os níveis da deformação residual longitudinal de três espécies de *Eucalyptus* e associá-las as características de crescimento da árvore e propriedades da madeira.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a DRL para as diferentes espécies de *Eucalyptus*;
- Determinar a DRL nas diferentes idades;
- Determinar a DRL em diferentes posições ao longo do fuste da árvore;
- Determinar a DRL em diferentes posições ao redor do tronco;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, através dos métodos convencionais de análise;
- Analisar a relação entre a DRL e as variáveis de crescimento da árvore, propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- Utilizar a espectroscopia NIR para construir modelos de calibração para estimar a DRL e algumas propriedades físicas e mecânica.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 GÊNERO *Eucalyptus*

As florestas de eucaliptos ocorre naturalmente na Austrália. Existem cerca de 720 espécies reconhecidas do gênero *Eucalyptus*, sendo que, aproximadamente 250 são utilizadas para geração de produtos de madeira. Essa abundância de espécies de eucalipto influenciou o desenvolvimento das indústrias florestais australianas (WAUGH, 1998). O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, a maior parte das espécies e subespécies é endêmica da Austrália e ilhas adjacentes (HASSE, 2006).

O número de espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* introduzidos no Brasil é alto. Os reflorestamentos são favorecidos pela boa adaptação das diferentes espécies às condições edafoclimáticas do Brasil, além disso, consegue-se reduzir as pressões sobre as florestas nativas, aliado ao uso racional como recursos renováveis. O crescimento e desenvolvimento das árvores de eucalipto vêm sendo alavancado através do melhoramento genético e das novas tecnologias empregadas na silvicultura e manejo, elevando o consumo de produtos madeiráveis e não madeiráveis, oriundos de florestas plantadas, principalmente, as do gênero *Eucalyptus*.

Severo e Tomaselli (2000a) ressaltaram que, por suas características físico-mecânicas, a madeira do eucalipto apresenta-se como alternativa para a substituição de espécies nativas consagradas, podendo contribuir, significativamente para o suprimento das demandas interna e externa. O uso da madeira de *Eucalyptus* proveniente de florestas plantadas também reduz a pressão sobre as florestas nativas, contribuindo para a preservação e conservação dos recursos naturais. A homogeneidade da matéria prima e a continuidade de abastecimento viabilizam a utilização da madeira de reflorestamento, especialmente aquelas conduzidas em ciclos longos e manejadas adequadamente, com desbastes e desramas (CALORI e KIKUTI, 1997).

De acordo com Souza *et al.* (2009), a madeira proveniente de reflorestamento, sobretudo dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, revelam-se promissoras, cujo futuro reside no seu uso crescente pelas indústrias moveleiras. Isso contribui para que o gênero

seja um das principais fornecedores de madeira para os diversos setores das indústrias de base florestal no Brasil.

Em 2013, a área ocupada por plantios florestais de eucalipto, pinus e demais espécies no Brasil totalizou 7,2 milhões de hectares, sendo 4,0% destinado a produção de produtos sólidos de madeira (IBÁ, 2014). Em 2012, a área brasileira correspondente aos plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* atingiu 6,66 milhões de hectares, representando 76,6% *Eucalyptus* e 23,4% *Pinus*. A região sul do país detem 11,5% dos plantios florestais de *Eucalyptus* (ABRAF, 2013).

As espécies de eucalipto são as mais cultivadas no Brasil atualmente, em virtude de seu crescimento rápido, em relação às essências nativas, boa qualidade da madeira e por apresentar potencial de usos múltiplos. Além disso, apresenta características silviculturais desejáveis, tais como incremento e forma, entre outras. A grande diversidade de espécies possibilita a adaptação do gênero às diversas condições ambientais, tais como o clima e solo. Outro facilitador é a versatilidade de propagação, que é facilmente obtida, tanto por sementes, como por via vegetativa (VILAS BÔAS *et al.*, 2009).

Segundo Costa (1996), a busca de uso múltiplo das florestas e de melhor remuneração para a madeira têm incentivado o estabelecimento de estratégias por parte das empresas para a oferta de madeira serrada deste gênero. De acordo com Couto (1995), o *Eucalyptus* se destaca pelas as espécies utilizadas, devido ao enorme potencial de suprimento de madeira para os mais variados fins.

Para Dobner Jr *et al.* (2012), o uso da madeira de *Eucalyptus* para produtos sólidos implica em mudanças na forma de produção florestal. De acordo com Dias (2005), o manejo tradicional, com rotação em torno de sete anos, com ou sem a condução de talhadia, precisa ser substituído por rotações maiores, com o emprego de desbastes e poda. Rocha (2000) ressaltou que são necessárias novas técnicas de silvicultura e manejo para povoamentos de *Eucalyptus* destinados à produção de madeira serrada.

O grande potencial do eucalipto para usos mais nobres se deve a sua diversidade de espécies e alta capacidade híbridas, permitindo selecionar materiais mais adequados ao uso e que se mostrem eficientes na solução ou redução de defeitos, tais como rachaduras de topo e empenamento, em toras e tábuas. Defeitos

em grande parte que são oriundas das tensões de crescimento e contribuem para a depreciação do valor da madeira (TRUGILHO *et al.*, 2006).

De acordo com Lobão *et al.* (2004), ao se pensar em espécies de rápido crescimento, como alternativa para produção de madeira, o gênero *Eucalyptus* se apresenta como uma opção potencial das mais importantes, não somente por sua capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes, mas, sobretudo, pela grande diversidade de espécies, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira.

O uso de material genético de qualidade e homogêneo em plantios com espécies do gênero *Eucalyptus* é de fundamental importância, para se ter um produto a tecnologia disponível se alia à matéria prima de qualidade (ACOSTA, 2006).

### 3.1.1 *Eucalyptus dunnii*

Segundo Turnbull e Pryor (1984), *Eucalyptus dunnii* é uma espécie que, na Austrália, pode comumente superar os 40 m de altura, ocorrendo em uma área restrita do nordeste de Nova Gales do Sul e ao Sul de Queensland, e que pode ser encontrada em sítios úmidos e férteis, com precipitação anual superior a 1000 mm. Os mesmo autores ressaltam que a espécie possui uma vantagem de ser tolerante à geada, porém há insuficiência de sementes, dificultando a expansão de plantios. Segundo Boland *et al.* (2006) a espécie tende a ter uma preferência por solos basálticos e aluviais.

Henson *et al.* (2009) ressaltaram que o *E. dunnii* tem potencial para a produção de celulose em diversos países, tais como a China, África do Sul, Brasil e Uruguai.

Thomas *et al.* (2009) citaram que nos países como a Argentina e o Brasil, o *E. dunnii* cresce rapidamente em plantios comerciais Trugilho e Oliveira (2008), por exemplo, encontrou, aos 8 anos de idade, o diâmetro para o *E. dunnii* de 24,7 cm, superior ao encontrado por Raymond *et al.* (2008), New South Wales, na Austrália, que foi de 22,8 cm aos 9 anos de idade.

Pelas suas características de origem, é potencialmente apta para o Sul do Brasil, suportando até -5°C, contudo a produção de sementes restringe o seu uso (MORA; GARCIA, 2000). Souza Junior e Wendling (2003) ressaltam que o *Eucalyptus*

*dunnii* tem se destacado na região sul do país, tanto pelo seu rápido crescimento e excelente forma do tronco, como por sua tolerância à geada. Para Schneider *et al.* (1997), a espécie responde bem ao crescimento em volume e altura, nas regiões onde ocorrem chuvas de verão bem distribuídas.

CALORI e KIKUTI (1997), ao avaliar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. dunnii*, com 20 anos de idade, recomendam tal madeira para situações onde se exigem resistências mecânicas, para fins estruturais, como assoalhos, parquetes, carrocerias, cabos de ferramentas, etc.

Bootle (2005) ressaltou o uso da madeira para “framework” e marcenaria em função da sua textura, grã direita e uma densidade básica de 610 kg/m<sup>3</sup>. Alguns autores também relataram o uso da madeira adulta para produtos sólidos (DICKSON *et al.*, 2003; HENSON; VANCLAY, 2004; JOE *et al.*, 2004; YE, 2011)

Rocha (2000) concluiu que a utilização de *E. dunnii* para obtenção de madeira serrada em substituição às madeiras nativas, não se mostrou viável quando se deseja madeira em classes de qualidade superiores. Segundo Iwakiri *et al.* (2008), o *E. dunnii* tem grande possibilidade de uso para a produção de painéis OSB (Oriented Strand Board), no Brasil.

Possíveis problemas com a estabilidade dimensional durante a secagem são elevados, provavelmente, em consequência dos altos níveis de tensões de crescimento (SMITH; HENSON, 2007). De acordo com Raymond *et al.* (2008), tais problemas limitam o uso da madeira adulta em serrarias.

Matos *et al.* (2003) estimaram que um terço do material serrado, provenientes dos plantios de *E. dunnii*, tem seu aproveitamento comprometido, devido às tensões de crescimento.

De acordo com Rocha e Trugilho (2006) como a maioria das espécies do gênero, o *Eucalyptus dunnii* apresenta elevadas tensões de crescimento, que se manifestam na madeira serrada, através de rachaduras e empenamentos. Diversas alternativas, no entanto, podem ser utilizadas para reduzir o seu efeito, tais com o melhoramento genético, métodos de exploração, técnicas de desdobro, entre outras.

### 3.1.2 *Eucalyptus grandis*

A espécie *E. grandis* ocorre naturalmente na Austrália, entre as latitudes 16 e 33°S, no território de New South Wales. Populações distintas ocorrem na região central e noroeste de Queensland. Árvores provenientes da região de Coff's Harbour crescem melhor que as provenientes dos extremos norte e sul da sua região natural (HILLIS; BROWN, 1984)

De acordo com Tomaselli (2000), a escolha pelo *E. grandis* no Brasil está relacionada à excelente resposta silvicultural da espécie, como boa forma e rápido crescimento, além de propriedades desejáveis para usos múltiplos, como massa específica média, grã direita, fácil usinagem, boa aceitação de acabamento e cor levemente avermelhada.

A espécie apresenta uma boa adaptação em quase todas as regiões do Brasil, com elevado potencial silvicultural e plantios em larga escala; as suas árvores apresentam boa forma, fornecendo toras adequadas para a produção de serrados; apresenta, ainda, uma massa específica ideal para a produção de móveis (ROCHA, 2000). Rocha *et al.* (2004) ressaltam que o *E. grandis*, por apresentar rápido crescimento e elevada produtividade, é uma das espécies mais cultivadas em reflorestamento no Brasil. Lobão *et al.* (2004), citando Eucalipto (2001)<sup>1</sup>, relataram que entre as espécies de eucalipto comercialmente utilizadas, o *E. grandis* apresenta o melhor comportamento físico-mecânico para uso da madeira sólida.

Segundo Conceição (2004), a árvore de *E. grandis* adulta caracteriza-se por ser alta, atingindo até 45 a 55 metros de altura com um diâmetro à altura do peito de 1,2 a 2 metros. Pode, excepcionalmente, atingir 75 metros de altura e um diâmetro na altura do peito de 3 metros. Apresenta geralmente o fuste liso nos 2/3 a 3/4 superiores do tronco. A madeira é considerada medianamente leve e fácil de ser trabalhada, em operações de usinagem, é considerada de baixa estabilidade dimensional e elevada permeabilidade (ARANTES, 2009).

---

<sup>1</sup> EUCALIPTO, a madeira do futuro. Revista da Madeira, setembro, 2001. 114p. (Edição especial)

### 3.1.3 Clone *Eucalyptus saligna*

O *E. saligna* é nativo da costa leste da Austrália, é uma árvore de tamanho alto a muito alto, atingindo 30 a 55 m de altura e mais de 2 m de DAP, com os aspectos botânicos, ecológicos e silviculturais semelhantes ao *E. grandis*.

Alzate (2004) relatou que o *E. saligna* é uma espécie versátil, indicada para usos múltiplos, apta para regiões que não ocorrem geadas e situações de déficit hídrico severos, além de ser considerada uma madeira medianamente leve e fácil trabalhabilidade e de baixa estabilidade dimensional.

Segundo Mora e Garcia (2000) a madeira é clara de média densidade apta para a produção de celulose e outras finalidades. Amparado *et al.* (2008) concluíram que a madeira *E. saligna* Smith apresenta bom potencial para a obtenção de peças serradas, livres de defeitos, consumidas no mercado internacional para o segmento moveleiro e como esquadrias, em geral.

A elevada demanda por madeira e produtos com melhores qualidades quanto às características físicas, mecânicas e químicas levou à possibilidades de se usar o híbrido e clones das diferentes espécies de *Eucalyptus* como alternativa. Segundo Santos (2012), a hibridação interespecífica tem se constituído na forma mais rápida e eficiente de obtenção de ganhos genéticos no melhoramento de espécies de *Eucalyptus*, com reflexos diretos e significativos na indústria de base florestal.

O aproveitamento dos híbridos deve-se principalmente pelo vigor apresentado por alguns indivíduos e, na maioria dos casos, pela combinação de características favoráveis das espécies parentais (BRAUER, 1973; FOWLER, 1978; ZOBEL; TALBERT, 1984; SANTOS *et al.*, 1988)

Para Assis e Mafia (2007), a busca de complementaridade nas características tecnológicas da madeira, a tolerância a estresses bióticos e abióticos, bem como a manifestação de heterose, verificada em vários cruzamentos híbridos, constituem os principais caminhos para se produzir indivíduos superiores em crescimento, adaptação e qualidade da madeira. Os mesmos autores relatam que existe em grande número de espécies de *Eucalyptus* que são compatíveis entre si quanto ao cruzamento genético, o que permite inúmeras combinações, atendendo às exigências dos mais diferentes ambientes de plantio e às finalidades de uso.

A grande diferenciação entre as espécies, em termos de crescimento e propriedades tecnológicas da madeira, é um fator importante na produção de combinações complementares, capazes de proporcionar ganhos simultâneos em crescimento e qualidade da madeira (SANTOS, 2012).

Para Carvalho (2000), a hibridação utilizada como técnica de desenvolvimento de novos materiais genéticos possui a vantagem de gerar indivíduos parcial ou inteiramente diferentes. Isto possibilita programas de clonagem, com plantios a partir de árvores testadas tecnologicamente e cujas características se adaptem ao local de cultivo e ao processo industrial.

### 3.2 TENSÕES DE CRESCIMENTO

As tensões de crescimento estão relacionadas com o equilíbrio do tronco, tolerando o peso da copa e outros fatores ambientais, como o vento e o relevo do terreno. Estão presentes tanto nas coníferas, quanto nas folhosas. Dentre as folhosas, destacam-se as espécies do gênero *Eucalyptus* sendo um dos principais problemas durante o processamento da madeira.

Diversos pesquisadores vêm estudando a tensão de crescimento nas árvores a fim de obter informações a respeito de suas origens e causas, com intuito de minimizar o seu efeito nas árvores (LISBOA, 1993; VIGNOTE *et al.*, 1996; WELLHÖFER, 2001; LEMOS, 2002; TOUZA VÁZQUEZ, 2004; MELO 2004; PÁDUA, 2004; SOUZA, 2006; TRUGILHO, 2005)

A restrição de uso das espécies de eucalipto se deve às elevadas tensões internas no tronco (MALAN; GERISCHER 1987; MALAN, 1995; MUNERI *et al.*, 1999; MAREE; MALAN, 2000; YANG *et al.*, 2002; YANG *et al.*, 2005). Uma grande dificuldade para o uso de madeira de eucalipto na produção de madeira serrada, é o aparecimento de rachaduras e empenamento em decorrência das tensões (PÁDUA *et al.*, 2004). Os mesmos autores afirmam que as tensões são as principais responsáveis pelo baixo rendimento no processamento da madeira de eucalipto, devido à redução das dimensões das peças. Existe uma grande variação natural no eucalipto com características hereditárias propensas ao desenvolvimento das tensões (SWAIN *et al.*, 2000; YANG *et al.*, 2001).

De acordo com Souza (2002), as tensões de crescimento 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 a agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade do plantio). Latorraca e Albuquerque (2000) e Santos (2002) descreveram que as tensões são mais acentuadas em folhosas do que em coníferas, principalmente nas espécies de rápido crescimento.

Durante a formação da madeira, as tensões atuam na madeira como forças existentes no interior dos troncos das árvores vivas (MAEGLIN, 1987). Essas forças existentes representam um importante mecanismo biomecânico que permite a árvores se ajustarem conforme o seu ambiente ecológico (HUANG *et al.*, 2010). Para Van Wik (1978) as tensões internas ocorrem nas árvores antes da derrubada, atuando como uma forma de lhe dar estabilidade ajudando a manter o equilíbrio das árvores.

Lima *et al.*, (2004) ressaltam que as tensões de crescimento são forças que atuam naturalmente sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas, o que atribui ao tronco resistência à ruptura mecânica e à flexão, principalmente contra a incidência dos ventos. Os mesmos autores relatam que essas tensões nas partes mais externas dos fustes são fundamentais para que as árvores não se quebrem facilmente, quando submetidas a esforços laterais.

Segundo Trugilho *et al.* (2006), as tensões resultam na diminuição do rendimento em madeira serrada e até mesmo, em certos casos, provocando a sua inutilização na indústria de transformação, levando ao aumento dos custos de produção. Os mesmo autores relatam que os efeitos negativos provocados pelas tensões de crescimento limitam, em muito, a utilização da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada de qualidade. Defeitos como as rachaduras e os empenamentos, são causados por estas tensões internas de crescimento, que liberadas por ocasião do corte da árvore.

Para Lisboa (1993) as tensões de crescimento têm efeitos benéficos para as árvores vivas, constituindo-se, entretanto, em graves dificuldades para o processamento da madeira, quando cortes transversais e longitudinais resultam em empenamentos e rachaduras.

As tensões desenvolvem diversas funções importantes durante o ciclo vital das árvores, tais como a regulação da posição espacial da copa (JACOBS, 1945



citado por SANTOS, 2002); estabilidade física da árvore, prevenindo a ocorrência de falhas mecânicas e a quebra do fuste pela ação do vento (KUBLER, 1987; CHAFE, 1979); e, também, dos fustes inclinados (KUBLER, 1987).

Mattheck e Kubler (1995) ressaltaram a importância das tensões para a sobrevivência das árvores, ao afirmarem que inevitáveis pontos de fraqueza em sua estrutura, são contrabalançados pelo desenvolvimento das tensões de crescimento.

Para Shonau e Coetzee (1989), os elevados níveis das tensões de crescimento da madeira estão ligados ao seu genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação da árvore, e podem se agravar, dependendo das práticas silviculturais, e das condições de crescimento. Ponce (1995) atribui às tensões e suas consequências na madeira de eucalipto às elevadas taxas de crescimento. Segundo Cardoso Júnior *et al.* (2005), os tratamentos silviculturais proporcionam a aceleração no ritmo do crescimento e podem contribuir com o aumento dos níveis de tensões.

Segundo Trugilho *et al.* (2006), existe a necessidade da avaliação dos níveis de tensões de crescimento no tronco das árvores ainda vivas. O melhoramento florestal pode fornecer uma solução biológica para possibilitar a redução dos níveis de tensão, uma vez que esse fenômeno é geneticamente herdável (MALAN, 1995; SCHACHT *et al.*, 1998).

O nível e a distribuição dessas tensões em árvores não são bem conhecidos, mas espera-se que estejam relacionados aos parâmetros de crescimento que podem ser influenciados através do manejo silvicultural (FERRAND, 1983; WILKINS; KITAHARA, 1991; MALAN; HOON, 1992; MIRANDA; NAHUZ, 1999), fatores genéticos, idade, dimensões da tora, inclinação do fuste e sistema de desdobro utilizado (OPIE *et al.*, 1984; ZOBEL; JETT, 1995; ROCHA; TOMASELLI, 2002; LIMA *et al.*, 2004).

### 3.2.1 Origem e distribuição das tensões de crescimento

Existem diversas hipóteses sobre a origem das tensões de crescimento, Dinwoodie (1966), Boyd (1972), Chafe (1979) e Conradie (1980) ressaltaram que a primeira tentativa de explicar a origem das tensões de crescimento foi empreendida por Martley, em 1928, teria ele questionando que as tensões poderiam ser causadas pelo aumento de peso da árvore, durante o crescimento, após alguns cálculos, o autor

concluiu que o peso da árvore produziria apenas pequenas frações das tensões de crescimento. Segundo Post (1979), os valores obtidos por Martley corresponderiam aproximadamente a 1% da magnitude máxima comumente observada, sendo, portanto, bastante razoável desconsiderar a influência do peso da árvore.

Conradie (1980) relatou que Jacobs, no ano de 1938, foi um dos primeiros pesquisadores a sugerir que em determinado período de desenvolvimento das células, as tensões surgiam, resultado do possível encurvamento da nova camada de crescimento da madeira. Posteriormente, o próprio Jacobs (1945)<sup>2</sup> citado por Trugilho (2005), propôs uma nova teoria em que as tensões de crescimento surgiam em função da reação à tensão da seiva, ou seja, das forças capilares.

Consequentemente, Boyd (1950)<sup>3</sup> citado por Souza (2006), confrontou Jacobs alegando que ele considerou que as forças de sucção nas árvores são maiores na região do topo, visto que, nessa região as tensões possuem uma distribuição semelhante. Ressaltou, também, que as forças de sucção consideradas para a formação de tensão seriam capazes de causar colapsos nas fibras, o que, também, não acontece, normalmente.

Assim, surgiu uma nova teoria, na qual as tensões de crescimento são originadas em fibras recém-diferenciadas, ocorrendo uma tensão de tração longitudinal no câmbio, o que induz a uma tensão compressiva na seção transversal do caule. Sucessivas camadas de novos tecidos geram altas tensões compressivas longitudinais no cerne das árvores (JACOBS, 1965).

Alguns autores relataram que a origem está na camada cambial dos troncos das árvores, dentro do tecido da madeira, nas deposições consecutivas das novas camadas de células, a partir do câmbio, durante o desenvolvimento da árvore. A tendência é que as novas células promovam a expansão lateral, enquanto, ao mesmo tempo, se contraem no sentido longitudinal. A adição de novas camadas de células ao tronco causa um estado de tensão externa (tração). Estas tensões são distribuídas pelo tronco da árvore, de forma acumulativa, devido à sucessivas deposição de camadas e suas respectivas tensões. Essas interações resultam no surgimento de forças de compressão compensatórias na parte central do tronco (WILHELMY;

---

<sup>2</sup> JACOBS, M. R. The growth stresses of wood stems. BULL. Commonwealth Forestry Bureau, Canberra, n. 28, p. 1-67, 1945

<sup>3</sup> 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

KUBLER,1973; KUBLER, 1987; KAUMAN; GERARD; JIQING,1995; MALAN, 1995; SHIELD, 1995).

Posteriormente, diversos autores, também citaram que o surgimento das tensões ocorreria na fase de lignificação das células do câmbio, ao depositar a lignina nas paredes transversais das células, uma vez que se expandiam e provocavam uma retração no sentido axial (BOYD, 1972; HILLIS; BROWN 1984; CHAFE, 1979; SALES, 1986; KUBLER, 1987; AMARAL, 1991; LISBOA, 1993; SEVERO, 1998; TOUZA, 2001; SANTOS, 2002; CALONEGO, 2004; TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006; BELTRAME, 2010).

Lisboa (1993) ressaltou que as tensões, ocorrem em decorrência do inchamento e do alongamento ou encurtamento de células, devido ao processo de lignificação. Assim, qualquer alteração nas dimensões de uma célula, como resultado da lignificação de suas paredes em um estágio moderadamente avançado de sua diferenciação, força alterações similares em todo o tecido já diferenciado, ao qual a célula está firmemente presa. Inevitavelmente, o tecido maduro resiste à alteração forçada de suas dimensões, impondo, por sua vez, uma restrição na alteração da dimensão da célula. Esta restrição de movimentos de elementos presos uns aos outros, provocam o aparecimento de tensões (SALES, 1986; AMARAL, 1991; LISBOA, 1993; SEVERO, 1998).

Lisboa (1993) concluiu que existe concordância quanto à origem das tensões de crescimento, sendo geradas a cada nova camada de células formada, atuando longitudinal e transversalmente, em gradiente variável, a partir de uma tração nas proximidades da casca e uma compressão, na região da medula. O autor resalta que estas tensões distribuem-se pelo tronco da árvore de forma cumulativa, em função da deposição de sucessivas camadas.

Okuyama (1995) relata que as tensões de crescimento são geradas, sucessivamente, durante a fase do crescimento secundário. A tensão elástica acumula-se nas paredes celulares durante o período de crescimento, embora exista um relaxamento das tensões. Tanto o acúmulo quanto o relaxamento são devidos às características visco-elásticas das paredes das células.

Panshin e De Zeeuw (1980) e Del Menezzi (1999) alegaram que, na direção longitudinal, são observadas as mais severas formas de tensões, com uma distribuição que varia, de forma progressiva, no sentido casca-medula.

Opie *et al.* (1984), Rech e Silva (2001) suspeitaram que as causas das altas tensões estejam relacionadas também aos fatores genéticos, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação do fuste. Del Menezzi (1999) ressaltou que muitos fatores externos, ambientais ou silviculturais, relacionados a taxa de crescimento, tais como, a desrama, desbaste, espaçamento, manejo florestal, tipo de solo e o vento influenciam na intensidade das tensões de crescimento.

De acordo com Dinwoodie (1966), Nicholson (1973), Wilkins (1986) e Kubler (1987), as hipóteses para explicar a origem e magnitude das tensões de crescimento na madeira de eucalipto já levavam em consideração o fator intrínseco das espécies, a fisiologia mas, também, uma significativa influência ambiental, uma vez que podem ser controladas geneticamente e modificadas pelo ambiente.

Segundo Chafe (1979), as tensões de crescimento se distribuem ortotropicamente no fuste, ao longo dos três planos: longitudinal, radial e tangencial, podendo ser em função da tração ou compressão. As tensões longitudinais acontecem pelo encurtamento das fibras na periferia da árvore (tensões de tração) e pelo alongamento das fibras em direção à medula (tensões de compressão) (BOYD, 1950<sup>4</sup>, citado por SANTOS, 2002).

### 3.2.2 Metodologias empregadas na medição da tensão de crescimento

O crescente emprego da madeira do gênero *Eucalyptus* para produtos sólidos desencadeou diversas questões sobre níveis e variações das tensões de crescimento, proporcionando o desenvolvimento de diversas metodologias, sejam elas destrutivas ou não, para a melhor medição, além do entendimento, compreensão e discussão sobre o assunto.

De acordo com Beltrame (2012), a literatura informa alguns métodos para se medir as tensões de crescimento. Diversos autores desenvolveram metodologias destrutivas para avaliação dos níveis de tensão de crescimento, dentre eles, os método de Krilov e Ades (1985), Lisboa (1993) e Souza *et al.* (2003).

Outro meio para determinar a tensão de crescimento da árvore, consiste na variável de deformação residual longitudinal (DRL), usada como fonte de informação

---

<sup>4</sup> 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

nos estudos sobre o comportamento da madeira. Nicholson (1971) relatou que uma peça que possui tensões sofrerá uma deformação proporcional a este estado de tensão.

Um método bastante empregado nas medições da DRL decorrentes da tensão de crescimento, realizado nas árvores em pé, é através do extensômetro (CIRAD-Forêt), metodologia não destrutiva, normalmente mais simples e rápida, e com nível de precisão considerável. Essa técnica foi desenvolvida pelo Departamento do Centro de Cooperação em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (CIRAD), pertencente ao “Centre Technique Forestier Tropical” da França, que consiste na determinação da deformação residual longitudinal, medida através do extensômetro, a uma distância fixa, diretamente proporcional à tensão de crescimento na direção longitudinal, de forma rápida e fácil.

Segundo Trugilho, Lima e Mendes (2005) e Beltrame (2012) o método do CIRAD-Forêt possibilita a avaliação de grande quantidade de árvores no campo, tornando-se uma ferramenta bastante útil na seleção e classificação de genótipos, que apresentem diferentes níveis de tensões de crescimento, permite ainda a comparação entre árvores e o acompanhamento das alterações que possam ocorrer nos diferentes tratamentos para redução e, conseqüentemente, para seleção das espécies com baixas tensões de crescimento, visando estudos genéticos.

Gonçalves (2007) relatou que este método pode ser utilizado para a seleção de árvores para posterior desdobro, para o emprego de técnicas de clonagem de se estabelecer relações entre a magnitude das tensões de crescimento e características de crescimento da árvore, tais como o diâmetro na altura do peito (DAP) e a altura total.

Diversos autores empregaram o método acima citado para a avaliação da deformação residual longitudinal em diversas espécies do gênero *Eucalyptus*, a fim de corroborar na avaliação das tensões de crescimento, principalmente na produção da madeira com qualidade superior voltada para o mercado de produtos sólido, agregando valor ao produto final.

Beltrame (2010) relatou que outros métodos não destrutivos também podem ser utilizados para a medição das tensões de crescimento, como o Strain Gauge que mede a tensão através da compressão das fibras e o Stress Wave Time, que registra a velocidade da onda deslocada no material.

### 3.2.3 Efeitos decorrentes das tensões de crescimento

A tensão de crescimento, associada ao crescimento das árvores, influencia diretamente na qualidade e desvalorização da madeira serrada, conseqüentemente no produto final, resultando em baixo rendimento da madeira serrada, uma vez que proporciona rachaduras e empenamentos, principalmente para as espécies do gênero *Eucalyptus*.

Segundo Severo e Tomaselli (2000a), dentre os problemas na utilização do eucalipto, em particular como madeira serrada, utilizadas, para diversos fins, estão às tensões de crescimento, além da elevada retratibilidade e o colapso. Os defeitos mais frequentes, causados pelas tensões internas na madeira serrada de eucalipto, são as rachaduras de topo e superficiais, arqueamentos, encanoamentos e encurvamentos (VERMAAS, 2000; ROCHA; TOMASELLI, 2002).

O impacto das tensões sobre a madeira resulta no aparecimento de fendas, e rachaduras de topo e internas, ocorrendo no momento em que a pressão (tensão) está sendo liberada, ou seja, no momento em que a árvore está sendo derrubada (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; TRUGILHO *et al.*, 2006). As rachaduras de topo das toras ocorrem em função da combinação das tensões de compressão, próximas à casca, e tração, próxima à medula (SEVERO; TOMASSELI, 2000a).

Segundo Garcia (1995), o seccionamento das toras causa, principalmente, a redistribuição e a transformação das tensões longitudinais em tensões transversais que são as verdadeiras responsáveis pelo aparecimento de rachaduras. As rachaduras de desequilíbrio e as de topo são resultantes, também, das tensões de crescimento (BARISKA, 1990). As tensões de crescimento, no entanto são distintas das tensões de secagem, mas podem estar associadas (CHAFE, 1979).

Elevadas tensões de compressão no interior do tronco, que ao ultrapassarem a tensão de ruptura, ocasionam as fraturas de compressão podem, também, promover formação de cerne quebradiço (SHIELD, 1995; PONCE, 1995).

Para Miranda e Nahuz (1999) e Trugilho *et al.* (2006) os efeitos das tensões de crescimento podem ser observados nas toras após o corte das árvores e também nas tábuas, durante as operações de desdobro nas serrarias. Lisboa (1993) ressaltou que, durante a atividade de desdobro das toras, as rachaduras de topo normalmente

tendem a aumentar, principalmente se não forem utilizadas técnicas apropriadas que beneficiem o alívio simétrico e homogêneo das tensões.

Durante o processo de desdobro da madeira nas serrarias, novas tensões são liberadas e dependendo da magnitude, comprometem o rendimento do produto final. A tensão de crescimento proporciona, também, a redução do rendimento em madeira serrada e, até mesmo, em certos casos, inviabilizando sua utilização na indústria de transformação, levando ao aumento dos custos de produção (MIRANDA; NAHUIZ, 1999; CALONEGO; SEVERO, 2005; TRUGILHO *et al.*, 2006)

Pádua *et al.* (2004) afirmaram que as tensões de crescimento são as principais responsáveis pelos baixos rendimentos no processamento do eucalipto, em função da redução das dimensões das peças. Esta redução ocorre, principalmente, no comprimento das peças (VILLIERS, 1973). Nicholson (1973) ressaltou as restrições do uso desse material que são mais proeminentes em florestas jovens, devido ao diversos fatores intrínsecos à madeira, tais como a proporção de lenho juvenil no tronco.

Santini (1992) ressaltou que, durante o processo de secagem, normalmente, uma peça de madeira seca mais rapidamente nos extremos do que no centro, o que promove a formação de gradientes de umidade; assim, os extremos tendem a contrair-se transversalmente, mas são impedidos pelo restante da peça; como consequência, ocorre o desenvolvimento das tensões na madeira que, quando altas, promovem as rachaduras de topo.

Rocha (2000) ressaltou que, em alguns casos, os defeitos ou propriedades da madeira de *Eucalyptus* não exercem grande influência na sua utilização de forma serrada, ao mesmo tempo, podem dificultar ou até descartar a utilização de determinadas espécies. Além disso, o autor reitera que, entre todos os fatores que limitam a produção de madeira serrada de eucalipto, sem dúvida, o principal é a tensão de crescimento.

Cardoso Junior *et al.* (2004) ressaltaram que o fato das tensões de crescimento serem originadas de fatores genéticos e ambientais, o seu efeito será diferenciado de acordo com o material genético e a interação genótipo x ambiente.

As tensões de crescimento são responsáveis pelo aparecimento de rachaduras e empenamentos, que dificultam a utilização do eucalipto na produção de

madeira serrada (MALAN, 1995; SCHACHT *et al.*, 1998; TRUGILHO *et al.*, 2002; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003; HASELEIN *et al.*, 2004; LIMA *et al.*, 2004).

#### 3.2.4 Alternativas para minimizar as tensões de crescimento

De acordo com Ponce (1996), existe uma tendência de se atribuir as grandes taxas de crescimento às tensões de crescimento e suas consequências no eucalipto. Ao amenizar as tensões de crescimento é possível eliminar, em grande parte os defeitos oriundos da madeira durante o seu processamento mecânico e secagem (LISBOA, 1993; OLIVEIRA, 1999; LIMA *et al.*, 2004; CALONEGO, 2004; BELTRAME, 2010).

Vários estudos foram realizados com o objetivo de reduzir as tensões de crescimentos, alguns estudos, no entanto, indicam que é possível minimizar os efeitos das tensões internas, mas não eliminá-los (HILLS e BROWN, 1984; JARA *et al.*, 1997; LUZ *et al.*, 1992; OLIVEIRA, 1999).

Montagna *et al.* (1991) visando diminuir o efeito das tensões de crescimentos nas espécies de *Eucalyptus* constataram que o desdobro pelo sistema de corte a 1/3 do raio da tora, apresentou índices, de rachaduras nas tábuas, menores que quando desdobradas pelo sistema de cortes paralelos, o que reduziu, naturalmente os danos causados pelas rachaduras. Acosta (1999) concluiu que as tensões de crescimento podem ser aliviadas pelo desdobro, utilizando serra de fita dupla, promovendo cortes simultâneos, minimizando, assim, a tensão liberada.

Os métodos utilizados bem como a força que se exerce durante o corte de uma peça, influenciam diretamente na qualidade da mesma, uma vez que os diferentes tipos de corte envolvem um processo de tensão e ruptura na madeira (NÉRI *et al.*, 2006; VIDAURRE *et al.*, 2007).

Para Rocha e Tomaselli (2002), Calonego e Severo, (2005), o aprimoramento das técnicas de desdobro e secagem da madeira é de fundamental importância para a obtenção de um melhor rendimento das espécies de rápido crescimento e que possuem elevados níveis de tensões de crescimento. De acordo com Ferreira *et al.* (2005), Rocha e Tomaselli (2002) existem várias técnicas que podem ser adotadas, na obtenção e preparo das toras para redução das manifestações das tensões de crescimento.



Outra alternativa avaliada como forma de minimizar as rachaduras de topo, assim, como, às tensões existentes nas toras é o anelamento das árvores (AGUIAR; JANKWOSKY, 1986; SALES, 1986; KUBLER, 1987; ROZAS MELLADO, 1993; ROZAS MELLADO; TOMASELLI, 1993; ROCHA, 2000; MATOS *et al.*, 2003; CALONEGO, 2004).

Matos *et al.* (2003) constataram que, para a redução das tensões de crescimento, o anelamento do tronco da árvore com o uso de herbicidas e, apresentou bons resultados na redução das rachaduras na obtenção de tábuas. Yamamoto (2005), também ao utilizar herbicida, encontrou uma redução das tensões de crescimento nas toras tratadas com herbicida.

Souza (2006) concluiu, na fase do teste piloto, que a aplicação do herbicida mostrou-se eficiente na redução das tensões de crescimento nas toras das árvores. No experimento definitivo, o mesmo autor não verificou este efeito, não encontrando diferenças estatísticas entre as médias de tensões de crescimento medidas em árvores nas quais foi aplicado o herbicida e sem o tratamento. O autor justificou o ocorrido em função da influência de fatores externos, tais como o vento e peso das árvores.

A vaporização das toras também foi bastante empregada como forma de reduzir a tensão de crescimento, diversos estudos, ressaltou que processo de vaporização, mostrou-se eficiente na redução das tensões de crescimento (SKOLMEN,1967; LUTZ; PANZER,1969; KUBLER,1987; CHAFE, 1979; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987; WEIK *et al.*,1984; ROZAS MELLADO,1993; JARA *et al.*, 1997; TEJADA E OKUYAMA,1997; SEVERO,1998; SEVERO; TOMASELLI, 2000a, 2000b; YILGOR *et al.*, 2001; BORGES; QUIRINO, 2004; CALONEGO; SEVERO, 2005; SEVERO; CALONEGO; MATOS, 2010; PELOZZI, 2012;).

Quando passa a madeira pelo processo de vaporização a altera-se a cor (escurecimento), perda de massa, redução da resistência mecânica e aumento da rigidez (KOTILAINEN, 2000; HAKKOU *et al.*, 2003; HOFFMEYER *et al.*, 2003; REPELLIN; GUYONNET, 2003; BORGES; QUIRINO, 2004).

No processo de vaporização para redução das tensões de crescimento, Calonego e Severo (2005) verificaram para as toras vaporizadas, e não vaporizadas que, em geral, as toras de menor diâmetro apresentaram menor intensidade na

manifestação dos efeitos das tensões, quando comparadas com as toras de maiores dimensões.

Atividades silviculturais e o manejo florestal, bem como o melhoramento genético florestal, também podem colaborar para a redução da tensão de crescimento. De acordo com Shield (1995), o crescimento da tora em diâmetro, em função do desbaste, colaborou para a redução dos efeitos das tensões de crescimento sobre as peças serradas. O autor, no entanto, atribui isso a uma diminuição do gradiente de tensão com o aumento do diâmetro e não com a diminuição propriamente dita da intensidade da tensão.

Cardoso Júnior *et al.* (2005) reitera que o desbaste reduz a densidade populacional e, caso não ocorram novas orientações das copas das árvores remanescentes, os níveis de tensões podem ser reduzidos.

Diversos autores relataram que os menores níveis de tensão de crescimento e com melhor distribuição na circunferência do tronco podem ser alcançados através dos programas de melhoramento genético florestal (MALAN, 1995; SCHACHT *et al.*, 1998; MELO, 2004; TRUGILHO *et al.*, 2006).

### 3.2.5 Tensão de crescimento e característica da árvore e da madeira

O conhecimento da relação das tensões de crescimento e outras propriedades da madeira e sua variabilidade são essenciais para a avaliação da qualidade da madeira serrada para produtos sólidos, além dos recursos que podem ser utilizados, a fim de melhorar o seu processamento e uso.

Nicholson *et al.* (1975) concluíram que a inclinação e a distribuição da copa influenciam nas tensões de crescimento, mas não estão correlacionadas entre si. Os mesmos autores encontraram fortes correlações entre as tensões de crescimento e algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira. Clair *et al.* (2003) também encontraram relações significativas entre as tensões de crescimento e as propriedades físicas e mecânicas da madeira, especialmente na direção longitudinal

De acordo com Lima *et al.* (2004) dentre as várias propriedades avaliadas, apenas a densidade básica apresentou-se correlação significativa e positiva com a DRL, quando os clones foram avaliados conjuntamente. Os mesmos autores

mencionam que foi possível estimar a densidade básica da madeira, através de modelos múltiplos, mediante a associação com a DRL.

Souza (2002) encontrou relações positivas e significativas entre a deformação residual longitudinal com as densidades básica e seca da madeira, desvio da grã, contração volumétrica, radial e tangencial e resistência ao fendilhamento. Latorraca e Albuquerque (2000) ressaltaram que, em madeiras de baixa massa específicas, mais jovens e rápido crescimento, os defeitos causados pela liberação das tensões de crescimento são mais drásticos.

Segundo Silva (2002), o conhecimento e a compreensão relativa da variabilidade da madeira e das suas relações têm grande importância porque fornecem subsídios para as diversas áreas no setor florestal. O mesmo autor, ainda, relata que as informações geradas podem ser utilizadas para se melhorar a qualidade da madeira, como a obtenção de matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para determinado uso, além do entendimento do comportamento da madeira e seu melhor aproveitamento.

### 3.3 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

Segundo Scolforo (1994), o crescimento de uma árvore envolve o aumento gradual do valor das variáveis que dela se medem, consiste no acréscimo dos elementos dendrométricos (diâmetro, altura, área basal e volume), produzido pela atividade fisiológica da planta (meristemas apical ou cambial). Em termos de diâmetro, o crescimento se dá em função das atividades do câmbio vascular, a altura é resultante do meristema ou gema apical, através de divisões celulares sucessivas.

Diversos fatores, nem sempre são controlados, tais como os genéticos e ambientais, bem como suas interações, influenciam no crescimento das árvores, que poderão apresentar diferentes variações, quanto a sua altura, diâmetro, volume, área basal, e peso. Fatores climáticos, edáficos, biológicos e a própria competição entre as árvores, o tipo de vegetação e as ações antrópicas, também, afetam o crescimento das árvores (ENCINAS *et al.*, 2005).

O aprimoramento de técnicas, que contribuem para a mensuração das variáveis de crescimento, é de suma importância como ferramenta com o intuito de otimizar e identificar a produção de uma floresta, durante as atividades de inventário

e manejo florestal. Segundo Gonçalves *et al.* (2010), é de extrema importância o conhecimento da variabilidade entre os materiais disponíveis e as relações entre as características tecnológicas e dendrométricas.

As variáveis de crescimento, além de diretamente relacionados aos aspectos do desenvolvimento e estrutura das árvores, diversos autores também enfatizaram a relação dos aspectos dendrométricos com os níveis da tensão de crescimento.

### 3.3.1 Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht)

O procedimento na estimativa do volume individual utiliza equações, em que o volume é a variável dependente, associado às variáveis independentes, de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e a altura comercial (Hc) ou total (Ht) (MACHADO *et al.*, 2002).

De acordo com Martins (2012) o diâmetro é uma medida básica para o cálculo de diversas outras variáveis, a partir dele pode-se determinar a área transversal, área basal, volume, crescimento e quocientes de forma, além da alta correlação com altura e o volume.

Segundo Rocha (2011), os menores espaçamentos resultam em menor diâmetro quadrático, maior área basal, e maior volume total por hectare, além de menor porcentagem de sobrevivência. De acordo com Smith e Strub (1991) maiores espaçamentos produzem árvores com maior diâmetro à altura do peito (DAP), mas com altura similar à árvores com espaçamentos mais estreitos.

O aumento no diâmetro da tora, obtido por meio de desbaste ou ampliação do prazo de rotação, pode promover a redução dos efeitos da tensão de crescimento (SHIELD, 1995). Segundo Van Wyk (1978), as toras de diâmetro superior apresentam maiores potenciais para produzir tábuas de melhor qualidade.

Walker (1993) verificou a relação do diâmetro do tronco com o nível de tensão de crescimento e observou a mesma tensão de tração periférica para toras com diâmetros pequenos e grandes.

Lisboa (1993), Del Menezzi *et al.* (2001) ressaltaram que as toras com menores diâmetros são mais suscetíveis aos empenamentos e rachaduras, em função da liberação das tensões de crescimento, devido à sua menor seção para redistribuição dessas tensões.

Malan (1995) observou que as tensões de crescimento provocam rachaduras severas nas extremidades das tábuas e, segundo Garcia (1995) as rachaduras de extremidades da tora e os empenamentos na madeira serrada se agravam com o aumento da altura na árvore.

Os níveis de tensões de crescimento em relação à altura da árvores não apresentam um tendência clara, podendo variar em alguns padrões, sendo um deles a redução com a altura, (CHAFE, 1985; PURNELL, 1988; GAIOTTO, 1993; SCHACHT, 1998; DEL MENEZZI, 1999), outra é a de aumentar até o meio da árvore, e a partir desse ponto, novamente reduzir (YAO, 1979; MALAN, 1984) e, por último, de aumentar com a altura (CHAFE, 1981).

### 3.3.2 Projeção da copa das árvores

Entende-se por projeção de copa, a superfície coberta pela área vertical da copa de uma árvore (Bertolini *et al.*, 2012). Esta pode ser calculada através da medição de um determinado número de raios projetado na área da copa, sendo que este número pode variar de dois a oito raios (DURLO; DENARDI, 1998).

Através da projeção ou área de copa é possível conhecer o espaço ocupado por uma árvore e, conseqüentemente, estimar o número máximo de árvores para um plantio (Bertolini *et al.*, 2012)

Segundo Durlo (2001), a morfometria da copa de espécies arbóreas solitárias facilita a definição do espaço necessário para cada árvore no decorrer de seu crescimento, além de determinar o grau de concorrência entre os indivíduos de um povoamento florestal e fazer inferências sobre produtividade, vitalidade e estabilidade de cada indivíduo. Para Roman *et al.* (2009), o conhecimento sobre morfometria e suas relações e a dinâmica das forma das árvores, é algo de extrema importância para que ocorram avanços nas intervenções das práticas silviculturais, visando resultados economicamente viáveis.

Orellana e Koehler (2008) descrevem que os estudos sobre as relações morfométricas são importantes, pois fornecem informações úteis para estimativas da biomassa de copa e, ainda, permite fazer projeções para os plantios florestais. Wadsworth (2000) relata que a produtividade por unidade de área relaciona-se com a forma da copa.

Segundo Pretzsch (1995), o manejo florestal, orientado em sistemas ecológicos, com explicações do crescimento, baseadas em fatores biológicos, exige uma nova forma da modelagem na engenharia florestal: o uso de modelos de crescimento para árvores singulares que oferecem a vantagem de serem aplicados na produção de madeira de alta qualidade ou em florestas heterogêneas mistas.

Durlo (1996) e Durlo e Denardi (1998), ao trabalharem com as espécies *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma*, em florestas nativas secundárias, mediante o estudo do espaço vital da árvore individual, confirmaram a importância elementar das variáveis da copa para a modelagem do crescimento em diâmetro para as espécies estudadas. Isso justifica a realização de estudos que avaliem tais parâmetros, descrevendo a dimensão da copa e suas implicações para o manejo florestal.

Para Melo *et al.* (2007), a cobertura de copas merece destaque dentre os parâmetros estruturais dos reflorestamentos, uma vez que estão associadas a fatores ambientais, como controle da entrada de luz, diferentes níveis de umidade do ar e do solo e redução do impacto direto da chuva no solo.

As formas e dimensões das copas das árvores solitárias e sua modificação com o tempo adquirem, ainda maior, importância, dada à possibilidade de serem feitos diversos modelos matemáticos que utilizam o conceito de diâmetro potencial e de copa potencial, além dos modelos de crescimento dos povoamentos florestais. (HASENAUER, 1994; VANCLAY, 1994; HASENAUER; MOSER; ECKMÜLLNER, 1995; PRETZSCH, 1995; DURLO, 1996; DURLO; DENARDI, 1998; HASENAUER, 2000; DURLO *et al.*, 2000; DELLA FLORA, 2001; EINSPIELER, 2002).

A principal função das tensões de crescimento é fornecer um suporte para a árvore, mantendo a estabilidade e equilíbrio da copa, Kubler (1987) descreve que a árvore regula a posição da copa em resposta às condições ambientais que lhe são impostas, permitindo que a mesma se curve numa direção mais favorável.

Maestri, Nutto e Sartoro (2005) explicam que uma árvore de alta vitalidade, crescendo com baixa competição, possui um desenvolvimento de copa simétrico, com inclinação pelo vento reduzida, em função da maior estabilidade dimensional. Nesse caso, espera-se que as tensões de crescimento se desenvolvam em baixa intensidade, causando, pouca ou nenhuma, rachadura quando a árvore for cortada.

Scolforo (1997) relatou que caso o povoamento seja muito denso, o espaço para o crescimento de cada árvore é reduzido, comprometendo o desenvolvimento da copa, e, conseqüentemente, afetando a quantidade e qualidade da produção.

### 3.4 QUALIDADE DA MADEIRA

Sabe-se que a madeira pode oferecer diversos produtos, devido as suas propriedades, a caracterização da madeira quanto aos parâmetros anatômicos, químicos, físicos e mecânicos proporcionam a melhor utilização e aplicação da madeira obtendo o produto final desejado com as exigências do mercado consumidor. Isso contribui para o fato dessa matéria-prima ser capaz de atender aos mais diferentes tipos de uso.

De acordo com Lobão *et al.* (2004), o potencial de utilização múltipla da madeira de eucalipto é crescente, principalmente se adotar o conceito de floresta de aplicação ampla, ou seja, pode-se conseguir diferentes tipos de floresta para cada um dos produtos a serem obtidos, havendo a possibilidade de se explorar todo o potencial das espécies do gênero *Eucalyptus*.

Segundo Vidaurre (2006), torna-se necessária a incorporação de novas tecnologias para obtenção da madeira serrada de qualidade superior. Assim, a seleção do material baseia-se nesta produtividade e nas características tecnológicas favoráveis ao processo de geração do produtos sólidos de madeira.

Ponce (1995) destacou que, em função das pesquisas laboratoriais e de campo, é possível a produção de madeira serrada de eucalipto de qualidade, com o intuito de identificar os melhores espécies e clones, tratos silviculturais e de manejo, investigação dos melhores métodos de propagação, espaçamento, desrama, ciclos de rotação, bem como a identificação dos melhores procedimentos de colheita e processamento da madeira.

Para Ferreira *et al.*(2006), o aumento da produtividade das florestas de eucalipto é proporcionado pelo clima favorável, seleção de sítios adequados e programa de melhoramento genético.

De acordo com Castelo *et al.* (2008) as características da madeira são resultantes da interação entre o potencial hereditário da árvore e as condições

ambientais, no que diz respeito ao ambiente, a influência de alguns de seus fatores sobre as propriedades da madeira tem sido alvo de investigações.

As características da madeira podem variar ao longo do tronco e no sentido base-topo, diversos fatores, tanto ambientais quanto genéticos, além dos tratamentos silviculturais, influencia na qualidade da madeira. A madeira para serraria envolve diversos parâmetros, tais como a homogeneidade, diâmetro adequado ao processo, baixa tensão de crescimento e poucas rachaduras, grã direita, ausência de nós, forma retilínea e cilíndrica do fuste, ausência do ataque de organismos xilófagos, menor porcentagem de alborno, maior presença de madeira adulta, ausência de exsudados e medula centralizada (VIDAURRE, 2006)

Boof (2005) ressalta que árvores com diâmetro elevados e rápido crescimento não necessariamente produzem madeira de boa qualidade, o conhecimento das técnicas de processamento e secagem, bem como o controle das etapas de produção podem influenciar na obtenção de um produto de qualidade.

Souza *et al.* (2012) ressaltaram que aliado à elevação do valor econômico e escassez das madeiras mais nobres, o uso diversificado das espécies do gênero *Eucalyptus* vem apresentando um papel fundamental no setor florestal brasileiro. Trevisan (2010) realça que o uso de florestas plantadas é uma tendência mundial de expansão dos mercados para a “madeira ambientalmente correta” e certificada com o chamado “selo verde”.

Segundo Jankowsky (1979), a madeira é julgada pela sua qualidade para o uso a que foi destinada: na fabricação de compensados, na produção de celulose e papel ou após o desdobro nas serrarias. O mesmo autor relatou que essa qualidade é avaliada por parâmetros, como densidade, comprimento de fibra, ângulos das fibrilas, que afetam, diretamente, as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Kollmann e Côté (1968) explicam que os fatores ambientais, como solo, temperatura, precipitação e ventos, juntamente com as tendências hereditárias e influências fisiológicas e mecânicas, também afetam a estrutura da madeira. Zobel e van Buijtenen (1989) relataram que a taxa de crescimento e, conseqüentemente, as propriedades das fibras e da madeira são afetadas pela qualidade do sítio e pelos tratamentos silviculturais.

O conhecimento das características físicas da madeira é de suma importância no que tange à sua qualificação para atender a diversos usos. Para Ballarin (2005) a



avaliação do potencial tecnológico de espécies florestais, com disponibilidade comercial, é iniciada pela caracterização de suas propriedades físico-mecânicas. O autor ressalta que a utilização intensiva da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos só pode ocorrer a partir da noção adequada de suas propriedades, por isso, o aprimoramento no emprego de novas tecnologias para transformação e uso racional da madeira na geração de novos produtos, requer o conhecimento de suas características físicas e mecânicas.

Zobel (1981) relata que a qualidade da madeira somente pode ser alterada através do processo de formação da própria madeira. Portanto, modificar, controlar, minimizar ou melhorar os fatores relacionados à qualidade da matéria prima, através de tratamentos silviculturais, seleção e melhoramento genético são de suma importância. De acordo com Gonçalves *et al.* (2004), no entanto, a adaptação das plantas aos fatores ambientais, tais como a disponibilidade de luz, temperatura e pluviosidade, podem causar um efeito mais significativo na produtividade e qualidade da madeira do que os tratamentos silviculturais.

A qualidade da tora vai depender, também, da sua conicidade, tortuosidade, bifurcação, presença de nós, excentricidade da medula, inclinação de grã, rachaduras, proporção do cerne e alburno.

Para Vital (2008), a conicidade afeta a classificação das toras, aumenta os resíduos, reduz o rendimento e modifica as propriedades mecânicas da madeira serrada. A tortuosidade limita o comprimento das peças produzidas, além do rendimento, o que promove o aumento de resíduos (MANHIÇA, 2010; Vital, 2008).

As propriedades da madeira variam no sentido radial em maior ou menor magnitude, dependendo da espécie, idade e posição longitudinal no tronco (LOPES, 2007). De acordo com Silva *et al.* (2005), a otimização do aproveitamento da madeira sólida ocorrerá com o conhecimento da sua variação radial no lenho das árvores de eucalipto.

No Brasil, grande parte das florestas de eucalipto é manejada para a produção de árvores de pequenos diâmetros para produção de celulose ou energia, sem grandes preocupações com a qualidade da madeira, é muito difícil o seu aproveitamento na produção de madeira serrada e posterior transformação em móveis, esquadrias e outros produtos de maior valor agregado (MÜLLER, 2013)

Amparado *et al.* (2008) enfatizaram que os preconceitos atribuídos ao uso da madeira de eucalipto na indústria de serrados são provenientes da utilização incorreta e da falta de novas tecnologias que permitam otimizar as características do produto final.

Entretanto, um dos fatores que afeta a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus*, apesar dos diversos usos, é a propensão a rachaduras e empenamentos, limitando sua utilização para usos mais nobres (LIMA, 2005), atribuídos, muitas vezes, às tensões de crescimento.

De acordo com Assis (2000), a análise da madeira para serraria, realizada em várias espécies e híbridos de eucalipto, demonstra altos níveis de variabilidade para a maioria das características, o que proporciona a seleção de árvores com propriedades tecnológicas e características desejáveis.

Rozas Mellado (1993) recomendou que, para os plantios de eucaliptos destinados à serraria, devem ser desenvolvidos programas de melhoramento genético, visando, principalmente, à redução das tensões de crescimento, o que permite a obtenção de um maior aproveitamento da madeira. Rocha (2000) ressalta que a maioria dos defeitos proporcionados pela tensão de crescimento podem ser alterados por fatores genéticos.

### 3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

#### 3.5.1 Massa específica da madeira

Silva (2002) ressalta que a massa específica é uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido à sua íntima relação com outras propriedades, tornando-se um parâmetro bastante utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial.

A densidade é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume e está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas da madeira (REZENDE *et al.* 1995; SHIMOYAMA, 1990; LOBÃO *et al.* 2004;) Segundo Shimoyama (1990), a densidade é um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais propriedades.

Muitos autores identificam a massa específica como uma propriedade importante da madeira na obtenção dos produtos florestais, porque tem um efeito importante sobre o rendimento e qualidade de produtos fibrosos ou sólidos (BHAT, 1985). Silva (2002) descreve a importância da massa específica para avaliação da qualidade da madeira, sendo considerada importante na confecção dos produtos como resultados de suas características anatômicas e químicas.

Benjamin (2006) afirma que a massa específica é de grande importância na caracterização da madeira por sua relação com a organização estrutural da mesma. Ruy (1998) relatou que a massa específica da madeira é também utilizada como parâmetro de seleção, uma vez que sofre influência genética, do ambiente e da interação entre eles.

A massa específica é considerada como uma medida para a qualidade da madeira (OLIVEIRA, 1988; ZOBEL; VAN BUITJENEN, 1989, TRUGILHO *et al.* 1996; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; WOODCOCK; SHIER, 2002, CRUZ; LIMA; MUNIZ, 2003; CASTELO *et al.*, 2008), numerosos autores classificaram as espécies com base na massa específica, uma vez que é o melhor índice que pode ser facilmente medido para prever as propriedades de resistência da madeira (BHAT, 1985; AMARASEKERA, 1995).

Alguns autores retrataram que a massa específica na caracterização tecnológica da madeira contribui na sua qualificação na atividade industrial, devido à elevada correlação com outras propriedades, entre elas, a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (TRUGILHO *et al.* 2005).

Dentre as diversas propriedades físicas da madeira, a massa específica é uma das mais utilizadas, pois se correlaciona diretamente com a maior parte das outras propriedades e também com a composição celular da madeira, demonstrando seu comportamento durante os processos tecnológicos e industriais e a qualidade final (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005, BATISTA *et al.*, 2010).

Chimelo (1980), Gérard *et al.* (1995) afirmaram que, quase sempre, a massa específica se apresenta correlacionada com a retratibilidade, secagem, trabalhabilidade, impregnabilidade, durabilidade natural e várias propriedades mecânicas. Relaciona-se, também, à estrutura anatômica e composição química (HILLIS; BROWN, 1984; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004; TRUGILHO *et al.*,

2005), resistência mecânica, estabilidade dimensional e qualidade da superfície usinada (LOPES, 2007).

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), a densidade básica em função da idade da árvore, em geral, cresce ligeiramente durante o período juvenil, depois, mais lentamente, até atingir a maturidade, permanecendo depois, mais ou menos, constante. A madeira de lenho tardio apresenta densidade básica superior à do lenho juvenil.

Latorraca e Albuquerque (2000) verificaram um aumento da massa específica, bem como na espessura da parede celular em anéis sucessivos, a partir do centro para a periferia do tronco da árvore, no sentido medula-casca, para as espécies de *Pinus* plantadas no Brasil. Os autores também constataram que a densidade tende a aumentar com a idade, com conseqüente aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células. A massa específica é influenciada pela variação da largura dos anéis de crescimento, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras e traqueídeos (HILLIS; BROWN, 1984; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004).

Para Oliveira *et al.* (2005), a determinação da massa específica básica e de sua variação entre indivíduos e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal, base-topo, quanto no sentido radial, da medula para a casca, é essencial como subsídio para a qualidade da madeira.

Segundo Trugilho *et al.* (2005), a variação longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto apresenta as seguintes tendências: i) decrescente no sentido base-topo; ii) crescente a partir do DAP; ou iii) valores alternados decrescentes e crescentes.

Diversos autores afirmaram que a densidade básica varia tanto no sentido longitudinal quanto radial (HUA LEI *et al.*, 1997; BAO *et al.*, 2001; WOODCOCK; SHIER, 2002; AMARASEKERA; DENNE, 2002; RUWANPATHIRANA, 2002; LIN *et al.*, 2012), em função de diversos fatores, tais como, a taxa de crescimento das árvores, idade, características climáticas, tratos silviculturais, qualidade do sítio, local de amostragem no tronco dentro da mesma espécie e entre as espécies (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; TOMAZELLO FILHO, 1985).

Entretanto, Gonçalves *et al.* (2004) concluíram que não há regra específica para explicar o efeito das diferentes práticas silviculturais na densidade da madeira.

Afirmaram, ainda que os fatores ambientais, como disponibilidade de luz, pluviosidade e temperatura causam efeitos mais significativos na composição da madeira.

De acordo com Lopes e Garcia (2002) as variações da massa específica entre espécies estão relacionadas às suas características anatômicas, como, por exemplo, o comprimento e largura da célula, espessura da parede celular, diâmetro do lume e proporção e distribuição dos tecidos no lenho.

Hillis (2000) afirmou que o limite da massa específica para espécies do gênero *Eucalyptus* fica entre 0,60 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, para as madeiras adultas, e entre 0,40 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, para as madeiras mais jovens.

A massa específica pode ser uma boa indicadora da qualidade da madeira, devido a várias correlações com outras propriedades; entretanto, ela não indica, de forma direta e conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões de fibras, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos (OLIVEIRA, 1990; LIMA *et al.* 2000). Englert (1966) relatou que a qualidade da madeira sólida é quase sinônimo de sua massa específica, mas ressalta que tal propriedade não deve ser considerada como único parâmetro de decisão para um determinado uso.

Lopes *et al.* (2011) concluíram que as características físicas da madeira das espécies de eucalipto variam, significativamente, no sentido radial, sendo, dessa forma, importante demarcar a região do lenho com maior massa específica básica e menor variação dimensional para a produção de peças para o setor mobiliário.

Zobel e Jett (1995) sugeriram que, nas pesquisas de melhoramento genético, o delineamento da seleção de matrizes leve em consideração apenas as propriedades da madeira adulta, uma vez que o valor genético da madeira juvenil apresenta menor importância.

### 3.5.2 Retratibilidade da madeira

A madeira é um material orgânico, heterogêneo e com uma estrutura bastante complexa, porosa e altamente higroscópica, ou seja, possui a capacidade de absorver ou perder umidade, de acordo com as condições do ambiente na qual se encontra, buscando sempre uma condição de equilíbrio com o meio.

A retratibilidade da madeira deve ser definida como a variação dimensional da madeira, em função da troca de umidade com o meio, até atingir o teor de equilíbrio

higroscópico. Essa variação pode afetar as características da madeira, como a resistência mecânica. A madeira incha ou retrai com o aumento ou a diminuição desta umidade (DAGOSTINI, 2006)

Segundo Oliveira *et al.* (2010), o princípio da retratibilidade se deve ao fato de que as moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio às microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira, e quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço. Nesse caso, as forças de coesão existentes tendem a reaproximar essas microfibrilas, causando, portanto, a contração da madeira, como um todo. O fenômeno da expansão é o inverso, ou seja, quando a água adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas e causa o seu afastamento e o conseqüente inchamento da peça de madeira.

A contração condiciona as deformações das peças de madeira, durante o processo de secagem, sendo, portanto, responsável pelos problemas apresentados pela madeira (KLOCK, 2000).

Panshin e De Zeeuw (1980) e Moreira (1999) afirmaram que a maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial e por último no sentido longitudinal, praticamente desprezível.

Segundo Panshin e De Zeuw (1980), as contrações longitudinais e transversais variam, basicamente, de acordo com a interação da quantidade de substância presente na madeira, com a média do ângulo microfibrilar nas paredes das células, em relação ao eixo longitudinal da célula e com a extensão da lignificação da parede da celular.

Para Skaar (1972), a ordem de grandeza da contração entre o ponto de saturação das fibras e o estado completamente seco, para as madeiras da maioria das espécies (folhosas e coníferas), varia entre 6,0 e 12,0%, para a contração tangencial, 3,0 a 6,0%, para a contração radial, e 0,1 a 3,0%, para a contração longitudinal.

As variações nas dimensões nas peças de madeira começam a ocorrer quando se perde umidade abaixo do ponto de saturação das fibras que, de modo geral, situa-se ao redor de 30% de umidade, essas variações dizem respeito a sua contração ou inchamento (REZENDE E ESCOBEDO, 1988).

Segundo Durlo e Marchiori (1992) um dos índices mais importantes para avaliar a estabilidade dimensional da madeira é O coeficiente de anisotropia. O coeficiente de anisotropia ou fator anisotrópico é determinado pela razão entre as retrações tangencial (T) e radial (R) é um importante índice no estudo das retrações. Quanto mais elevado, maior a probabilidade de formação de fendas (rachaduras) e empenamentos na madeira (OLIVEIRA, 1988). As espécies com baixa relação T/R e baixos valores absolutos de T e R, são as de melhor estabilidade dimensional (CALIL JUNIOR *et al.*, 1997).

Silva e Oliveira (2003) enfatizaram que, devido à elevada anisotropia dimensional, que ocorre na maioria das madeiras de eucalipto, torna-se imprescindível o conhecimento dos mecanismos físicos que regem os fenômenos de retratibilidade. De acordo com Oliveira (1997), o conhecimento das propriedades higroscópicas é, sem dúvida, de grande importância para a utilização bem-sucedida da madeira.

Uma anisotropia de contração com um valor igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, o que seria uma situação considerada ideal e que não provocaria a formação de tensões internas (DURLO e MACHIORI, 1992; KLOCK 2000).

Klitzke (2007) classificou a variação do coeficiente de anisotropia como:

- i)  $< 1,5$  – madeira considerada muito estável;
- ii) 1,6 até 2,0 – madeira considerada de média baixa estabilidade;
- iii) 2,0 até 2,5 – madeira de média instabilidade;
- iii)  $> 2,6$  – madeira considerada muito instável.

De acordo com Durlo e Marchiori (1992), as variações dimensionais são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades e exigindo, por isso, o emprego de técnicas específicas de processamento e utilização.

### 3.6 RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA

As informações quanto às propriedades mecânicas são de grande importância para a qualidade da madeira, avaliando os limites de resistência e aplicabilidade para determinado fim, principalmente limitando o uso da madeira como material estrutural, dependendo da situação.

As propriedades mecânicas são dependentes, principalmente, da massa específica básica, porcentagem de madeira juvenil, largura dos anéis, ângulo das microfibrilas, inclinação da grã, quantidade de extrativos, teor de umidade, intensidade do ataque de organismo xilófagos, quantidade de nós, além da espécie, procedência, idade, sítio (LADRACH, 1986; EVANS *et al.*, 2000).

As propriedades mecânicas da madeira também são influenciadas por diversos fatores. Pfeil e Pfeil (2003) citaram que os fatores mais importantes são a posição na árvore, umidade, tempo de duração da carga e estrutura da madeira. Green *et al.* (1999) mencionaram que as propriedades mecânicas são afetadas pelas mudanças no teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, em geral reduz com o aumento do teor de umidade.

De acordo com Stangerlin *et al.*, (2008), as propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas e, por analogia, sugerir as provas adicionais necessárias para conhecer sua utilização.

Panshin e De Zeeuw (1980) relataram que as propriedades mecânicas podem ser modificadas pela presença de extrativos que se adicionam à massa lenhosa, aumentando, principalmente, a resistência à compressão axial da madeira. Os autores ainda, mencionaram que sua resistência a alguma forma particular de aplicação de esforços é uma função, não só da quantidade total da parede celular, mas, também, da proporção dos componentes das células estabelecidas em dada espécie e da quantidade de extrativos presentes no lumen das células

Para as espécies do gênero *Eucalyptus*, Oliveira (1997) citou que a madeira não apresenta restrições quanto à resistência mecânica, variando de baixa a muito elevada.

O entendimento das características da madeira é essencial para seu efetivo uso. Desta forma, para se classificar a madeira em categorias de resistência, é necessário conhecer também os fatores que afetam a madeira e suas características de resistência (BENDTSEN, 1978)



### 3.6.1 Compressão paralela às fibras

A resistência é determinada, convencionalmente, pela máxima tensão que pode ser aplicada aos corpos de prova, isentos de defeitos (RODRIGUES, 2002). A resistência à compressão paralela às fibras ou compressão axial da madeira referem-se à carga suportável por uma peça de madeira, quando esta é aplicada na direção paralela às fibras.

De acordo com Bertolini *et al.* (2012), a compressão paralela às fibras consiste no fornecimento do módulo de elasticidade, que determina a rigidez da madeira nesta direção, na fase de comportamento elástico-linear. Geralmente, esta propriedade é empregada para dimensionamento de colunas e vigas, de ligações ou para comparação entre espécies. Lin *et al.* (2007) ressaltaram que a resistência e a rigidez da madeira à compressão paralela às fibras da madeira constituem parâmetros importantes para aplicações estruturais.

De acordo com Calil Junior *et al.* (1997) a resistência varia de acordo com os três eixos principais, a resistência deve ser analisada nas direções paralela e normal às fibras. As propriedades de resistência e rigidez na direção paralela às fibras são caracterizadas pelo índice "0", enquanto o índice "90" caracteriza as da direção normal. Esse índice indica o ângulo entre a direção com o esforço aplicado e a direção das fibras.

Segundo Scanavaca Junior e Garcia (2004), a resistência à compressão axial, também conhecida por compressão paralela às fibras, consiste na determinação da resistência e rigidez de um lote de madeira considerado homogêneo, através da máxima tensão de compressão que pode atuar na madeira.

Klock (2000) mencionou que a resistência da madeira à compressão pode ser determinada, também, em pequenas amostras de madeira, livres de defeitos, pela aplicação de carga no sentido axial da peça ou paralelamente às fibras, sendo importante na utilização da madeira, como material de construção (telhados, caibros, pilares etc.).

Pereira (2009) ressaltou que a massa volúmica é um dos fatores que interfere na resistência à compressão axial da madeira, comprovando-se que existe uma relação linear entre as duas grandezas: quanto maior for o valor da massa volúmica,

maior será também o valor da resistência à compressão, neste caso, para peças isentas de defeitos.

De acordo com Franco e Rabelo (1986) a determinação do módulo de elasticidade e tensões de limite de proporcionalidade e limite de resistência na flexão e compressão são as mais importantes para aplicações estruturais.

### 3.6.2 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são de suma importância na caracterização tecnológica da madeira tem, como objetivo, a determinação da resistência e rigidez da madeira, com o intuito de direcionar as possíveis utilizações e limites da madeira.

A rigidez do material é expressa pelo módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear, medindo a aptidão para resistir à deformação quando submetida a determinada carga e esforços, assim, um material de difícil deformabilidade pode ser chamado de rígido (MATOS, 1997) e quanto menor for esta deformação, melhor é a aptidão da madeira para fins estruturais (TSOUMIS, 1991).

Segundo Yang e Evans (2003) Scanavaca Junior e Garcia (2004) para a avaliação de madeira, a rigidez, indicada pelo módulo de elasticidade, encontra-se entre as propriedades mecânicas mais importantes.

Klock (2000) ressalta que a elasticidade é a propriedade que têm os corpos de armazenar, sob a forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação, provocado por uma solicitação externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente, quando desaparece a causa da deformação. De acordo com o mesmo autor, a elasticidade é uma característica dos corpos sólidos, abaixo de certos limites de tensão. Acima destes limites, as deformações podem ocorrer.

O módulo de elasticidade é sempre obtido abaixo do limite de proporcionalidade. Acima do limite proporcional, as deformações sofridas pelo material se tornam plásticas e são irreversíveis (KOLLMANN; COTÊ, 1968; TSOUMIS, 1991; MATSUNAGA, 1995; MATOS, 1997; KLOCK, 2000).

O módulo de ruptura expressa a resistência da madeira quando submetida a um esforço, com o intuito de obter a tensão admissível para a sua correta utilização. Segundo Matos (1997), a resistência, também, é definida como o esforço máximo que

ocorre antes da ruptura do material e alguns materiais possuem reservas consideráveis de resistência entre o limite elástico e a resistência máxima.

Segundo Silva *et al.* (2005) essa avaliação da resistência da madeira, é requisito básico para a sua utilização sólida, atendendo às exigências do esforço estrutural. Green *et al.* (1999) relataram que as tensões mais elevadas proporcionam deformações plásticas ou rupturas.

Rocha *et al.*(1988) descreveram que a deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um limite de proporcionalidade, no qual um pequeno incremento de carga provoca a deformação irrecuperável (deformação plástica) chegando até a ruptura.

O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras pode ser medido através de diversos ensaios mecânicos, entre eles o ensaio de compressão paralela às fibras. A avaliação da rigidez da madeira indicada pelo módulo de elasticidade encontra-se entre as propriedades mecânicas mais importantes e dão uma boa aproximação da resistência do material (YANG; EVANS, 2003; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004, FERREIRA *et al.* 2010).

De acordo com Ferrante (2002), o MOE é uma propriedade intrínseca do material e depende tanto da rigidez das ligações atômicas como da densidade das ligações.

### 3.7 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

São diversos os fatores que podem influenciar nas propriedades da madeira, afetando, direta ou indiretamente, a sua qualidade e produto final de interesse. Latorraca e Albuquerque (2000) ressaltaram que vários estudos procuraram identificar os fatores que influenciam as propriedades da madeira, inclusive mostram que estes fatores podem ser inerentes à própria madeira e também, ao ambiente.

Segundo Gonçalves *et al.* (2010) nas florestas plantadas, diversas são as atividades silviculturais que devem ser observadas quando o objetivo é a produção de madeira sólida de qualidade. Os mesmos autores ainda mencionaram que os tratamentos silviculturais mais importantes são: a densidade de plantio, desbaste e desrama, que contribuem para definir a qualidade da madeira. A preparação do solo e a adubação, também, podem modificar o comportamento celular da árvore e, conseqüentemente,

a sua qualidade (SCHÖNAU; COETZEE, 1989; WILKINS; HORNE, 1991; ZOBEL, 1992; PINHEIRO, 1999; FINGER *et al.*, 2001; BERGER *et al.*, 2002; GONÇALVES *et al.*, 2004; LEITE *et al.*, 2004).

A intensidade da variação no lenho da árvore ocorre, de acordo com Zobel e Jett (1995), devido aos fatores genéticos, ambientais e a interação entre estes dois fatores. Segundo Carneiro (2006), as propriedades da madeira variam conforme a espécie, idade, posição geográfica, clima e condições do solo em que a floresta foi plantada.

O ambiente e a sua manipulação podem afetar as características da madeira e, conseqüentemente, sua qualidade. As propriedades da madeira de árvores plantadas, em um ambiente exótico, podem, muitas vezes, ser significativamente diferentes daquelas plantadas em ambientes nativos (SHIMOYAMA, 1990; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Trugilho e Silva (2004) relataram que a madeira, além de ser um material altamente heterogêneo, possui variações entre espécies, e, dentro de uma mesma espécie, entre árvores, e até mesmo, em nível celular. Essas variações podem ser atribuídas, principalmente, a fatores genéticos e ambientais. De acordo com Varghese *et al.* (2000), as propriedades das madeiras podem ser influenciadas diferentemente pela taxa de crescimento das árvores.

Monteiro *et al.* (2010) destacam que os fatores ambientais são responsáveis pelas modificações no lenho, como o clima, solo, topografia, entre outros. Os mesmos autores, ainda, enfatizaram que árvores plantadas em encostas e susceptíveis à ação de ventos, tendem a formar um lenho diferenciado, denominado lenho de reação.

Diversos autores descreveram que a maioria das espécies madeireiras apresentam variações dos seus parâmetros anatômicos, físicos, mecânicos e químicos no tronco das árvores, no sentido medula-casca, e na maioria das vezes, essas variações são maiores nesse sentido do que da base ao topo (CRUZ; LIMA; MUNIZ, 2003; LIMA; GARCIA, 2010).

MALAN (1995) ressaltou que ocorre uma grande variação das propriedades das madeiras no sentido medula-casca, uma vez que a extensão é determinada, principalmente, pela presença de madeira juvenil e a sua proporção no tronco das árvores.

O teor de umidade, também, afeta a resistência da madeira. Com o aumento da umidade, há redução da resistência mecânica até ser atingido o ponto de saturação das fibras, acima desse ponto a resistência se mantém constante (STANGERLIN *et al.*, 2010). Oliveira e Silva (2003) mencionaram a importância da análise da umidade, pois, além de afetar a resistência mecânica da madeira, afeta, também a trabalhabilidade, estabilidade dimensional e durabilidade natural (FREITAS, 1982; HASELEIN, *et al.*, 2002).

Para HARRIS (1981) e, posteriormente, verificado por Malan e Hoon (1992), o crescimento mais rápido da população decorrente de espaçamentos mais amplos, tanto em coníferas quanto em folhosas, proporcionam a redução da densidade e da resistência da madeira, além de aumentar o gradiente na direção medula-casca.

Trugilho *et al.* (1996) descreveram que a madeira pode apresentar diferentes propriedades, em função da idade e dos tratamentos silviculturais, aos quais são submetidas. Os mesmos autores, relataram que as variações na composição química, física e anatômica da madeira são grandes entre espécies, embora também ocorram dentro da mesma espécie, em função, principalmente, da idade, fatores genéticos e ambientais.

De acordo com Chies (2005) o espaçamento além de ter influência marcante na produção, afeta significativamente os custos de implantação, manutenção e exploração da floresta, bem como afeta a qualidade da madeira produzida.

### 3.8 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

A demanda por produtos de base florestal está cada vez maior e junto cresce a exigência por produtos de qualidade, que estão associados às propriedades da madeira. A fim de obter eficiência no processo produtivo e no produto final, torna-se necessário a busca de novas tecnologias que garantam uma avaliação cada vez mais precisa dos parâmetros de qualidade da madeira e do produto final.

De acordo com Ribeiro (2009), o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como o aprimoramento de técnicas já conhecidas é o modo mais eficiente de melhorar a qualidade dos produtos fabricados pela indústria florestal e, conseqüentemente, utilizar de forma racional o potencial madeireiro do Brasil.

As avaliações não destrutivas são ferramentas alternativas, utilizadas para a caracterização de materiais. Têm sido desenvolvidas com o objetivo de substituir os métodos tradicionais de avaliação. A avaliação não destrutiva tem grande importância para a caracterização da madeira, podendo ser utilizada pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos processos, por meio de uma maior uniformidade na matéria-prima e seus derivados (ERIKSON *et al.*, 2000).

Uma das alternativas é a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR -Near Infrared Spectroscopy), que é um método indireto, rápido e preciso para a predição de muitas propriedades da madeira. A utilização desta técnica na avaliação de algumas propriedades da madeira pode reduzir o tempo, o custo e as perdas de material, principalmente em peças com alta incidência de defeitos, (HEIN *et al.*, 2009).

Segundo Williams e Norris (2001), a técnica NIR consiste na exposição de uma amostra ao espectro, na região de comprimento de onda, que varia entre 750 a 2.500 nm e a consequente correlação dos mesmos com resultados de análises laboratoriais convencionais, para a geração de um modelo estatístico, de forma a explicar e correlacionar a maioria das informações contidas nos espectros.

As primeiras aplicações analíticas desta técnica ocorreram no final da década de 1950 e a primeira aplicação importante foi na década de 1960, quando Karl Norris iniciou o seu emprego no estudo de matrizes complexas, de origem natural, como produtos agroindustriais (KUBELKA; MUNK, 1931<sup>5</sup> citado por SIMÕES, 2008). A partir deste momento, o interesse pela espectrometria NIR cresceu notavelmente e esta técnica foi reconhecida como uma poderosa ferramenta para análises quantitativas e qualitativas de parâmetros químicos e físicos (TSUCHIKAWA, 2007).

Para exemplo, Ben-Gera e Norris (1968) utilizaram a espectroscopia NIR para determinação da umidade, proteína e concentrações de óleo, em grãos de cereais e sementes oleaginosas. De acordo com Burns e Ciurczak (2008), a partir de 1990, o uso da tecnologia da espectroscopia NIR ficou frequente em muitas indústrias de diferentes setores (agricultura, alimentos, papel, petroquímica, polímeros e têxtil).

A espectroscopia no infravermelho próximo surgiu como uma técnica de avaliação não invasiva para materiais orgânicos, sendo largamente utilizada para o

---

<sup>5</sup> KUBELKA, P.; MUNK, F.Z. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. Zeits.f. Tech. Physik., 12, p. 593-601, 1931.

controle da qualidade e o monitoramento de processos em diversas indústrias, inclusive de base florestal (BAILLÈRES *et al.*, 2002)

A técnica da espectroscopia do infravermelho próximo é o estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria, que se distribui em diversas regiões de energia que correspondem a diferentes técnicas de espectroscopia (EISBERG; RESNIK, 1986). A região espectral do infravermelho compreende o intervalo de comprimento de onda de 0,78  $\mu\text{m}$  até 1000  $\mu\text{m}$  (12.800 a  $10\text{ cm}^{-1}$ ). Essa região divide-se em infravermelho próximo, médio e distante (SAMISTRARO, 2008).

A espectroscopia no infravermelho próximo compreende a medição da intensidade da absorção ou reflexão de luz infravermelha próxima, (na faixa de 0,78  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$ ), em relação ao comprimento de onda, realizada pela amostra. Dependendo da região do espectro de trabalho, portanto, da energia de radiação utilizada, que é determinada pelos comprimentos de ondas, esta interação será de diferente natureza: excitação de elétrons, vibrações moleculares e rotações moleculares (SOUZA, 2008).

De acordo com Osborne *et al.* (1993), a molécula, ao absorver radiação infravermelha, altera seu estado de energia vibracional e rotacional. As transições entre os estados rotacionais requerem muito pouca energia, sendo facilmente observadas em moléculas gasosas, as mudanças em amostras de sólidos e líquidos por radiação infravermelha, alteram o estado da energia vibracional.

A energia que se absorve se reflete na forma de espectros que são a representação gráfica desta absorção. Para chegar ao final das análises quantitativas, é necessário ter um conjunto de espectros com seus respectivos dados de laboratório e relacioná-los mediante um tratamento matemático e estatístico para obter uma curva e criar uma equação de calibração. Quando se tem uma amostra cuja composição se quer determinar, será obtido as informações espectrais e mediante a equação de calibração se obtêm o dado desejado (ROSSO, 2010).

Os espectros são tomados em um espectrômetro NIR, que de acordo com Pasquini (2003) consiste em um equipamento de alta precisão que efetua análises em qualquer molécula que apresente, principalmente, ligações C-H, OH, N-H, S-H e C=O. Os componentes básicos de um espectrômetro infravermelho são: fonte, seletor de comprimento de onda, recipiente de amostra, detector, transdutor e processador (VALDERRAMA, 2005).

O método consiste na emissão de uma radiação na faixa do infravermelho próximo sobre a amostra. Após interação com o material, fotodetectors registram a intensidade da luz e produzem um espectro de absorvância, reflectância ou transmitância, dependendo do modo de funcionamento do equipamento (SEFARA *et al.*, 2000).

Viana (2008) relata que, por meio de análise multivariada, as informações contidas no espectro são relacionadas aos valores obtidos através dos métodos convencionais e uma calibração é ajustada. O espectrômetro NIR baseia-se na aplicação da matemática à química analítica, ou seja, a quimiometria. Wold e Sjöström (1998) definiram a quimiometria como a ciência que utiliza, em conjunto, os métodos matemáticos, estatísticos e informáticos, com a finalidade de extrair informações quimicamente relevantes a partir dos dados químicos medidos e representar e apresentar as informações de interesse.

Burns e Ciurczak (2008) descrevem que as principais técnicas de análise multivariada utilizadas para a elaboração de modelos são: regressão linear múltipla (MLR), regressão por componentes principais (PCR), análise por componentes principais (PCA) e mínimos quadrados parciais (PLS).

As séries de operações que estabelecem uma relação entre medidas instrumentais e valores para uma propriedade de interesse correspondente são denominados de calibração (MARTENS; NAES, 1996). Pantoja (2006) esclarece que a calibração tem, como objetivo, produzir e encontrar um modelo que melhor represente ou relacione os dados espectrais com os dados obtidos pelo método de referência.

Após a calibração do modelo para a propriedade pretendida, o mesmo deve ser testado em um processo, denominado validação. A validação do modelo pode ser realizada de duas maneiras, a saber: validação externa e validação cruzada (MARTENS; NAES, 1996).

A técnica NIR tem sido utilizada para investigar as propriedades químicas da madeira, como, teor de celulose, lignina, hemicelulose e extrativos (WRIGHT; BIRKETT; GAMBINO, 1990; WALLBACKS *et al.*, 1991; MICHELL, 1995; SCHIMLECK *et al.*, 2000; RAYMOND; SCHIMLECK, 2002; BRINKMAN *et al.*, 2002).

Outros estudos foram realizados para estimar as propriedades físicas e mecânicas da madeira como massa específica, rigidez, módulo de elasticidade e



módulo de ruptura, (HOFFMEYER; PEDERSEN,1995; SCHIMLECK *et al.*, 1999; GINDL *et al.*, 2001; MEDER *et al.*, 2003; TSUCHIKAWA, 2007).

As características anatômicas, como as fibras, traqueídeos, dimensões da parede celular e ângulo microfibrilar (HAUKSSON *et al.*, 2001; SCHIMLECK; EVANS,2004; SCHIMLECK *et al.* 2005; JONES *et al.*, 2005) foram estimados pela técnica NIR.

Baillères *et al.* (2002) desenvolveram calibrações para estimar características químicas (lignina e extrativos), propriedades mecânicas e físicas (tensão de crescimento e contração), em híbridos de eucalipto de um programa de melhoramento genético. A multiplicidade de informação contida no espectro NIR, aliada à rapidez e baixo custo com que é feita a aquisição do espectro, despertou interesse no uso da espectroscopia NIR como ferramenta em programas de melhoramento genético de plantações florestais comerciais (SCHIMLECK, 2008)

A técnica da espectroscopia no NIR permite a predição dessas propriedades, de forma rápida e precisa, mas para isso, é necessário efetuar uma etapa de calibração, que é realizada a partir de dados de referência. Uma vez calibrado e validado (testado) o modelo, um grande número de amostras de madeiras, sem a necessidade de medições padronizadas, pode ter suas propriedades preditas, rapidamente, a partir da informação contida nos espectros medidos no NIR (HEIM *et al.*, 2009).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL DE ESTUDO

O material utilizado neste estudo foi proveniente de plantios comerciais de eucalipto, com origem seminal e um clone pertencentes a empresa GRANFLOR - Gestão de Empreendimentos Florestais, onde a sede principal se localiza na cidade de São Gabriel no Estado do Rio Grande do Sul, destinados à produção de madeira para produtos sólidos.

As espécies utilizadas foram o *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e um clone *Eucalyptus saligna*, com idades 28, 40, 52 e 65 meses. Para as espécies de *E. dunnii* e *E. grandis*, as idades eram de 40, 52 e 65 meses, para *E. saligna*, o material apresentava a idade de 28, 40 e 52 meses.

Os plantios florestais foram implantados com espaçamento inicial de 5 m (entre linhas) x 2,8 m (linha), com o desbaste programados em função da idade e do crescimento do reflorestamento. Estavam normalmente de 2 a 3 desbastes, conforme descrito abaixo:

Na Tabela 1.1 são apresentadas as espécies estudadas juntamente com a idade, o local de origem de coleta, o talhão e a parcela de acordo com as informações cedidas pela empresa.

TABELA 1.1 – ESPÉCIES DE *Eucalyptus* UTILIZADAS COM A RESPECTIVA IDADE E INFORMAÇÕES DA LOCALIDADE DO PLANTIO

<b>Espécie</b>	<b>Idade (meses)</b>	<b>Localidade</b>	<b>Talhão</b>	<b>Parcela</b>
<i>Eucalyptus dunnii</i>	65	Ferrugem/Rosario do Sul	06B	1
<i>Eucalyptus dunnii</i>	65	Ferrugem/Rosario do Sul	08B	2
<i>Eucalyptus dunnii</i>	52	Taquara / Estrada Cacequi-Umbá	34	9
<i>Eucalyptus dunnii</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	09	11
<i>Eucalyptus dunnii</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	09	12
<i>Eucalyptus grandis</i>	65	Ferrugem/Rosario do Sul	04	3
<i>Eucalyptus grandis</i>	65	Ferrugem/Rosario do Sul	04	4
<i>Eucalyptus grandis</i>	52	Taquara / Estrada Cacequi-Umbá	10	8
<i>Eucalyptus grandis</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	06	15
<i>Eucalyptus grandis</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	06	16
<i>Eucalyptus saligna</i>	52	Taquara / Estrada Cacequi-Umbá	07	6
<i>Eucalyptus saligna</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	10	13
<i>Eucalyptus saligna</i>	40	BR 158-Azevedo Sodre	08	14
<i>Eucalyptus saligna</i>	28	Coxilha Santo Inacio-Itaquatia	10	17

#### 4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA

Foram selecionadas as parcelas nos talhões, conforme a Tabela 1.1, em diferentes localidades de plantio com o intuito de avaliar as variáveis de crescimento, a deformação residual longitudinal, algumas propriedades físicas e mecânicas, a qualidade do sistema de poda atualmente aplicado pela empresa, além das relações entre as variáveis avaliadas.

O material foi coletado em diferentes localidades próximas a uma das sedes da empresa no município de Rosário do Sul, Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1.1). O município situa-se a 30° 15' 28" sul de latitude, 54° 54' 50", oeste de longitude e altitude de 125m.

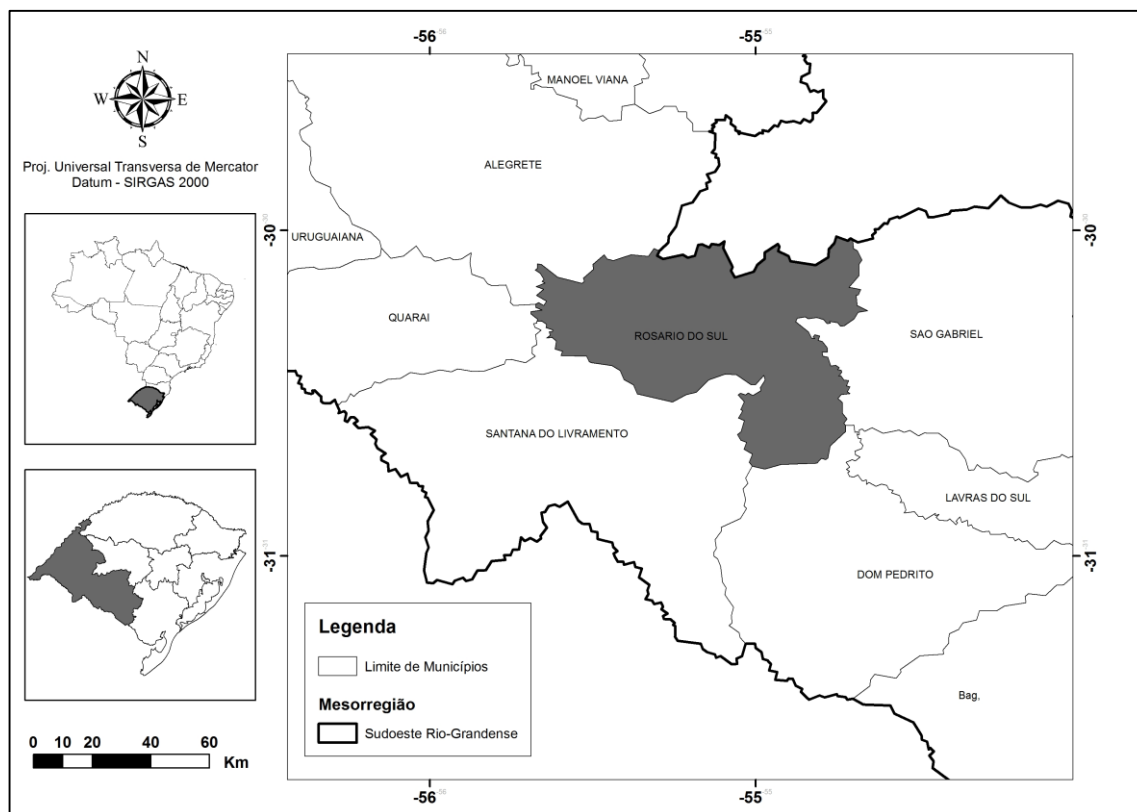


FIGURA 1.1 – LOCAL DE COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO EM ROSÁRIO DO SUL, RS  
 FONTE: O autor (2014)

A região, em geral, caracteriza-se por apresentar precipitação média anual ente 1300 a 1600 mm e uma temperatura média anual superior a 32°C. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios (cfa). A vegetação predominante é de gramíneas na composição florística de campo.

#### 4.3 SELEÇÃO DAS ÁRVORES E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

As árvores foram analisadas, individualmente, em 14 parcelas, em diferentes idades. Em cada parcela, foram selecionadas 35 árvores com boas condições fitossanitárias, eretas, sem bifurcação e fora da área de bordadura para evitar a interferência de fatores externos nas análises.

Em todas as árvores selecionadas foram tomadas as medidas de diâmetro na altura do peito (DAP), a altura total (Ht), a projeção da área da copa (Ac) e o diâmetro da copa (Dc), calculado através da Ac. Posteriormente, algumas árvores foram

selecionadas, e então foram tomados os valores da deformação residual longitudinal nas diferentes posições ao longo do tronco (1,30 m, a 25%Ht e 50%Ht).

Para a avaliação da DRL e propriedades físicas (massa específica e variações dimensionais) e mecânicas (compressão paralela às fibras), utilizaram-se no total 89 árvores. Na Tabela 1.2 consta o número de árvores amostradas para cada espécie, nas diferentes idades.

TABELA 1.2 – AMOSTRAGEM DO MATERIAL

<b>Espécie</b>	<b>Idade (mese)</b>	<b>Número de árvores amostradas</b>
<i>E. dunnii</i>	65	16
	52	5
	40	10
<i>E. grandis</i>	65	16
	52	5
	40	10
<i>E. saligna</i>	52	5
	40	12
	28	10

Em seguida, o material coletado foi devidamente identificados e transportado para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, Estado do Paraná para análises laboratoriais (Figura 1.2).



FIGURA 1.2 – POVOAMENTO, COLETA DO MATERIAL EM CAMPO E ARMAZENAGEM NO PÁTIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FONTE: O autor (2014)

#### 4.4 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DA ÁRVORE

- Diâmetro à altura do peito (DAP)

Através de uma fita métrica, mediu-se a circunferência à altura do peito (CAP), cujos os dados foram transformados em diâmetro à altura do peito (DAP).

- Altura total (Ht)

A altura das árvores foi medida com o Hipsômetro Vertex

- Medição da copa

A projeção da copa foi determinada através da medição de oito raios com ângulos variáveis, metodologia esta recomendada para árvores com copas assimétricas segundo alguns autores (HUBER; RÖHLE, 1985<sup>6</sup>; RÖHLE, 1986<sup>7</sup>; SPIECKER, 1991<sup>8</sup> citados por NUTTO, 2001). Os raios da copa foram medidos com o auxílio de uma fita métrica, um hipsômetro vertex e uma bússola. A partir da orientação norte, mediram-se outros pontos cardeais sendo eles: nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste, noroeste e norte.

O hipsômetro Vertex foi utilizado para a projeção dos pontos que representaram o ponto exato da projeção da borda da copa no solo, indicando o fim dos raios medidos, com a bússola, mediram-se os respectivos ângulos. Em seguida, os cálculos geométricos foram feitos com os pontos das coordenadas, determinados pela distância e o azimute da árvore. Através dos pontos obtidos projetaram-se os polígonos e procedeu-se ao cálculo da área da copa, através do método triangular (RÖHLE, 1986<sup>9</sup> citado por NUTTO, 2001).

---

<sup>6</sup> HUBER, W.; RÖHLE, H. Untersuchungen zur Methode der Ablotung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. **Forstarchiv**, n. 56, p.238-243, 1985

<sup>7</sup> RÖHLE, H. Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien. **Forstarchiv**, n. 57, p. 67-71, 1986

<sup>8</sup> SPIECKER, H. **Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen**. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung B.-W. 72, 1991. 155 p.

<sup>9</sup> RÖHLE, H. Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien. **Forstarchiv**, n. 57, p. 67-71, 1986

A Figura 1.3 demonstra a metodologia de mensuração da projeção da copa das árvores através da medição dos raios com os ângulos variáveis por meio de uma bússola e a medição da distância.

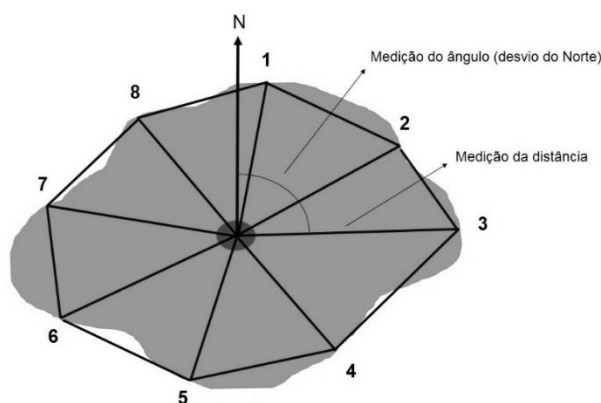


FIGURA 1.3 – MENSURAÇÃO DA PROJEÇÃO DA COPA DAS ÁRVORES PELO MÉTODO DE OITO RAIOS COM ÂNGULOS VARIÁVEIS  
 FONTE: O autor (2014)

As coordenadas polares que foram identificadas para a projeção das copas, foram transformadas em coordenadas cartesianas (X, Y), segundo as equações:

$$X = \text{SEN}(\alpha\pi/180) * \text{distância}$$

$$Y = \text{COS}(\alpha\pi/180) * \text{distância}$$

A Figura 1.4 detalha as coordenadas polares e cartesianas para a obtenção dos dados referentes a projeção da copa.

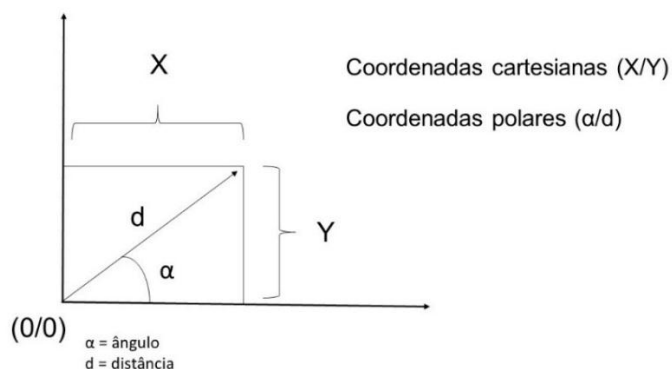


FIGURA 1.4 – COORDENADAS POLARES E CARTESIANAS COLETADAS PARA A PROJEÇÃO DAS COPAS  
 FONTE: O autor (2014)

Após a transformação das coordenadas, a área da copa foi calculada mediante a equação:

$$2 * A_c = (X_1 + X_2) * (Y_2 - Y_1) + (X_2 + X_3) * (Y_3 - Y_2) \dots \dots + (X_n + X_1) * (Y_1 - Y_n)$$

Em que:

$A_c$  = Área do polígono representada pela projeção da área da copa;

$X$  = Coordenada X;

$Y$  = Coordenada Y;

$n$  = número de pontos medidos (8 raios)

Em seguida foi determinado, a partir da área da copa, o diâmetro da copa, mediante a expressão:

$$D_c = \sqrt{\left(\left(\frac{4}{\pi}\right) * A_c\right)}$$

Em que:

$D_c$  = Diâmetro da copa;

$A_c$  = Área da copa;

#### 4.5 AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL

As medidas da deformação residual longitudinal (DRL) foram tomadas em três posições das árvores selecionadas, altura de 1,30 m do solo, determinada com a árvore em pé e a 25% e 50% da altura total de cada árvore, após a derrubada da mesma (Figura 1.5). A DRL foi medida nestas alturas imaginando-se um fuste comercial mais limpo. As medidas das deformações foram realizadas ao redor do tronco para as três posições, nas orientações cardeais norte (0°-360°), sul (180°), leste (90°) e oeste (270°).



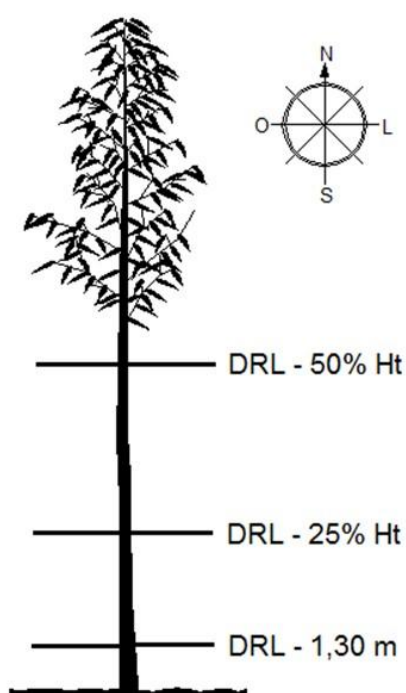


FIGURA 1.5 – POSIÇÕES DE TOMADA DA DRL AO LONGO DO FUSTE NAS ÁRVORES  
 FONTE: O autor (2014)

As medições foram realizadas de acordo com o método não destrutivo do “CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT-DÉPARTEMENT FORÊT” – CIRAD - Forêt (*“Growth Strain Gauge”* - Medidor de Deformação de Crescimento), que consiste em um relógio comparador digital – extensômetro que, tem como função informar a deformação residual longitudinal por meio da compressão das fibras, uma vez que a tensão é liberada.

Ao extensômetro foram conectados dois pinos, com uma distância entre eles de 45 mm na direção da grã, fixados no tronco da árvore na altura das medidas, sem casca. Posteriormente ao ajuste do aparelho, foi feito um furo de 2 cm de diâmetro, com o uso de um arco de pua, entre os pinos, a fim de liberar as tensões refletidas da contração longitudinal das fibras, a fim de se obter a deformação residual longitudinal da madeira. Ao liberar a tensão, o valor em milímetro, foi registrado diretamente no visor do relógio digital.

As etapas de medição da deformação residual longitudinal em campo são apresentadas na Figura 1.6.



FIGURA 1.6 – MEDIÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A - Seleção das árvores; B - Fixação dos pinos; C - Fixação do extensômetro; D, E, F, G, H, I - Perfuração do tronco com o arco de pua nas diferentes posições (1,30 m, 25% ht e 50% ht)

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Para o estudo das propriedades físicas e mecânicas da madeira foram confeccionados corpos de prova, retirados das amostras obtidas ao longo do fuste, nas posições na altura de 1,30 m do no solo, região do no DAP, e a 25% e 50% da

altura total, das árvores em que foram tomadas as deformações residuais longitudinais (Figura 1.7).

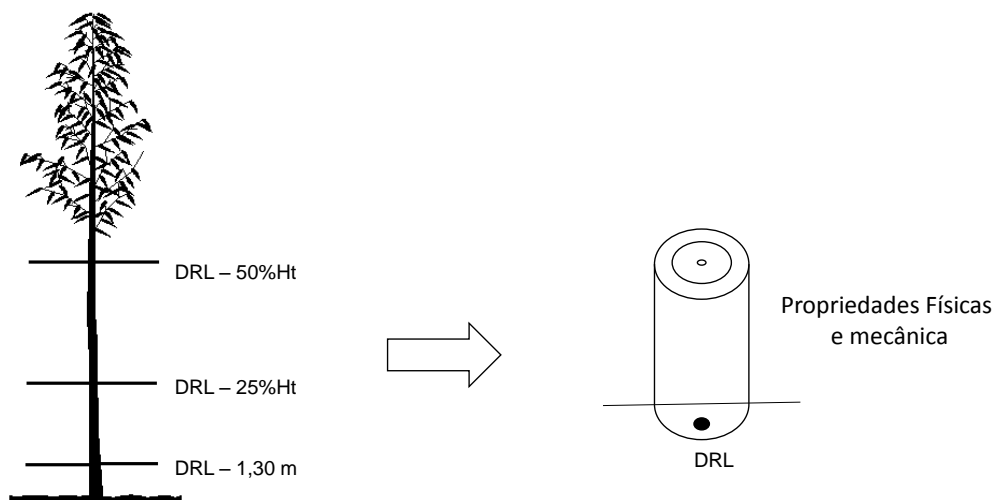


FIGURA 1.7 – POSIÇÃO DAS AMOSTRAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

FONTE: O autor (2014)

Após a confecção dos corpos de prova (Figura 1.8), foram mensurados e ensaiados de acordo com as normas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1972), estabelecidas para a determinação da massa específica, reatibilidade da madeira e resistência a compressão paralela às fibras.





FIGURA 1.8 – PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A, B, C, D - Etapas da amostragem e desdobro do material; E - Confeção das amostras; F - Corpos de prova

#### 4.6.1 Determinação das propriedades físicas

##### 4.6.1.1 Massa específica

Para a determinação da massa específica aparente e básica utilizaram-se corpos de prova livres de defeito e regulares, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, orientados nos sentidos radial, tangencial e longitudinal, destinados para análise da retratibilidade da madeira.

A determinação do volume foi realizada através do método estereométrico (medição direta), que consiste na obtenção das dimensões dos corpos de prova, nos

três sentidos. Os corpos de prova foram submersos em água até atingirem a saturação (peso constante), as medidas foram tomadas nos corpos de prova totalmente saturados e, em seguida, o material foi acondicionado em um câmara climática (temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , e umidade relativa de  $65 + 3\%$ ) até atingir 12% de umidade, novamente foram mensurados. As medidas fora feitas com o auxílio de um paquímetro digital, determinando-se, assim, o volume pela fórmula seguinte:

$$V=b. h. l$$

Em que:

V = volume ( $\text{m}^3$ );

b = largura da amostra (m);

h = espessura da amostra (m);

l = comprimento longitudinal da amostra (m).

Foi tomadas, também, a massa dos corpos de prova a 12% de umidade, e em seguida, foram colocados em estufa, à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  para secagem até o peso constante, obtendo, assim, a massa completamente seca, com auxílio de uma balança analítica de precisão.

Através da relação da massa com o volume dos corpos de prova, tomados a 12% de umidade, determinou-se a massa específica aparente. A massa específica básica, foi obtida pela relação da massa seca com o volume completamente saturados dos corpos de prova.

Nas amostras retiradas a 50% da altura total (cunha), a massa específica aparente e básica foi determinada pelo método em imersão em água, obtendo o volume pelo deslocamento do líquido e a massa com o auxílio de uma balança de precisão.

A massa específica foi determinada de acordo com os procedimentos prescritos pela Norma COPANT 461/1972, utilizando-se a seguinte relação:

$$\rho_b = \frac{M}{V}$$

Em que:

$\rho_b$  = Massa específica (  $\text{kg}/\text{m}^3$  )

M=Massa do corpo de prova (Kg)

V=Volume do corpo de prova

#### 4.6.1.2 Retratibilidade da madeira

A determinação da retratibilidade da madeira foi realizada de acordo com os procedimentos da norma COPANT 462/1972 - Método de determinación de la contracción e COPANT 459/1972 - Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos.

Os corpos de prova possuíam dimensões de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, orientados nos sentidos radial, tangencial e longitudinal. As medidas nos corpos de prova foram realizadas nas direções tangencial e radial, com o auxílio de um micrômetro digital (0,01mm), e na direção longitudinal por meio do paquímetro digital (0,01 mm).

As medidas foram tomadas nos corpos de prova com a madeira em diversas condições: a) acima do ponto de saturação das fibras ( $U > 30\%$ ), b) após acondicionamento em câmara climatizada com temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  com o material com a umidade de equilíbrio próximo a 12%; c) após a secagem em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até peso constante, a 0% de umidade. As medidas foram tomadas, sempre na mesma posição que foi previamente marcada nos corpos de prova para todas as direções (Figura 1.9).



FIGURA 1.9 – MENSURAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DA CONTRAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA

FONTE: O autor (2014)

Foram determinados os coeficientes de contração linear (tangencial, radial, e longitudinal) e contração máxima volumétrica e o coeficiente de anisotropia a contração.

Os cálculos foram realizados através das seguintes equações:

- Contração linear (tangencial, radial e longitudinal)

$$\beta_{lmax} = \left( \frac{l_u - l_s}{l_u} \right) * 100 \quad (\%)$$

Em que:

$\beta_l$  = contração linear;

$l_u$  = contração linear no estado úmido (mm);

$l_s$  = contração linear no estado seco (mm).

- Contração volumétrica máxima

$$\beta_{v_{max}} = \left( \frac{v_u - v_s}{v_u} \right) * 100 \quad (\%)$$

Em que:

$\beta_{v_{max}}$  = contração volumétrica máxima;

$v_u$  = volume úmido (cm<sup>3</sup>);

$v_s$  = volume seco (cm<sup>3</sup>).

- Coeficiente de anisotropia à contração

$$CA_c = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

Em que:

$CA_c$  = Coeficiente de anisotropia de contração:

$\beta_t$  = Dimensão linear tangencial;

$\beta_r$  = Dimensão linear radial.

#### 4.6.2 Determinação da propriedade mecânica da madeira

##### 4.6.2.1 Compressão paralela às fibras

As amostras utilizadas para os ensaios mecânicos também foram retiradas das toras de cada árvore, acima da posição onde foram tomadas as medidas da deformação residual longitudinal (1,30 m, 25%Ht e 50%Ht de cada árvore). Para o ensaio mecânico apenas utilizaram-se apenas as toras da região de 1,30 m e a 25%Ht, uma vez que nessas regiões as árvores apresentavam maior diâmetro. As toras a 50% da altura total das árvores, apresentavam um diâmetro bastante inferior, inviabilizando a retirada dos corpos de prova para o ensaio mecânico.

As toras foram processada na serraria e procedeu-se a confecção dos corpos de prova para o ensaio mecânico de resistência a compressão paralela às fibras da madeira conforme a sequência esquematizada na Figura 1.10.

A norma utilizada para o ensaio mecânico foi a recomendada pela Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. Os testes de compressão paralela às fibras, bem como todos os procedimentos relativos às dimensões dos corpos de prova, velocidade de carregamento para a obtenção dos resultados, seguiram as especificações da norma adaptada da COPANT 464 (1972) – Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano e a norma COPANT 459 (1972) - Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos.

O ensaio mecânico foi realizado apenas em uma condição física, após a confecção dos corpos de prova, isentos de defeito, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 10 cm, nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente. As peças foram acondicionadas na câmara climática (temperatura,  $20^\circ \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade,  $65\% \pm 5\%$ ), até atingirem peso constante, em torno de uma umidade de equilíbrio próxima a 12%.

O ensaio para a determinação da compressão paralela da madeira foi realizado através da máquina universal de ensaios com capacidade de carga máxima ajustada de 300 KN, gerenciado por um sistema de aquisição de dados automatizado (Figura



1.10B). Em seguida, foi determinado o teor de umidade real em cada corpo de prova ensaiado através do método gravimétrico.

A resistência à compressão paralela às fibras foi dada pela tensão máxima de compressão quando as forças agem paralelamente ao comprimento das células, conferindo uma resistência à ruptura por compressão em um corpo de prova de seção transversal quadrada. O módulo de elasticidade a compressão paralela da madeira expressa à rigidez do material.



FIGURA 1.10 – ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A) CLIMATIZAÇÃO DAS AMOSTRAS; B) ENSAIOS DE COMPRESSÃO; C) AMOSTRA APÓS O ENSAIO MECÂNICO

#### 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados obtidos para as variáveis envolvidas submetidos a uma análise de variância (ANOVA), em caso de significativa diferença entre as médias (rejeição da hipótese da nulidade), conforme o Teste de F, efetuou-se a a comparação das médias para as variáveis analisadas, através do teste de Tukey a 5% de significância. Quando a comparação foi apenas entre duas amostras independentes, realizou o teste T para a comparação das médias.

Com o intuito de aferir a relação entre a DRL e as demais variáveis estudadas, realizou-se uma análise de correlação simples de Pearson.

#### 4.8 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

De cada árvore selecionada retiraram-se discos da posição onde foram tomadas as deformações residuais longitudinais, a 1,30 m do solo. Os discos foram transportados para a serraria, onde se retiraram amostras na posição diametral para a análise de espectroscopia no infravermelho próximo, totalizando 84 amostras entre as duas espécies e o clone de *Eucalyptus* avaliadas (Figura 1.11). Em seguida, as amostras foram condicionadas numa câmara climática, em ambiente controlado ( $20^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $65\% \pm 5\%$  de umidade relativa), até atingirem a umidade de, aproximadamente, 12%, para as medições no NIR

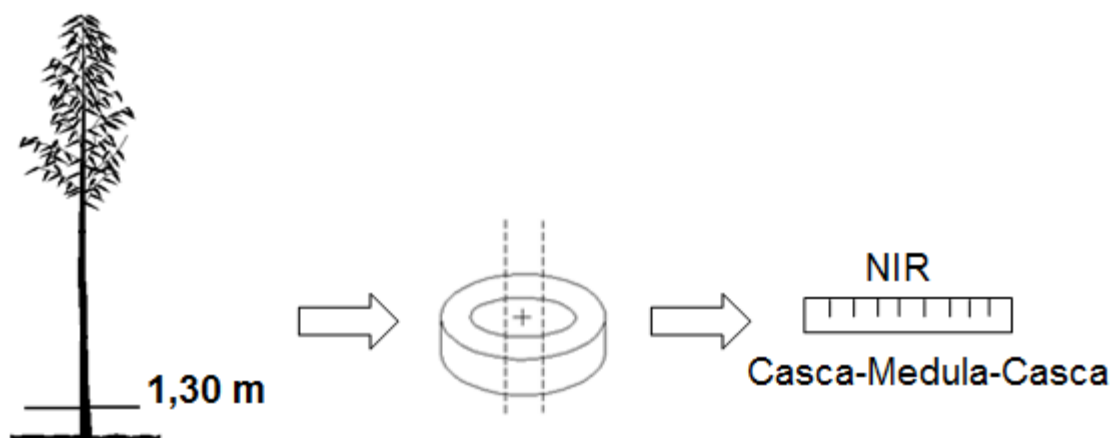


FIGURA 1.11 – RETIRADA DOS CORPOS DE PROVAS PARA LEITURA NA FACE RADIAL DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO

FONTE: O autor (2014)

As leituras das amostras foram realizadas no espectrômetro de infravermelho próximo, marca Bruker, modelo Tensor 37, que usa como fonte de radiação luminosa, uma lâmpada do tipo halogênio que emite radiação na faixa de comprimento de onda em que o equipamento trabalha, em conjunto com o programa OPUS versão 4.2. As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira.

Os espectros na faixa do infravermelho próximo foram tomados nas amostras de madeira sólida, mensurados a cada 10 mm, nos sentidos casca-medula e medula-casca ao longo de toda amostra diametral (Figura 1.12). Entretanto, utilizou os espectros tomado em apenas um lado das amostras (casca-medula). A temperatura

e umidade relativa do ambiente estavam controladas, para evitar interferências das variações extremas das condições do ambiente durante a coleta dos espectros.

A aquisição dos espectros foi realizada na faixa de radiação de 9000 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  com resolução espectral de 8  $\text{cm}^{-1}$  em modo de absorbância, tendo como referência interna uma placa banhada a ouro para a calibração da absorção da luz infravermelha próxima. O espectro de cada leitura na amostra foi obtido da média de 64 varreduras realizadas nas amostras.

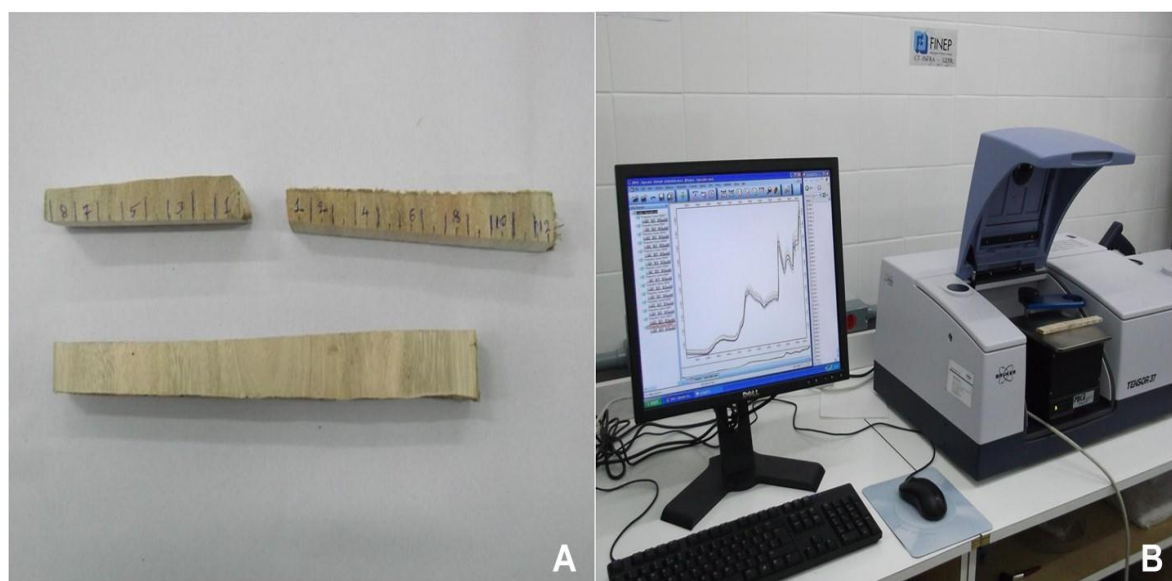


FIGURA 1.12 – COLETA DOS ESPECTROS DAS MADEIRAS

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A) AMOSTRAS; B) TOMADA DO ESPECTROS DAS AMOSTRAS NO ESPECTROFOTÔMETRO

#### 4.8.1 Calibração e validação dos modelos

Após a aquisição espectral das amostras, tomadas na região do infravermelho próximo, os valores obtidos foram associados às características da madeira (DRL, massa específica verde e básica, contrações volumétrica, tangencial e radial, coeficiente de anisotropia à contração, e MOE e MOR da compressão paralela as fibras), com o intuito de estabelecer uma relação entre as informações alcançadas.

Para estabelecer esta relação, os espectros obtidos foram submetidos à análise e multivariada pelo método Mínimos Quadrados Parciais (PLS regression) através do programa The Unscrambler® 9.7 da CAMO AS. Os modelos foram ajustados com um máximo de 10 variáveis latentes (VL) e submetidos à validação cruzada.

O método da validação cruzada completa (*full cross-validation*) foi o adotado para a validação dos modelos de calibração. Devido ao número, as amostras foram utilizadas para contruir a calibração e a validação dos dados. Para a verificação das amostras anômalas (outliers), analisaram-se, graficamente os parâmetros “resíduos de student” e “valor de leverage”, porém não foram retiradas da análises os outliers, trabalhando com os dados, de forma robusta.

#### 4.8.2 Seleção de modelos

Os critérios utilizados de seleção dos modelos de calibração para a predição dos valores das variáveis interesse foram: (i) coeficiente de correlação do modelo na calibração ( $R_c$ ); (ii) erro padrão do modelo na calibração (SEC); (iii) número de variável latente (VL); (iv) relação de desempenho do desvio (RPD).

O coeficiente de correlação ( $R$ ) mede a intensidade com que se manifesta uma associação linear entre duas variáveis, sendo um número adimensional, que varia entre -1 e 1, quanto mais próximo desses valores mais forte será a correlação.

O Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica o grau de associação entre os valores obtidos nas análises convencionais em laboratório e os valores preditos nos modelos gerados. É obtido através do coeficiente de correlação do modelo na calibração ( $R$ ), para uma curva de calibração com maior precisão. Os valores devem ser mais próximos de 1,0.

O erro padrão da calibração (SEC) tem a função de avaliar o quanto o modelo PLS é capaz de prever concentrações, a partir dos dados utilizados na construção do modelo, valores mais próximos de zero são de maior interesse. Segundo Schimleck *et al.* (2003), o erro padrão da validação (SECV) mede a eficiência do modelo de calibração na predição da propriedade de interesse em um lote de amostras desconhecidas, diferentes das amostras que compõem o lote de calibração.

A variável latente (VL) retrata o número de fatores utilizados no modelo, segundo Samistraro (2008), se o número de variáveis latentes for muito baixo, informações importantes podem não ser modeladas, se for muito alto, embora melhore o ajuste do modelo de calibração, incluirá ruídos no modelo. Caso o número de variáveis latentes não for adequado, o modelo será prejudicado.

A relação de desempenho do desvio (RPD) corresponde à relação entre o desvio padrão dos valores da propriedade analisada pelo método convencional (SD) e o erro padrão da validação cruzada (SECV). Este valor permite a comparação entre calibrações para diferentes variáveis, possibilitando a padronização do erro padrão da predição (WILLIAMS; SOBERING, 1993).

De acordo com Schimleck *et al.* (2003), as calibrações com a relação de desempenho do desvio (RPD) iguais ou superiores a 1,5 são suficientes para leituras iniciais. A espectroscopia de infravermelho próximo pode ser aplicada para as predições iniciais, com o objetivo principal de selecionar árvores jovens com potencial.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL

Na Tabela 1.3, encontram-se os valores médios para a DRL tomados nas diferentes idades (28, 40, 52 e 65 meses) e posições (1,30 m, 25%Ht e 50%Ht) para as espécies *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

TABELA 1.3 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (mm) PARA AS ESPÉCIES *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna* NAS DIFERENTES IDADES E POSIÇÕES AO LONDO DO TRONCO

Espécie	Idade (meses)	Posição ao longo do tronco			Média
		1,30 m	25% Ht	50% Ht	
<i>E. dunnii</i>	40	<b>0,086</b>	<b>0,086</b>	<b>0,092</b>	<b>0,088</b>
		(25,93)*	(22,80)	(27,92)	(25,11)
	52	<b>0,116</b>	<b>0,100</b>	<b>0,096</b>	<b>0,104</b>
		(16,67)	(16,80)	(16,44)	(17,63)
	65	<b>0,126</b>	<b>0,120</b>	<b>0,115</b>	<b>0,120</b>
		(22,72)	(28,30)	(24,97)	(25,10)
<b>Média</b>		<b>0,109</b>	<b>0,106</b>	<b>0,105</b>	<b>0,106</b>
		<b>(28,20)</b>	<b>(29,46)</b>	<b>(26,64)</b>	<b>(27,91)</b>
<i>E. grandis</i>	40	<b>0,085</b>	<b>0,093</b>	<b>0,093</b>	<b>0,090</b>
		(31,38)	(19,86)	(25,22)	(25,24)
	52	<b>0,095</b>	<b>0,096</b>	<b>0,086</b>	<b>0,092</b>
		(20,88)	(21,76)	(7,62)	(17,88)
	65	<b>0,093</b>	<b>0,111</b>	<b>0,104</b>	<b>0,103</b>
		(14,02)	(19,22)	(16,39)	(18,11)
<b>Média</b>		<b>0,091</b>	<b>0,103</b>	<b>0,098</b>	<b>0,097</b>
		<b>(21,52)</b>	<b>(20,94)</b>	<b>(19,75)</b>	<b>(21,17)</b>
<i>E. saligna</i>	28	<b>0,072</b>	<b>0,077</b>	<b>0,099</b>	<b>0,083</b>
		(11,77)	(22,22)	(15,68)	(21,79)
	40	<b>0,082</b>	<b>0,083</b>	<b>0,096</b>	<b>0,089</b>
		(18,50)	(17,68)	(17,04)	(18,18)
	52	<b>0,111</b>	<b>0,123</b>	<b>0,118</b>	<b>0,117</b>
		(12,81)	(21,31)	(18,31)	(17,38)
<b>Média</b>		<b>0,086</b>	<b>0,088</b>	<b>0,101</b>	<b>0,092</b>
		<b>(21,77)</b>	<b>(27,54)</b>	<b>(18,16)</b>	<b>(23,30)</b>

Nota: \* - Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

Verifica-se que o *E. dunnii* apresentou um valor médio geral para a DRL de 0,106 mm, seguido pelo *E. grandis* e *E. saligna* com 0,097 e 0,092 mm, respectivamente. Observa-se que os menores valores de DRL para as três espécies foram encontrados nas árvores de menor idade, para o *E. dunnii* nas posições 1,30 m e 25%Ht e para o *E. grandis* e *E. saligna*, apenas na posição 1,30 m do solo. O maior valor foi obtido para o *E. dunnii*, aos 65 meses na posição 1,30 m, enquanto que, para o *E. grandis*, foi aos 65 meses, mas na posição a 25%Ht. O *E. saligna* foi aos 52 meses, na posição de 25%Ht.

A madeira com potencial para o uso como produto sólido, deve apresentar os menores valores de DRL, reduzindo os defeitos provenientes das tensões como empenamentos e rachaduras.

Os valores médios obtidos para a DRL aumentaram conforme a idade, apresentando uma amplitude de variação maior na inferior e média idade ao comparar com as árvores de maior idade. Em relação à posição em que a DRL foi tomada, apresentaram-se três tipos de comportamento: i) Foi decrescente nas posições ao longo do tronco (*E. dunnii*); ii) Foi crescente nas posições ao longo do tronco (*E. saligna*); iii) Foi crescente até a posição de 25%Ht, e depois, houve uma queda do valores na posição de 50%Ht (*E. grandis*).

A distribuição dos valores médios para as deformações residuais longitudinais nas diferentes idades, ao longo do fuste, para cada espécie podem ser melhor visualizadas na Figura 1.13.

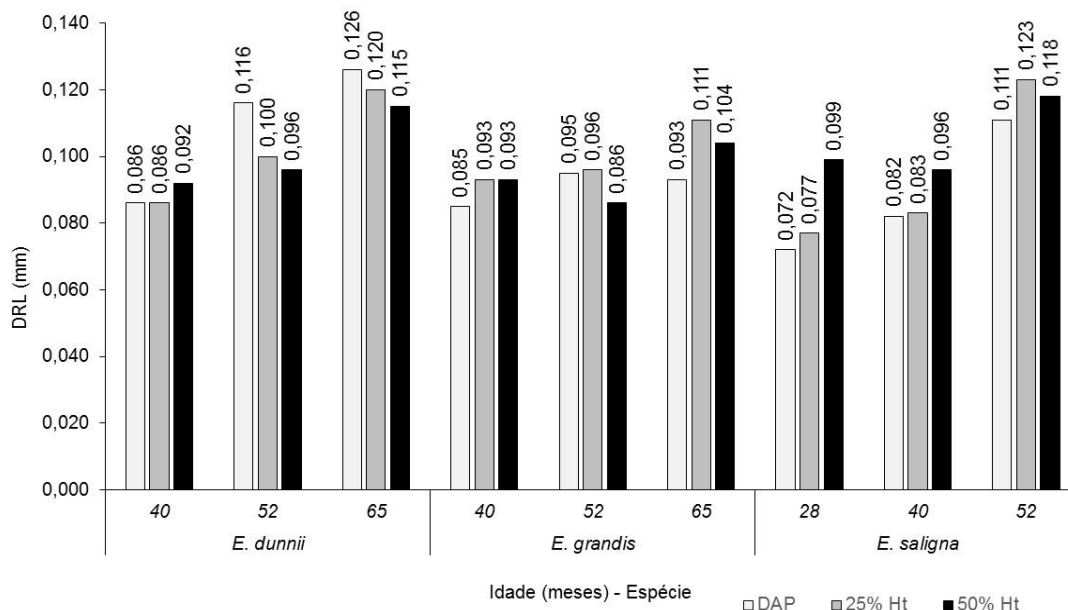


FIGURA 1.13 – VARIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES, IDADES E POSIÇÕES  
 FONTE: O autor (2014)

De acordo com Rech e Silva (2001) as tensões internas possuem maior intensidade nas árvores mais jovens e tendem a reduzir, com o aumento da idade, o presente estudo, ao contrário, mostra que os valores obtidos para a DRL foram superiores nas árvores mais velhas. Cardoso Júnior *et al.* (2007), ao avaliarem clones de eucalipto, perceberam diferentes comportamentos nas idades avaliadas em função da DRL, para alguns clones, em relação à idade, houve um efeito decrescente, para outros, não houve variação da DRL, com o aumento da idade.

Trugilho (2006) encontrou um efeito significativo da idade, verificando um aumento dos níveis de tensões com a idade, Gérard *et al.* (1995), ao estudarem híbridos de *Eucalyptus* sp, com idades de 21 a 142 meses, encontraram diferença na DRL entre as idades, os autores, ainda, observaram que nos primeiros anéis de crescimento, da maioria dos híbridos, a DRL apresentava níveis mais elevados, quando comparadas com a DRL das árvores com 142 meses de idade.

Observa-se que os valores médios da DRL, nas diferentes posições onde foram tomadas as medidas, apresentaram uma variação de baixa a mediana, apresentando um comportamento similar de variação dentro de cada espécie. Verifica-se, em geral, que tanto na posição do DAP quanto nas posições de 25%Ht e



50%Ht, os valores da DRL não apresentaram um comportamento fixo que determinasse uma tendência da DRL entre as posições ao longo do fuste.

De maneira geral, os valores médios encontrados para DRL no presente estudo estão dentro da mesma faixa, quando comparados com literatura, independentemente da idade, local de plantio e a espécie estudada.

Lima *et al.* (2004) encontraram um valor médio de 0,071mm, ao trabalhar com clones de *E. grandis* W. Hill. ex Maiden e variedade *E. grandis* W. Hill. ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake, em diferentes idades. Souza *et al.* (2003) ao estudarem onze clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*, com seis anos de idade, encontraram um valor médio de 0,090 mm. Trugilho *et al.* (2006) ao avaliarem seis clones do gênero *Eucalyptus*, aos 10,5 anos de idade, plantados no espaçamento 10 x 4 m, encontraram um valor médio para a DRL de 0,093 mm. Da mesma forma, Rodrigues (2007), encontrou valores médios para a DRL de 0,081 mm para traze clones de *Eucalyptus* spp., aos dez anos de idade. Beltrame *et al.* (2012), ao avaliar diferentes clones do gênero *Eucalyptus*, aos nove anos de idade, encontraram um valor médio para a DRL de 0,111mm.

Ao comparar o presente trabalho com a literatura, quando foram utilizadas as mesmas espécies, o comportamento da DRL também foi semelhante, Trugilho *et al.* (2003) encontraram para madeira de *E. dunnii*, aos 8, 13, 15 e 19 anos de idade, implantados por mudas de sementes, valores médios para a DRL de 0,107, 0,113, 0,111, 0,123 e 0,114 mm, respectivamente. Beltrame *et al.* (2012) encontraram, para clones de *E. grandis* valores de 0,102, 0,156 e 0,094 mm, e para o *E. saligna* os valores de 0,093 e 0,108 mm.

Na Figura 1.14 para melhor visualização, encontra-se uma comparação da distribuição dos valores médios da DRL encontrado no presente trabalho e em alguns trabalhos citados na literatura (SOUZA, 2002; LIMA, 2005; TRUGILHO, 2005; SOUZA, 2006; BELTRAME, 2010). A avaliação das árvores quanto à idade, local do plantio e até mesmo a espécie é diferente, o que pode interferir nos resultados encontrados, além dos fatores externos e internos, tais como, a luminosidade, incidência dos ventos, inclinação do fuste, orientação da grã e constituição do lenho, dentre outros fatores que podem estar associados à variação dos valores obtido para a DRL.

Nota-se que a DRL é uma tendência nas árvores desde jovens apresentando valores altos ou baixos independente da idade e das características da espécie, evidenciando uma variável de alta dispersão.

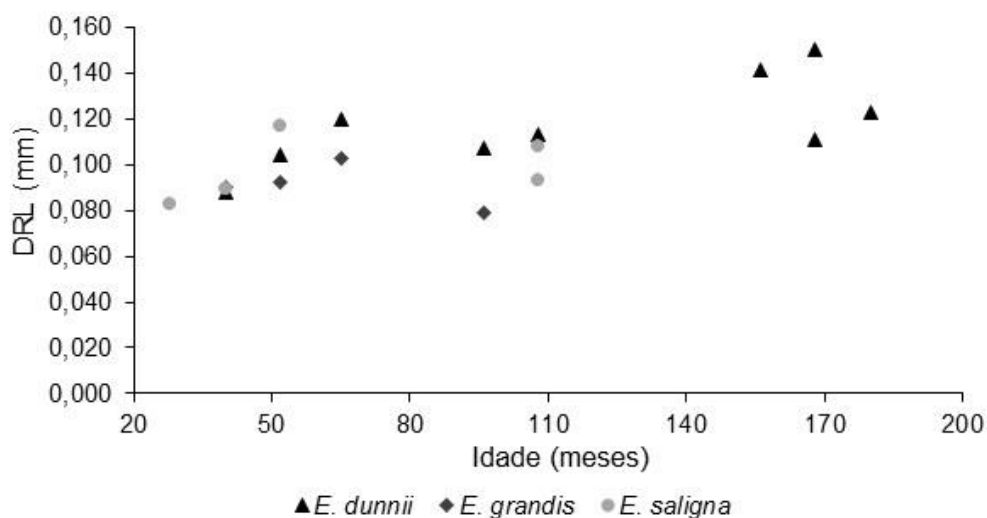


FIGURA 1.14 – COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DA DRL EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA DIFERENTES EUCALIPTOS ENCONTRADOS NO PRESENTE TRABALHO E NA LITERATURA

FONTE: O autor (2014)

Na Tabela 1.4, observa-se a análise de variância (ANOVA) no esquema fatorial 3x3, demonstrando os efeitos dos fatores idade (28, 40, 52, e 65 meses) e a posição ao longo do fuste (1,30 m, 25% Ht e 50% Ht), onde foram tomadas a DRL, bem como as respectivas interações para os valores médios da DRL para as três espécies.

TABELA 1.4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) EM FUNÇÃO DA IDADE E POSIÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*

<i>Eucalyptus dunnii</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade (40, 52 e 65 meses)	2	0,0205571	0,0102786	14,68	0,0000 *
Posição	2	0,00108983	0,000544913	0,78	0,4623 ns
Idade x Posição	4	0,00152112	0,00038028	0,54	0,7044 ns
Residual	87	0,06091	0,000700114		
<b>Total</b>	<b>95</b>	<b>0,0841382</b>			
<i>Eucalyptus grandis</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade (40, 52 e 65 meses)	2	0,00347968	0,00173984	4,57	0,0131 *
Posição	2	0,00103568	0,000517841	1,36	0,2625 ns
Idade x Posição	4	0,00104685	0,000261714	0,69	0,6031 ns
Residual	85	0,0323923	0,000381086		
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>0,0392438</b>			
<i>Eucalyptus saligna</i>					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade (28, 40 e 52 meses)	2	0,0318536	0,0159268	22,54	0,0000 *
Posição	2	0,00658562	0,00329281	4,66	0,0124 *
Idade x Posição	4	0,00526001	0,001315	1,86	0,1263 ns
Residual	74	0,0522843	0,000706544		
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>0,0991295</b>			

NOTA: \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade; ns - Não significativo em nível de 95% de probabilidade

Ao avaliar a interação dos fatores idade x posição, verificou-se que este efeito não foi significativo para todas as espécies estudadas, o que evidencia que os fatores são independentes, ou seja, o comportamento de um fator independe da variação do outro fator, podendo estar ausente ou presente.

O efeito idade foi significativo para as três espécies estudadas, indicando uma diferença da DRL entre as idades para cada espécie, havendo a necessidade de um teste de comparação das médias, verificando o comportamento da DRL, dentro de cada espécie.

Ao analisar o efeito posição, observa-se que houve significância para o *E. saligna*, havendo uma diferença da DRL nas diferentes posições ao longo do fuste. Os valores médios da DRL para as espécies *E. dunnii* e *E. grandis* são iguais, quando

se compararam os valores medidos nas posições ao longo do fuste, assim não há a necessidade de outras medidas ao longo do fuste, que não seja no DAP, pelo mais fácil acesso. Espera-se que as árvores, ao alcançarem o diâmetro de corte pretendido pela empresa, tendem a apresentar, ao longo do fuste comercial uma DRL semelhante, com exceção da madeira de *E. saligna* que tende a apresentar diferentes deformações ao longo do fuste comercial quando cortadas.

A Figura 1.15 apresenta o desdobramento do efeito idade, bem como a variação da DRL existente entre as idades, dentro de cada espécie e entre as idades independente da espécie. O valor médio geral obtido para a DRL foi de 0,098 mm.

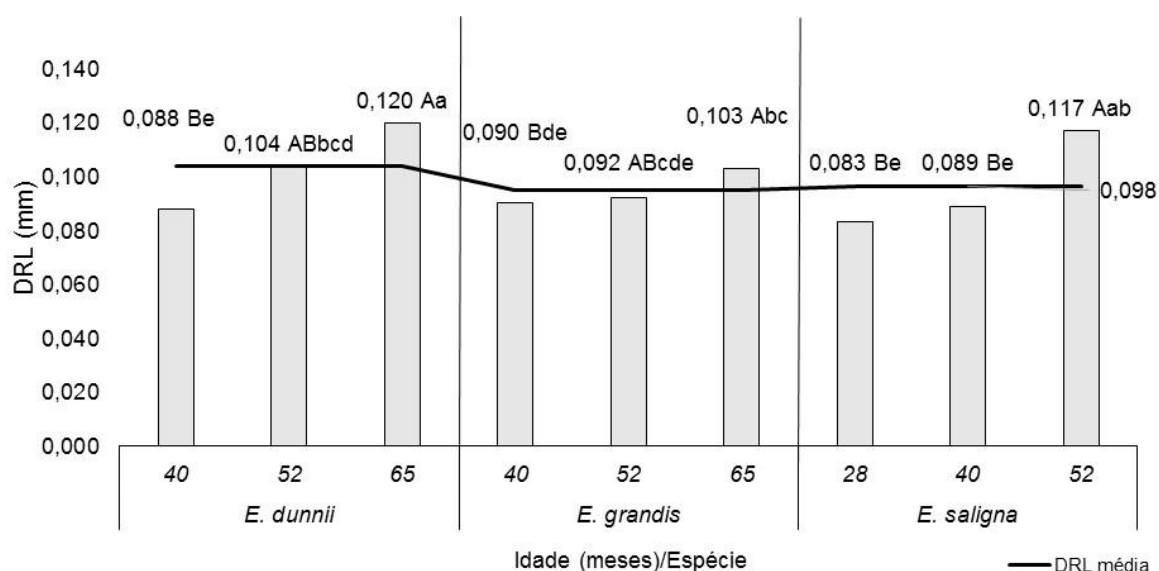


FIGURA 1.15 – VARIACÃO DOS VALORES MÉDIOS E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro de cada espécie e minúscula independente da espécie não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade

No efeito idade, observa-se que para todas as espécies estudadas, estatisticamente, as árvores que apresentaram a maior idade, foram as que exibiram os maiores valores para a DRL, o mesmo comportamento foi observado em todas as espécies, conforme a idade aumenta, os valores da DRL são crescentes, em relação às idades estudadas observa-se, que as arvores mais velhas tendem a acumular mais tensão, como são formadas por madeira juvenil, pode ser que a DRL estabilize com a madeira na fase adulta.

Ao comparar as idades entre as espécies, verifica-se, estatisticamente que o maiores valores da DRL foram encontrados para as espécies de *E. dunnii* e *E. saligna* aos 65 e 52 meses de idade, respectivamente. Portanto, ao avaliar o comportamento da DRL, recomenda-se que a ordem para indicar ou selecionar material que apresentem os menores níveis de tensões de crescimento para a geração de produtos sólidos ou em programas de melhoramento genético florestal, seja prioritariamente, o *E. grandis*, seguido pelo *E. saligna* e por último o *E. dunnii*.

Trugilho *et al.* (2004) observaram a mesma tendência de aumento linear da DRL com o aumento da idade, ao avaliar o *E. dunnii* aos 8, 13, 15 e 19 anos de idade. Em contrapartida, Nicholson (1973) e Pádua *et al.* (2004) enfatizaram que a relação entre o nível da tensão de crescimento com a idade se deve às diferentes proporções da madeira juvenil no tronco, além de outros fatores intrínsecos a madeira.

A avaliação do efeito idade na DRL evidencia que essa variável deve ser observada nos processos de seleção de árvores para programas de melhoramento, os valores para DRL encontrados apresentaram influência da idade, o que serve de parâmetro na seleção da espécie, com os menores valores de DRL. Isso corrobora com Pádua *et al.* (2004) que ressaltaram os estudos que envolvem a idade precoce do material, contribuem para a seleção de genótipos, com características desejáveis, proporcionando ganhos genéticos e econômicos em programas de melhoramento florestal.

Ao avaliar o desdobramento do efeito posição na DRL para a espécie de *E. saligna*, o valor médio geral entre as posições para a DRL foi de 0,092 mm (Figura 1.16).

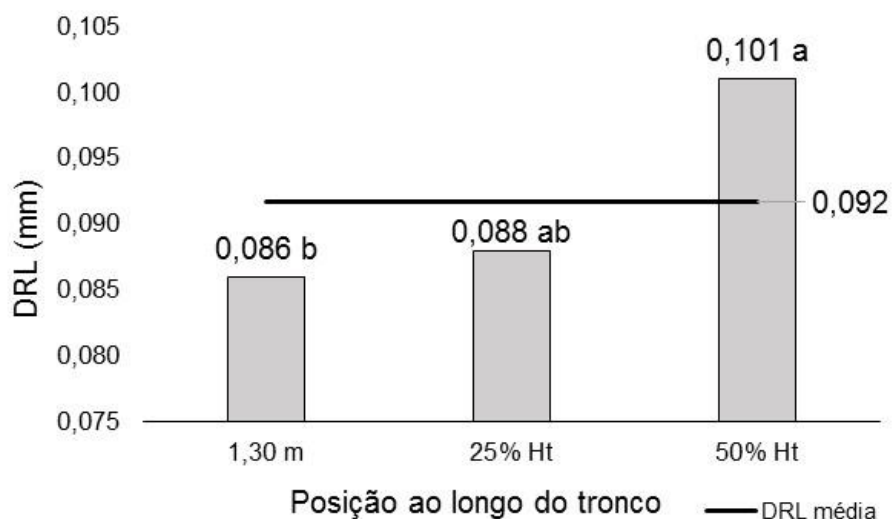


FIGURA 1.16 – VALORES MÉDIOS E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NO TRONCO PARA A MADEIRA DE *E. saligna*

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade

Como foi significativo apenas para a espécie *Eucalyptus saligna*, o maior valor médio para o efeito posição, estatisticamente, para a DRL foi na posição a 50%Ht (0,101 mm) e o menor na posição do DAP (0,086 mm), a posição de 25%Ht (0,088 mm) apresentou valores iguais às outras duas posições. O maior valor médio da DRL, obtido na posição de 50%Ht, pode ser justificado em função da maior incidência dos ventos que ocorre na parte superior das árvores, influenciando, diretamente, na variável DRL, nesta região há maior movimentação do fuste da árvore e, em resposta, ocorre um maior esforço mecânico da árvore para se manter em equilíbrio. Menores diâmetros, também, resultam em maior tensão de crescimento, porque possuem uma menor seção para a redistribuição das tensões.

Trugilho (2005), ao avaliar a tensão de crescimento para a espécie de *E. dunnii*, de diferentes idades, encontrou, para o efeito posição longitudinal (DAP e a 3 m de altura), valores não significativos. O mesmo autor ressaltou que a avaliação dessa característica pode ser simplificada e realizada somente na altura do DAP.

Lima *et al.* (2004), ao analisarem a DRL em clones da madeira de eucalipto na posição de 1,3 m e a 2,5 m ao longo do fuste, não encontraram diferença dos valores no sentido longitudinal. Os autores ainda enfatizaram que, poderiam considerar apenas uma medida ao nível do DAP, quando se fizer a análise da DRL para o clone, em função da dificuldade da avaliação e medição na altura de 2,5 m.

Observou-se, também, que os valores da DRL para o *E. saligna* foram crescente ao longo do fuste, este comportamento é bastante controverso nos estudos citados na literatura. Alguns autores relatam que as tensões de crescimento tendem a aumentar com a altura da árvore (CHAFE, 1981; MUNERI *et al.*, 1999; RAYMOND *et al.*, 2004), embora haja resultados contrários (CHAFE, 1995; YANG *et al.*, 2001).

O mesmo comportamento do presente trabalho foi observado por Raymond *et al.* (2004), que encontraram valores crescentes para a DRL, a partir de 1,30 m até a altura de 4,0 m. Os autores, ainda, ressaltaram que entre as árvores houve grande variação para a deformação longitudinal de crescimento.

Para aprofundar nas explicações dos valores da DRL obtidos, estes foram comparados entre as espécies, quando possuíam idades iguais, comparando-se, também, as maiores idades de cada espécie. A Tabela 1.5 apresenta o quadro da ANOVA da comparação dos valores obtidos da DRL para as espécies estudadas, todas com 40 meses de idade.

TABELA 1.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE *E. grandis*, *E. dunnii* E *E. saligna* AOS 40 MESES DE IDADE

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>Idade</b>	2	0,0000853667	0,0000426833	0,10	0,9015 ns
<b>Residual</b>	99	0,0406868	0,000410978		
<b>Total</b>	101	0,0407722			

NOTA: ns – não significativo em nível de 95% de probabilidade

Ao analisar as espécies na idade de 40 meses, verifica-se que os valores para a DRL não foram significativos, não havendo a necessidade de um teste de comparação de médias, visto que os valores da DRL são iguais. Para melhor visualização, na Figura 1.17 encontram-se os valores médios da DRL entre as espécies, aos 40 meses de idade. Observa-se que não há uma variação da DRL, apresentando o mesmo comportamento.

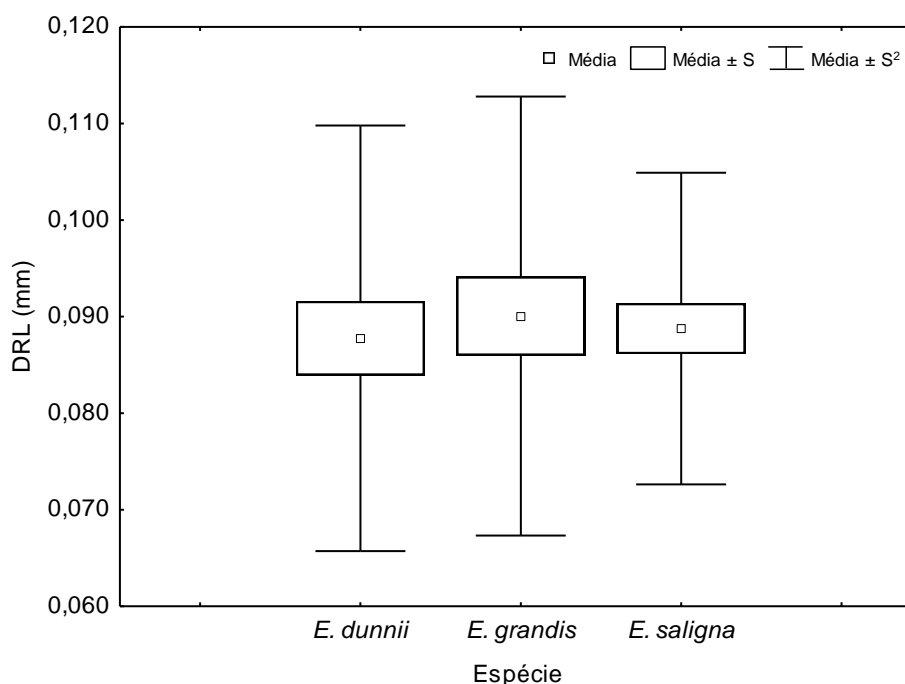


FIGURA 1.17 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*, AOS 40 MESES DE IDADE  
 FONTE: O autor (2014)

O valor médio da DRL obtido para o *E. dunnii* foi de 0,088 mm, variando de 0,051 a 0,129 mm, e um coeficiente de variação, de 25,11%. Para o *E. grandis*, os valores variaram de 0,046 a 0,148 mm, apresentando uma média de 0,090 mm, e coeficiente de variação de 25,24%. O *E. saligna* apresentou um valor médio de 0,089 mm, variando de 0,056 a 0,137mm, com um coeficiente de variação de 18,19%.

Na Tabela 1.5, observa-se o quadro da ANOVA da comparação dos valores obtidos da DRL entre as espécies para a idade de 52 meses.

TABELA 1.6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE *E. grandis*, *E. dunnii* E *E. saligna*, AOS 52 MESES DE IDADE

FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
<b>Idade</b>	2	0,00464164	0,00232082	6,79	0,0028 *
<b>Residual</b>	42	0,0143495	0,000341654		
<b>Total</b>	44	0,0189911			

NOTA: \* – Significativo em nível de 95% de probabilidade

Verifica-se na Figura 1.18, o teste de comparação das médias, bem como a variação existente entre as espécies para a DRL. Estatisticamente, o *E. saligna*



apresentou maior valor para a DRL, em nível de 95% de probabilidade, seguido *E. dunnii* e *E. grandis*.

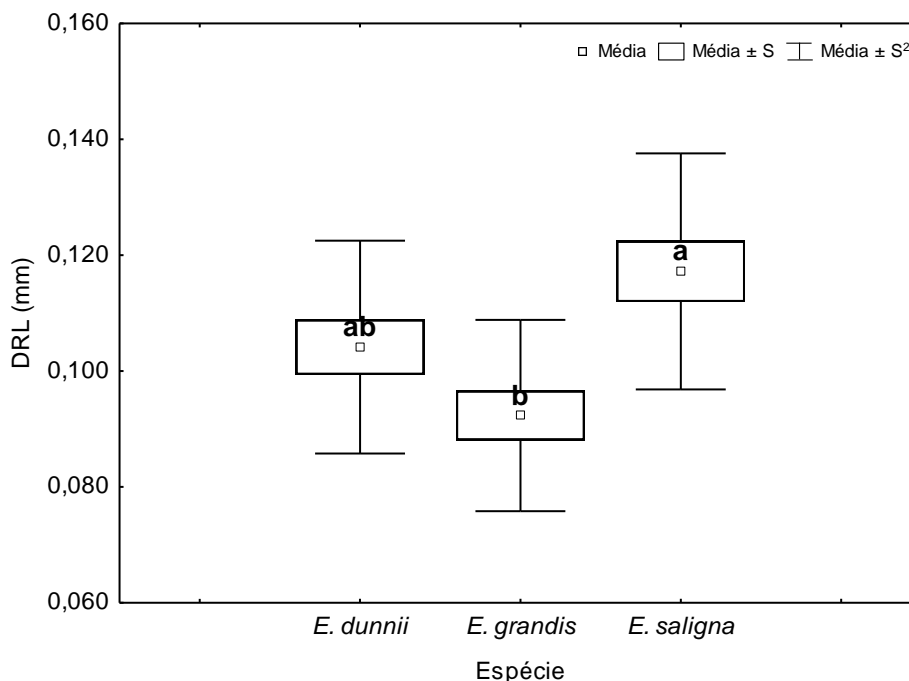


FIGURA 1.18 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS E TESTE DE COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna* AOS 52 MESES DE IDADE

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade

O *E. saligna* apresentou um valor médio de 0,117 mm, variando de 0,091 a 0,161 mm, com um coeficiente de variação de 17,38%. Para o *E. dunnii*, os valores obtidos para a DRL variaram de 0,072 a 0,127 mm, apresentando um valor médio de 0,092 mm, e um coeficiente de variação de, 17,88%. Os valor médio da DRL obtido para o *E. grandis* foi de 0,104 mm, com os valores, variando de 0,074 a 0,143 mm, e um coeficiente de variação, de 17,64%.

Para a comparação dos valores médios obtidos para DRL aos 65 meses de idade, entre as espécies de *E. dunnii* e *E. grandis*, procedeu-se a um teste T, assumindo que as variâncias das duas amostras sejam iguais, para a comparação das médias. Estatisticamente, observou-se uma diferença significativa entre as médias das duas amostras, em nível de confiança de 95,0%, uma vez que se obteve um T de 3,38907, com um P-valor calculado de 0,0010263, apresentando-se menor que 0,05.

O *E. dunnii*, nesse caso, apresentou uma deformação residual longitudinal superior ao *E. grandis* aos 65 meses de idade. Para melhor visualização, observa-se na Figura 1.19, os valores médios para DRL de 0,103 mm e 0,120 mm para as espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, respectivamente.

Os valores da DRL para o *Eucalyptus grandis* variaram de 0,071 a 0,155 mm, com um coeficiente de variação de 18,11%, enquanto que o *Eucalyptus dunnii* apresentou valores variando de 0,057 a 0,168 mm, com um coeficiente de variação de 25,10%.

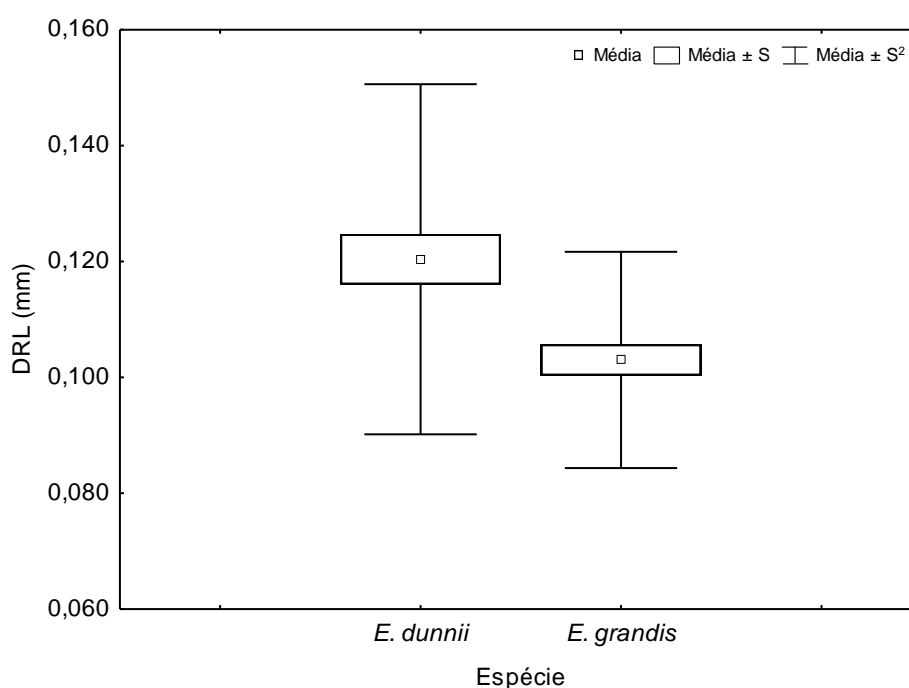


FIGURA 1.19 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O *E. dunnii* E *E. grandis*, AOS 65 MESES DE IDADE

FONTE: O autor (2014)

Para as três espécies, a idade superior apresentou os maiores valores médios para a DRL, verifica-se, na Tabela 1.7, uma ANOVA para comparação entre o *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna* da DRL, na idade superior que cada espécie apresentava, ou seja, aos 65, 65 e 52 meses de idade, respectivamente. Nota-se ao nível em nível de 95% de probabilidade, que os valores da DRL apresentaram diferença significativa entre os valores médios das espécies.

TABELA 1.7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL ENTRE AS ESPÉCIES DE *E. grandis*, *E. dunnii* E *E. saligna*, AOS 65 MESES DE IDADE

FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	2	0,00763662	0,00381831	6,33	0,0025 *
Residual	108	0,0651069	0,000602841		
Total	110	0,0727435			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM – Quadrado médio. \* – Significativo em nível de 95% de probabilidade

A Figura 1.20 ilustra a variação existente no comportamento da DRL entre as espécies analisadas, bem como o teste de comparação de médias.

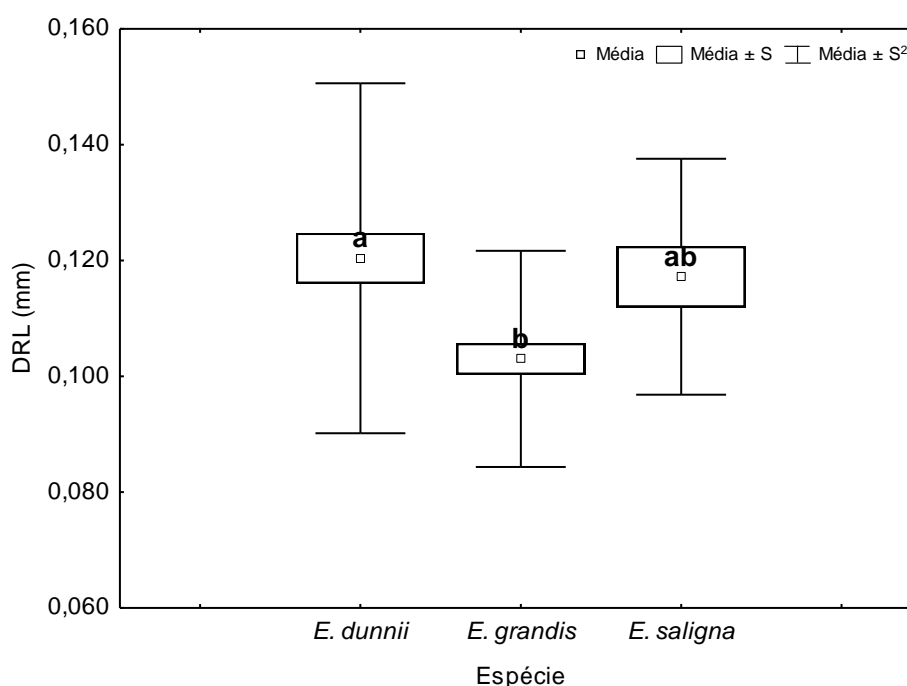


FIGURA 1.20 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA O *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna* NA IDADE SUPERIOR

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey em 95% de probabilidade

Constatou-se, estatisticamente, que o *E. dunnii* obteve o maior valor médio para a DRL, seguido pelo *E. saligna* e *E. grandis*. Observa-se, entretanto, que o *E. saligna*, apesar de apenas 52 meses de idade, apresentou valores médios para a DRL igual às espécies de *E. dunnii* e *E. grandis*, com 65 meses de idade.

Isso pode ser justificado em função da taxa de crescimento e desenvolvimento, uma vez que o *E. saligna*, apesar da idade inferior, apresentou características dendrométricas semelhantes às outras duas espécies, o que pode ter influenciado os valores da DRL se tornassem iguais ou próximos, além dos fatores ambientais e genéticos, que estão associados ao desenvolvimento das árvores, bem como dos níveis das tensões de crescimento.

A DRL é de grande importância, visto que a madeira pode ser aplicada em diversas finalidades, Beltrame (2012) recomendou que para produção de madeira para usos múltiplos, é importante que não possua valores extremos de deformação.

Como o propósito do uso da madeira utilizada nesta pesquisa é a geração de produtos sólidos, com maior valor agregado, a espécie de *E. grandis* tende a proporcionar uma madeira de qualidade superior, para tal finalidade. Apresentou os menores níveis da DRL, tendendo possuir baixa propensão às tensões de crescimento, indicando menor índice de rachaduras ou empenamento, dentre outros defeitos decorrentes. Diversas medidas tecnológicas podem ser empregadas para reduzir o impacto negativo das tensões de crescimento, visto que é um fator altamente disperso e podem se alterar com uma série de variáveis, dentre elas a idade.

Os materiais, com baixos valores de deformação residual longitudinal, também, podem ser utilizados como ferramentas em programas de melhoramento da qualidade da madeira, principalmente à produção de madeira destinada à geração de produtos sólidos.

## 5.2 DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL NAS DIFERENTES ORIENTAÇÕES AO REDOR DO TRONCO

Na Tabela 1.8, constam os valores médios da DRL tomados nas quatro posições ao redor do tronco da árvore: norte, leste, sul e oeste, para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, nas diferentes idades.

TABELA 1.8 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURAS AO REDOR DO TRONCO

ESPÉCIE	IDADE	DRL (mm) - Orientação			
		Norte	Leste	Sul	Oeste
<i>Eucalyptus dunnii</i>	40	<b>0,082</b> (34,55)*	<b>0,093</b> (34,13)	<b>0,090</b> (41,51)	<b>0,085</b> (35,98)
	52	<b>0,110</b> (37,07)	<b>0,103</b> (34,32)	<b>0,104</b> (26,77)	<b>0,099</b> (24,88)
	65	<b>0,118</b> (42,54)	<b>0,117</b> (37,07)	<b>0,120</b> (29,72)	<b>0,122</b> (30,05)
<i>Eucalyptus grandis</i>	40	<b>0,098</b> (31,76)	<b>0,087</b> (30,77)	<b>0,092</b> (39,52)	<b>0,083</b> (33,81)
	52	<b>0,091</b> (20,18)	<b>0,085</b> (19,04)	<b>0,093</b> (34,84)	<b>0,100</b> (29,41)
	65	<b>0,098</b> (28,62)	<b>0,104</b> (24,37)	<b>0,108</b> (29,74)	<b>0,102</b> (27,78)
<i>Eucalyptus saligna</i>	28	<b>0,078</b> (28,69)	<b>0,076</b> (35,26)	<b>0,093</b> (24,10)	<b>0,082</b> (30,36)
	40	<b>0,086</b> (27,22)	<b>0,096</b> (36,82)	<b>0,086</b> (41,43)	<b>0,086</b> (24,38)
	52	<b>0,115</b> (24,05)	<b>0,121</b> (33,11)	<b>0,118</b> (29,55)	<b>0,114</b> (21,98)

NOTA: \* Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%)

O comportamento dos valores da DRL nas quatro orientações, em todas as espécies foi semelhante ao valor médio geral, analisado anteriormente, ou seja, com o aumento da idade, os valores da DRL em cada direção também foram crescentes. Não houve predominância de baixos ou altos valores da DRL em uma determinada orientação, apresentando uma elevada variabilidade da DRL nas diferentes direções ao redor do tronco.

As árvores apresentaram, para as quatro posições, um coeficiente de variação relativamente alto, variando de 19,04%, na face oeste, a 42,54% na face norte, proporcionando uma elevada dispersão para essa variável analisada. Ao comparar com outros trabalhos observou-se, também, uma alta variabilidade da DRL ao redor do tronco, por exemplo, Lima *et al.*(2004) encontraram coeficientes de variação de 13% a 80%, e Gonçalves (2006), valores variando de 18% a 92%.

Trugilho *et al.* (2004), ao analisar com *Eucalyptus dunnii*, com idades variando de 108 a 156 meses, confirmaram a existência de uma alta variabilidade para DRL. Os autores, ainda, mencionaram que elevados coeficientes podem ser uma boa referência, quando se pretende trabalhar na seleção de árvores, com potencial para produção de madeira sólida, uma vez que a DRL está diretamente relacionada com as rachaduras e empenamentos quando as peças são serradas, indicando material com o menores níveis de DRL.

Nas Tabelas 1.8, 1.9 e 1.10, encontram-se os resultados das análises de variância da DRL, em função das quatro orientações de leitura ao redor do tronco, para as três espécies de *Eucalyptus* estudadas, nas diferentes idades.

TABELA 1.9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE *E. dunnii*, EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO DA ÁRVORE

<i>Eucalyptus dunnii</i>					
IDADE - 40 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00268008	0,000893361	0,86	0,4639 ns
Residual	128	0,132991	0,00103899		
Total	131	0,135671			
IDADE - 52 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,000940183	0,000313394	0,29	0,8314 ns
Residual	56	0,0602224	0,0010754		
Total	59	0,0611626			
IDADE - 65 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00257551	0,000858504	0,47	0,7058 ns
Residual	176	0,323705	0,00183923		
Total	179	0,326281			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM – Quadrado médio. ns - não significativo em nível de 95% de probabilidade

TABELA 1.10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE *E. grandis* EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO

<i>Eucalyptus grandis</i>					
IDADE - 40 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,0036961	0,00123203	1,30	0,2779 ns
Residual	120	0,113796	0,000948297		
Total	123	0,117492			
IDADE - 52 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00184058	0,000613528	0,98	0,4108 ns
Residual	56	0,0352171	0,000628876		
Total	59	0,0370577			
IDADE - 65 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00256044	0,000853479	1,05	0,3723 ns
Residual	188	0,153025	0,000813963		
Total	191	0,155585			

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM – Quadrado médio. ns - não significativo em nível de 95% de probabilidade

TABELA 1.11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS DRL DE *E. saligna* EM FUNÇÃO DAS QUATRO ORIENTAÇÕES DE LEITURA AO REDOR DO TRONCO

<i>Eucalyptus saligna</i>					
IDADE - 28 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00455483	0,00151828	2,57	0,0574 ns
Residual	116	0,0684212	0,000589838		
Total	119	0,072976			
IDADE - 40 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,00275095	0,000916982	1,04	0,3751 ns
Residual	148	0,130013	0,000878469		
Total	151	0,132764			
IDADE - 52 meses					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
Idade	3	0,000404333	0,000134778	0,13	0,9433 ns
Residual	56	0,059118	0,00105568		
Total	59	0,0595223			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM – Quadrado médio. ns - não significativo em nível de 95% de probabilidade

Diversos autores, ao avaliarem, a DRL medida ao redor do tronco nas diferentes direções encontraram diferença significativa dos valores da DRL para diferentes espécies do gênero *Eucalyptus* (MELO, 2004; CARDOSO JÚNIOR, 2004; TRUGILHO, 2005; GONÇALVES, 2006; CARVALHO *et al.*, 2010, BELTRAME, 2012).

Verificou-se, no entanto, na presente pesquisa, que os valores de F da análise de variância não foram significativos em nível de 95% de probabilidade, portanto estatisticamente, os valores da DRL, tomados nas quatro orientações (norte, sul, leste e oeste) dentro de cada idade, para as três espécies, não apresentaram diferença entre médias, apresentando o mesmo comportamento.

Resultado semelhante foi encontrado por Lima *et al.* (2004), que concluíram que não haver uma diferença significativa dos valores da DRL, ao redor do tronco, e que poderia ter sido diferente, caso os troncos apresentassem deformações, em virtude de fatores ambientais, como a competição por luz ou efeito de ventos, por exemplo.

Rodrigues (2007), ao avaliar clones de *Eucalyptus* spp., encontrou valores médios de 0,81 e 0,82 mm para dentro da linha e entre linhas de plantio, demonstrando não haver diferenças significativas na DRL, ao longo da circunferência do tronco. Souza (2006) ressaltou que, entre as posições cardeais, não há uma diferença significativa.

Alguns autores enfatizaram que as variações nas intensidades das tensões de crescimento, ao redor do tronco, podem estar associadas à inclinação do fuste, distribuição desequilibrada da copa, variação do ângulo da grã da madeira, até mesmo, tortuosidade do fuste ou, ainda, existência da madeira de reação (NICHOLSON, 1973; DINWOODIE, 1966; RODRIGUES, 2007).

Para melhor visualização do comportamento da DRL, as figuras 1.21, 1.22 e 1.23 ilustram as distribuições da tensão periférica da deformação residual longitudinal ao redor dos troncos, bem como as variações existentes entre elas nas diferentes idades para as espécies de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente.



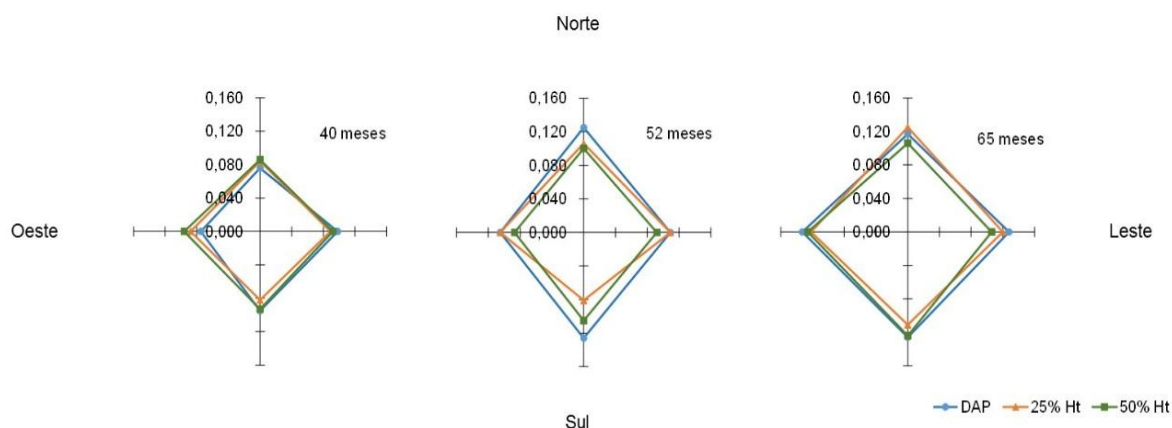


FIGURA 1.21 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO DE *E. dunnii*  
 FONTE: O autor (2014)

Verifica-se na figura 1.21, que os valores de DRL nas idades de 40 e 65 meses se mantiveram próximos, apresentando um comportamento mais homogêneo ao redor do tronco, independentemente da posição em que foram tomadas as medidas, ao longo do tronco. Na idade de 52 meses, os valores para DRL oscilaram mais, principalmente em maior magnitude nas direções norte e sul, apresentando em cada posição ao longo do tronco um valor característico.

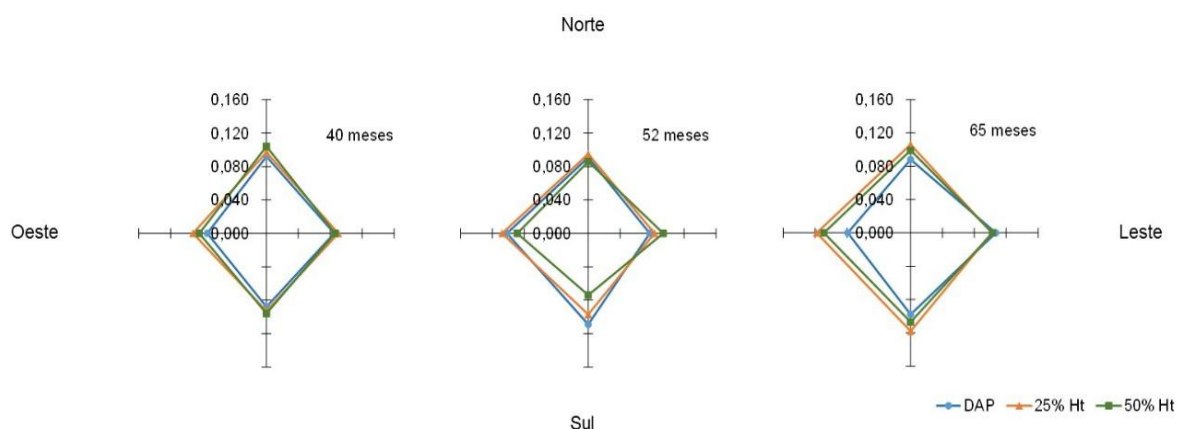


FIGURA 1.22 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO DE *E. grandis*  
 FONTE: O autor (2014)

Para o *E. grandis*, observa-se na Figura 1.22 que os valores de DRL nas idades de 40 meses foram os mais próximos, apresentando um comportamento de distribuição da DRL mais homogêneo, independentemente da posição ao longo do tronco. Para a idade de 52 meses, como o ocorrido para o *E. dunnii*, os valores médios

para a DRL na direção sul foram os que apresentaram maior magnitude, quando comparados nas outras direções. Na idade de 65 meses, observou-se maior variação dos valores médios para a DRL, com uma distribuição mais irregular entre as posições longitudinais, principalmente na direção oeste.

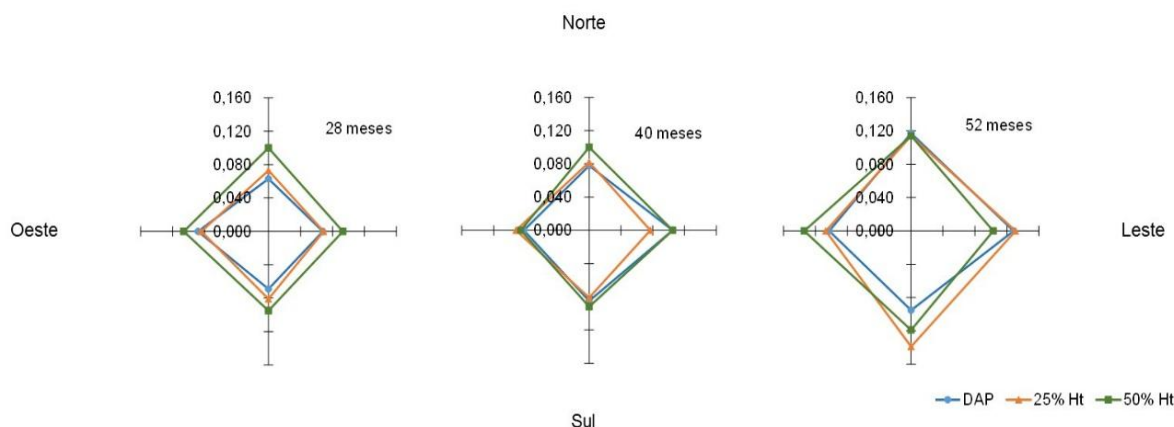


FIGURA 1.23 – DISTRIBUIÇÃO PERIFÉRICA DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL AO REDOR DO TRONCO DE *E. saligna*  
 FONTE: O autor (2014)

Observa-se, na Figura 1.23, para o *E. saligna* que os valores médios para DRL foram os que mais variaram, apresentando uma distribuição mais irregular em todas as idades, sendo o único a apresentar diferença estatísticas entre as posições ao longo do tronco. Para a idade de 28 meses, apenas os valores na posição do DAP e 25%Ht apresentaram um comportamento semelhante, na posição de 50% da Ht, os valores foram mais elevados, para todas as direções ao redor do tronco, apresentando uma distribuição mais irregular.

Para a idade de 40 meses, os valores médios da DRL foram próximos nas regiões oeste e sul ao redor do tronco, na região norte e leste, os valores na posição de 50% da Ht foram mais acentuados. A idade de 52 meses foi a que apresentou uma distribuição irregular da DRL mais acentuada, em todas as direções, nas diferentes posições ao longo do fuste, apenas na região norte, os valores da DRL, para a três posições, apresentaram-se próximos.

Chafe (1979) ressaltou que as diferenças de comportamento das tensões de crescimento são normais entre as espécies, mas também existentes entre as espécies e entre as árvores de uma mesma espécie e, até, entre toras de uma mesma árvore. O autor, sugere que estas diferenças podem ser substancialmente controladas por fatores genéticos.

Além dos fatores genéticos, os plantios florestais estão sujeitos aos diferentes tratamentos silviculturais, uma das atividades que pode contribuir para uma distribuição mais regular, com baixos níveis de tensões de crescimento, é o desbaste. Assim, quanto maior a intensidade do desbaste no povoamento florestal, tende-se à redução da competição entre as árvores, proporcionando um crescimento mais livre.

Ferrand (1983), estudando o efeito dos desbastes na DRL em *Eucalyptus*, observou que os desbastes mais pesados e prematuros reduziram os níveis das deformações, indicando uma relação direta entre as deformações e a competição existente, em plantios, com maior densidade.

Lima *et al.* (2000) apontaram a intensidade de desbastes como um dos fatores decisivos sobre a intensidade das tensões de crescimento em uma mesma classe diamétrica, influenciando significativamente os índices de rachadura na extremidade das toras e no encurvamento da peça serrada.

Kubler (1988) relatou que práticas silviculturais, como o desbaste, podem também minimizar as tensões de crescimento, mantendo uma taxa e as condições de crescimento constantes e estáveis.

Na literatura, no entanto, o assunto é muito controverso em relação dos níveis da tensão de crescimento e a influência das práticas relacionadas as taxas de crescimento. Ferrand (1983), Malan e Hoon (1992) relataram que não há interferência, alguns autores, no entanto, afirmaram que as tensões de crescimento podem estar associadas aos tratamentos que influenciam nas taxas de crescimento das árvores. (WILKINS; KITAHARA, 1991; PONCE, 1984; SHIELD, 1995, MIRANDA; NAHUZ, 1999).

Rodrigues (2007) ressaltou que uma possível causa da diferença da DRL pode ser em decorrência das variações na madeira, que surgem em virtude da formação do lenho de tração, no caso das espécies de *Eucalyptus*.

Segundo Schacht *et al.* (1998), a competição por luz, efeito do vento, inclinação do fuste, variação do ângulo da grã na madeira, presença de madeira de reação ou, mesmo, tortuosidade podem estar relacionados à variação ao redor do tronco, assim como as medidas das deformações ocorrem em torno do tronco, tais inferências influenciam na medição da DRL.

A DRL é um fator diretamente associado às tensões de crescimento e são determinantes no uso da madeira para a geração de produtos sólidos. Os melhores materiais apresentam menores magnitudes e maior uniformidade ao redor do tronco.

Desta forma, o *E. grandis* apresenta-se como o material mais promissor na conversão da madeira em produtos sólidos, apesar da alta variabilidade dos valores da DRL. Esta espécie também deve ser selecionada para programas de melhoramento, com o intuito de obter madeira com características desejáveis.

### 5.3 CORRELAÇÕES DA DRL COM AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E PROPRIEDADES DA MADEIRA

#### 5.3.1 Variáveis de crescimento

Na Tabela 1.12, são apresentados os valores médios para a DRL, bem como as variáveis de crescimento, diâmetro à altura do peito (DAP), altura total das árvores (Ht), área da copa (Ac) e diâmetro da copa (Dc), para as espécies *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, nas diferentes idades (28, 40, 52 e 65 meses). Os valores médios apresentados, bem como as comparações e correlações, foram realizadas em função da idade. Optou-se em trabalhar apenas com os valores da DRL, tomados na posição do DAP.

TABELA 1.12 – VALORES MÉDIOS DA DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL E DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO PARA AS ESPÉCIES *E. dunnii*, *E. grandis* E O *E. saligna*, NAS DIFERENTES IDADES

Espécies	Idade (meses)	DRL	Variáveis de crescimento			
			DAP (cm)	Ht (m)	Ac (cm)	Dc (cm)
<i>E. dunnii</i>	28	**	<b>10,48</b> (21,45)*	<b>8,56</b> (16,45)	<b>2,46</b> (35,10)	<b>1,74</b> (18,35)
	40	<b>0,086</b> (25,93)	<b>13,92</b> (25,11)	<b>10,80</b> (25,11)	<b>5,20</b> (45,66)	<b>2,51</b> (23,39)
	52	<b>0,116</b> (16,67)	<b>17,12</b> (14,89)	<b>16,17</b> (10,26)	<b>6,52</b> (33,31)	<b>2,84</b> (17,53)
	65	<b>0,126</b> (22,72)	<b>19,92</b> (15,66)	<b>18,52</b> (14,39)	<b>8,76</b> (37,43)	<b>3,28</b> (18,84)
<i>E. grandis</i>	28	**	<b>10,45</b> (15,77)	<b>8,63</b> (12,08)	<b>2,69</b> (34,00)	<b>1,83</b> (18,17)
	40	<b>0,085</b> (31,38)	<b>14,83</b> (19,28)	<b>11,03</b> (15,80)	<b>5,49</b> (39,67)	<b>2,60</b> (19,47)
	52	<b>0,095</b> (20,88)	<b>17,33</b> (12,70)	<b>16,29</b> (10,29)	<b>10,45</b> (30,07)	<b>3,61</b> (15,37)
	65	<b>0,093</b> (14,02)	<b>19,45</b> (15,17)	<b>19,42</b> (8,51)	<b>10,62</b> (44,10)	<b>3,58</b> (23,59)
<i>E. saligna</i>	28	<b>0,072</b> (11,77)	<b>10,30</b> (8,21)	<b>9,30</b> (7,21)	<b>2,41</b> (25,78)	<b>1,74</b> (13,20)
	40	<b>0,082</b> (18,50)	<b>13,92</b> (18,00)	<b>11,83</b> (20,03)	<b>5,30</b> (27,47)	<b>2,57</b> (14,55)
	52	<b>0,111</b> (12,81)	<b>19,55</b> (12,93)	<b>17,95</b> (9,43)	<b>12,21</b> (29,06)	<b>3,89</b> (14,93)

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; DAP - Diâmetro na altura do peito; Ht - Altura total; Ac - Área da copa; Dc - Diâmetro da copa. \* Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%). \*\* Não foram mensurados a DRL para a espécies de *E. dunnii* e *E. grandis* ao 28 meses de idade

Os valores médios obtidos para o *E. dunnii* à altura do DAP, variaram de 10,48 a 19,92 cm, para a altura total, variaram 8,56 a 18,52 m, de 2,46 a 8,76 cm, para área de copa, e de 1,74 a 3,28 cm, para o diâmetro da copa. O *E. grandis* apresentou valores variando de 10,45 a 19,45 cm, para o DAP, de 8,63 a 19,42 m, para a altura

total, de 2,69 a 10,62 cm, para a área da copa, e 1,83 a 3,58 cm, para o diâmetro da copa. Para o clone *E. saligna*, as amplitudes de crescimento variaram de 10,30 a 19,55 cm para o DAP, de 9,30 a 17,45 m, para a altura total, 2,41 a 12,21 cm, para a área da copa e 1,74 a 3,89 cm, para o diâmetro da copa.

Observa-se uma amplitude de variação de baixa a mediana, para as variáveis DAP, Ac e Dc. A variável Ht apresentou uma amplitude de variação mais alta, mas em geral, as espécies avaliadas apresentaram um comportamento semelhante. Fica evidente que, com o aumento da idade para as três espécies, ocorre o crescimento para todas as variáveis dendrométricas.

Os maiores valores da DRL foram obtidos nas árvores com maiores valores das variáveis de crescimento (DAP, Ht, Ac e Dc), ou seja, maiores taxas de crescimento proporcionaram maior acúmulo da tensão de crescimento. Essas taxas, no entanto, podem ser alteradas em função da qualidade do sítio e das práticas silviculturais e de manejo adotadas, promovendo a redução da tensão de crescimento e, conseqüentemente, maior equilíbrio e estabilidade das árvores, com alta produtividade para a geração de produtos sólidos.

Uma observação importante, em relação às variáveis de crescimento e o seu desenvolvimento, é para a espécie *E. saligna*, com apenas 52 meses de idade, apresentou valores para as variáveis de crescimento, semelhantes e, em alguns caso superiores, quando comparada às espécies *E. dunnii* e *E. grandis* com idade de 65 meses, o que implica em maior incremento anual, estudos relacionados ao manejo florestal, no entanto, devem ser elaborados para confirmar tal fato.

A Tabela 1.13 apresenta a matriz de correlação entre a DRL e as variáveis de crescimento das árvores para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*. A influência das características de crescimento sobre a DRL vai depender da espécie e da idade, apresentando um comportamento diferenciado.

Quando relacionada as variáveis de crescimento, a DRL apresentou, em geral, correlações de baixa magnitude. A variável Ht foi a que proporcionou correlações significativas e positivas em todas as espécies, onde o *E. dunnii* e o *E. saligna*, apresentaram as maiores correlações de 0,65 e 0,75, respectivamente. O DAP também apresentou uma baixa correlação significativa com a DRL, para o *E. dunnii*.

Para a espécie *Eucalyptus saligna*, a DRL correlacionou-se, significativamente, e de forma positiva, com todas as variáveis de crescimento, apresentando-se numa relação mediana, fica evidente que as variáveis de crescimento tendem a influenciar na DRL, principalmente para essa espécie. Lima *et al.* (2004) ressaltaram que a DRL melhor se correlaciona com as variáveis de crescimento, de fácil medição.

TABELA 1.13 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE AS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E A DRL PARA AS ESPÉCIES DE *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*

<i>Eucalyptus dunnii</i>				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,36*	0,65**	0,05
DAP (cm)		1,00	0,81**	0,78**
HT (m)			1,00	0,46**
DC (cm)				1,00
<i>Eucalyptus grandis</i>				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,29	0,41*	0,10
DAP (cm)		1,00	0,71**	0,69**
HT (m)			1,00	0,55**
DC (cm)				1,00
<i>Eucalyptus saligna</i>				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,77**	0,75**	0,75**
DAP (cm)		1,00	0,96**	0,96**
HT (m)			1,00	0,91**
DC (cm)				1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; DAP - Diâmetro na altura do peito; Ht - Altura total; Ac - Área da copa; Dc - Diâmetro da copa. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente

Para melhor compreensão da relação entre DRL e as variáveis de crescimento, estas foram estratificadas para cada espécie, em função da idade. Nas Tabelas 1.14, 1.15 e 1.16 são apresentados os resultados obtidos das correlações para o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente.

TABELA 1.14 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA *E. dunnii*

<b>IDADE - 40 MESES</b>				
	<b>DRL (mm)</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Ht (m)</b>	<b>Dc (cm)</b>
<b>DRL (mm)</b>	1,00	0,17	0,18	0,21
<b>DAP (cm)</b>		1,00	0,92**	0,94**
<b>Ht (m)</b>			1,00	0,80**
<b>Dc (cm)</b>				1,00
<b>IDADE - 52 MESES</b>				
	<b>DRL (mm)</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Ht (m)</b>	<b>Dc (cm)</b>
<b>DRL (mm)</b>	1,00	-0,60	0,69	-0,56
<b>DAP (cm)</b>		1,00	-0,81	0,84
<b>Ht (m)</b>			1,00	-0,65
<b>Dc (cm)</b>				1,00
<b>IDADE - 65 MESES</b>				
	<b>DRL (mm)</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Ht (m)</b>	<b>Dc (cm)</b>
<b>DRL (mm)</b>	1,00	-0,42	0,22	-0,75**
<b>DAP (cm)</b>		1,00	0,44	0,51*
<b>Ht (m)</b>			1,00	-0,27
<b>Dc (cm)</b>				1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; DAP - Diâmetro na altura do peito; Ht - Altura total; Ac - Área da copa; Dc - Diâmetro da copa. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente

Para o *E. dunnii*, os valores obtidos da correlação da DRL com as variáveis de crescimento foram baixos, para a idade de 40 meses, indicando uma fraca influência dessas variáveis na DRL. Para a idade de 52 meses, as correlações foram medianas e negativas, com exceção da altura total, que foi positiva, porém sem correlação significativa. Aos 65 meses de idade, apenas a variável diâmetro da copa apresentou uma correlação mais evidente com a DRL, negativa e significativa, indicando maior influência dessa variável na DRL.

Na Tabela 1.15 são apresentadas as correlações entre a DRL e as variáveis de crescimento, em cada idade, para a espécie *E. grandis*.



TABELA 1.15 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA *E. grandis*

IDADE - 40 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	-0,15	0,14	-0,10
DAP (cm)		1,00	0,20	0,59
Ht (m)			1,00	0,50
Dc (cm)				1,00
IDADE - 52 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,56	0,75	0,06
DAP (cm)		1,00	0,94*	0,57
Ht (m)			1,00	0,58
Dc (cm)				1,00
IDADE - 65 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,08	-0,04	-0,30
DAP (cm)		1,00	0,36	0,62*
Ht (m)			1,00	-0,03
Dc (cm)				1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; DAP - Diâmetro na altura do peito; Ht - Altura total; Ac - Área da copa; Dc - Diâmetro da copa. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente

Verificou-se que, para o *Eucalyptus grandis*, apenas na idade de 52 meses fica evidente uma correlação das variáveis DAP e Ht com a DRL, apesar de não serem significativas. Para as idades de 40 e 65 meses, as correlações foram muito pequena ou quase inexistentes, não apresentando relação dessas variáveis com a DRL.

Na Tabela 1.16, são apresentadas as correlações entre a DRL e as variáveis de crescimento, em cada idade, para a espécie *E. saligna*.

TABELA 1.16 – CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO COM A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL PARA *E. saligna*

IDADE - 28 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,24	0,12	0,13
DAP (cm)		1,00	0,32	-0,34
Ht (m)			1,00	-0,49
Dc (cm)				1,00
IDADE - 40 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,42	0,30	0,33
DAP (cm)		1,00	0,81**	0,91**
Ht (m)			1,00	0,80**
Dc (cm)				1,00
IDADE - 52 MESES				
	DRL (mm)	DAP (cm)	Ht (m)	Dc (cm)
DRL (mm)	1,00	0,12	-0,01	0,06
DAP (cm)		1,00	-0,07	0,71
Ht (m)			1,00	-0,49
Dc (cm)				1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; DAP - Diâmetro na altura do peito; Ht - Altura total; Ac - Área da copa; Dc - Diâmetro da copa. \*\* e \* significativo a 99 e 95% de probabilidade, respectivamente.

Para todas as idades, as variáveis de crescimento apresentaram baixos e quase inexistentes coeficientes de correlação com a DRL para o *E. saligna*, indicando não haver influência dessas variáveis na DRL.

Ao avaliar a relação das variáveis de crescimento com a DRL dentro de cada idade, separadamente para as espécies utilizadas, em geral, observou-se um comportamento semelhante, observaram-se baixas correlações e, apenas para a idade de 52 meses, para o *E. dunnii*, as variáveis tenderam a uma correlação de maior magnitude.

Os trabalhos citados na literatura são bastante controversos quanto às correlações das características de crescimento das árvores com a DRL. Muneri *et al.* (1999), encontraram correlações existentes positivas e significativas da DRL, com a altura (0,44) e diâmetro das árvores (0,51) para o *E. cloeziana*, porém relativamente baixas.

Wilkins e Kitahara (1991), ao estudarem o *E. grandis*, com 12,5 e 22 anos, obtiveram uma forte correlação negativa com o DAP ( $r = -0,70$ ). Segundo Yang *et al.* (2001), os valores de DRL tendem a diminuir com a altura, em árvores jovens de *E. globulus*.

Os resultados obtidos no presente trabalho, no entanto, estão em conformidade com os encontrados com os trabalhos citados na literatura. Fernandes (1982) e Trugilho *et al.* (2004) não encontraram correlações significativas entre a DRL e as características de crescimento para o *E. dunnii*, em diferentes idades, o que foi constatado, também, por Souza (2002).

Gonçalves (2007) não encontrou tendência quando as classes de altura se relacionaram com a DRL, possuindo correlação linear simples não significativa. Lima *et al.* (2004), também não encontraram correlação entre as características de crescimento e a DRL.

Miranda e Nahuz (1999) observaram a variação da deformação residual longitudinal (DRL), em clones de *E. saligna*, com nove anos de idade, e ressaltaram que a DRL não apresentou correlação significativa com as características de crescimento da árvore.

A falta de correlação pode ser justificada em função de a DRL ser uma medida, tomada indiretamente, para determinação das tensões de crescimento, segundo Trugilho *et al.* (2006). Outra situação são as diferentes características das variáveis de crescimento de uma árvore para outra ou entre as espécies, o que pode interferir na interação com a DRL, além de outros fatores, como os ambientais e silviculturais.

As características de crescimento são fundamentais para avaliar o desenvolvimento dos plantios florestais, principalmente, em programas de melhoramento e na perspectiva da produção florestal, influenciam, também, nas propriedades e na qualidade da madeira, como no produto final. Essas variáveis podem ser manejadas, com o intuito de promover pequenas deformações residuais longitudinais.

O espaçamento e desbaste permitem que as árvores formem copas simétricas para atingir condições de concorrência homogênea, mantendo uma competição constante. Espera-se proporcionar a redução das tensões de crescimento para o *E. saligna*, visto que foi a única espécie que apresentou correlação entre a DRL e o diâmetro da copa no presente trabalho, quando não ocorreu a estratificação da idade.

Nota-se, entretanto, que a influência das variáveis de crescimento na DRL vai depender da idade e da espécie, apresentando um comportamento diferenciado,

observa-se, por exemplo, a relação da DRL com a variável DAP, ora a DRL é diretamente proporcional, ora, inversamente, tal situação confirma ser uma variável altamente dinâmica e que pode ser influenciada por diversos fatores.

A influência das taxas de crescimento deve ser analisada nos plantios florestais, uma vez que é de grande importância para a obtenção da elevada produção, principalmente, em função do diâmetro e altura comercial. Há a necessidade de uma matéria prima de qualidade, mas com maior valor agregado ao produto final, além da redução do desperdício da madeira nas etapas de desdobro e secagem, ocasionadas, também, pelas tensões de crescimento.

### 5.3.2 Propriedades físicas da madeira

A Tabela 1.17 apresenta os valores médios de algumas propriedades físicas da madeira, em função da idade, para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, visa apresentar as suas relações com o intuito de fornecer subsídios para melhorar a qualidade da madeira com as características desejáveis, através da redução das tensões de crescimento.

TABELA 1.17 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS AVALIADAS EM FUNÇÃO DA IDADE PARA AS ESPÉCIES *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*

Espécies	Idade (meses)	MEA (kg/m <sup>3</sup> )	MEB (kg/m <sup>3</sup> )	CT (%)	CR (%)	CL (%)	CV (%)	CA
<i>E. dunnii</i>	40	<b>565</b>	<b>433</b>	<b>9,27</b>	<b>4,40</b>	<b>0,40</b>	<b>13,59</b>	<b>2,15</b>
		(10,04)*	(8,47)	(23,93)	(18,75)	(38,46)	(19,27)	(19,63)
	52	<b>603</b>	<b>431</b>	<b>10,61</b>	<b>4,93</b>	<b>0,36</b>	<b>15,31</b>	<b>2,22</b>
		(9,46)	(12,40)	(23,14)	(22,09)	(23,64)	(20,54)	(15,76)
	65	<b>635</b>	<b>477</b>	<b>10,82</b>	<b>5,50</b>	<b>0,37</b>	<b>16,03</b>	<b>2,02</b>
		(9,60)	(7,74)	(12,36)	(17,34)	(22,50)	(10,79)	(17,29)
<b>Média</b>		<b>615</b>	<b>460</b>	<b>10,43</b>	<b>5,15</b>	<b>0,38</b>	<b>15,35</b>	<b>2,08</b>
		(10,52)	(9,92)	(17,44)	<b>(19,92)</b>	<b>(26,40)</b>	<b>(15,37)</b>	<b>(17,30)</b>
<i>E. grandis</i>	40	<b>474</b>	<b>385</b>	<b>7,28</b>	<b>3,81</b>	<b>0,41</b>	<b>11,18</b>	<b>1,99</b>
		(8,15)	(7,04)	(7,80)	(12,86)	(35,55)	(7,17)	(14,73)
	52	<b>510</b>	<b>417</b>	<b>7,58</b>	<b>4,14</b>	<b>0,36</b>	<b>11,72</b>	<b>1,88</b>
		(6,76)	(5,61)	(7,57)	(19,02)	(19,95)	(7,97)	(17,86)
	65	<b>499</b>	<b>403</b>	<b>7,72</b>	<b>4,10</b>	<b>0,35</b>	<b>11,73</b>	<b>1,91</b>
		(10,94)	(7,69)	(13,12)	(11,13)	(27,52)	(10,62)	(12,20)
<b>Média</b>		<b>496</b>	<b>402</b>	<b>7,61</b>	<b>4,05</b>	<b>0,36</b>	<b>11,62</b>	<b>1,92</b>
		(10,02)	(7,62)	(11,51)	(12,68)	(28,49)	(9,58)	(13,16)
<i>E. saligna</i>	40	<b>533</b>	<b>433</b>	<b>8,38</b>	<b>4,17</b>	<b>0,39</b>	<b>12,54</b>	<b>2,03</b>
		(6,52)	(7,27)	(5,39)	(7,00)	(25,65)	(4,64)	(7,07)
	52	<b>583</b>	<b>459</b>	<b>8,01</b>	<b>4,17</b>	<b>0,40</b>	<b>12,20</b>	<b>1,97</b>
		(9,47)	(6,78)	(3,96)	(13,60)	(2,93)	(5,39)	(9,62)
<b>Média</b>		<b>553</b>	<b>444</b>	<b>8,22</b>	<b>4,17</b>	<b>0,40</b>	<b>12,40</b>	<b>2,00</b>
		(9,07)	(7,58)	(5,21)	(9,69)	(18,86)	(4,92)	(7,93)
<b>Média geral</b>		<b>556</b>	<b>433</b>	<b>8,92</b>	<b>4,54</b>	<b>0,37</b>	<b>13,34</b>	<b>2,01</b>
		(14,01)	(10,68)	(20,81)	(20,21)	(25,68)	(18,22)	(14,83)

NOTA: MEA - Massa específica aparente; MEB - Massa específica básica; CT - Contração tangencial; CR - Contração radial (%); CL - Contração longitudinal; CV - Contração volumétrica e CA - Coeficiente de anisotropia. \* valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

### 5.3.2.1 Massa específica aparente da madeira

Para a massa específica aparente (MEA), o valor médio geral para as três espécies estudadas foi de 556 kg/m<sup>3</sup>, apresentando o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* valores médios de 615, 496 e 553 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Os coeficientes de variação para a MEA foram baixos apesar da diversidade do material, quanto às espécies e

idade. A madeira apresentou baixa variabilidade dos valores da MEA, evidenciando materiais mais homogêneos entre as amostras utilizadas.

A Tabela 1.18 apresenta a ANOVA para a MEA entre as espécies avaliadas nas diferentes idades, observa-se que foi significativo, em nível de 95%, pelo teste F, indicando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA MASSA ESPECÍFICA APARENTE PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
<b>MEA</b>	7	603702,	86243,1	31,01	0,0000 *
<b>Residual</b>	171	475549,	2780,99		
<b>Total</b>	178	1,07925E6			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; MEA - Massa específica aparente; \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

Observa-se, na Figura 1.24, o comportamento da massa específica aparente e o teste de comparação múltipla. Os resultados obtidos indicaram que houve diferença significativa entre as espécies e idades avaliadas, a espécie de *E. dunnii*, aos 65 meses de idade apresentou o maior valor médio para a MEA.

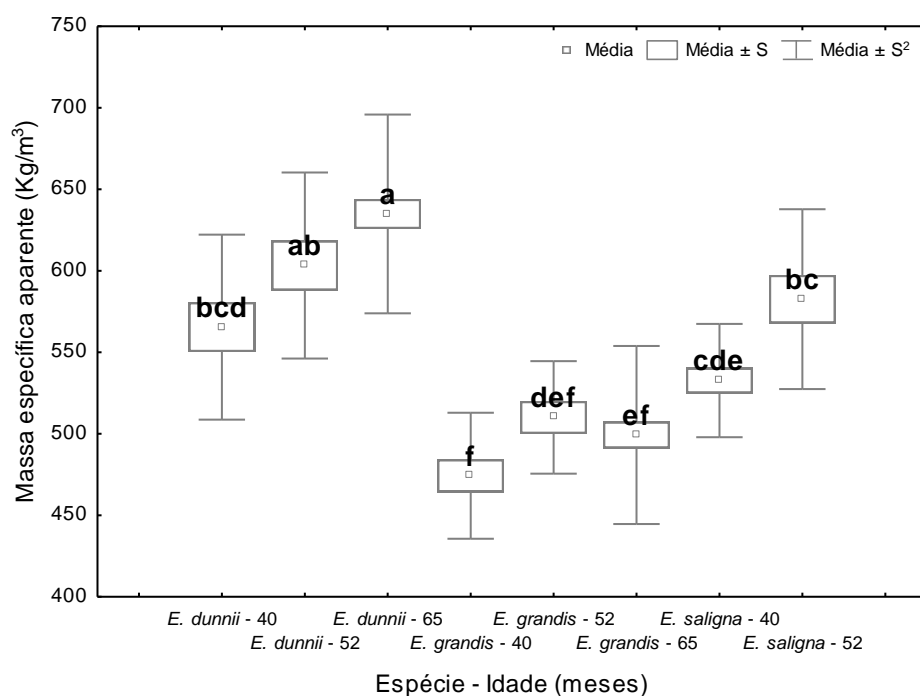


FIGURA 1.24 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÈCIES DE *Eucalyptus* NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

Os resultados indicam que o *E. dunnii*, seguido pelo *E. saligna* e, por último, o *E. grandis* apresentaram, nesta ordem, os maiores valores médios para a MEA. Verificou-se que, até mesmo, a menor idade do *E. dunnii* (40 meses) apresentou o maior valor médio para a MEA, ao compará-la com as demais espécies, com idades superiores.

Para o *E. dunnii* e *E. saligna*, a MEA apresentou uma tendência crescente com a idade, o *E. grandis* apresentou, inicialmente, valores crescentes com a idade, em seguida, observou-se uma ligeira queda para a madeira aos 65 meses de idade.

Ao comparar com outros estudos, observa-se que a MEA encontrada no presente trabalho, para a madeira de *E. dunnii*, foi inferior, o que pode ser justificado pela idade do material. Rocha (2000), ao estudar a madeira de *E. dunnii*, com 16,5 anos, encontrou um valor médio para massa específica aparente a 12% de umidade de 800 kg/m<sup>3</sup>. Lopes (2007) relatou para a madeira de *E. dunnii*, aos 18 anos de idade, uma massa específica média de 780 kg/m<sup>3</sup>.

Os valores encontrados para a madeira de *E. grandis*, apesar da diferença de idade, mostraram um comportamento semelhante ao encontrado por Alzate (2004) em clones de *E. grandis*, com valores médios para a MEA variando de 340 a 540 kg/m<sup>3</sup>. Rocha (2000), no entanto, encontrou para a madeira de *E. grandis*, aos 12 anos uma MEA média de 590 kg/m<sup>3</sup>. Silva (2002) ao estudar a madeira de *E. grandis*, em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posição no sentido medula-casca, encontrou um valor médio geral para a MEA de 540 kg/m<sup>3</sup>. Lopes (2007) encontrou para a madeira de *E. grandis*, aos 18 anos de idade, uma massa específica média de 750 kg/m<sup>3</sup>.

Os valores médios, em geral, para a madeira de *E. saligna* deste trabalho foram superiores aos citados na literatura. Haselein *et al.* (2002) encontraram para *E. saligna*, aos 8 anos, a 12% de umidade, uma MEA de 435 kg/m<sup>3</sup>. Alzate (2004), ao estudar diferentes clones da madeira de *E. saligna*, encontrou valores médios para a MEA, variando de 460 a 620 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3.2.2 Massa específica básica da madeira

Em relação à massa específica básica (MEB) a média geral foi de 433 kg/m<sup>3</sup>, os valores obtidos para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* foram 460, 402 e 444 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, conforme mostra a tabela 1.17.

A ANOVA para a MEB, entre as espécies avaliadas, nas diferentes idades encontra-se na tabela 1.19, observa-se que o Teste de F foi significativo, em nível de 95% de probabilidade, evidenciando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>MEB</b>	7	175921,	25131,6	20,89	0,0000 *
<b>Residual</b>	171	205722,	1203,05		
<b>Total</b>	178	381643,			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; MEB - Massa específica básica; \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

Os resultados obtidos indicaram uma diferença significativa entre os tratamentos avaliados, estatisticamente, a espécie de *E. dunnii*, aos 65 meses de idade, apresentou o maior valor médio para a MEB da madeira. Observa-se, na Figura 1.25, a variação da massa específica, em função das espécies e idade.



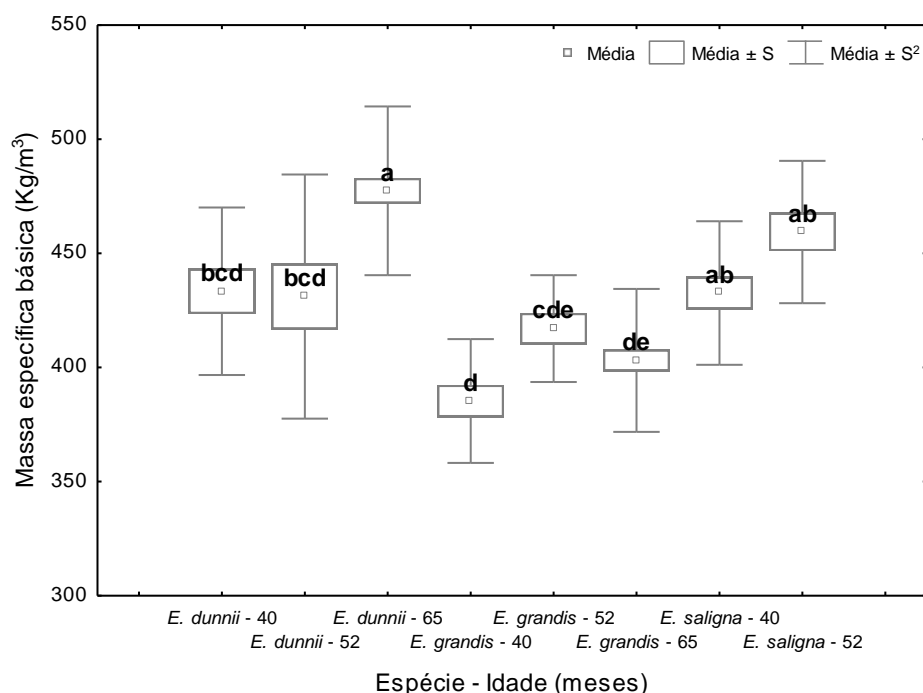


FIGURA 1.25 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

O mesmo comportamento obtido para a MEA foi constatado para a MEB para as espécies de *E. grandis* e *E. saligna*. Para a madeira de *E. dunnii*, a MEB apresentou-se maior na idade superior, porém não foi crescente, conforme o aumento da idade, apresentando uma ligeira queda, na idade mediana. A massa específica da madeira tende a aumentar com a idade das árvores, uma vez que os elementos anatômicos passam pelo processo de modificação, ao longo da idade das árvores, ocorre um aumento da espessura da parede e diminuição do lume das células, o que tende a proporcionar uma maior massa específica.

Os coeficientes de variação para a MEB também foram baixos, apesar da diversidade do material, apresentando baixa variabilidade dos valores da massa específica, isto evidencia materiais mais homogêneos entre as amostras utilizadas em relação a esta variável.

Por se tratar de um material jovem, a madeira apresentou valores para a MEB inferiores quando comparado com a literatura para a madeira de *E. dunnii*. Pereira *et al.* (2000) obtiveram 550 kg/m<sup>3</sup> de MEB média para árvores, com 8 anos, enquanto que Severo (1998) encontrou uma MEB de 570 g/cm<sup>3</sup> e 580 kg/m<sup>3</sup> para madeira aos

16 anos. Rocha (2000) obteve um valor médio para a MEB de 620 kg/m<sup>3</sup> para árvores de *E. dunnii* aos 16,5 anos de idade. Batista *et al.* (2010) ao pesquisarem a madeira de *E. dunnii*, aos 11 anos de idade, encontraram um valor médio para a densidade básica de 560 kg/m<sup>3</sup>.

Para a madeira de *E. grandis*, quando se compara os valores da MEB, encontrados neste trabalho e com os citados na literatura, verifica-se que eles variaram na mesma faixa, apesar da idade inferior. Verifica-se que Pereira *et al.* (2000) relataram que, para árvores de *E. grandis* de 6, 8, 9 e 10,5 anos de idade, obtiveram valores para a MEB, variando de 360 kg/m<sup>3</sup> a 510 kg/m<sup>3</sup>. Silva (2002) encontrou para a madeira de *E. grandis* em diferentes idades e posições na árvore, um valor médio para a MEB de 410 kg/m<sup>3</sup>. Batista *et al.* (2010) encontraram um valor médio para a MEB de 450 kg/m<sup>3</sup> para a mesma espécie aos 11 anos de idade.

Para o *E. saligna*, os valores do presente estudo apresentaram também valores próximos, aos encontrados na literatura, como a MEB determinada por Pereira *et al.* (2000), encontraram para *E. saligna* valores da MEB de 440 kg/m<sup>3</sup>, 530 kg/m<sup>3</sup> e 550 kg/m<sup>3</sup> para as idades de 9, 8 e 10,5 anos, respectivamente. Batista *et al.* (2010) relataram um valor médio para a MEB de 460 kg/m<sup>3</sup> para a madeira de *E. saligna*, aos 11 anos de idade. Trugilho *et al.* (1996) encontraram MEB de até 520 kg/m<sup>3</sup>, ao caracterizarem a madeira juvenil de *E. saligna*.

De acordo com a classificação proposta por Acosta (1995), os eucaliptos se enquadram em três classes de densidade: (i) os de alta densidade, de 0,75-1 g/cm<sup>3</sup>; (ii) as medianas, com 0,5-0,75 g/cm<sup>3</sup>; (iii) leves, contendo 0,35-0,5 g/cm<sup>3</sup>. Seguindo tal classificação, as três espécies utilizadas na presente pesquisa são classificadas como leves, devido, provavelmente, ao fator da idade, bem jovem. Conforme o mencionado na literatura, as massas específicas das espécies utilizadas podem aumentar quando adultas.

Para a geração de produtos sólidos, a madeira com baixa massa específica é, leve, são de fácil trabalhabilidade, seca mais rapidamente e possuem baixo índice de fendilhamento. Por outro lado, o uso da madeira, em situações que exijam maiores esforços mecânicos, deve ser limitado, e a região da madeira que possui baixa massa específica são mais susceptíveis à ação das forças resultantes das tensões de crescimento, sendo facilmente levada à ruptura, em função das falhas de compressão.

Nesse caso as tensões de compressão são superiores à resistência mecânica da madeira, proporcionando um cerne quebradiço.

A variabilidade dos valores da massa específica foi baixa, apesar das diferentes idades, uma vez que essa variável é de fácil influência quanto aos fatores intrínsecos a madeira e fatores externos, tais como as condições edafoclimáticas, práticas silviculturais, entre outros fatores ambientais, além da facilidade de ser manipulada geneticamente, devido à variabilidade fenotípica e por sua alta herdabilidade. Ressalta-se, entretanto, que por ser um material ainda jovem, a massa específica retrata a madeira juvenil, apesar dos valores próximos aos citados na literatura, assim a massa específica tende a aumentar até a maturidade da madeira, quando permanece mais constante, com pouca variação.

### 5.3.2.3 Retratibilidade da madeira

Para as características de variação dimensional da madeira, observou-se na Tabela 1.17, que os resultados obtidos para as contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, bem como o coeficiente de anisotropia de contração.

Sabe-se que a variação dimensional da madeira é uma característica limitante para a utilização do material, em diversos setores, visto que a madeira possui a capacidade de perder ou absorver umidade de acordo com o meio em qual se encontra, podendo contrair ou inchar, alterando-se suas dimensões.

A espécie de *Eucalyptus dunnii* apresentou contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica, além do coeficiente de anisotropia superior ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* independente da idade.

O valor médio geral obtido para a contração tangencial (CT) foi de 8,92 %, o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, apresentaram valores médios de 10,43, 7,61 e 8,22%, respectivamente. Para a contração radial (CR), o valor médio geral obtido foi 4,54%, apresentando um valor médio de 5,15, 4,05 e 4,17 % para o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente.

Observou-se uma tendência crescente da CT e CR com a idade para a madeira de *E. dunnii*, já a madeira de *E. grandis* apresentou uma ligeira queda da contração tangencial e radial, aos 65 meses de idade. A madeira de *E. saligna*

apresentou um comportamento contrário das outras espécies para a CT, em função da idade e, para a CR, independente da idade, apresentou-se semelhante.

A contração longitudinal (CL) possui menor importância, quando comparada com as outras contrações, uma vez que a CL é baixa na madeira, não influenciando diretamente em sua aplicação, verificou-se que as menores contrações aconteceram na madeira com maiores idade. O valor médio geral foi de 0,37%, com os valores médios de 0,38, 0,36 e 0,40 para o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente.

A contração volumétrica (CV) apresentou um comportamento crescente, conforme a idade, com exceção da madeira do *E. saligna*, que obteve menores valores para a CV, com o aumento da idade. O valor médio geral obtido para a CV foi de 13,34%. O *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram valores médios 15,35%, 11,62% e 12,40%, respectivamente.

O valor médio geral para a anisotropia de contração (AC) foi de 2,01, apresentando o *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* valores médios de 2,08, 1,92 e 2,00, respectivamente.

Em geral, o *E. grandis* e o *E. saligna* foram os que apresentaram os menores coeficientes de variação para as contrações avaliadas, evidenciando uma certa homogeneidade entre as amostras utilizadas para as variáveis analisadas.

Verifica-se na Tabela 1.20, a ANOVA para a contração tangencial entre as espécies avaliadas nas diferentes idades, observa-se que foi significativo, em nível de 95%, pelo teste F, indicando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO TANGENCIAL PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>CT</b>	7	122,24	17,4629	10,31	0,0000 *
<b>Residual</b>	56	94,8063	1,69297		
<b>Total</b>	63	217,046			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; CT - Contração tangencial; \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

A Figura 1.26 apresenta o comportamento da CT em função da idade para as três espécies de *Eucalyptus*, juntamente com o teste de comparação de médias.

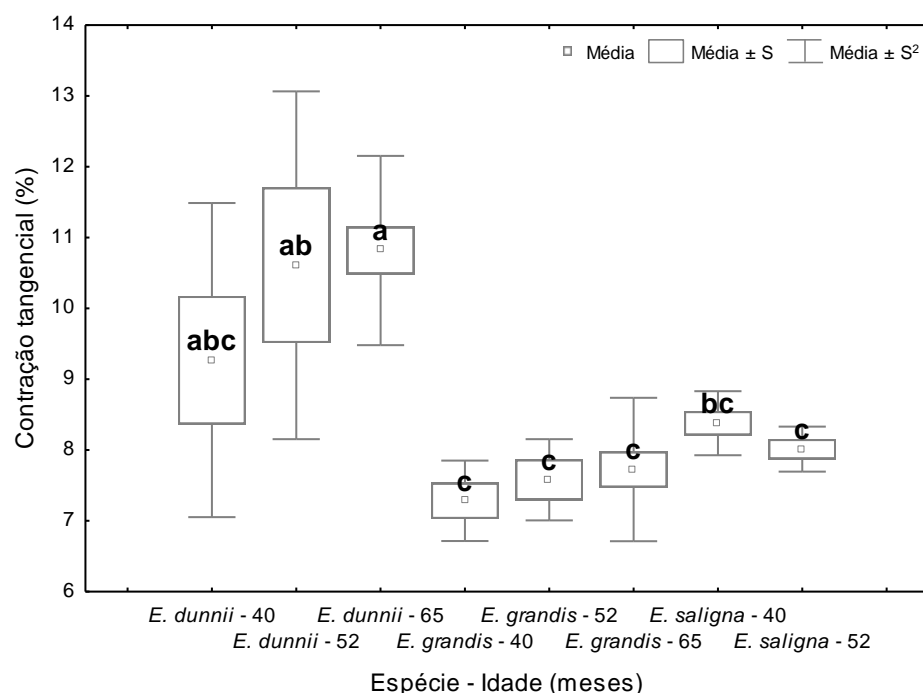


FIGURA 1.26 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*, NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

Verifica-se, estatisticamente, que os valores médios apresentaram diferença significativa, apresentando a madeira de *E. dunnii*, aos 65 meses de idade, o pior desempenho, com a maior CT (10,82%), superior ao *E. saligna* e *E. grandis*, que ao 40 meses de idade, obteve o menor valor (7,28%). Ao comparar as idades dentro de cada espécie, no entanto, observou-se que a CT foi igual, não havendo influência da idade.

Os valores obtidos para a madeira de *E. dunnii* foram inferiores quando comparados aos obtidos por Lopes (2007) que ao avaliar a madeira de *E. dunnii*, com 18 anos de idade encontrou um valor médio para a CT de 14,08%. Os valores relatados por Henson *et al.* (2004) foram mais próximos do presente trabalho, uma vez que encontraram para a madeira de *E. dunnii*, aos 9 anos, uma CT de 11,7%. Os valores médios obtidos para a CT para o *E. grandis*, quando comparados com a literatura, estão dentro da faixa dos valores relatados, Silva *et al.* (2006), ao estudarem o *E. grandis*, em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posições no sentido medula-casca, encontraram valores médios da CT, variando de 6,53% a 13,97%. O *E. saligna* também apresentou valores de contração tangencial inferiores à bibliografia

consultada, Oliveira e Silva (2003), ao estudarem a madeira de *E. saligna*, com idade de 16 anos, encontraram um valor médio de contração de 14,83 %.

Para a variável CT, a madeira de *E. grandis* apresentou o melhor desempenho, com menores valores de contração, uma vez que a madeira, neste sentido, possui uma tendência de apresentar as maiores contrações ou inchamento, proporcionando alto índice de rachaduras. Ao recomendar a madeira para a fabricação de produtos sólidos, deve-se optar pelo material que apresente menor CT, que no presente estudo seria *E. grandis*.

Na tabela 1.21, consta a ANOVA para a CR entre as espécies avaliadas nas diferentes idades, observa-se que foi significativo, em nível de 95%, pelo teste F, indicando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.21 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO RADIAL PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>CV</b>	7	23,4709	3,35298	6,37	0,0000 *
<b>Residual</b>	56	29,4979	0,526747		
<b>Total</b>	63	52,9687			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; CR - Contração radial; \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

A Figura 1.27 apresenta o comportamento dos valores médios obtidos para a variável CT, em função da idade, para as espécies avaliadas. Nota-se que os valores obtidos, estatisticamente, apresentaram diferença significativa.

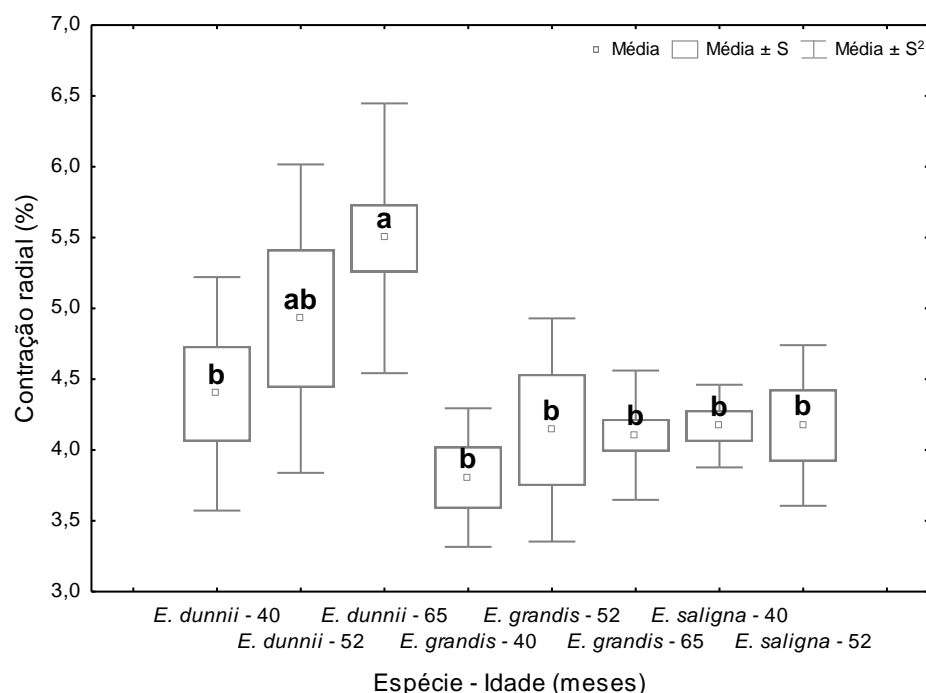


FIGURA 1.27 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

Os valores para a CR foram superiores para a madeira de *E. dunnii*, aos 65 meses de idade (5,50%), e *E. grandis*, aos 40 meses de idade, a menor CR (3,81%). Para as espécies de *E. grandis* e *E. saligna*, independentemente da idade, os valores para a CR foram iguais entre as espécies e dentro da espécie, variando a idade.

Apesar da diferença de idade, os valores encontrados na literatura para a CR foram ligeiramente superiores aos encontrados na presente trabalho. Lopes (2007) ao avaliar a madeira de *E. dunnii*, com 18 anos de idade, encontrou um valor médio para a CR de 5,91%. Henson *et al.* (2004) ao contrário, relataram para a madeira de *E. dunnii*, aos 9 anos, uma CR inferior de 3,8%. Os valores de contração, obtidos para o *E. dunnii*, estão em conformidade com a literatura. Silva *et al.* (2006), ao avaliarem o *E. grandis* em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posições no sentido medula-casca, relataram uma CR, variando de 3,72% a 8,18%, com uma média de 6,09%. Oliveira e Silva (2003), ao estudarem a madeira de *E. saligna*, com idade de 16 anos, encontraram para a CR, um valor médio de 7,76%, superior ao encontrado no presente trabalho.

Constatou-se para a variável CR, que a madeira de *E. grandis*, juntamente com a madeira de *E. saligna*, em todas as idades, e o *E. dunnii*, apenas aos 40 meses de idade, tendem a apresentar o melhor desempenho, tendo em vista o uso da madeira para a geração de produtos sólidos.

A contração longitudinal (CL), como preconiza a literatura, apresentou-se baixa, o teste de F foi não significativo (Tabela 1.22). Portanto, estatisticamente, a CL não apresentou diferença significativa entre as espécies e idades.

TABELA 1.22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
CL	7	0,0305805	0,00436865	0,44	0,8697 ns
Residual	56	0,550282	0,00982646		
Total	63	0,580862			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; CL - Contração longitudinal; ns - Não significativo em nível de 95% de probabilidade

Observa-se, na Figura 1.28, o comportamento da CL, em função da idade, para as três espécies avaliadas.

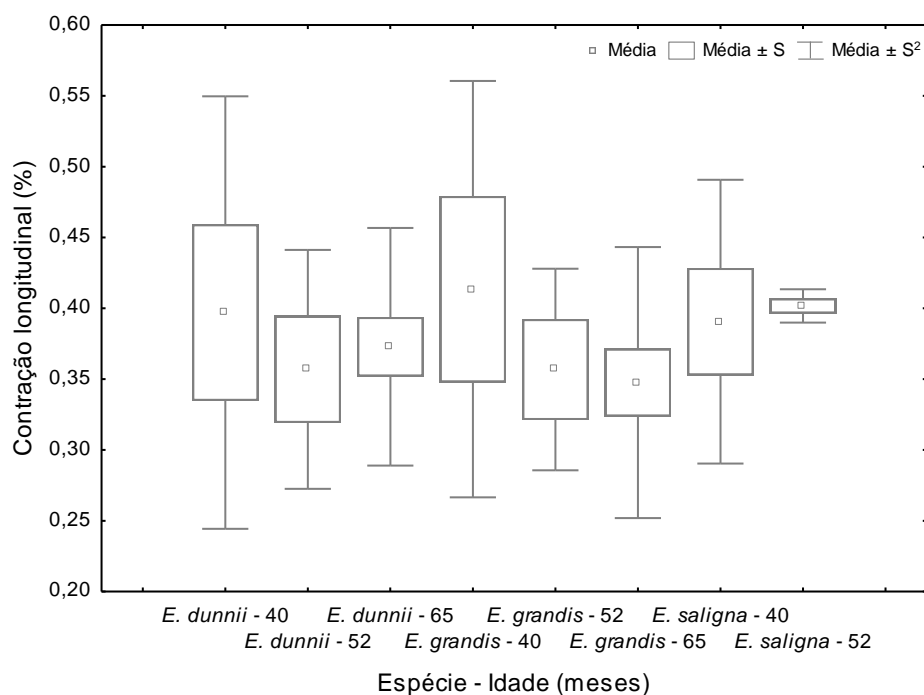


FIGURA 1.28 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO LONGITUDINAL PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)



A contração da madeira no sentido longitudinal é muito baixo, não influenciando no comportamento e uso da madeira, o valor médio geral obtido foi de 0,37 %.

Ao comparar com outros estudos, os valores encontrados no presente trabalho são semelhantes àqueles citados na literatura, confirmando a baixa contração da madeira, neste sentido.

Lopes(2007), ao estudar a madeira de *E. dunnii*, com 18 anos de idade encontrou um valor médio para a CL de 0,60%. O valor médio, obtido por Silva *et al.* (2006) foi de 0,45%, variando de 0,11% a 0,98%, ao avaliarem a madeira de *E. grandis*, em diferentes idades e posições, no sentido medula-casca.

Oliveira (1998), no entanto, ressaltou que a madeira destinada para uso nobre não deve apresentar uma contração longitudinal superior a 0,3%. O mesmo autor enfatiza que madeira de reação, com grã reversa e lenho juvenil, proporciona maiores valores da contração longitudinal.

Apesar de diversos autores desconsiderarem a CL, em função dos baixos valores, constatou-se que todas as espécies, independentemente da idade apresentaram o mesmo comportamento para esta variável.

Verifica-se na tabela 1.23, a ANOVA para a CL entre as espécies avaliadas nas diferentes idades, observa-se que foi significativo, em nível de 95%, pelo teste F, indicando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.23 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>CV</b>	7	221,624	31,6606	11,75	0,0000 *
<b>Residual</b>	56	150,938	2,69532		
<b>Total</b>	63	372,562			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; CV - Contração volumétrica; \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

Para a contração volumétrica (CV), os menores valores são os mais indicados para o uso em marcenaria, uma vez que tendem a ter uma menor movimentação dimensional, apresentando-se uma madeira mais estável. Na Figura 1.29, encontra-se o comportamento dos valores médios obtidos da CV, em função da idade para as três espécies.

A média geral foi de 13,34%, estatisticamente, os valores médios para a CV foram significativamente diferentes, exibindo um comportamento semelhante à CT. O *E. dunnii*, aos 65 meses de idade, apresentou a maior CV de 16,03 %, e o *E. grandis*, aos 40 meses de idade, obteve a menor contração de 11,18%.

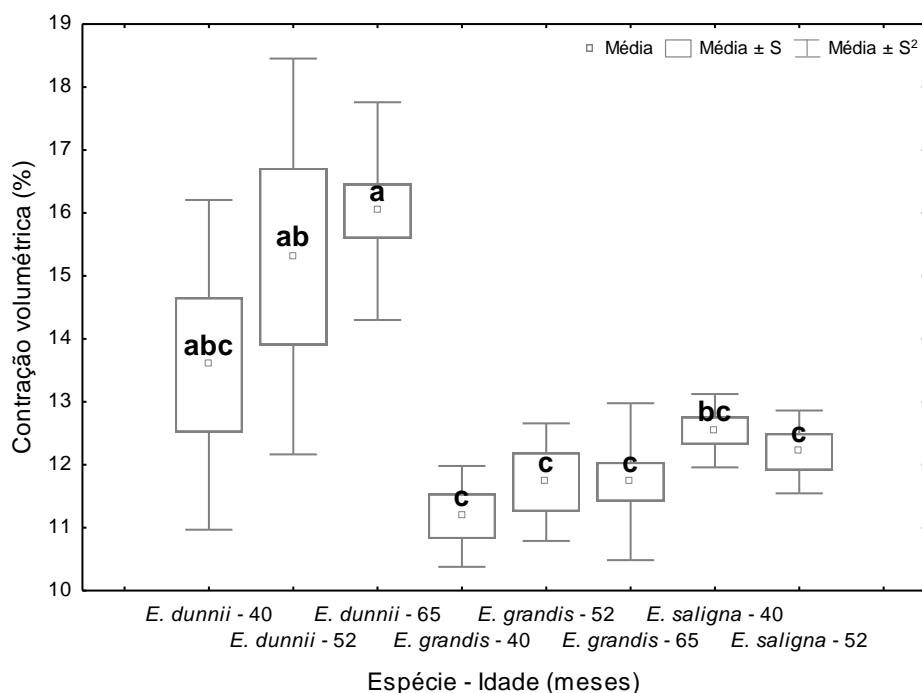


FIGURA 1.29 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

Os valores para a CV do presente trabalho foram inferiores aos relatados na literatura para as três madeiras utilizadas. Lopes (2007), ao avaliar a madeira de *E. dunnii*, com 18 anos de idade, relatou um valor médio, para a CV, de 21,28%. Silva *et al.* (2006) encontraram para o *E. grandis*, em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posições no sentido medula-casca, uma CV variando de 12,36% a 22,83%, com uma média de 18,11%. Oliveira e Silva (2003), ao pesquisarem a madeira de *E. saligna*, com idade de 16 anos, encontraram um valor médio de 26,00% para a CV.

A madeira de *E. grandis*, principalmente, aos 40 meses de idade, seguida pela madeira de *E. saligna*, apresentaram os menores valores médios para a contração volumétrica, o que evidencia a sua indicação para situações que exigem menores

variações dimensionais, evitando altos índices de empenamento e rachadura das peças de madeira.

Através da Tabela 1.24 observa-se a ANOVA para a anisotropia de contração entre as espécies avaliadas nas diferentes idades. Constata-se que o teste de F, ao nível de em nível de 95% de probabilidade, não foi significativo, indicando que os valores médios de AC para esta variável são estatisticamente iguais, não necessitando de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>AC</b>	7	0,599732	0,085676	0,96	0,4667ns
<b>Residual</b>	56	4,98028	0,0889336		
<b>Total</b>	63	5,58001			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio. AC - Anisotropia de contração; ns - Não significativo em nível de 95% de probabilidade

Na Figura 1.30, observa-se o comportamento do coeficiente de anisotropia de contração (AC) para diferentes idades e espécies. Este coeficiente é o resultado da relação entre a contração radial e tangencial, obtidas no presente trabalho. Os resultados indicaram, estatisticamente, que não houve diferença significativa entre as idades e espécies avaliadas.

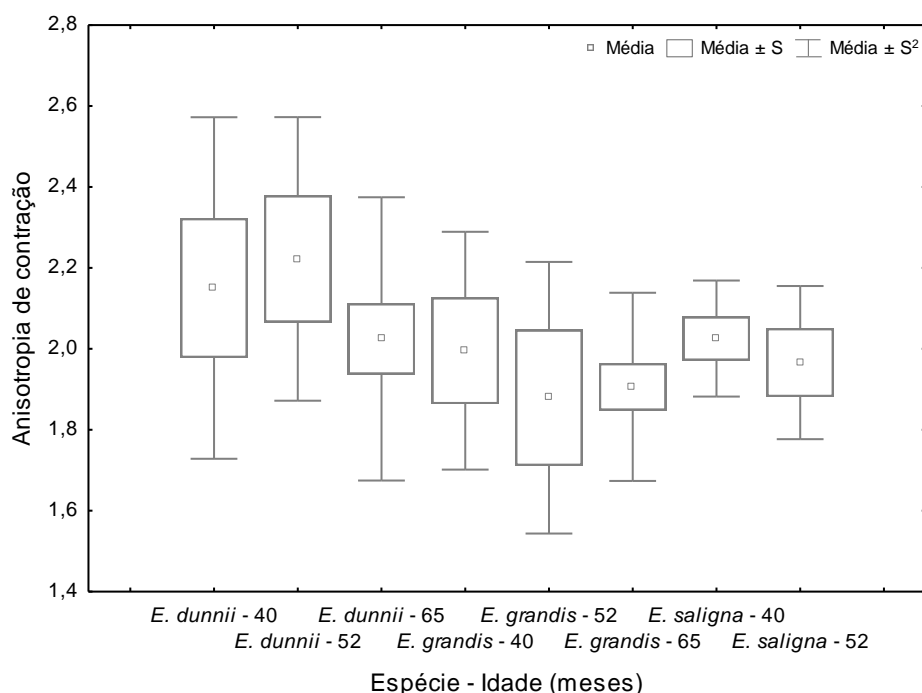


FIGURA 1.30 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*, NAS DIFERENTES IDADES  
 FONTE: O autor (2014)

O valor médio geral para AC foi de 2,01, variando de 1,88, para a madeira de *E. grandis*, aos 52 meses de idade, a 2,22 para a madeira de *E. dunnii*, aos 52 meses de idade.

Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade aos citados na literatura. Lopes (2007) encontrou para o *E. dunnii*, aos 18 anos de idade um fator anisotrópico médio de 2,48. Para o *E. grandis*, o fator anisotrópico médio relatado por Silva *et al.* (2006), para a madeira em diferentes idades (10, 14, 20 e 25 anos) e posições no sentido medula-casca, foi de 1,71, variando de 1,43 a 2,00. Oliveira e Silva (2003), ao pesquisarem a madeira de *Eucalyptus saligna*, com idade de 16 anos, encontrou um fator anisotrópico médio de 1,99.

Diversos autores relataram que a madeira do gênero *Eucalyptus* possui baixa estabilidade dimensional, com forte propensão ao empenamento, rachaduras e fendilhamentos. Lopes (2007) ressaltou que o coeficiente de anisotropia pode revelar uma madeira estável, dimensionalmente, porém com forte tendência ao empenamento e fendilhamentos. Sabe-se que para a utilização da madeira para fabricação de produtos sólidos requer-se uma madeira com alta estabilidade dimensional.

Embora os valores médios não apresentem uma diferença estatística significativa, segundo a classificação proposta por Klitzke (2007), para este trabalho, com exceção da madeira de *E. dunnii*, aos 40 e 52 meses de idade, seriam consideradas madeiras muito instáveis, as demais seriam classificadas como de média instabilidade, para este parâmetro, estas apresentariam o melhor desempenho, tendo em vista a utilização da madeira para a fabricação de produtos sólidos.

### 5.3.2.4 Correlação da DRL com as propriedades físicas da madeira

Na Tabela 1.25, consta a matriz de correlação geral entre a DRL e as propriedades físicas da madeira, avaliadas para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

TABELA 1.25 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA AS ESPÉCIES DE *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*

<i>Eucalyptus dunnii</i>								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,51**	0,41*	0,19	0,43*	-0,32	0,30	-0,27
MEA		1,00	0,85**	0,51**	0,51**	-0,08	0,57**	-0,13
MEB			1,00	0,35	0,39*	0,01	0,41*	-0,18
CT				1,00	0,51**	0,32	0,94**	0,41*
CR					1,00	0,00	0,76**	-0,56**
CL						1,00	0,27	0,31
CV							1,00	0,09
CA								1,00
<i>Eucalyptus grandis</i>								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,23	0,23	0,08	0,07	-0,09	0,09	-0,07
MEA		1,00	0,60**	0,13	0,09	0,23	0,10	-0,01
MEB			1,00	0,15	0,01	-0,07	0,09	0,07
CT				1,00	0,29	0,16	0,87**	0,50
CR					1,00	-0,02	0,66**	-0,66**
CL						1,00	0,24	0,18
CV							1,00	0,09
CA								1,00
<i>Eucalyptus saligna</i>								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,77**	0,80**	-0,12	0,27	0,02	0,08	-0,28
MEA		1,00	0,89**	-0,60*	-0,09	0,04	-0,45	-0,18
MEB			1,00	-0,23	-0,04	0,24	-0,15	-0,01
CT				1,00	0,17	0,17	0,79**	0,37
CR					1,00	0,13	0,73**	-0,85**
CL						1,00	0,30	-0,01
CV							1,00	-0,27
CA								1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; MEA - Massa específica aparente; MEB - Massa específica básica; CT - Contração tangencial; CR - Contração radial (%); CL - Contração longitudinal;

CV - Contração volumétrica e AC – Anisotropia de contração. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente.

Observou-se que as correlações da DRL com as propriedades físicas foram em geral, baixas. Para o *E. dunnii* a DRL apresentou baixa correlação com as propriedades físicas avaliadas. Entretanto, as variáveis MEB e a CR da madeira apesar de baixas e a MEA, com uma correlação mediana, foram significativas.

Para a espécie *E. grandis* a DRL também apresentou correlações muito baixas. O *E. saligna* apresentou uma correlação mediana a alta e significativa para as variáveis MEA e MEB.

Segundo Malan (1984), a redução dos níveis de tensão de crescimento reduzem a massa específica básica. O Autor, ainda, relatou que ao considerar essa relação pode-se inferir que a seleção de clones, com menor densidade, incida nas árvores de menor tensão de crescimento. Verificou-se no presente trabalho, no entanto, que a madeira com maior massa específica apresentou a maior DRL, embora, o material com a menor massa específica (*E. saligna*) foi o que melhor se correlacionou com a DRL.

Para avaliar o efeito da idade, estas foram estratificadas e avaliou-se a correlação da DRL com as propriedades físicas para as espécies de *E. dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Na Tabela 1.26 são apresentados os valores obtidos das correlações para o *E. dunnii*.

TABELA 1.26 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE *E. dunnii*

IDADE - 40 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,35	0,19	0,32	0,77	-0,13	0,48	-0,35
MEA		1,00	0,89*	-0,04	0,37	-0,82*	0,04	-0,51
MEB			1,00	-0,15	-0,00	-0,98**	-0,17	-0,32
CT				1,00	0,52	0,31	0,97**	0,62
CR					1,00	0,13	0,71	-0,34
CL						1,00	0,34	0,37
CV							1,00	0,41
CA								1,00
IDADE - 52 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	-0,51	-0,17	-0,90*	-0,89*	-0,62	-0,97**	-0,24
MEA		1,00	0,84	0,81	0,11	0,94*	0,66	0,90*
MEB			1,00	0,45	-0,29	0,86	0,26	0,78
CT				1,00	0,67	0,83	0,97**	0,62
CR					1,00	0,19	0,82	-0,15
CL						1,00	0,70	0,83
CV							1,00	0,43
CA								1,00
IDADE - 65 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,22	0,09	-0,18	0,14	-0,50*	-0,08	-0,21
MEA		1,00	0,82**	0,52*	0,41	0,20	0,59*	-0,11
MEB			1,00	0,35	0,44	0,35	0,49	-0,25
CT				1,00	0,30	0,27	0,88**	0,39
CR					1,00	-0,04	0,71**	-0,75**
CL						1,00	0,22	0,16
CV							1,00	-0,08
CA								1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; MEA - Massa específica aparente; MEB - Massa específica básica; CT - Contração tangencial; CR - Contração radial (%); CL - Contração longitudinal; CV - Contração volumétrica e AC – Anisotropia de contração. \*\* e \* significativo a 99 e 95% de probabilidade, respectivamente.

Em geral, a madeira, aos 40 e 65 meses de idade, apresentou uma baixa correlação entre a DRL e as propriedades físicas da madeira, apenas a CR, aos 40 meses, apresentou uma correlação mediana e positiva, e a CL, aos 65 meses de idade, uma correlação mais evidente, sendo negativa e significativa.

Para a idade de 52 meses, as contrações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica apresentaram uma correlação alta, negativa e significativa. A MEA e a CL apresentaram, também, uma correlação mediana e negativa.

Na Tabela 1.27 constam os valores obtidos das correlações entre a DRL e as propriedades físicas para cada idade para o *E. grandis*.

TABELA 1.27 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE *E. grandis*

IDADE - 40 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	-0,43	-0,47	-0,84	0,09	-0,52	-0,61	-0,60
MEA		1,00	0,91*	0,69	0,04	0,49	0,57	0,24
MEB			1,00	0,56	0,28	0,25	0,58	0,03
CT				1,00	-0,01	0,86	0,82	0,49
CR					1,00	0,04	0,57	-0,85
CL						1,00	0,77	0,31
CV							1,00	-0,10
FA								1,00

IDADE - 52 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,87	0,78	-0,83	-0,52	0,33	-0,87	0,07
MEA		1,00	0,99*	-0,81	-0,66	0,64	-0,95	0,25
MEB			1,00	-0,79	-0,63	0,73	-0,91	0,24
CT				1,00	0,12	-0,74	0,63	0,36
CR					1,00	0,00	0,84	-0,88
CL						1,00	-0,36	-0,31
CV							1,00	-0,49
CA								1,00

IDADE - 65 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	AC
DRL	1,00	0,12	0,13	0,16	0,07	0,29	0,21	0,18
MEA		1,00	0,36	0,04	0,14	0,27	0,02	-0,04
MEB			1,00	0,10	-0,12	-0,16	-0,01	0,22
CT				1,00	0,36	0,20	0,89**	0,65**
CR					1,00	0,07	0,66**	-0,46
CL						1,00	0,30	0,16
CV							1,00	0,31
CA								1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; MEA - Massa específica aparente; MEB - Massa específica básica; CT - Contração tangencial; CR - Contração radial (%); CL - Contração longitudinal; CV - Contração volumétrica e AC – Anisotropia de contração. \*\* e \* significativo a 99 e 95% de probabilidade, respectivamente.

Para a madeira de *E. dunnii*, aos 40 meses de idade, a CT apresentou uma correlação mais evidente, alta e negativa. A CL, CV e a AC apresentaram uma correlação mediana e negativa com a DRL.

Para a idade de 52 meses, a MEA e a MEB básica apresentaram uma correlação alta e positiva com a DRL, a correlação com a CT e CV também foi alta, mas negativa. A CR apresentou uma correlação mediana e negativa com a DRL.

As correlações entre a DRL e as propriedades físicas avaliadas para a idade de 65 meses foram muito baixas ou quase inexistentes.

Os valores obtidos das correlações entre a DRL e as propriedades físicas, com a idade estratificada para *E. saligna* são apresentados na Tabela 1.28.



TABELA 1.28 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E AS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA A ESPÉCIE DE *E. saligna*

IDADE - 40 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	CA
DRL	1,00	-0,44	0,25	0,65	0,34	-0,25	0,60	0,16
MEA		1,00	0,25	-0,52	-0,77*	-0,09	-0,75	0,33
MEB			1,00	0,64	-0,29	0,42	0,41	0,70
CT				1,00	0,21	0,22	0,87**	0,51
CR					1,00	0,22	0,64	-0,74
CL						1,00	0,42	-0,02
CV							1,00	0,04
CA								1,00

IDADE - 52 MESES								
	DRL	MEA	MEB	CT	CR	CL	CV	CA
DRL	1,00	-0,48	-0,42	0,77	0,69	0,46	0,90*	-0,53
MEA		1,00	0,37	-0,91*	-0,05	-0,90*	-0,47	-0,24
MEB			1,00	-0,51	0,15	-0,02	-0,12	-0,23
CT				1,00	0,21	0,84	0,64	0,05
CR					1,00	0,11	0,89*	-0,96*
CL						1,00	0,49	0,17
CV							1,00	-0,72
CA								1,00

NOTA: DRL - Deformação residual longitudinal; MEA - Massa específica aparente; MEB - Massa específica básica; CT - Contração tangencial; CR - Contração radial (%); CL - Contração longitudinal; CV - Contração volumétrica e CA - Coeficiente de anisotropia. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente.

Para a idade de 40 meses, a DRL apresentou uma correlação mediana e positiva, com a CT e CV, as demais correlações foram baixas com as outras propriedades.

Para a idade de 52 meses, a DRL apresentou correlações mediana e positiva para a CT, CR e AC. A variável CV apresentou uma correlação alta e positiva, além de ser significativa.

Na literatura, em geral, observaram-se valores de correlação baixos entre a DRL e algumas propriedades físicas. Lima *et al.* (2004), ao correlacionar a DRL e algumas propriedades da madeira de clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, relataram uma correlação significativa entre a DRL e a densidade básica.

Gonçalves *et al.* (2010) verificaram para híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* uma correlação baixa da DRL, com a densidade básica (0,32), contração radial (0,38), contração tangencial (0,56) e contração volumétrica (0,39), sendo significativa, apenas para a contração tangencial. Os mesmos autores encontraram, também, uma baixa correlação da DRL com o fator anisotrópico (-0,17).

Trugilho *et al.* (2006) ao estudar híbridos naturais do gênero *Eucalyptus* aos seis anos, relataram uma correlação da DRL positiva e significativa com a densidade

básica (0,52) e seca (0,58), contração volumétrica (0,69), radial (0,46) e tangencial (0,71), já para o coeficiente de anisotropia não encontraram correlação.

Em geral, observou-se, também, uma grande variabilidade dos valores obtidos da correlação da DRL com as propriedades físicas da madeira. Verificou-se, no entanto, que os valores obtidos das correlações apresentaram uma maior magnitude de influência das contrações da madeira na DRL, indicando que a DRL pode ser afetada pelas características físicas. Dessa forma, os resultados indicam que os níveis da deformação residual longitudinal podem ser estimados em função das contrações dimensionais da madeira.

Isso pode ser justificado pelo fato da DRL e as contrações na madeira estarem relacionadas diretamente ao comportamento dimensional e aos defeitos na madeira, como o empenamento, fendilhamento e rachaduras, a perda de água promove alterações na estrutura do tecido lenhoso o que também pode influenciar na medida dos valores da DRL. De acordo com Delucis *et al.* (2014) a modificação na estrutura do tecido lenhoso, devido ao mecanismo de dessorção de água, provavelmente causa a alteração dos valores de DRL no sentido de quanto maior a intensidade da contração, menor o nível de tensão de crescimento, o efeito do esforço de contração ocorre no sentido contrário ao efeito do esforço de liberação da tensão de crescimento. No presente trabalho, observa-se que o comportamento foi inverso, uma vez que as maiores contrações foram obtidas na madeira que apresentou os maiores valores da DRL, no caso o *E. dunnii*, confirmando o comportamento bastante disperso das deformações.

Dessa forma, confirma-se ainda mais o comportamento disperso DRL, apresentando-se um comportamento diferenciado para cada situação, dependendo da idade e da espécie, e, quando associada a outras propriedades da madeira.

### 5.3.3 PROPRIEDADES MECÂNICA DA MADEIRA

#### 5.3.3.1 Compressão paralela às fibras

Na Tabela 1.29 estão apresentados os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) da madeira por meio do ensaio de

resistência à compressão paralela às fibras, nas diferentes idades, para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

TABELA 1.29 – VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS

Espécie	Idade (meses)	Resistência a Compressão paralela a fibras (MPa)	
		MOE	MOR
<i>Eucalyptus dunnii</i>	40	<b>3971</b> (12,98)*	<b>32,17</b> (13,05)
	52	<b>4620</b> (4,85)	<b>36,73</b> (5,97)
	65	<b>4942</b> (8,40)	<b>39,80</b> (8,76)
<b>Média</b>		<b>4693</b> (11,65)	<b>37,74</b> (11,91)
<i>Eucalyptus grandis</i>	40	<b>3569</b> (10,37)	<b>29,66</b> (7,65)
	52	<b>4109</b> (6,96)	<b>34,04</b> (7,09)
	65	<b>3959</b> (4,43)	<b>33,37</b> (3,98)
<b>Média</b>		<b>3904</b> (7,45)	<b>32,74</b> (6,98)
<i>Eucalyptus saligna</i>	40	<b>4189</b> (4,12)	<b>33,98</b> (2,83)
	52	<b>4415</b> (2,21)	<b>34,96</b> (3,32)
<b>Média</b>		<b>4283</b> (4,25)	<b>34,39</b> (3,25)
<b>Média geral</b>		<b>4302</b> (12,45)	<b>35,12</b> (11,27)

NOTA: MOE - Módulo de elasticidade; MOR - Módulo de ruptura. \* valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%)

A média geral para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura foi de 4302 MPa e 35,12 Mpa, respectivamente. Os valores médios, obtidos para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, foram 4693, 3904 e 4283 Mpa, para o MOE, e 37,74, 32,74 e 34,39 Mpa para o MOR, respectivamente. Os valores médios para o MOE e MOR

variaram de 3569 MPa e 29,66 MPa (*E. grandis* aos 40 meses de idade) a 4942 Mpa e 39,80 MPa (*E. dunnii*, aos 65 meses de idade).

Os coeficientes de variação tanto para o MOE quanto para o MOR foram baixos, evidenciando uma homogeneidade entre as amostras utilizadas, indicando haver menor variabilidade na madeira, o que a torna de melhor qualidade em relação a essa propriedade. Porém, menor potencial de seleção genética.

Verifica-se na tabela 1.30 a ANOVA para o MOE e MOR entre as espécies avaliadas nas diferentes idades, observa-se que foi significativo, em nível de 95% de probabilidade, pelo teste F, indicando a necessidade de um teste de comparação de médias.

TABELA 1.30 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>MOE</b>	7	1,24728E7	1,78183E6	18,42	0,0000 *
<b>Residual</b>	55	5,32069E6	96739,8		
<b>Total</b>	62	1,77935E7			
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Prob &gt; F</b>
<b>MOR</b>	7	618,439	88,3484	13,78	0,0000 *
<b>Residual</b>	55	352,545	6,4099		
<b>Total</b>	62	970,983			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio; CR - Contração radial; MOE – Módulo de elasticidade e MOR - Módulo de ruptura. \* - Significativo em nível de 95% de probabilidade

Observa-se, nas figuras 1.31 e 1.32, o comportamento do MOE e MOR para as diferentes espécies. Foi constatado, diferença significativa entre os valores médios obtidos para as espécies, variando a idade, confirmando a sua influência nas propriedades de resistência da madeira. Estatisticamente, a madeira de *E. dunnii*, com 65 e 52 meses de idade, apresentou os maiores valores médios de 4942 e 4620 Mpa, para o MOE e 39,80 e 36,73 Mpa, para o MOR. Ressalta-se que a madeira de *E. dunnii*, também, foi a que apresentou a maior massa específica, enfatizando o que é mencionado na literatura madeira com maior massa específica tende a apresentar maior resistência mecânica.

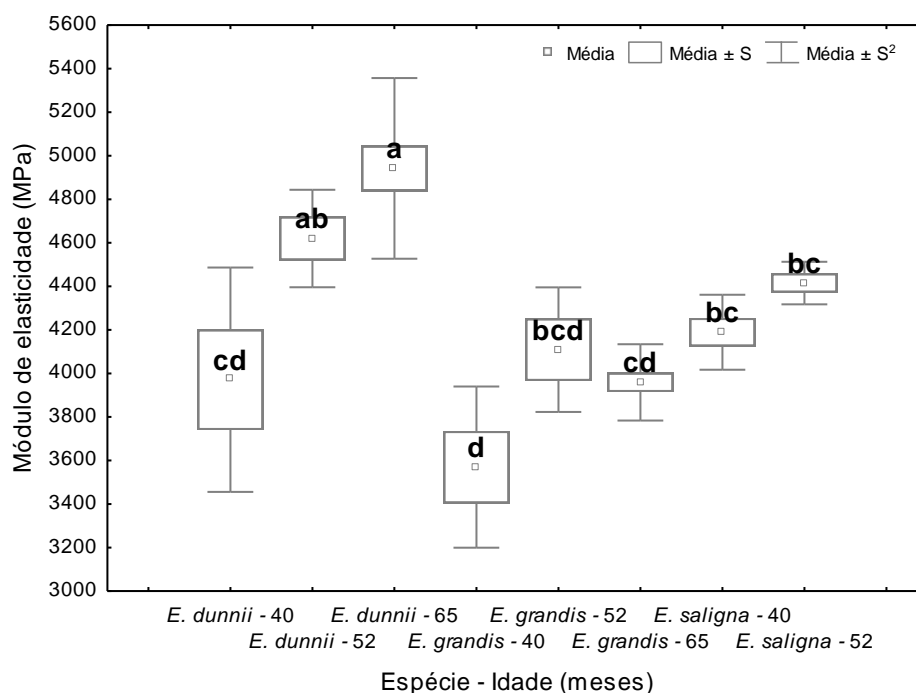


FIGURA 1.31 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÈCIES DE *Eucalyptus*, NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

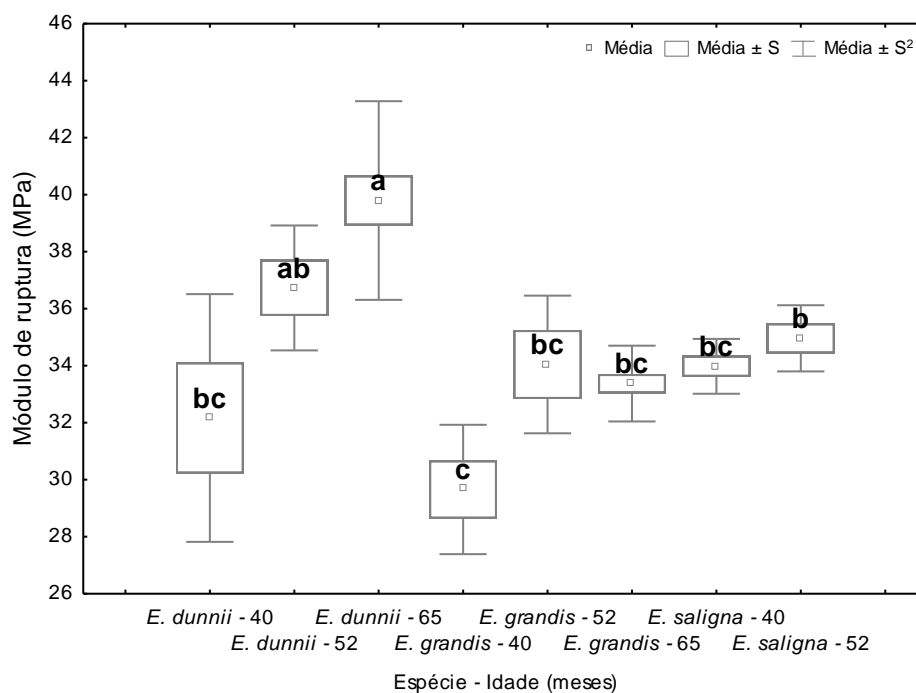


FIGURA 1.32 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E O TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA PARA AS ESPÈCIES DE *Eucalyptus*, NAS DIFERENTES IDADES

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

Com exceção do *E. grandis*, o comportamento do MOE e MOR nas outras duas espécies foram semelhantes, apresentando valores crescentes proporcionais a idade.

De acordo com Serpa *et al.* (2003), para a obtenção de madeira com maior resistência à compressão paralela às fibras, é necessário realizar a colheita de árvores mais velhas. Elas tendem a possuir uma porcentagem maior de madeira adulta, apresentando conseqüentemente, maior resistência e densidade, além de maior estabilidade dimensionalmente. À medida que as árvores vão ficando mais velhas, ocorrem modificações dos elementos anatômicos como aumento do comprimento das fibras e espessura da parede, o que proporciona maior resistência mecânica a madeira, além da quantidade de extrativos.

Ao comparar os valores obtidos para o MOE e MOR, à compressão paralela as fibras com os citados na literatura, observou-se que os valores foram inferiores, mesmo quando as idades eram próximas, entretanto, em outros trabalhos, os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com as normas American Society for Testing and Materials (ASTM) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Cruz *et al.* (2003), ao avaliar sete clones de *Eucalyptus* com idades de 5,5 a 10,5 anos, verificaram uma resistência à compressão variando de 40 MPa a 52 MPa.

Heim *et al.* (2009), ao estudarem a madeira de *E. grandis* e *E. urophylla*, aos 6,5 anos de idade, encontraram um valor médio de 52,25 MPa para a resistência à compressão paralela e 7847,64 Mpa, para o MOE. Lima *et al.* (1999) avaliaram 26 clones de *Eucalyptus*, aos oito anos, e obtiveram um valor médio, para resistência à compressão paralela às fibras de 42 Mpa. Moura (2000) analisou 10 híbridos de *Eucalyptus* aos nove anos de idade, e obteve, em média, o MOE, de maior magnitude correspondente a 9159 MPa e a resistência à compressão a 54,50 MPa.

Benjamim (2006) encontrou para árvores de *E. grandis*, com 28 anos de idade um valor médio de resistência à compressão paralela às fibras de 56,05 Mpa, a 12% de umidade. Serpa *et al.* (2003) estudando árvores maduras relataram uma resistência a compressão paralela às fibras, variando na direção radial, sentido medula-casca de 40 a 55 Mpa, em árvores de *E. grandis*, aos 50 anos.

Raymond (2000) enfatizou que as propriedades de resistência são extremamente importantes na qualificação da madeira para fabricação de móveis, suas propriedades são realçadas nos componentes estruturais, destacando-se a importância do MOE e o MOR, observando-se os valores mais elevados em madeiras de lenho adulto e de maior idade. A resistência mecânica, juntamente com as propriedades físicas, principalmente, massa específica da madeira e estabilidade dimensional possuem grande impacto na qualidade do produto final.

Com base nos resultados do ensaio de resistência à compressão paralela as fibras, a madeira de *E. dunnii*, seguida pela madeira de *E. saligna* e por último, a madeira de *E. grandis*, são indicadas, dentro de certos limites, para o uso da madeira em situações que exijam maiores esforços mecânicos. O conhecimento da resistência à compressão paralela às fibras é de suma importância quando se tem como finalidade o emprego da madeira em estruturas.

A madeira de *E. dunnii* apesar dos altos valores para o MOE e MOR, tendendo a maior resistência mecânica, apresentou, também, os maiores valores para DRL, evidenciando maior tendência de rachaduras e empenamentos, o que limita o uso da madeira, dependendo da finalidade.

#### 5.3.3.2 Correlação da DRL com a compressão paralela à grã da madeira

Com o intuito de estabelecer a correlação entre a DRL e o MOE e MOR da resistência a compressão paralela às fibras, a Tabela 1.31 é apresentada a matriz de correlação geral para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

A correlação mais evidente foi observada entre a DRL com o MOE e MOR para o *E. dunnii*, observa-se que foi mediana e positiva, além de ser significativa. Para as demais espécies, as correlações tenderam de mediana à relativamente baixas, indicando baixa relação entre a DRL e as variáveis analisadas, contudo, foi significativa entre a DRL e o MOR para a madeira de *E. grandis*.

TABELA 1.31 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO GERAL ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA AS ESPÉCIES DE *E. dunnii*, *E. grandis* E *E. saligna*

<b><i>Eucalyptus dunnii</i></b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,67**	0,68**
<b>MOE</b>		1,00	0,98**
<b>MOR</b>			1,00
<b><i>Eucalyptus grandis</i></b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,36	0,48**
<b>MOE</b>		1,00	0,90**
<b>MOR</b>			1,00
<b><i>Eucalyptus saligna</i></b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,52	0,45
<b>MOE</b>		1,00	0,81**
<b>MOR</b>			1,00

NOTA: MOE - Módulo de elasticidade; MOR - Módulo de ruptura. \*\* e \* significativo a 99 e 95% de probabilidade, respectivamente.

Para avaliar o efeito da idade, fez-se a estratificação e avaliou-se a correlação da DRL com o MOE e MOR da resistência à compressão paralela a fibras para as espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

Na Tabela 1.32 são apresentados os valores das correlações entre a DRL com o MOE e MOR, obtidos na compressão paralela às fibras, dentro das idades para o *E. dunnii*.

TABELA 1.32 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE *E. dunnii*

<b>IDADE - 40 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,56	0,42
<b>MOE</b>		1,00	0,99**
<b>MOR</b>			1,00
<b>IDADE - 52 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,84	0,81
<b>MOE</b>		1,00	0,98**
<b>MOR</b>			1,00
<b>IDADE - 65 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,39	0,46
<b>MOE</b>		1,00	0,95**
<b>MOR</b>			1,00

NOTA: MOE - Módulo de elasticidade; MOR - Módulo de ruptura. \*\* e \* significativo a 99 e 95% de probabilidade, respectivamente.



Aos 52 meses de idade, foi a que apresentou uma correlação mais evidente entre as variáveis, sendo alta e positiva. Para a madeira, aos 40 e 65 meses, as correlações foram medianas e, relativamente baixas. Isso indica que a DRL não apresenta uma tendência de relação com as variáveis avaliadas para essa espécie, independente da idade.

Na Tabela 1.33, estão apresentados os valores obtidos das correlações entre a DRL e o MOE e MOR, obtidos na compressão paralela às fibras, dentro da idade para o *E. grandis*.

TABELA 1.33 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE *E. grandis*

<b>IDADE - 40 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,11	0,08
<b>MOE</b>		1,00	0,99**
<b>MOR</b>			1,00
<b>IDADE - 52 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,40	0,53
<b>MOE</b>		1,00	0,98*
<b>MOR</b>			1,00
<b>IDADE - 65 MESES</b>			
	<b>DRL</b>	<b>MOE</b>	<b>MOR</b>
<b>DRL</b>	1,00	0,04	0,17
<b>MOE</b>		1,00	0,64**
<b>MOR</b>			1,00

NOTA: MOE - Módulo de elasticidade; MOR - Módulo de ruptura. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente.

As correlações, para as espécie de *E. grandis*, apesar de serem medianas a baixa, apresentaram comportamento semelhante ao obtido para a madeira de *E. dunnii*, ou seja, as melhores correlações aconteceram na idade de 52 meses. Para a madeira de *E. dunni* e *E. saligna*, as correlações foram muito baixa ou quase inexistentes.

Na Tabela 1.34, verificam-se os valores das correlações entre a DRL e o MOE e MOR, obtidos na compressão paralela às fibras, dentro da idade, para o *E. saligna*.

TABELA 1.34 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS IDADES INDIVIDUAIS ENTRE A DRL E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS E O MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA A ESPÉCIE DE *E. saligna*

IDADE - 40 MESES			
	DRL	MOE	MOR
DRL	1,00	0,19	0,49
MOE		1,00	0,83*
MOR			1,00
IDADE - 52 MESES			
	DRL	MOE	MOR
DRL	1,00	-0,69	-0,14
MOE		1,00	0,79
MOR			1,00

NOTA: MOE - Módulo de elasticidade; MOR - Módulo de ruptura. \*\* e \* significativo a 99% e 95% de probabilidade, respectivamente.

A correlação mais evidente foi observada para a madeira com 52 meses de idade, entre a DRL e o MOE, apresentando-se mediana e negativa, as demais correlações foram, também, relativamente baixas.

Na literatura, diversos trabalhos realizados não encontraram uma correlação entre a DRL e as propriedades mecânicas da madeira, entre elas a compressão paralela às fibras.

Lima *et al.* (2004) mencionaram não haver uma correlação entre a DRL e a compressão paralela às fibras, ao estudarem clones de eucalipto, sendo quatro híbridos naturais de *E. grandis* e um híbrido do *E. urophylla* x *E. grandis*. Trugilho *et al.* (2007), ao avaliar onze clones híbridos naturais de *Eucalyptus*, com seis anos de idade, não encontraram uma correlação da DRL com o MOE.

Gonçalves *et al.* (2010), analisando clones dos híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis*, encontraram uma correlação não significativa entre a DRL e a compressão paralela às fibras. Beltrame (2012) encontrou baixas correlações e não significativas para a madeira de *Eucalyptus*, entre a DRL e o MOE e a resistência à compressão paralelas às fibras.

Em geral, observou-se um comportamento diferente quando as idades foram analisadas conjunta ou isoladamente, dentro de cada espécie. Para a primeira situação, verificou-se uma maior magnitude entre a DRL e MOE e o MOR da resistência à compressão paralela às fibras. Quando as idades foram analisadas separadamente, dentro de cada espécie, não foi encontrada uma tendência da influência da DRL nos MOE e MOR, evidenciando uma correlação relativamente baixa.

O MOE e MOR encontrados na idade de 52 meses, foram o que melhor correlacionou com a DRL, em todas as espécies, indicando uma leve influência da DRL sobre as características de resistência mecânica para essa idade, não se evidenciam qualquer tendência, visto que, para as outras idades, o comportamento foi diferente.

Programas de melhoramento genético florestal, associados aos incrementos de novas práticas silviculturais devem ser direcionados para a produção de madeira com características desejáveis para a obtenção da madeira, com resistência mecânica elevada, porém com baixa ocorrência das tensões de crescimento.

#### 5.4 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

##### 5.4.1 Calibração dos modelos matemáticos

A Figura 1.33 ilustra os espectros obtidos, sem sofrer qualquer tipo de tratamento na região de 9000 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  do infravermelho próximo, evidenciando os picos de absorbância, obtidos na face radial, no sentido casca-medula, da madeira de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*. O comportamento espectral é semelhante ao observado por outros autores para diferentes espécies de *Eucalyptus* (VIANA, 2008, HEIN, 2008; RIBEIRO, 2009, ROSSO, 2010).

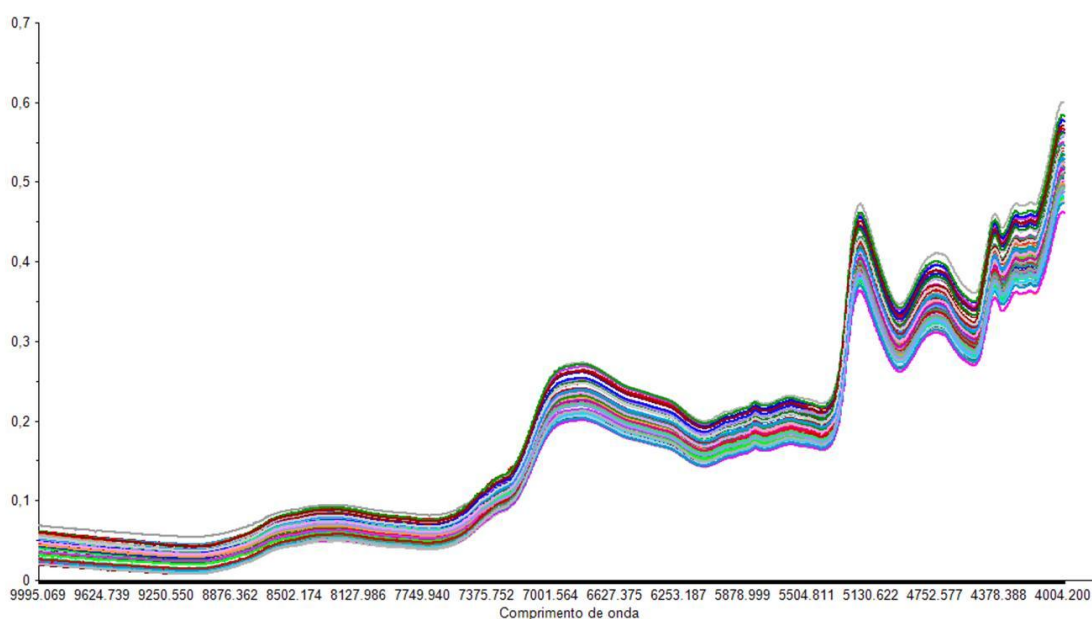


FIGURA 1.33 – ESPECTROS DE ABSORBÂNCIA DAS AMOSTRAS DAS MADEIRAS  
 FONTE: O autor (2014)

As espécies apresentaram o mesmo comportamento espectral no sentido casca-medula, sugerindo que as espécies apresentem algumas propriedades em comum, favorecendo o agrupamento de características e a seleção de espécies, com propriedades desejáveis a serem incluídas nos programas de melhoramento.

Para a calibração dos modelos, realizaram-se análises multivariadas de regressão pela técnica dos quadrados mínimos parciais (PLS regression), com validação cruzada. Os resultados da calibração foram obtidos com os dados originais, sem transformação, não passando por tratamentos matemáticos e sem a retirada dos outliers, visto que não foram retirados porque as verificações feitas nas amostras não indicavam que havia problemas de leitura.

Os modelos de calibração para predição da deformação residual longitudinal e as propriedades físicas e mecânica pretendidas, através da espectroscopia no infravermelho próximo, foram desenvolvidos com capacidade de predição independentemente da espécie.

As informações contidas no espectro foram associadas aos valores das propriedades, obtidos por métodos não destrutivos (DRL) e convencionais (físicos e mecânicos). A calibração foi ajustada sob estas informações. Os parâmetros de seleção dos modelos das calibrações NIR para a estimativa da DRL, MEB, MEV, CV, CT, CR, CA, o MOE e MOR, para as espécies de *Eucalyptus* estudadas encontram-

se na Tabela 1.35. A precisão do modelo é verificada pelos altos valores do R e R<sup>2c</sup>, e da relação de desempenho do desvio – RPD e pelos menores valores dos erros SEC e SECV.

De acordo com Williams e Sobering (1993), o coeficiente de determinação indica o grau de associação entre os valores de referência e os valores preditos nos modelos gerados, devendo ser o mais próximo de 1. Em relação ao RPD, Schimleck *et al.* (2003) afirmaram que um valor para o RPD superior a 1,5 pode ser considerado satisfatório para leituras e predições preliminares. Assim, quanto maior o valor RPD, melhor o ajuste do modelo.

TABELA 1.35 – RESUMOS DAS CALIBRAÇÕES POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Variável	N	VL	R	R <sup>2c</sup>	SEC	SECV	RPD
<b>DRL</b>	84	4	0,54	0,29	0,02	0,02	1,07
<b>MEB</b>	60	10	0,85	0,73	22,95	37,94	1,17
<b>MEA</b>	60	4	0,77	0,59	39,17	43,71	1,41
<b>MEV</b>	60	6	0,81	0,65	63,69	79,89	1,35
<b>CV</b>	60	4	0,60	0,36	2,12	2,38	1,12
<b>CT</b>	60	7	0,71	0,51	1,50	1,80	1,19
<b>CR</b>	60	1	0,12	0,01	0,94	0,98	0,96
<b>CA</b>	60	1	0,11	0,01	0,39	0,41	0,96
<b>MOE</b>	60	4	0,69	0,48	405,48	453,84	1,23
<b>MOR</b>	60	4	0,69	0,48	3,33	3,77	1,22

DRL – Deformação residual longitudinal, MEB – massa específica básica,, MEV – massa específica verde, CV – contração volumétrica, CT – contração tangencial, CR – contração radial; CA – coeficiente de anisotropia; N – número de amostras; VL – variáveis latentes; R<sub>c</sub> – coeficiente de correlação do modelo de calibração; R<sup>2c</sup> - coeficiente de determinação da calibração; R<sup>2v</sup> - coeficiente de determinação da validação; RMSEC – erro padrão da calibração; SEC: erro padrão da calibração (g/cm<sup>3</sup>); SECV: erro padrão da validação cruzada; RPD – relação da desempenho do desvio.

A VL refere-se ao número de fatores PLS (Projection to Latent Structure) interferiram na calibração, a MEB exigiu um alto número de fatores para sua calibração (10 fatores), uma vez que trabalhou com o número máximo de 10 fatores PLS, as variáveis CR e CA, por sua vez envolveram apenas um único fator. De acordo com Viana (2008) quando o número de fatores no modelo é pequeno, os resultados podem não ser satisfatórios, uma vez que a informação disponível nos dados originais não estarão sendo totalmente explorados, causando o efeito ajustamento inferior. O número alto de fatores, no entanto, promove um aumento do coeficiente de determinação, mas deve ser limitado, pois pode superestimar os resultados obtidos,

desse modo, um número excessivo de fatores pode causar o efeito de superajustamento.

Observa-se, em geral, que as calibrações não apresentaram bom desempenho, os valores obtidos para os coeficientes de determinação ( $R^2c$ ) e relação do desempenho do desvio (RPD) não foram satisfatórios, apresentando-se baixos, com exceção da MEB, MEA e MEV que apresentaram um melhor ajuste do modelo com valores superiores para o  $R^2c$ .

A calibração para prever a DRL da madeira, mostrou-se insuficiente, com baixos valores para o  $R^2c$  e o RPD. Embora exista uma correlação da DRL com as informações espectrais de 0,53, novos estudos neste segmento devem ser realizados, visando melhorias nas ferramentas utilizadas para melhor resposta da DRL em relação ao NIR. Na Figura 1.34 pode-se observar o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados) e os valores preditos por espectroscopia no infravermelho próximo da calibração do modelo para a variável DRL.

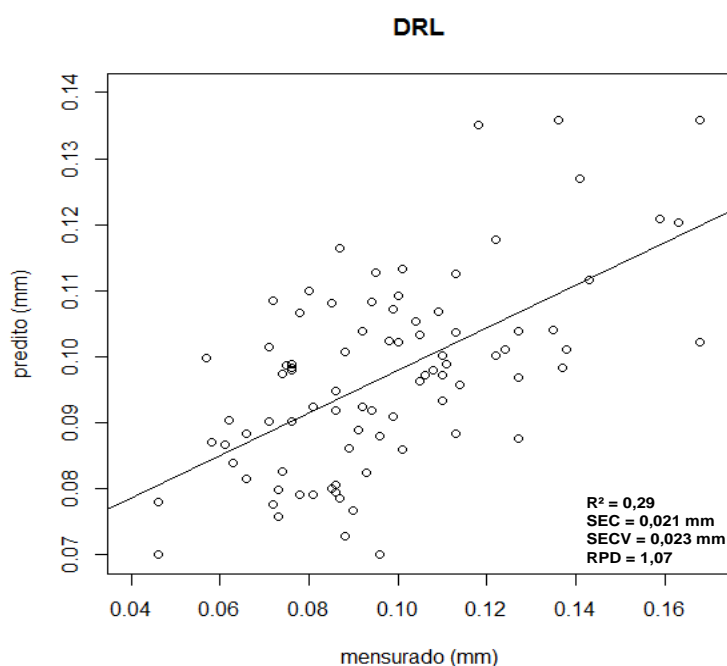


FIGURA 1.34 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA A DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL  
FONTE: O autor (2014)

Watanabe *et al.* (2012) ao estudarem a madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don, aos 16 anos de idade, encontraram um coeficiente de determinação para a calibração de modelos, com o objetivo a predição da deformação residual longitudinal, de 0,61. O método empregado para a determinação da DRL, ao redor do tronco foi o “strain gauge”, e as leituras do NIR foram tomadas apenas na superfície do tronco próxima à leitura da DRL. Os autores, no entanto, ressaltaram que o número de árvores amostradas foi pequeno (três árvores) e essa técnica para determinação da DRL é morosa e de difícil uso, para um grande número de árvores.

Assim, um aumento da leitura da DRL ao redor do tronco, através do extensômetro, utilizado no presente trabalho, poderia ser uma alternativa, uma vez que é mais rápido e com boa precisão. Mais informações a respeito da DRL implicariam em uma melhor associação com o NIR, para sua predição. Sugere-se que as leituras da DRL sejam tomadas nas outras posições cardeais (nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste) além das convencionais (norte, leste, sul e oeste) aumentando a representatividade da DRL, ao redor dos troncos. Outros equipamentos para as tomadas da DRL também podem ser utilizados, como o próprio “strain gauge”.

As medidas do NIR foram tomadas na direção radial, sentido casca-medula, promovendo uma maior leitura das amostras, uma vez que a madeira é um material orgânico, com elevada variabilidade dos seus constituintes, proporcionando maior representatividade e detalhamento na leitura dos espectros. Espera-se que o aumento da amostragem da DRL ao redor do tronco, proporcione uma melhor calibração dos modelos com as informações espectrais para predizer a DRL.

Cuidados no momento da mensuração da DRL, em relação aos fatores ambientais, devem ser tomados, uma vez que tendem a influenciar os resultados da DRL, no momento de sua medida. O resultado final pode estar superestimado ou subestimado, este detalhe metodológico, também, contribui para obtenção de dados que melhor associam a DRL com os espectros do NIR.

Para a massa específica, os valores do coeficiente de determinação estão em conformidade com a literatura. Assim, os resultados dos parâmetros estatísticos dos modelos obtidos possibilitarão predizer essas características da madeira. Diversos autores calibraram modelos a partir de espectros médios para a predição da massa específica da madeira, com ou sem tratamento matemático dos dados, e encontraram um coeficiente de determinação superior a 0,60 (SCHIMLECK *et al.*, 1999; VIANA,

2008, ROSSO, 2010). Para a estimativa da massa específica básica da madeira, Hein (2008) e Hein *et al.* (2009) relataram que espectros medidos na face radial da madeira forneceram modelos mais precisos.

Na Figura 1.35 observa-se o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados) e os valores preditos por espectroscopia no infravermelho próximo da calibração do modelo para as variáveis MEB, MEA e MEV.

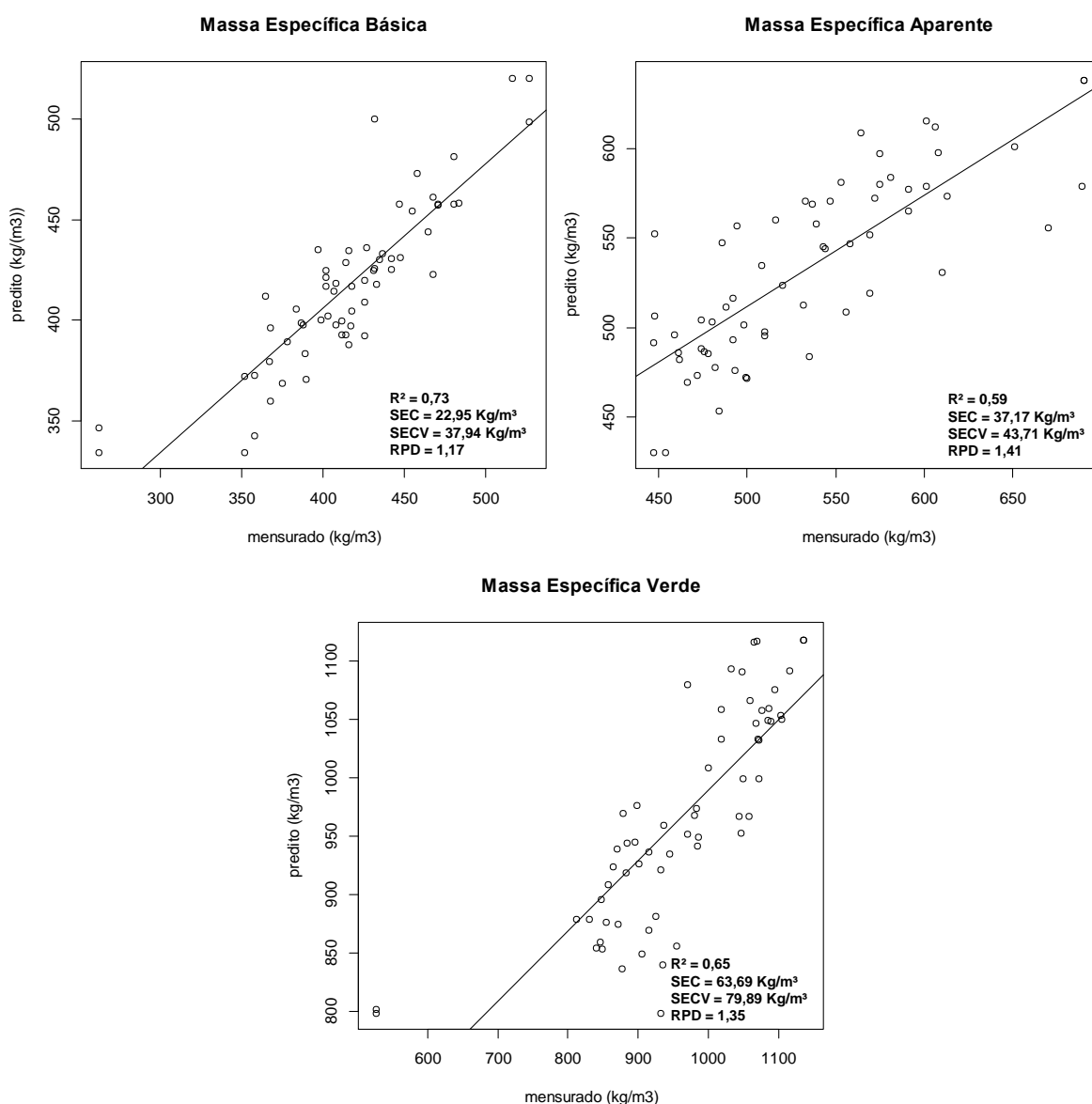


FIGURA 1.35 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, APARENTE E VERDE  
 FONTE: O autor (2014)



Em relação às variações dimensionais e o coeficiente de anisotropia, a as calibrações não apresentaram bons indicadores, a variável CT foi a mais satisfatória, apesar do baixo coeficiente de determinação (0,49). Os valores dos parâmetros de seleção foram utilizados na calibração dos modelos obtidos no presente trabalho. Taylor *et al.* (2008) mencionaram que a variação dimensional da madeira é uma característica que, também, pode ser predita, através da espectroscopia do infravermelho próximo. Ribeiro (2009), ao avaliar a reprodutibilidade volumétrica, na face radial da madeira de *Eucalyptus*, encontrou, para a calibração de um modelo, um coeficiente de determinação de 0,74.

Na Figura 1.36, observa-se o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados) e os valores preditos por espectroscopia do infravermelho próximo da calibração do modelo, para as variáveis CV, CT, CR e CA.

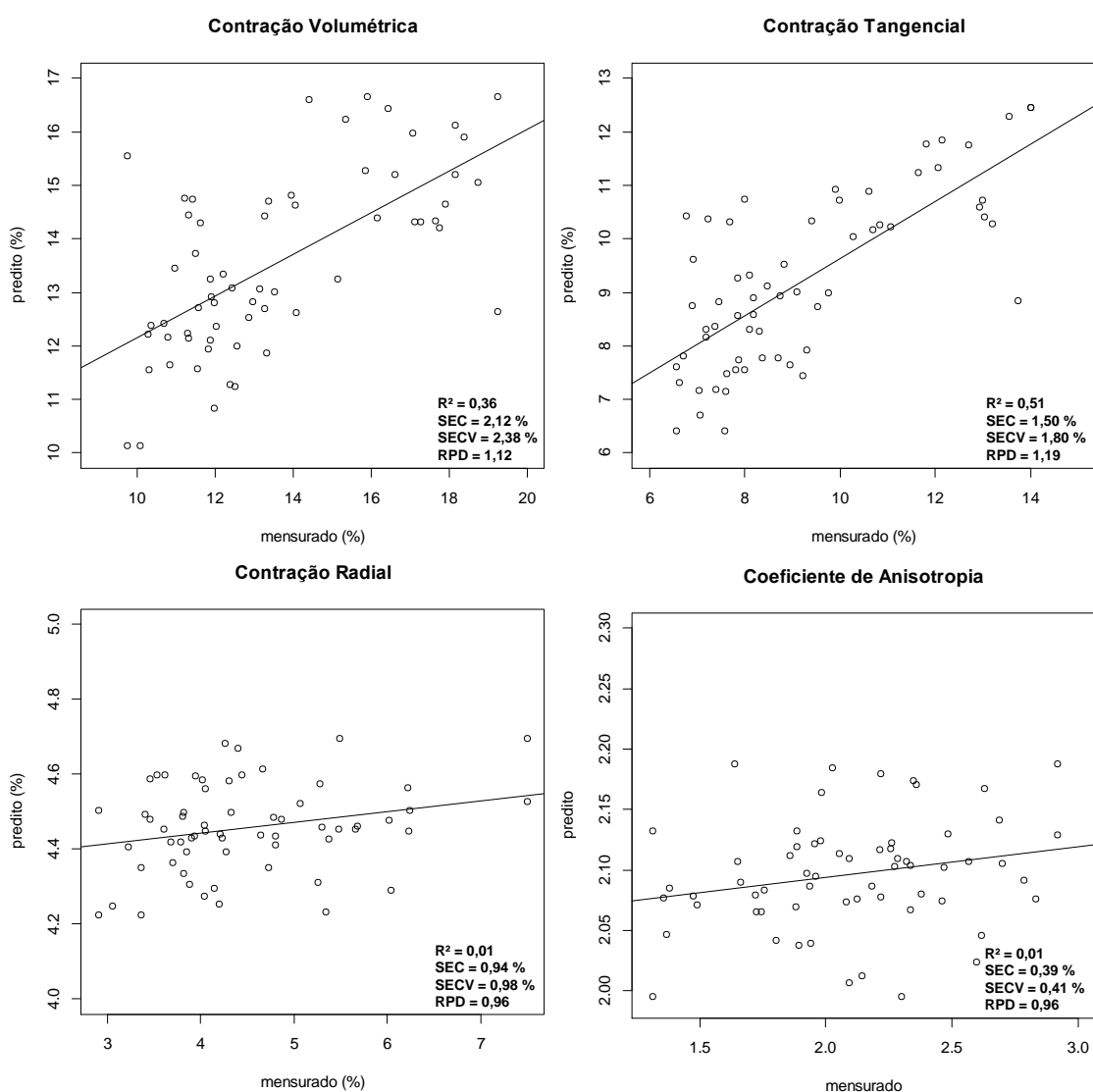


FIGURA 1.36 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS VARIÁVEIS CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E O COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

FONTE: O autor (2014)

Para as variáveis MOE e MOR, obtidas nos ensaios de compressão paralela às fibras da madeira, os modelos foram ajustados com um coeficiente de determinação baixo, ambas com 0,48. Quando comparados com a literatura, estes valores foram inferiores. Rosso (2010) encontrou, para a madeira de *Eucalyptus*, um coeficiente de determinação da calibração do modelo para o MOE um valor de 0,66, porém os espectros no NIR foram tomados no mesmo corpo de prova, no qual foi realizado o ensaio mecânico, o que pode ter contribuído para uma melhor calibração do modelo, já que o ponto de coleta foi específico.

Na Figura 1.37, observa-se o gráfico que relaciona os valores reais (mensurados) e os valores preditos por espectroscopia no infravermelho próximo da calibração do modelo, para as variáveis MOE e MOR.

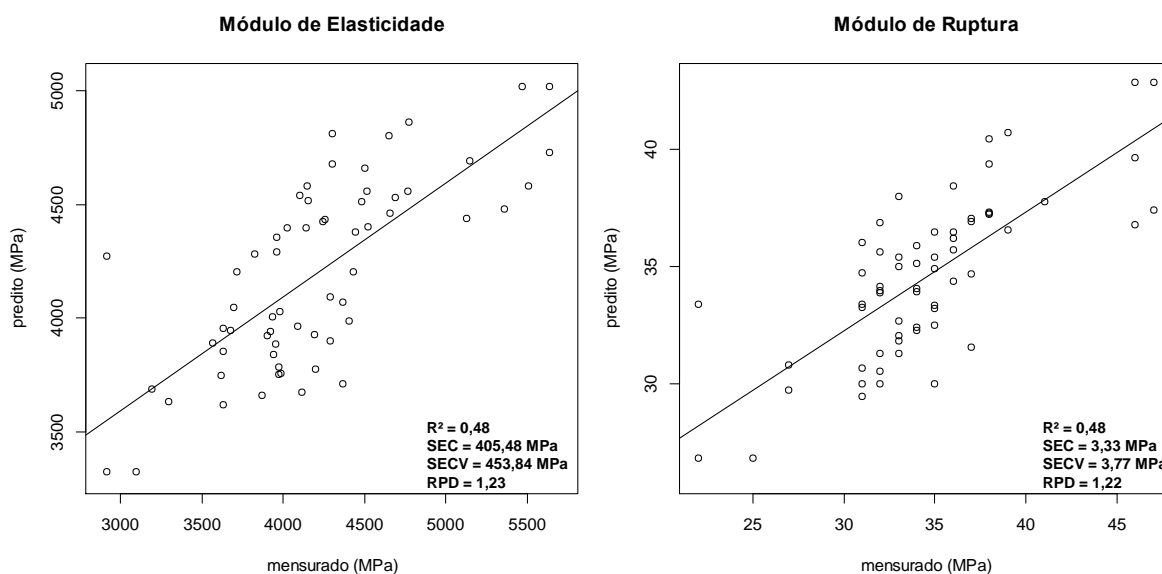


FIGURA 1.37 – VALORES MENSURADOS E PREDITOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS VARIÁVEIS MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA  
 FONTE: O autor (2014)

Conforme descrito na literatura por alguns autores (SCHIMLECK *et al.*, 2003; BARCELLOS, 2007; HEIN, 2008) que ressaltaram a eficiência do uso da espectroscopia de infravermelho próximo para estimar as propriedades da madeira, esperava-se que os modelos calibrados para a predição das variáveis investigadas, principalmente para a DRL, fossem mais satisfatórios.

Por se tratar de árvores jovens e de rápido crescimento, diversas características inerentes à madeira podem influenciar, negativamente, nesta fase, a madeira não se encontra numa fase estável, passando, ainda, por transições durante o seu desenvolvimento. As variações decorrentes da idade da árvore, a variabilidade de sua constituição química e da estrutura anatômica podem implicar em uma variabilidade das informações espectrais, o que pode interferir na precisão da calibração dos modelos. Abrahão (2005) relatou que como as respostas espectrais se apresentam como resultante das mudanças que ocorrem nas árvores, os modelos multivariados são capazes de compensá-las intrinsecamente, desde que a

amostragem seja suficientemente grande para conter combinações entre os diversos níveis das variáveis.

Sugere-se, também a coleta de informações na fase mais adulta das árvores para futuras comparações, espera-se, também, melhorar o desenvolvimento de modelos de calibração para a predição das propriedades da madeira, principalmente a DRL.

Metodologias mais aprimoradas ou novos segmentos devem ser adotados, visando uma melhor calibração dos modelos para a predição das propriedades da madeira utilizadas no presente estudo, através da ferramenta NIR. Uma alternativa será o tratamento matemático dos dados originais, visto que os dados foram trabalhados de forma bruta, avaliando diferentes pré-tratamentos para a normalização dos mesmos, o que pode resultar em melhores parâmetros estatísticos de seleção das calibrações do modelo.

A partir das constatações feitas na presente pesquisa, espera-se que as técnicas utilizadas ou a metodologia sejam, ainda, mais aprimoradas. Melhores resultados poderão ser alcançados em novos estudos que utilizem a aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo para as predições das propriedades avaliadas de maneira rápida e confiável, principalmente para predição da variável DRL. O objetivo de indicar e selecionar árvores com potencial para a geração de produtos sólidos que tendem apresentar menores níveis de deformação residual longitudinal, agregando valor à matéria prima e ao produto final.

Apesar de os valores obtidos para os parâmetros de seleção, a ferramenta NIR mostra-se como uma técnica promissora e de possível aplicação no setor florestal, principalmente para a geração de modelos de predição das propriedades da madeira.

Diversos autores trabalharam com a espectroscopia NIR e encontraram resultados satisfatórios em outras áreas na tecnologia e utilização de produtos florestais. Kelley *et al.* (2004) desenvolveram modelos para prever propriedades de diferentes espécies de coníferas e folhosas, a partir de dados espectrais na faixa do NIR. Jones *et al.* (2006) conseguiram prever os teores de celulose, glucanas, xiloses, manoses, e lignina usando a espectroscopia na região do NIR. Rials *et al.* (2002) empregaram a técnica para a predição das propriedades mecânicas de painéis.

A espectroscopia na região do NIR, também, pode ser utilizadas para predizer propriedades anatômicas como comprimento de fibra e ângulo microfibrilar (SCHIMLECK; EVANS, 2004). Via (2004) realizou vasta pesquisa com a espectroscopia NIR, desenvolvendo modelos para predição das propriedades físicas, mecânicas e anatômicas com amostras de madeira.

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, as seguintes conclusões são apresentadas:

- O *E. grandis* foi a espécie que apresentou o menores níveis da DRL;
- O efeito idade influenciou na DRL nas três espécies, e apresentou-se crescente com a idade;
- O efeito posição foi significativo apenas para a espécie *E. saligna*, apresentando na posição de 1,30 m a menor DRL;
- Os níveis de deformação nas diferentes orientações, ao redor do tronco, foram semelhantes para as três espécies;
- A madeira para todas as espécies nas idade avaliadas foram classificadas como leves em relação a massa específica básica, apresentando o *E. dunnii* a maior massa específica aparente e básica, seguido pelo *E. saligna* e *E. grandis*;
- Em relação às contrações na madeira, a espécie de *E. grandis* apresentou o melhor comportamento, tendendo a proporcionar uma madeira com maior estabilidade dimensional;
- A madeira de *E. dunnii* foi a que apresentou a melhor resistência mecânica à compressão da madeira, seguido pela espécie de *E. saligna* e, por último, o *E. grandis*;
- As correlações entre a DRL e as variáveis de crescimento das árvores, propriedades físicas e mecânicas apresentaram uma alta dispersão;
- Para a matriz de correlação, sem estratificação da idade entre a DRL e as variáveis de crescimento, a correlação mais evidente e significativa ocorreu para o *E. saligna*. Ao avaliar a correlação para as idades individuais, as melhores correlações entre as variáveis de crescimento e a DRL foram obtidas para o *E. grandis*, aos 52 e 65 meses de idade;
- Para a matriz de correlação, sem estratificação da idade entre a DRL e as propriedades físicas, a melhor correlação foi encontrada para o *E. saligna* entre a DRL e a massa específica aparente e básica, com as variáveis de contração da madeira, as correlações foram baixas ou quase inexistentes. Ao avaliar a correlação para as idade individuais, as melhores correlações foram obtidas nas árvores com 52 meses;

- Para a matriz de correlação, sem a estratificação da idade entre a DRL e a resistência à compressão paralela às fibras, a melhor correlação foi obtida para o *E. dunnii*. Ao avaliar individualmente as idades, apenas para a madeira de *E. grandis* aos 52 meses a correlação foi mais evidente;
- A espectroscopia NIR apresentou bons modelos de calibração apenas para a massa específica, sendo não conclusiva para a DRL.
- Apesar do resultados obtidos, a técnica NIR é rápida e de fácil utilização, além de mostrar-se promissora e com potencial no setor florestal;
- A elevada variabilidade das características avaliadas da madeira serve como fator indicativo para a seleção genética;

De maneira geral, a DRL é um fator altamente dinâmico e possui uma alta variabilidade quando investigada isolada ou associada a outras propriedades. A determinação das correlações entre a DRL e as características de crescimento das árvores e as propriedades da madeira demonstraram pouca ou nenhuma influência. Contudo, a madeira de *E. grandis* foi a que apresentou o melhor desempenho quanto aos níveis de DRL e as propriedades da madeira, tendendo a oferecer uma madeira de melhor qualidade para a geração de produtos sólido.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABRAHAO, C. P. **Estimativa de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por espectroscopia**. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- ACOSTA, M.S. Experiência argentina en la producción y utilización de la madera de eucalipto, Panorama a 1995. In: WORKSHOP: TECNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/DEF/SIF/ IEF, 1995. p.28-38.
- ACOSTA, M. S. **Productos sólidos a partir de madeira de eucaliptos cultivados**. Entre Rios: INTA, 2006. 15 p.
- AGUIAR, O. J. R.; JANKOWSKY, I. P. Prevenção e controle das rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **IPEF**, p. 39-46, 1986.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urograndis***. 133 f. Tese (Doutorado EM Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ALZATE, S.B.A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.
- AMARAL, A. C. B. **Defeitos na madeira de *Eucalyptus*: suas causas e possibilidades de redução (revisão bibliográfica)**. Piracicaba: ESALQ/LCF, 1991. 25 p.
- AMARASEKERA, H. Alternative timber species: A review of their properties and uses. In: AMARASEKERA, H. S.; BANYARD, S. G. (Ed.). **Forestry for Development: proceedings of the Annual Forestry Symposium**. Sri Lanka: Department of Forestry and Environmental Sciences, 1995. p. 76-88.
- AMARASEKERA, H.; DENNE, M. Effects of crown size on wood characteristics of Corsican pine in relation to definitions of juvenile wood, crown formed wood and core wood. **Forestry**, n. 75, v. 1, p. 51-61, 2002.
- AMPARADO, K. F. **Qualidade da madeira serrada e dos painéis colados lateralmente obtidos de um plantio de *Eucalyptus saligna* Smith visando o segmento moveleiro**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- AMPARADO, K. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Florestal Venezolana**, v. 52, p. 71-76, 2008.



ARANTES, M. D. C. Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ASSIS, T. F. Qualificação tecnológica da madeira de *Eucalyptus* para serraria: aspectos genéticos e de manejo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal/UFSM, 2000. p. 59-80.

ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. Hibridação e Clonagem. In: Borém, A (ed.). **Biotecnologia Florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2007. p. 93-121.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. 142 p.

BALLARIN, A. W. **Propriedades mecânicas das madeiras**. *Notas de aula*, 37 p. 2005.

BAILLÈRES, H.; DAVRIEUX, F.; HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a *Eucalyptus* breeding program. **Annals of Forest Science**, v. 59, n. 5/6, p. 479-490, 2002.

BAO, F.; JIANG, Z. H.; JIANG, X. M.; LU, X. X.; LUO, X. Q.; ZHANG, S. Y. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. **Wood Science and Technology**, v. 35, n. 4, p. 363-375, 2001.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: VON GADOW, K.; BREDENKAMP, B. V. (ed.). **Management of *Eucalyptus grandis* in South Africa**. Stellenbosch: Southern African Institute of Forestry, 1990. p. 215-228.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, J. R.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BELTRAME, R. **Desempenho silvicultural e seleção de clones de *Eucalyptus* spp. para a qualidade da madeira**. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BELTRAME, R. **Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp.** 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BELTRAME, R.; LAZAROTTO, M.; HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. AGUIAR, A. M. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **For Prod. J.**, v. 28, n.10, p. 61-72, 1978.

BEN-GERA, I.; NORRIS, K.H. Determination of moisture content in soybeans by direct spectrophotometry. **Israel Journal of Agriculture Research**, v. 18, p. 125-132, 1968.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

BERGER, R. B. SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p.75-87, 2002.

BERTOLINI, I. C.; JUNG, P. H., KREFTA, S. M.; LIMA, A. L. P.; WEBER, V.P. Avaliação de diferentes métodos para obtenção da área de copa para araucaria angustifolia (bertol.) kuntze. In: Congresso Florestal Paranaense – 4º, 2012, Curitiba. **Anais...Curitiba**, 2012.

BERTOLINI, M. S., Silva, D. A. L., SOUZA, A. M., CALIN NETO, C., LAHR, F. A. R. Influência do Comprimento de Corpos-de-Prova na Obtenção do Módulo de Elasticidade Ec0. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 179-183, 2012.

BHAT, K M. Properties of selected lesser-known tropical hardwoods. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 16, n. 1, p. 26-35, 1985.

BOFF, V. H. S. Controle de qualidade da madeira serrada de eucalipto. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA A INDÚSTRIA MOVELEIRA – MADETEC, 3, 2005, Vitória. **Anais... Vitória**, 2005.CD-ROM.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, M.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSON, R. D.; KLEINIG, D. A.; MCDONALD, M. W.;TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. 5. ed. Australia: CSIRO Publishing, 2006.

BOOTLE, K. R. **Wood in Australia: Types, properties and uses**. 2. ed., Sydney: McGraw-Hill, 2005.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var.hondurensis tratado termicamente. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 10, 2004, Campo Grande-MT, 2004. **Anais...** Campo Grande, 2004. 1 CD-ROM.

BOTOSSO, PC. **Une method de mesure du retrait microscopique du bois: application à la prediction du retrait tangentiel d'éprovettes de bois massif de sapin pectiné** (*Abies alba* Mill.). 247 f. These (Docteur em Sciencies Du Bois) - Université Henry Poincaré, Nancy, 1997.

BOYD, J. D. The growth stresses: evidence of origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, New York, v. 6, p. 251-262, 1972.

BRAUER, O. **Fitogenética aplicada**. México: Editorial Limusa, 1973. 518p.

BRINKMANN, K.; BLASCHKE, L.; POLLE, A. Comparison of different methods for lignin determination as a basis for calibration of near-infrared reflectance spectroscopy and implications of lignoproteins. **Journal of Chemical Ecology**, v. 28, n. 12, p. 2483-2501, 2002.

BURNS, D.A.; CIURCZAK, E.W. **Handbook of near-infrared analysis**. 3. ed. Boca Raton: CRC, 2008. 808p.

CALIL JUNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. Utilização da madeira em construções rurais. 1997. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v1n1/071.pdf>>. Acesso em: 10/08/2014.

CALONEGO, F. W. **Estimativa do tempo de vaporização das toras e sua implicação no desdobro e na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis***. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho, Botucatu, 2004.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados a tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 431-440, 2005.

CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: EUCALYPTS: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS. Salvador: 1997. p. 321-326.

CARDOSO JÚNIOR, A. A. **Tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas relações com espaçamento idade e material genético**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CARDOSO JUNIOR, A. A., TRUGILHO, P.F., LIMA, J. T., DA SILVA ROSADO, S. C., MENDES, L.M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, v.11, n.3: p. 218-224, 2005.

CARDOSO JÚNIOR, A.A.C.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S. Efeito dos tratamentos silviculturais sobre a deformação residual longitudinal em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n.75, p.77-84, 2007.

CARNEIRO, R. S. **Influência de defeitos de crescimento e das dimensões detraqueídeos nas propriedades de densidade e flexão estática da madeira de**

***Pinus caribea***. 171 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Árvore**, v.34, n. 2, 2010.

CASTELO, P. A. R.; MATOS, J. L. M.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 38, n. 3, 2008.

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

CHAFE, S. C. Peripheral growth stress and tree diameter in Eucalyptus. **Journal of the Institute of Wood Science**, v.13, n. 5, 523-525, 1995.

CHAFE, S. C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, 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**, v.15, p.51-55, 1985.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 206 f. Tese (Doutorado) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1980.

CLAIR, B.; RUELE, J.; THIBAUT, B. Relationship between growth stresses, mechanic physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.). **Holzforschung**, v. 57, p.189-195, 2003.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 459**. Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 461**. Determinación Del peso específico aparente. 1972.

Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **COPANT 462**. Método de determinación de la contracción.1972.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex maden**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CONRADIE, W.E. Utilization of South African grown *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) as veneer logs. **Part 1: Control of end splitting in veneer logs**. Special Report n. 206. Pretoria. National Timber Research Institute/CSIR, 27 p. 1980.

COSTA, E.M. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 4, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba:1996.

COUTO, H.T.Z. Manejo de florestas e suas utilizações em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995. p.20-30.

CRUZ, C.R.; LIMA, J.T.; MUNIZ, G.I.B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v.64, n.1, p. 33-47, 2003.

DAGOSTINI, C. M. **Estruturas de aço e madeira**. Engenharia Civil. Joaçaba: Ed. Unoesc, 2006.

DELLA FLORA, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness**. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R.; SOUZA, M. R. de. Aspectos tecnológicos da produção de madeira serrada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Brasil Florestal**, n. 70, p. 75-82, 2001.

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

DELUCIS, R. A.; MISSIO, A. L.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. **Predição da deformação residual longitudinal por meio de propriedades dendrométricas e físicas de *Acácia negra***. Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 05, n. 01, p. 42-57, 2014.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DICKSON, R. L.; RAYMOND, C. A.; JOE, W.; WILKINSON, C. A. Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. **Forest Ecology and Management**, v. 179, n. 1-3, p. 243-251, 2003.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, v. 39, n. 2, p. 162-170, 1966.

DOBNER Jr. M.; HIGA, A. R.; URBANO, E. Determinação da idade e intensidade ótimas para realização do primeiro desbaste em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 485 – 494, 2012.

DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.8, n.1, p.44-55, 1998.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C.; SPATHELF, P. Perspectivas do manejo florestal por árvores singulares. **Ciência & Ambiente**, v. 20, p.71-82, 2000.

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

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-150, 2001.

DURLO, M. A. Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbraziens. 175 f. Tese (Doutorado) Institut für Waldwachstumsforschung, Universität für Bodenkultu, Viena, 1996.

EINSPIELER, H. **Waldwachstumskundliche untersuchungen von *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären laubmischwäldern im zentralen Rio Grande do Sul, Brasilien**. 107 f. Diplomarbeit, Institut für Waldwachstumsforschung, Universität für Bodenkultur, Wien, 2002.

EISBERG, R. E RESNICK, R., **Física Quântica – Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1986, 372p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, 2005, 43p.

ENGLERT, G. H. Framework of qualitative relationship in wood utilization. Madison, **Forest Products Laboratory**, Research Paper FFP 45. 1966, 16p.

ERIKSON, R. G.; GORMAN, T. M.; GREEN, D. W. GRAHAM, D. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodgepole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7-8, p. 59-65, 2000.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7-8, p.75-87, 2000.

FERNANDES, P. S. **Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênie de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 85 f. Dissertação (Mestrado EM Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

FERRAND, J. C. Growth stresses and silviculture of eucalypts. **Australian Forest Research**, v. 13, n. 1, p. 75-81. 1983.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais.** 2 ed. São Carlos: EDUFSCA, 2002, 286p.

FERREIRA, C. R.; FANTINI Jr, M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVAL, A. M. M. L. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 161-170, 2006.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C.S.; TRUGILHO, P. F. Influência do desdobro no rendimento e qualidade do eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 92, p. 15-22, 2005.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T. TRUGILHO, P. F. SILVA, J. R. M. ROSADO, A. M.; MONTEIRO, T. C. Resistência mecânica de caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 133-140, 2010.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; JOSÉ LUIZ BAZZO, J. L.; KLEIN, J. E. M. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Cerne**, v.7, n.2, p.53-64, 2001.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L. E. G. Tecnologia de celulose e papel. Piracicaba: USP, ESALQ, 1975. 207 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material.** Washington: U.S. Department of Agriculture, 1987. 466p.

FOWLER, D.P. Mejoramiento e hibridación de poblaciones. **Unasyuva**, v. 30, n. 119/120, p. 21-6, 1978.

FRANCO, N.; RABELO, M. **Estudo comparativo entre os métodos para ensaio de madeira apresentados nas normas COPANT e ABNT.** São Paulo: IPT, 1986.48p.

FREITAS, A. Potencial de utilização de madeiras em construções. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1982.

GAIOTTO, M.R. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* para produção de lâmina.** 119 f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

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

GARCIA, J. N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995 São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995. p. 59-67.

GÉRARD, J.; BAILLERES H.; FOURNIER M.; THIBAUT B. Qualité du bois chez les *Eucalyptus* de plantation: étude de variation de trois propriétés de référence = Wood quality in plantation *Eucalyptus*: a study of variations in three reference properties. **Bois et forêts des tropiques**, n. 245, p. 101-111, 1995.

GINDL, W., TEISCHINGER, A.; SCHWANNINGER, M.; INTERSTOISSER, B. The relationship between Near Infrared Spectra of radial wood surfaces and wood mechanical properties. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v.9, p.255-261, 2001.

GONÇALVES, F. G. **Efeito da taxa de crescimento na qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; TOMAZELO FILHO, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.34, n.5, p.947-959, 2010.

GONÇAVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, JP. SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity wood quality of eucalypt plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 192, n.1, p. 45-61, 2004.

GONÇALVES, M. P. M. **Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

GREEN, D.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: **Wood handbook – Wood as an engineering material**. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1999. p. 5-1-5-46. Chapter 5.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; EL BAKALI, I.; GÉRARDIN, P.; ZOULALIAN, A. Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, Ghent, 2003. **Anais...** Ghent: 2003, CDROM.

HARRIS, J.M. Effect of rapid growth on wood processing. In: WORD CONGRESS, 17, Japan, 1981. **Proceedings...** Japan: IUFRO, 1981, p. 117-125.

HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E. J.; LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.



HASELEIN, C.R.; LOPES, M.C.; SANTINI, E.J.; LONGHI, S.J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.14, n. 2, p.145-155, 2004.

HASENAUER, H. **Ein einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern-und buchen-fichtenmischbestände**. 156 f. Tese (Doutorado) - Institut für Waldwachstumsforschung, Universität für Bodenkultur, Wien, 1994.

HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein programm zur modellierung von wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung**, v. 4, p. 216-218, 1995.

HASENAUER, H. Princípios para a modelagem de ecossistemas florestais. **Ciência & Ambiente**, v.20, p.53-69, 2000.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: JA Editores, 2006. 127p.

HAUKSSON, J.B.; BERGQVIST, G.; BERGSTEN, U.; SJÖSTRÖM, M. EDLUND, U. Prediction of basic wood properties for Norway spruce - interpretation of near infrared spectroscopy data using partial least square regression. **Wood Science and Technology**, v. 35, p. 475-485, 2001.

HEIN, P. R.G. **Avaliação das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por meio da espectroscopia no infravermelho próximo**. 88f. Dissertação (Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

HEIN, P. R. G.; CAMPOS, A. C. M.; LIMA, J. L.; TRUGILHO, P. F.; CHAIX, G. Estimativa da resistência e da elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* usando a espectroscopia no infravermelho próximo. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 82, p. 119-129, 2009.

HENSON, M.; BOYTON, S.; DAVIES, M.; JOE, B.; BANDARA, K.; MURPHY, T. N.; PALMER, G.; VANCLAY, J.K. Genetic Parameters of Wood Properties in a 9 Year Old *E. Dunnii* Progeny Trial in NSW, Australia. In: BORRALHO, N. M. G.; PEREIRA, J. S.; MARQUES, C.; COUTINHO, J.; MADEIRA, M.; TOME, M. (eds.). **Eucalyptus in a Changing World**. Aveiro: Instituto Investigação da Floresta e Papel, 2004. 183p.

HENSON, M.; THOMAS, D. S.; RAYMOND, C. A.; SMITH, H. J. The influence of site, age and genetics on pulp yield and wood chemistry of *Eucalyptus dunnii*. In: AUSTRALIAN FOREST GENETICS CONFERENCE, 2009, Australia. **Proceedings**...Australia: Taking Care of Business, 2009. CD-ROM.

HENSON, M.; VANCLAY, J. K. The value of good sites and good genotypes: an analysis of *Eucalyptus dunnii* plantation in NSW. In: IUFRO CONFERENCE "THE ECONOMICS AND MANAGEMENT OF HIGH PRODUCTIVITY PLANTATION", 2004, Lugo. **Proceedings**... Lugo: IUFRO, 2004, 6p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production**. 2. ed. Melbourne: CSIRO; Academic Press, 1984. 434p.

HILLIS, W. E. Wood quality and growing to meet market requirements. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. Launceston, 2000. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000, p. 256-264.

HOFFMEYER, P.; JENSEN, D.; KLINKE, H. B.; FELBY, C. Sorption properties of steam treated wood and plant fibres. In: European Conference on Wood Modification, 2003. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2003. 1 CD-ROM.

HOFFMEYER, P.; PEDERSEN, J.G. Evaluation of density and strength of Norway spruce wood by near infrared reflectance spectroscopy. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 53, n. 3, p.165-170, 1995.

HUA LEI, H.; GARTNER, B.; MILOTA, R. Effect of growth rate on the anatomy, specific gravity, and bending properties of wood from 7-year-old red alder (*Alnus rubra*). **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, p. 80-85, 1997.

HUANG, Y.S.; HUNG, L. F.; KUO-HUANG, L.L. Biomechanical modeling of gravitropic response of branches: roles of asymmetric periphery growth strain versus self-weight bending effect. **Trees**, v. 24, p. 1151–1161, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Atuário**. Brasília: IBÁ, 2014. Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/pt/>>. Acesso em 01/09/2014.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.PRATA, J. G., COSTA, A.C. B. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – osb. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.

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 Rumber Bureau**, n. 96, p. 1-15, 1965.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil, formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, n. 81, p. 1-18, 1979.

JARA, E. R. P.; MIRANDA, M. J. de A. C.; HUPHREYS, R. D. Influência do tratamento térmico na redução das tensões internas de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA, 1997. p. 276-280.

JOE, B., DICKSON, R.; RAYMOND, C. A.; IIC, J.; MATHESON, C. **Prediction of *Eucalyptus dunnii* and *Pinus radiata* timber stiffness using acoustics**. A report for the RIRDC/Land and Water Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program. RIRDC Publication No 04/013, 2004, 121p.

JONES, P. D.; SCHIMLECK, L.R.; PETER, G.F.; DANIELS, R.F.; CLARK, A. Nondestructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 85-92, 2005.

KAUMAN, W. G.; GERARD, J.; JIQING, H. Processing of *Eucalyptus*. **Commonwealth Forestry Review**, v.7, n. 2, p. 147-154, 1995.

KELLEY, S.S.; RIALS, T. G.; SNELL, R.; GROOM, L. H.; SLUITER, A. Use of near infrared spectroscopy to measure the chemical and mechanical properties of solid wood. **Wood Science and Technology**, v.38, p. 257-276, 2004.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro**. Jerônimo Monteiro: 2007. p. 271-341

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag, 1968, 592p.

KOTILAINEN, R. **Chemical changes in wood during heating at 150-260°C**. 57 f. Tese (Doutorado) - Department of Chemistry, University of Jyväskylä, 2000.

KRILOV, A.; ADES, P. **Longitudinal growth stresses in a *Eucalyptus grandis* progeny trial**. For. Comm. of N.S.W, 1985. (Internal Report 106)

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, v. 10, n. 3, p. 61-119, 1987.

KUBLER, H. Silviculture control of mechanical stresses in trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 18, p. 1215-1225, 1988.

LADRACH, W.E. Control of wood properties in plantations. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 18, 1986, Ljubljana. **Proceedings...** Ljubljana, p. 369 – 379, 1986.

LATORRACA, J.V.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Efeito de rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. Desbastes e seus efeitos sobre a produção e qualidade de povoamentos florestais. In: SEMINÁRIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 1, 2004, Vitória. **Anais...** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais/SIF, 2004. p.165-195.

LEMONS, F. **Wachstumsspannungen in *Eucalyptus* spp. – Wechselwirkung gen zwischen Zuwachsrates, Kronenasymmetrie und Spannungsverteilung an der Stammoberfläche**. 70 f. Tese (Doutorado) - University of Freiburg, Freiburg, 2002.

LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Variation in compression strength parallel to the grain in *Eucalyptus* clones. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF WOOD SCIENCE, 4, 1999, High Wycombe. **Proceedings...** 1999, p.502-510.

LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Variation in Wood density and mechanical properties in Eucalyptus clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston. **Proceedings ...** Launceston: IUFRO, 2000, p. 282-291.

LIMA, I.L.; GARCIA, J.N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill ex-maiden. **Árvore**, v.34, n. 3, p. 551-559, 2010.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-119, 2004.

LIN, C-H.; CHUNG, C.; CHO, C.; YANG, T. Tree ring characteristics of 30-year old *Swietenia macrophylla* plantation trees. **Wood and Fiber Science**, v. 44, n. 2, p. 1-12, 2012.

LIN, C-H.; TSAI, M-J.; LEE, C-J.; WANG, S-Y.; LIN, LD. Effects of ring characteristics on the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of seven softwood species. **Holzforschung**, v.61, p.414-418, 2007.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 298 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

LOBÃO, M.S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, v. 28, n. 6, p.889-894, 2004.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S. PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 13-23, 2002.

LUTZ, J. F.; PANZER, H. R. **Potential of Brazil nut for use as venner**. Madison: USDA, Forest Service, Madison, 1969.

LUZ, H. F.; MELZER, J. F.; COUTINHO, C. J.; FERREIRA, M. C. **Manejo de florestas de eucalipto para usos múltiplos**. Piracicaba: Eucatex Florestal, 1992. 30 p.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro. 316p. 2009.

MAEGLIN, R.R. Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing hardwoods. In: APPLYING THE LATEST RESEARCH TO HARDWOOD PROBLEMS: 15TH ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM OF THE HARDWOOD RESEARCH COUNCIL, 1987, Memphis. **Proceedings...** Memphis: 1987, p. 100-108.

MAESTRI, R.; NUTTO, L.; SARTORO, R. C. Ganhos tecnológicos na produção de madeira reflorestada sob manejo. In: III SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2005, Belo Horizonte, **Anais...** Viçosa: SIF, 2005.

MALAN, F. S. Eucalypts improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995, p. 1-19.

MALAN, F. S.; GERISCHER, G. F. R. Wood property differences in South African grown *Eucalyptus grandis* trees of different growth stress levels. **Holzforschung**, v. 41, n. 6, p. 331- 335. 1987.

MALAN, F.S., HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, v. 163, p. 13-20, 1992.

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***. 272 f. Tese (Doutorado) - University of Stellenbosch, Stellenbosch, 1984.

MANHIÇA, A. A. **Rendimento e eficiência no desdobro de *Pinus sp.* utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MAREE, B.; MALAN, F. Growing for solid wood – a south African experience and prospective. In: THE FUTURE OF *Eucalyptus* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000, p.319-327.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: Wiley, 1996.

MARTINS, L. T. **Caracterização dendrométrica e crescimento de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos no estado do Espírito Santo**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012. (Dissertação).

MATOS, J. L. M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *P. taeda***. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P.; PAIM, R. M.; ANDRADE, L. O. Redução do efeito das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Florestalis**, n. 64, p. 128-135, 2003.

MATSUNAGA, D. K. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada (CEN), à construção de vigas laminadas coladas**. 195 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

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

MEDER, R.; THUMM, A.; MARSTON, D. Sawmill trial of at-line prediction of recovered lumber stiffness by NIR spectroscopy of *Pinus radiata* cants. **Journal Near infrared spectroscopy**, v. 11, p.137-143, 2003.

MELO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Árvore**, v.31, n.2, p.321-328, 2007.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MICHELL, A.J. Pulpwood quality estimation by near-infrared spectroscopic measurements on eucalypt woods. **Journal Appita**, v. 48, p. 425–428, 1995

MIRANDA, M. D. A.; NAHUZ, M. A. R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Florestalis**, n. 55, p. 107-116, 1999.

MONTAGNA, R.G.; PONCE, R.H.; FERNANDES, P.S.; RIBAS, C. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden visando a diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, v.3, n.2, p.181-190, 1991.

MONTEIRO, T. C.; SILVA, R. V.; LIMA, J.T.; BARAÚNA, E. E. P.; CARVALHO, D.M.; LIMA, M. T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **J. Biotec. Biodivers**. v. 1, n.1, p. 6-11, 2010.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. 112p.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MOURA, M.C.O. **Variação em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MUNERI, A.; LEGGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface growth strain and some tree, wood and sawn timber characteristics of *Eucalyptus cloeziana*. **South African Forestry Journal**, v. 186, p. 41-49, 1999.

MÜLLER, B. V. Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* maiden et cange. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. A.; FRANCO, N. Inovação na área de utilização da madeira de eucalipto: A fabricação de móveis. In. WOKSHOP SOBRE PRODUTOS FLORESTAIS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA. 1999. Viçosa. **Anais...**, Viçosa: SIF, 1999. p. 28-30.

NÉRI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDES, R. E. Estilo do corte influi na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, n. 98, p. 12-15, 2006.

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

NICHOLSON, J.E.; HILLIS, W.E.; DIRCHBURNE, N. Some tree growth: wood property relationships of eucalypts. **Canadian journal of forest research**, v. 5, n. 3, p. 424-432, 1975.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 9-25. 2001.

OLIVEIRA, E. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Boletim Técnico da SIF**, n. 2, p. 1-9, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.)**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de Eucalipto. In: WORKSHOP: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1999. p. 39-52.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

OLIVEIRA, J.T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

OKUYAMA, T. Assessment of growth stresses and peripheral strains in standing trees. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1995, Salvador. **Proceedings...** Salvador, 1995, p. 1-14.

OPIE, J. E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W. D. Stand management. In. HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production**. Sydney: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 179-197.

ORELLANA, H.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, p. 229-237. 2008.

OSBORNE, B. G.; FEARN, T.; HINDLE, P. H. **Practical NIR Spectroscopy with application in food and beverage analysis**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993, 227p.

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

PÁDUA, F.A.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T.; JÚNIOR, A.A.C.; OLIVEIRA, A.C. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p.152-160, 2004.

PANSHIN, A. J; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood and technology**. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

PANTOJA, P.A. **Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na caracterização da carga de petróleo para o processo de destilação atmosférica**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, p.198-219, 2003.

PELOZZI, M.M.A. **Estudos dos níveis de tensões de crescimento e influência da vaporização de toras na qualidade do desdobro da madeira de *Hevea***



**brasiliensis**. 129 f. Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) – Universidade Estadual paulista de Júlio Mesquita Filho, Botucatu, 2012.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

PEREIRA, S. **Avaliação experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira antiga**. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2009.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia da madeira**. Viçosa: SIF, 1999. 144p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In; SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/UFRO/ESALQ, 1995. p. 50-58.

PONCE, R. H. Perspectivas do eucalipto na subutilização de madeiras nativas. In: SEMADER - SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 4,1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABPM, 1996. p. 41- 46.

PONCE, R. M. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. **Silvicultura**, v. 9, n. 34, p. 9-13, 1984.

POST, I. L. **An investigation of the longitudinal growth stresses in trees**. 108 f. Tese (Doutorado) - College of Environmental Science & Forestry, State University of Nova York, Syracuse, 1979.

PRETZSCH, H. Perpektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, n. 114, p. 188-209, 1995.

PURNELL, R.C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nites* in a Provenance Trial on the Eastern Transvaal Highveld in South Africa. **South African forestry journal**, n.144, p.10-22, 1988.

RAYMOND, C. A.; HENSON, M.; PELLETIER, M. C.; BOYTON, S.; JOE, B.; THOMAS, D.; SMITH, H.; VANCLAY, J. K. **Improving dimensional stability in plantation-grown *E. pilularis* and *E. dunnii***. Melbourne, 2008. Disponível em: <[http://www.fwpa.com.au/Resources/RD/Reports/PN06.3017\\_pilularis\\_WEB\\_0208.pdf?c=2&pn=PN06.3017](http://www.fwpa.com.au/Resources/RD/Reports/PN06.3017_pilularis_WEB_0208.pdf?c=2&pn=PN06.3017)>. Acesso em 06/08/2014.

RAYMOND, C. A.; KUBE, P. D.; PINKARD, L.; SAVAGE, L.;BRADLEY, A. D. Evaluation of non-destructive methods of measuring growth stress in *Eucalyptus globulus*: relationships between strain, wood properties and stress. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2-3, p. 187-200, 2004.

RAYMOND, C. A.; SCHIMLECK, L. R. Development of near infrared reflectance analysis calibrations for estimating genetic parameters for cellulose content in *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 32, p.170-176, 2002.

RAYMOND, C. A. Tree breeding issues for solid wood products. In: The future of Eucalyptus for wood Products. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston, IUFRO, 2000, p. 265-270.

RECH, C.; SILVA, J. C. Características intrínsecas da madeira. **Revista da Madeira**, v. 10, p. 60-65, 2001.

REPELLIN, V.; GUYONNET, R. **Evaluation of heat-treated beech by non-destructive testing**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, [S. l.:s. n.] Local: Editor, 2003. 1 CD-ROM.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J.F. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n. 39, p. 33-40, 1988.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48/49, p. 133-141, 1995.

RIALS, T, G.; KELLEY S, S.; SO C. L. Use of advanced spectroscopy techniques for predicting the mechanicals properties of wood composites. **Wood and Fiber Science**, v. 34, n. 3, p. 398–407, Jul 2002.

RIBEIRO. P. G. **Utilização de Técnicas não Destrutivas para Caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* Var. *Hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudança da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizados com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 28, n. 3, p. 340-357, 2004.

ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

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

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 314-321, 2006.

ROCHA, S. J.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras livres de defeitos. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 18, n.1/2, p. 147-162, 1988.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos fenotípicos e ambientais para a qualidade d madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

ROMAN, M.; BRESSAN, D.A.; DURLO, M.A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 19, p. 473-48, 2009.

ROSSO, S. **Predição das propriedades de *Eucalyptus grandis* Maiden por espectroscopia no infravermelho próximo**. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

ROZAS MELLADO, E. C. E.; TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 147-159, 1993.

RUWANPATHIRANA, N. D. **Variation of some wood properties of *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* in different site classes**. Tese (Doutorado) - Department of Botany, University of Ruhuna, SriLanka, 2002.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 69 f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SALES, C. G. Growth stresses: main results obtained on the study of Guyana species and consequences for and use. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 18, 1986, Ljubljana. **Proceedings...** Ljubljana: IUFRO, 1986. v. 5, p. 234-248.

SAMISTRARO, G. **Previsão das propriedades químicas da polpa e papel Kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e regressão de mínimos quadrados parciais (PLS)**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SANTINI, E. J. Qualidade de madeira seca. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADERA, 1, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p. 60-73.

SANTOS, P.E.T.; FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Produção de híbridos. **Circular técnica IPEF**, v.156, p. 1-17, 1988.

SANTOS, G. A. **Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul**. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal declones de eucalipto**. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, P. E. T. **Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético**. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Florestalis**, n. 65, p. 120–129, jun. 2004.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J.N. Rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 63, p.32-43, 2003.

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

SCHACHT, L. **Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SCHIMLECK, L.R.; DORAN, J.C.; RIMBAWANTO, A. Near infrared spectroscopy for cost-effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.51, p.2433-2437, 2003.

SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R. Estimation of microfibril angle of increment cores by near infrared spectroscopy. **IAWA Journal**, v. 23, n. 3, p. 225 –234, 2002.

SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R. Estimation of *Pinus radiata* D. Don tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy. **Holzforschung**, v. 58, p. 66-73, 2004.

SCHIMLECK, L. R.; MICHELL, A. J.; RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Estimation of basic density of *Eucalyptus globulus* using near-infrared pectroscopy. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 29, n. 2, p.194-201, 1999.

SCHIMLECK, L. R. Near – infrared spectroscopy: a rapid non-destructive method for measuring wood p´ropertie, and its application to tree breeding. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 38, p. 14-35, 2008.

SCHIMLECK, L. R.; PAYNE, P.; WEARNE, R. H. Determination of important pulp properties of hybrid poplar by near infrared spectroscopy. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 3, p. 462 – 471, 2005.

SCHIMLECK, L.R.; RAYMOND, C.A.; BEADLE, C.L.; DOWNES, G.M.; KUBE, P.D.; FRENCH, J. Some applications of NIR spectroscopy to Forest research. **Journal Appita**, v. 53, p. 458-464, 2000.

SCHNEIDER, P. R.; COELHO, M. C. B.; ZANON, M. F.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Equações de volume para *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinadas para a depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 27, p. 425-428,1997.

SCHÖNAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology Management**, v. 29, p. 245-266, 1989

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal**. Lavras: FAPE, 1997. 433p.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: ESAL, FAPE, 1994. 188p.

SEFARA, N.L.; CONRADIE, D.; TURNER, P. Progress in the use of nearinfrared absorption spectroscopy as a tool for the rapid determination of pulp yield in plantation eucalypts. **Tappi Journal**, v.53, n.11, p.15-17, 2000.

SERPA, P.N.; VITAL, B.R.; LUCIA, R.M.D.; PIMENTA, A.S. Avaliacao de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Árvore**, v.27, p.723-733, 2003.]

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; MATOS, C. A. O. Lumber quality of *Eucalyptus grandis* as a function of diametrical position and log steaming. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2545-2548, 2010.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Agraria**, v. 1, n. 1-2, p. 29-32, 2000a.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização em madeira de eucalyptus dunnii sobre algumas propriedades mecânicas. **Ciência Florestal**, v. 10 , n. 2, p. 123-133, 2000b.

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**: 1995, p. 133-139.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. Características da madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, v.9, n. 52, p.30-38, 2000.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira.** 160 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002

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

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; XAVIER, B. A.; CASTRO, V. R. Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Árvore**, v. 30, n. 5, p. 803-810, 2006.

SILVA, J.C.; MATOS, J.L.M.; OLIVEIRA, J.T.S.; EVANGELISTA, W.V. Influência da idade e da posição radial da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, v. 29, n. 5, p. 795-799, 2005.

SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, v. 29 n. 3, 2005.

SIMÕES, S. S. **Desenvolvimento de métodos validados para a determinação de captopril usando espectrometria NIR e calibração multivariada.** 83 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SIXEL, R. M. M.; GOMEZ, F. M. **Produção de florestas com qualidade: técnicas de plantio. 2008.** Disponível em: <<http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>.> Acesso em: 06/08/2014.

SKAAR, C. J. **Water in wood.** Syracuse: Syracuse University, 1972. 218 p.

SKOLMEN, R. G. Heating logs to relieve growth stresses. **Forest Products Journal**, v. 17, p. 41-2, 1967.

SMITH, H. J., Henson, M. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand 3: Tree improvement of *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Australian Forestry**, v. 70, n. 1, p. 17-22, 2007.

SMITH, W. D., STRUB, M. R. Initial spacing: How many trees to plant. In: **Forest Regeneration Manual**. London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 281-320.

SOUZA JUNIOR, L.; WENDLING, I. Propagação vegetativa de *Eucalyptus dunnii* via miniestaquia de material juvenil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 46, p. 21-30, 2003.

SOUZA, J. T.; TREVISAN, R.; DENARDI, L.; STANGERLIN, D. M.; VIVIAN, M. A. Qualidade da madeira serrada proveniente de árvores dominantes e médias de *Eucalyptus grandis* submetidas à secagem. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 167-174, 2012.

SOUZA, L. C. **Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de características da madeira para produção de celulose**. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

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

SOUZA, M. A. M. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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, 2003.

SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Árvore**, v. 33, n. 4, 2009.

STANGERLIN, D.M. MELO, R.R.; DOMINGUES, J.M.X.; TREVISAN, R.; GATTO, D.A.; MULLER, M.T.; CALEGARI, L. Determinação da resistência ao Impacto para as Madeiras de *Eucalyptus dunnii*, *Corymbia citriodora* e *Pouteria pachycarpa*. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14, 2008, Londrina, **Anais...** Londrina: 2008.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R. DE; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. DE. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 70-79, 2010.

SWAIN, T.L.; GARDNER, R.A.W.; CHIAPPERO, C.C. Final Results of Three ICFR *Eucalyptus dunnii* Trials in Kwazulu-Natal, South Africa. **Institute for Commercial Forestry Research Bulletin**, v. 2, p. 1–15, 2000.

TAYLOR, A. M.; BAEK, S. H.; JEONG, M. K.; NIX, G. Wood shrinkage prediction using NIR spectroscopy. **Wood Fiber Science**, v. 40, p. 3001 – 3007, 2008.

TEJADA, A.; OKUYAMA, T. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 9, p. 86-93, 1997.

THOMAS, D.; HENSON, M.; JOE, B.; BOYTON, S.; DICKSON, R. Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Australian Forestry**, v. 72, n.1, 3-11, 2009.

TOMASELLI, I. Processing young *Eucalyptus*. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston, **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000, p.167-174.

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

TOUZA, M.C. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* com tensiones de crescimento. **Revista del Centro de Innovación y servicios tecnológicos de la Madera de Galicia**, n. 6, p. 8-37. 2001.

TOUZA VÁZQUEZ, M. **Tensiones de crecimiento en la madera de eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus* Labill) de Galicia. Incidencia de la silvicultura y propiedades físico-mecánicas de la madera.** Annex: Departamento de Ingeniería Forestal, 2004, 157p.

TREVISAN, R. **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.** 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características do eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano15, n. 92, p. 82–88, 2005.

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

TRUGILHO, P. F. ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T.; PÁDUA, F.A.; SOUZA, M.A.M. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore de clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137. 2007.

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



TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; PÁDUA, F. A.; SORAGI, L. C.; ANDRADE, C. R. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *eucalyptus spp.* **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

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

TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, J. T. S. Relationships and estimates of longitudinal growth stress in *Eucalyptus dunnii* at different ages. **Revista Árvore**, v. 32, p. 723-729, 2008.

TRUGILHO, P.; SILVA, D. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea coubaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2. n. 27, 2004.

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

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood:** structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material: source, structure, chemical composition, grow, degradation and Identification.** New York: Pergamon Press. 1968. 276 p.

TSUCHIKAWA, S. A Review of Recent Near Infrared Research for Wood and Paper. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 42, p. 43-71. 2007.

TURNBULL, J.W.; PRYOR, L.D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W. E.; Brown, A.G. (eds.). **Eucalypts for wood production**, Melbourne: CSIRO, 1984, 434p.

VALDERRAMA, P. **Avaliação de figuras de mérito em calibração multivariada na determinação de parâmetros de controle de qualidade em indústria alcooleira por espectroscopia no infravermelho próximo.** 128 f. Dissertação (Mestrado em Química) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield:** applications to mixed tropical Forests. Wallingford: CAB International, 1994, 330p.

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

VARGUESE M, NICODEMUS A, RAMTEKE PK, ANBAZHAGI G, BENNET SSR, SUBRAMANIAN K. Variation in growth and wood traits among nine populations of teak in peninsular Índia. **Silvae Genetica**, v. 49. n. 2-5, p. 201-205, 2000.

VERMAAS, H. F. A. Review of drying technology for young fast-grown eucalypts. In: THE FUTURE OF *EUCALYPTUS* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...**Launceston: IUFRO, 2000. p. 193-203.

VIA, B. K. **Modeling longleaf pine (*Pinus palustris* mill) wood properties using near infrared spectroscopy**. 2004. 141 f. Tese (Doctor of Philosophy) – Agriculture and Mechanical College, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana State University, USA, 2004.

VIANA, L. **Uso da Espectroscopia no infravermelho próximo para predição das propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus***. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, 2008.

VIDAURRE, G.B. **Efeito dos parâmetros do dente da serra de fita na qualidada e produtividada da madeira serrada de eucalipto**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

VIDAURRE, G.B.; VITAL, B. R.; SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 102, p. 8-12, jan. 2007.

VIGNOTE, S.; MOLINERO, I.; GERARD, J.; DIETZ, M.R. Estudio de las tensiones de crecimiento del *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. **Investigación agrária: sistemas y recursos forestales**, v. 5, n.1, p.153-176, 1996.

VILAS BÔAS, O.; MAX, J. C. M.; MELO, A. C. G. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília, SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 63-72, jun. 2009.

VILLIERS, A.M. Utilization problems with some eucalypts in South Africa. In: IUFRO-5 MEETING, 1973, Republic of South Africa. **Proceedings...** Republic of South Africa: v. 2, 1973, p. 238-55.

VITAL, B. R. **Planejamento e operações de serrarias**. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 211p.

WADSWORTH, F.H. **Producción florestal para America Tropical**. Washington: USDA, 2000. 602 p.

WALKER, J. C. F. Characteristics of stemwood and their manipulation. In: WALKER, J. C. F. et al. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 153-196, 1993.

WALLBACKS, L. et al. Multivariate characterization of pulp using <sup>13</sup>C NMR, FTIR and NIR. **Tappi Journal**, v. 74, n. 10, p. 201-206, 1991.

WATANABE, K.; YAMASHITA, K. ; NOSHIRO, S. Non-destructive evaluation of surface longitudinal growth strain on Sugi (*Cryptomeria japonica*) green logs using near-infrared spectroscopy. **Journal Wood Science**, v. 58, p. 267-272, 2012.

WAUGH, G. **Sawing of Young, Fast-Grow Eucalypts**. 1º Seminário Internacional sobre produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1º Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro de 1998. p. 69-81.

WEIK, B. B.; WENGERT, E. M.; SCHROEDER, J.; BRISBIN, R. Practical drying techniques for yellow-poplar S-D-R fliches. **Forest Products Journal**, v.34, p.39-44, 1984.

WELLHÖFER, S. **Hochwertige Verwendung des Holzes mehrerer Arten der Gattung *Eucalyptus* spp. aus brasilianischen Forstplantagen**. 202 f. Dissertação (Mestrado) - University of Freiburg, Freiburg, 2001.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near-infrared technology**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 2001. 296p.

WILLIAMS, P. C.; SOBERING, D. C. **Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds**. Journal of Near Infrared Spectroscopy, v.1, p. 25-33, 1993.

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

WILKINS A. P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation-grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. Forest Ecology Management, v.40, p.39-50, 1991.

WILKINS, A. P.; KITAHARA, R. Silvicultural treatments and associated growth rates, growth strains and wood properties in 12, 5-year-old *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry**, v. 54, n. 1/2, p. 99-104, 1991.

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

WOLD, S.; SJÖSTRÖM, M. Chemometrics, present and future success, **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.44, p.3-14, 1998.

WOODCOCK, D.; SHIER, A. D. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. **Trees - Structure and Function**, v. 16, n. 6, 437-443, 2002.

WRIGHT, J. A.; BIRKETT, M. D.; GAMBINO, M. J. T. Prediction of pulp yield and cellulose content from wood samples using near infrared spectroscopy. **Tappi Journal**. v. 73, n. 8, p. 164-166, 1990.

YAMAMOTO, H. **Biomechanics of wood-toward utilization of forest biomass in the 21<sup>st</sup> century**. 164 f. Tese (Pós-Doutor em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

YANG, J. L.; BAILLÈRESB, H.; OKUYAMAC, T.; MUNERID, A.; DOWNESE, G. Measurements methods for longitudinal surface strain in trees: a review. **Australian Forestry**, v. 68, n. 1 p. 34-43, 2005.

YANG, J.L.; EVANS, R. Prediction of MOE of Eucalyptus wood from microfibril angle and density. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.61, p. 449- 452, 2003.

YANG, J. L., FIFE, D.; MATHESON, A. C. Growth strain in three provenances of plantation-grown Eucalyptus globulus Labill. **Australian Forestry**, v. 64, n.4, p. 248-256, 2001.

YANG, J. L.; FIFE, D.; WAUGH, G.; DOWNES, G.; BLACWELL, P. The effect of growth strain and other defects on the sawn timber quality of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. **Australian Forestry**, n. 65, p. 31-37, 2002.

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

YE, L. **Growth, crown architecture and wood properties and their responses to thinning in *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* and *Eucalyptus dunnii* plantations**. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Southern Cross University, Lismore, NSW.2011.

YILGOR, N.; UNSAL, O.; KARTAL, S.N. Physical, mechanical, and. chemical properties of beech wood. **Forest Product Journal**, v. 51, n. 11/12, p. 89-93, 2001.

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

ZOBEL, B.J., VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International**, v. 2, p. 31-38, 1992.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496p.

ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **Tappi**, v. 64, n. 1, p. 17-74, 1981.

**CAPÍTULO 2**  
**EFEITO DA PODA SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus***

## RESUMO

### EFEITO DA PODA SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

O objetivo do presente capítulo foi verificar, quantitativamente, a qualidade do regime de poda aplicado pela empresa GRANFLOR, através das análises de cicatrização dos ferimentos internos dos nós, em função dos galhos podados, medidos no corte no plano radial das toras das árvores das espécies de *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*, nas idades de 65, 65 e 52 meses, respectivamente. Foram mensurados e avaliados a extensão da oclusão do nó, a extensão da madeira com nó, o diâmetro do núcleo nodoso e a estimativa da extensão da madeira limpa. Embora, o sistema de poda aplicado pela empresa tenha sido igual para todas as espécies avaliadas, o *E. dunnii* foi o que apresentou o melhor comportamento para a produção de madeira limpa, livre de defeito, quando foi estimado em função do diâmetro meta da empresa. Conclui-se que a poda de *Eucalyptus* quando executada de forma eficiente contribui para a redução do núcleo nodoso, conseqüentemente maior produção da madeira limpa, principalmente, quando o objetivo é a produção de madeira para a geração de produtos sólidos. As constatações feitas no presente trabalho contribuem para incentivar a aplicação da prática de poda, tornando-se essencial, no entanto, essa prática não deve ser considerada uma operação isolada em relação às práticas silviculturais e sim integrante no planejamento estratégico.

Palavras chaves: Nós. Oclusão do nó. Núcleo nodoso. Madeira limpa

## ABSTRACT

### EFFECT OF PRUNING ON QUALITY OF *Eucalyptus* WOOD

The aim of this chapter was to verify quantitatively the quality of the pruning scheme implemented by the company GRANFLOR, by analyzing the wounds of internal healing of knots in the radial plane of logs resulting from the practice of pruning the tree species *E. dunnii*, *E. grandis* and *E. saligna* at 65, 65 and 52 months respectively. Were measured and evaluated the extension of the knots occlusion, the extent of wood with knot, the diameter of the knotty core and estimate the extent of clean wood. Although the system of pruning applied by the company has been the same for all species evaluated, *E. dunnii* showed the best performance for the production of clean wood, free from defect, when it was estimated as a function of the cut on the diameter of the target from the firm. It follows that the pruning of *Eucalyptus* when executed efficiently contributes to the reduction of knotty core, consequently, greater production of clean wood, especially, when the aim is the production of wood for making of solid products. The findings of this study contribute to encourage the application of the practice of pruning, making it essential, however, this practice should not be regarded as an isolated operation in relation to silvicultural, but integral practices in strategic planning.

Keywords: Knot. Occlusion Knot. Knotty core; Clear wood

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas, que tem como objetivo a produção de madeira sólida, de alto valor agregado, devem ser conduzidas para que tenham características desejáveis, assim, os tratamentos silviculturais adicionais são necessários na condução destas florestas. Atrelado à qualidade dos plantios florestais e ao produto final de interesse, há a necessidade do desenvolvimento e estratégias do manejo florestal e das práticas silviculturais a serem adotadas, principalmente nas empresas que têm como objetivo a produção de madeira serrada.

Uma prática de grande importância e que pode ser adotada nos plantios florestais com espécies do gênero *Eucalyptus*, em função da ocorrência de nós, tem, como propósito, maximizar a qualidade da madeira limpa (clear wood), consistindo no regime de poda das árvores realizadas precocemente. A presença dos nós são um dos principais defeitos da madeira destinada às serrarias, limitando o seu uso e a aceitação comercial.

A prática da poda para as espécies de *Eucalyptus*, no Brasil, é um tratamento relativamente recente, necessitando de mais informações. O regime de poda quando efetuado, de maneira organizada e correta, contribui, principalmente, para a formação e aumento de uma madeira limpa, redução do núcleo nodoso, evitando a descontinuidade das fibras, conseqüentemente, reduz também o desperdício durante os processos de produção, principalmente nas serrarias. A poda também colabora para melhor circulação do ar e umidade no ambiente, desfavorecendo o crescimento de colônias de organismos xilófagos, e contribuindo para a prevenção e combate ao fogo.

Atividades como esta contribuem para elevar a concorrência no mercado florestal e madeireiro, por uma madeira e produto final, com alta qualidade. Além do mais, as árvores que são podadas proporcionam o aumento da resistência física e mecânica da madeira. Espera-se um melhor retorno econômico da madeira podada, com programas voltados a certificação de poda, auxiliando o produtor no valor agregado ao produto, aumentando o interesse comercial.

A classificação da madeira serrada tem como um dos critérios de avaliação da qualidade a presença de nós, quanto à posição, distribuição e tamanho, o que influi, diretamente na qualidade da madeira, limitando o seu uso e desqualificando-a. Para que a madeira oferecida ao mercado, para o abastecimento em serraria, tenha



qualidade, há a necessidade de práticas adequadas de manejo como o regime de poda, evitando-se a depreciação da madeira.

Uma forma de verificar a qualidade da poda é através das análises de cicatrização dos ferimentos internos dos nós, consequentes da poda, descrevendo, quantitativamente, a área da madeira em relação à extensão da madeira com nó e a sua oclusão, o diâmetro do núcleo nodoso e a extensão da madeira limpa.

As práticas silviculturais proporcionam o aumento do custo, porém, espera-se que a receita superior oriunda de produtos de madeira sólida, tornem estes regimes rentáveis, por isso é essencial combinar a atividade de poda com outros tratamentos silviculturais, fazendo parte do planejamento estratégico. Há a necessidade de se avaliar, com precisão, os custos e benefícios, verificando o investimento na poda no valor da madeira.

A existência de um mercado para madeira de qualidade, equipamentos necessários, técnicas de poda e mão de obra disponível para o trabalho correto, além do conhecimento fisiológico das plantas são fatores de suma importância que contribui para a aplicação de um sistema de poda eficiente.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da poda sobre a qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus*, através da análise da cicatrização dos ferimentos internos do nó.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os principais índices de qualidade da madeira podada:
  - Diâmetro do galho podado (nó);
  - Tamanho vertical da cicatrização do nó;
  - Extensão da oclusão do nó;
  - Diâmetro do núcleo nodoso.
- Estimar a extensão de madeira limpa para as diferentes espécies em relação ao diâmetro desejado.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 NÓS DA MADEIRA

A madeira apresenta elevada variabilidade em relação às suas características, por ser um material de origem natural e de estrutura complexa. Tais características devem ser conhecidas, uma vez que podem influenciar na aplicação e classificação da madeira e no produto final, visando uma qualidade. Segundo Zobel (1992), qualquer fator que consiga alterar o padrão de crescimento da árvore pode resultar em variação na qualidade da madeira.

Um melhor entendimento das características da madeira e as interações que ocorrem e os efeitos das intervenções nos povoamentos florestais, podem colaborar para a produção de uma madeira com qualidade, com rendimento dos produtos finais de acordo com as aplicações pretendidas. A madeira é o resultado de um processo biológico, mas influenciada por fatores genéticos, ambientais e práticas de manejo.

Diversos estudos que visam o efeito da aplicação das diferentes práticas silviculturais para o desenvolvimento e crescimento das árvores têm sido realizados na tentativa de obter a produção de madeira de *Eucalyptus* com qualidade, agregando valor nas propriedades e características, além das relações com o meio ambiente (SCHÖNAU; COETZEE, 1989; GONÇALVES *et al.*, 2004; NUTTO; TOUZA VÁZQUEZ, 2004; DIAS, 2005; NOLAN *et al.*, 2005; NUTTO, SPATHELF; SELING, 2006).

Um dos parâmetros que podem influenciar diretamente no padrão de qualidade da madeira, principalmente em plantios florestais das espécies do gênero *Eucalyptus*, para a produção de madeira sólida, é a presença de nós na madeira, que irá afetar na extensão de madeira limpa ("*clearwood*") e, conseqüentemente, na produção de produtos de madeira sólida e na aplicação da madeira para uso estrutural. De acordo com Seitz (2000) não existem toras sem nós, estes, no entanto, podem ser restritos em seu tamanho, através do corte de galhos, no momento oportuno.

Os nós na madeira são definidos como parte de um galho (vivo ou morto), incorporados no lenho das árvores durante o crescimento e desenvolvimento da madeira, constituído, basicamente, por um tecido lenhoso. Podem variar quanto ao seu tamanho, frequência, e posição, interferindo nas características e propriedades

da madeira. O nó tem o início e desenvolvimento na medula, crescendo do centro para a periferia dos troncos, apresentando uma atividade cambial, aumentando, por conseguinte, seu diâmetro (SEITZ, 2000). Apesar disto, existem galhos de origem de brotos epicórmicos, que somente tem conexão superficial com a madeira do fuste.

Os nós vivos são aqueles que estão em continuidade com o crescimento dos tecidos lenhosos, cujos galhos estavam fisiologicamente ativos, durante a formação da madeira ao seu redor. Os nós mortos não apresentam a continuidade do crescimento estrutural dos tecidos lenhosos e não possuem conexão com a madeira do fuste, na maioria das vezes, soltam-se da madeira serrada, criando um orifício, conhecido como nó solto.

O valor e a adequação dos plantios de eucalipto para produção de madeira maciça são limitados pela qualidade da madeira, em função da presença de nós. Os nós e defeitos associados são importantes indicadores da qualidade da madeira, tanto para o grau da aparência dos produtos, quanto aos aspectos estruturais (LIU *et al.*, 2012).

Para Speltz (2000), quando as florestas não são adequadamente formadas e manejadas, geralmente os nós são muito numerosos, o tamanho e a quantidade dos nós na madeira serrada dependem da sua posição e das características da tora original.

As práticas silviculturais e o manejo da floresta contribuem para a produção de madeira de qualidade, fatores como o espaçamento, tamanho da copa, desrama natural e poda são fatores que podem influenciar na produção de madeira livre de nós. Segundo Pereira e Tomaselli (2004), o espaço disponível para as árvores se desenvolverem tem efeito nas propriedades da madeira através da influência da copa e do fuste, Larson (1963) ressalta que a copa é o centro regulador para a formação da madeira.

Diversos autores relatam a importância das atividades de manejo e silviculturais para produção de madeira limpa. Galvão (1992) ressalta que o desbaste em Pinus, além de influenciar na produtividade final, ajuda a controlar a quantidade de madeira juvenil, a presença de nós e a proporção de lenho tardio, dentre outras características, além de que a desrama deve ser efetuada, primordialmente, para a redução do núcleo nodoso.

Vale *et al.* (2002) relataram que a redução do número de nós pode ser conseguida através da desrama natural, utilizando espaçamentos menores ou pela poda no intuito de obter madeira limpa. Segundo Scolforo (1997), espaçamentos menores são necessários para espécies que apresentam tendência a produzir galhos laterais inclinados e grossos. Moberg (1999), Baldwin Jr. *et al.* (2000) e Henskens *et al.* (2001) relataram o aumento de incidência e diâmetro de galhos para árvores crescendo com maior espaço vital, para amenizar este problema, operações de poda devem ser realizadas para a eliminação dos galhos indesejados, ao longo do fuste.

Couto (1995), no entanto, alega que não basta apenas produzir madeira com grandes dimensões ou com alto rendimento nas serrarias, ela não deve possuir nós ou outros defeitos, como, por exemplo, rachaduras ou empenamento.

Segundo Hawley e Smith (1972), há uma redução no valor e uso da madeira em plantios florestais não manejados, os nós e as distorções das fibras, em função dos nós contribuem, de maneira significativa, para esta redução. Assim, poda é realizada com o intuito de aumentar a qualidade da madeira e do produto final, obtendo-se madeira limpa, evitando-se a produção de madeira com qualidade inferior.

Segundo Panshin e Zeeuw (1980), as características dos nós, bem como a distribuição, o tamanho e o tipo de nó presente na madeira sem a desrama artificial, dependerá do número e dimensões dos galhos, além da idade em que eles morreram e do tempo de permanência no tronco, podendo, também, variar com o material genético, qualidade de sítio e densidade populacional.

De acordo com Speltz (2000), os nós, juntamente com o diâmetro, comprimento e forma do tronco, constituem-se nas características mais importantes na avaliação da madeira bruta, uma vez que a classificação da madeira serrada é feita de acordo com o seu grau de nodosidade. O mesmo autor relata que as características das toras também vão depender dos fatores genéticos das árvores que lhes dão origem, do espaçamento inicial na formação da floresta e do manejo adotado.

De acordo com Schneider *et al.* (1999) a presença de nós vivos ou mortos, além de prejudicar a qualidade da madeira, reduz sua resistência, ocasionando uma classificação comercial e preço inferior. Johansson *et al.* (1998) e Johansson (2003) constataram que os nós são o tipo de defeito na madeira de maior influência na classificação visual e sua presença é a principal causa da fratura na madeira.

Diversos autores também relataram a influência dos nós na qualidade, resistência e rigidez da madeira (WHITESIDE *et al.* 1977; PONCE, 1984; STANALKER E HARRIS, 1989; BRIGGS 1996; SCHNEIDER, 1999; EVANS *et al.*, 2000; PULRONIK, 2002; QUOIRIN, 2004; KÖNIG, 2005; CHIES, 2005; POLLI, 2005; GARTNER 2005).

Segundo Ponce (1984) a presença dos nós reduz a maioria das propriedades mecânicas em virtude da madeira limpa ser substituída pelos nós, causando nas fibras, ao redor dos nós uma distorção da grã transversal, acarretando a descontinuidade das fibras, ocorrendo concentração de tensões e fendas nos nós, durante a secagem. EVANS *et al.*(2000) ressaltaram que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes do tipo, localização e quantidade dos nós, dentre outros fatores.

Thunell (1958)<sup>10</sup>, citado por Alcantara (2010), relatou que a região de nós na madeira apresenta desvios acentuados de suas células, formando um elevado ângulo de grã, irregularidades nos anéis de crescimento, além de descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando em redução da resistência. A presença de nós na madeira, segundo Panshin e Zeeuw (1980) influencia nas propriedades físico-mecânicas, tais como dureza, resistência à compressão, contração volumétrica, entre outras.

A presença dos nós tem maior efeito nas propriedades de resistência do que nas propriedades de rigidez. O efeito nas propriedades de resistência vai depender de alguns fatores, como, a proporção da seção transversal da peça de madeira ocupada pelo nó, a localização do nó e distribuição das tensões na peça (STANALKER; HARRIS, 1989).

Stanalker e Harris (1989) ressaltaram que a presença dos nós, também, enfraquece a resistência à tração normal da madeira, uma vez que as cargas aplicadas na região próxima aos nós causam tensão de tração normal às fibras da madeira. Os autores, ainda, observaram que, em geral, o efeito dos nós na resistência da madeira é maior na resistência à tração do que na resistência à compressão, e na flexão o defeito vai depender da face da viga em qual o o nó se encontra, podendo ser tracionada ou comprimida.

---

<sup>10</sup> Thunell, B. Sortierungs-und sicherheitsfragen bei der verwundung von holz fur. Holz als Roh und Werkstoff, Madison, v. 16, n. 11, p. 127- 131, 1958

Tecnologicamente, a presença de nó vivo ou morto na madeira prejudica a sua qualidade, reduz sua resistência e, como consequência, leva a uma classificação comercial inferior (FINGER *et al.*, 2001)

Os nós dificultam, também, nos processos de usinagem das peças de madeira, reduzem sua resistência, influenciam na aparência visual e, conseqüentemente, afetam o valor comercial do produto final.

Dependendo do tipo de grã desviada, em função do nó, haverá dificuldade na trabalhabilidade da madeira, causando problemas durante a operação de corte, como, elevado esforço no processo industrial, o que resulta em perda de produtividade, aumento do desgaste das ferramentas, redução de qualidade de mão de obra em função dos cortes incorretos, além dos perigos para o operador.

Os nós, também, apresentam baixo teor de umidade, com uma densidade básica duas vezes maior que a madeira normal e alto teor de extrativos, além de influenciarem também, nas características superficiais da madeira, promovendo o aparecimento frequente de fendas e rachaduras (SAHLBERG, 1995; FERREIRA REIS, 2004; CHIES, 2005).

Segundo Tsoumis (1968), os nós comprometem a aparência e a qualidade da madeira serrada, promovendo o aumento da densidade e desvios de grã, o que favorece o colapso da madeira durante o processo de secagem e afeta as propriedades de colagem da madeira.

Os nós mortos podem sofrer transformações, promovendo a formação e o acúmulo de bolsas de resina (veios de kino) entre outros materiais, durante o processo de secagem, os mesmos podem soltar-se da peça de madeira e proporcionar cavidades e vazios (QUOIRIN, 2004).

A retirada dos ramos mortos e dos ramos verdes deve ser executada de maneira tal que os ramos sejam totalmente removidos, isto é, sem deixar cotos, que pela posterior atividade cambial venham a ser recobertos pelo lenho, dando origem aos nós (MONTAGNA *et al.*, 1993).

Os plantios florestais destinados à produção de madeira serrada devem ser induzidos à produção de madeira limpa, isenta de nós, o que proporciona qualidade, e a valorização no mercado e no produto final.

### 3.1.1 Núcleo Nodoso

Segundo Seitz (2000), o núcleo nodoso é a porção central do tronco que contém os nós vivos e mortos. O núcleo nodoso está, portanto, presente em todas as árvores, mesmo naquelas que apresentam uma desrama natural, aparentemente boa. O mesmo autor relata que a forma do núcleo nodoso é de um cone invertido, apresentando o menor diâmetro na base do tronco e o maior diâmetro na copa. O diâmetro do núcleo nodoso vai depender dos produtos finais de interesse, ou seja, do processamento futuro da madeira.

König (2005) ressaltou que, no Brasil, em geral, as toras processadas em serrarias não são podadas e conseqüentemente possuem núcleo nodoso, com dimensões significativas.

Puehringer (2002) relatou que um dos benefícios da poda de galhos verdes é a produção de toras com um pequeno núcleo nodoso, confinado ao centro das toras.

O volume ocupado pelo núcleo nodoso e pela madeira de compressão aumenta, substancialmente acima do tronco, contribuindo para o menor valor das toras mais altas. (LARSON *et al.*, 2001).

Para Schneider *et al.* (1999), nos programas de desrama artificial, o maior interesse é a produção de uma maior camada externa de madeira livre de nós, ou seja, manutenção de um tamanho mínimo de núcleo nodoso. Finger *et al.* (2001) ressaltam que a dimensão das árvores, no início da desrama, definirá o diâmetro do núcleo nodoso.

A dimensão do núcleo nodoso é fundamental para a qualidade e valor de uma tora de madeira. Cabe ressaltar que todas as toras tem um núcleo nodoso, de maior ou menor proporção, dependendo da sua dimensão dos fatores ambientais de crescimento e dos tratamentos silviculturais (SEITZ, 1995).

Nos plantios florestais de eucaliptos, com vista a produção de madeira serrada de qualidade, através da desrama artificial, deve ocorrer o desbaste para a obtenção de maiores diâmetros, aumentando a eficiência no desdobramento das toras (LEITE *et al.*, 2005; DIAS *et al.*, 2005).

Para demonstrar a importância da prática de poda, em relação à redução no núcleo nodoso, nota-se na Figura 2.1, o comportamento da árvore em relação à



influência da árvore podada. O aumento da extensão da madeira limpa é nitidamente destacado quando a árvore é podada.

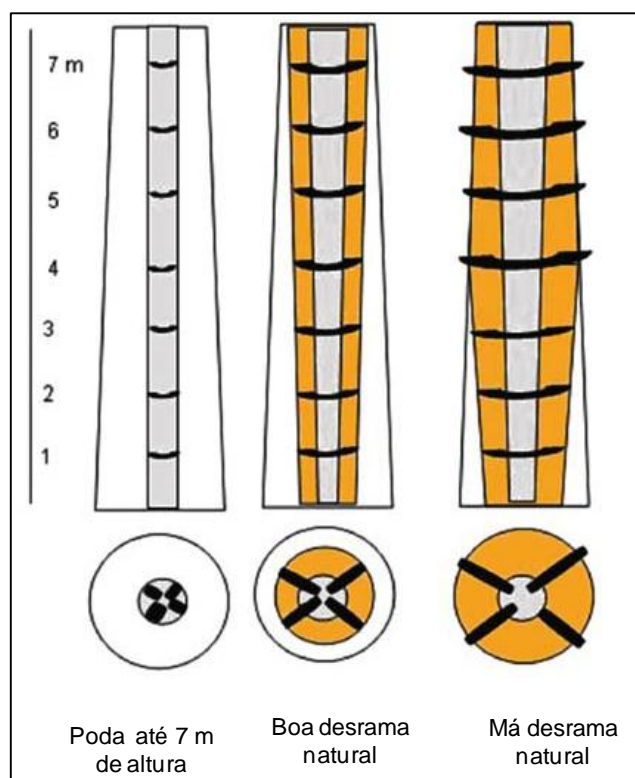


FIGURA 2.1 – INFLUÊNCIA DA PODA NA ÁREA CENTRAL DOS FUSTE EM RELAÇÃO AO NÚCLEO NODOSO

FONTE: Nutto *et al.* (2003)

### 3.2 PODA

A poda consiste na remoção dos galhos laterais, de preferência vivos, além de, também, ocorrer a desrama natural dos galhos. A poda é realizada com intuito de maximizar a quantidade de madeira limpa produzida por uma árvore, livre de nós, visando aumentar a qualidade da matéria prima e do produto final, principalmente se o objetivo são os produtos de madeira sólida. A atividade de poda deve ser empregada de acordo com as características do povoamento florestal, além das condições, espécies e equipamentos disponíveis.

Seitz (1995) definiu a poda como um termo generalizado que significa o corte de galhos, de maneira prática, a poda, ainda, pode ser denominada de desrama, derrama ou desgalhamento que é geralmente usado para remover galhos de uma árvore derrubada para formar os sortimentos de madeira pelo harvester ou com o uso da motosserra. A desrama ou poda pode ser de ocorrência natural ou artificial.

Para Seitz (2000), podar, desramar, derramar ou desgallar tem, basicamente, o mesmo significado na prática, pequenos detalhes, talvez, diferenciem estas palavras, não sedimentadas nos dicionários:

- desgallar nas atividades florestais normalmente significa o corte de galhos de árvores derrubadas, no solo. Usa-se, também, com o significado de eliminar galhos de árvores em pé;

- desrama ou derrama significa a eliminação de ramos. A questão básica é saber se as estruturas que se desenvolvem a partir das gemas axilares são galhos ou ramos. Os botânicos preferem o termo galho para esta estrutura, similar ao tronco, ao invés de ramo, não existindo, portanto, ramos para serem eliminados.

- poda é um termo mais generalizado, significando o corte tanto de ramos quanto de galhos. Embora com conotação mais paisagística e estética, nada impede que seja utilizado também no contexto do corte de galhos de espécies florestais. Este entendimento torna o seu significado é mais abrangente.

De acordo com Seitz (2000), a desrama natural é o processo de eliminação de galhos pelas árvores, ocorre quando os galhos perdem sua função. Isso acontece nos povoamentos das espécies do gênero *Eucalyptus*, plantados em espaçamentos fechados, o crescimento radial engloba os tocos remanescentes dos galhos. Posteriormente, com o crescimento normal do tronco, os vestígios da presença de galhos desaparecem completamente. Para Hawley e Smith (1972), a poda natural se realiza lentamente durante a vida do povoamento florestal e são enumeradas em três etapas: 1) morte do galho; 2) desprendimento dos galhos; 3) oclusão ou cicatrização do toco do galho.

Souza (2005) conceitua a desrama artificial como uma atividade de trato silvicultural que consiste no corte dos galhos vivos ou dos mortos que ainda não secaram, a fim de evitar a formação de nós mortos e a conseqüente perda de valor da madeira no mercado. Hawley e Smith (1972) ressaltam que, na poda artificial, os galhos das árvores são extraídos com o objetivo de aumentar a qualidade do produto final, e esta extração se dá de forma rápida, ao contrário da poda natural.

Montagu *et al.* (2003) relataram que diversos trabalhos têm demonstrado que, para o eucalipto, a desrama natural não é suficiente para produzir volume significativo de madeira limpa, havendo a necessidade de se realizar a poda.

A desrama natural ocorre por influência de agentes físicos e bióticos e se processa em quatro etapas distintas: supressão, morte, queda dos galhos, seguida da oclusão da base do ramo. Fonseca (1979) ressalta que a intensidade da desrama natural vai depender da espécie, da competição entre as copas e das condições climáticas. Segundo Smith (1962), a morte dos galhos na base da copa é determinada, principalmente, pelo espaçamento inicial e vigor da árvore. Assim, com a expansão da copa de árvores adjacentes que passam a se tocar e a competir por luz, os galhos inferiores perdem vigor e, posteriormente, morrem.

Alguns autores conceituaram a poda com uma ferramenta para a obtenção de toras e madeira serrada isenta de nós, o que contribui para a valorização comercial (HAWLEY; SMITH, 1972; SIMÕES, 1989; SCHNEIDER *et al.*, 1999; KURTZ; FERRUCHI, 2000; PIRES, 2000; FINGER *et al.*, 2001; CARPINELLI, 2002; MONTAGU *et al.*, 2003, POLLI, 2005; SIXEL; GÓMEZ, 2008). A poda é um tratamento silvicultural que ajuda a otimizar o rendimento de madeira sem nós em florestas de eucalipto de rápido crescimento (PINKARD; BEADLE, 1998; PINKARD 2002).

Segundo Veiga (1985), e Reis (2004), a poda contribui para a redução da conicidade dos troncos. Montagna *et al.* (1993), Pereira e Ahrens (2003) ressaltaram que a desrama artificial atribui às correções na forma do tronco, evitando-se bifurcações e reduz, também, a conicidade, a proteção contra incêndios florestais e maior facilidade para marcação de árvores na práticas do desbaste.

Estudos na Austrália, África do Sul e Sul da Europa recomendam a poda em plantios de eucaliptos para a produção de madeira serrada (BREDENKAMP *et al.* 1980; PINKARD; BEADLE 1998; HENSKENS *et al.*, 2001; NUTTO; TOUZA VÁZQUEZ; DELGADO, 2003; NUTTO; TOUZA 2004; WASHUSEN, 2004). König (2005) acrescenta que as atividades de poda devem ocorrer especialmente no Brasil onde existe um regime de crescimento rápido das árvores de eucalipto.

Operações silviculturais, como a poda e o desbaste, são atividades que apresentam considerável influência no tipo de madeira produzida, proporcionando mudanças no ambiente, podendo afetar, diretamente, as características das árvores (ENGLERTH, 1966).

Para Dias (2005), o manejo tradicional, com rotação em torno de sete anos, às vezes, a condução de talhadia precisa ser substituído por rotações maiores, com aplicação de poda e desbaste. De acordo com Sella (2001), a obtenção de produtos

de maior valor agregado, devido à maior quantidade de cerne pela proporção de madeira limpa, de qualidade superior está em função das rotações longas nos plantios de eucalipto. Tal situação proporciona maiores diâmetros das toras, conseqüentemente elevado rendimento no processo de desdobro e qualidade, além de maior estabilidade da madeira.

Gerrand, Neilsen e Medhurst (1997) ressaltaram que o diâmetro e os nós internos são os parâmetros mais importantes para a produção de madeira de alta qualidade e que podem ser influenciados pela silvicultura e estratégias do manejo. Nutto e Maestri (2002) relataram que a produção de madeira, isenta de nós, é essencial para entender o impacto dos tratamentos silviculturais e as condições de crescimento das árvores. Speltz e Dissmann (1980) recomendam a poda nos plantios florestais para a produção de madeira serrada e laminação, pois proporciona qualidade e maior resistência mecânica à madeira.

Segundo Polli (2005), as recomendações de poda nos povoamentos florestais devem levar em conta a intensidade e idade da aplicação da poda, o material genético, a idade do plantio, a qualidade de sítio, frequência e a relação custo e benefício das atividades. O maior interesse com a poda é a produção de uma maior camada externa de madeira livre de nós, ou seja, manutenção de um tamanho mínimo de núcleo nodoso, controlando-se a intensidade da poda e as idades em que essa operação é efetuada (SCHNEIDER *et al.*, 1999).

Segundo Floriano (2004), a eliminação dos galhos inferiores da copa de árvores, além de reduzir a quantidade de nós, aumenta sua qualidade em termos de homogeneidade, densidade e promovendo melhorias em seu aspecto.

Couto (1995) afirmou que as desramas artificiais devem ser realizadas o mais cedo possível, para que seja obtida uma madeira isenta de nós ou com menores dimensões. Finger *et al.* (2001) citam que a outra vantagem de se executar a poda nas árvores, ainda jovens, é o maior rendimento no trabalho de campo, em decorrência das menores dimensões dos galhos, o que, também, poderá traduzir em vantagens econômicas.

A aplicação da poda, também irá influenciar no sistema fisiológico das árvores para Hard (1992), a poda pode trazer alguns benefícios aos plantios florestais, como a inserção de luz na copa, o que eleva a fixação de carbono pelas folhas remanescentes. Pires (2000) ressalta que, em regiões com déficit hídrico, a poda,

pode beneficiar o crescimento das plantas, uma vez que as remoções dos galhos basais da copa, que apresentam baixa capacidade de fixação de carbono, podem reduzir a superfície de transpiração.

A poda, quando aplicada de maneira inadequada e ineficiente, poderá influenciar no crescimento das árvores, uma vez que a redução da superfície fotossintética poderá diminuir o suprimento de carboidratos e reguladores de crescimento, produzidos na copa, uma poda muito intensa pode contribuir para um menor crescimento em diâmetro (BRENDENKAMP *et al.*, 1980; PINKARD *et al.*, 1999; PIRES, 2000; PINKARD, 2002, HOPPE; FREDDO, 2003).

Uma remoção drástica dos galhos das árvores implica retirada de folhas da porção mediana da copa, com elevada capacidade fotossintética (BEADLE *et al.*, 2007). Isso pode promover redução no crescimento das plantas (PIRES, FERREIRA REIS; REIS, 2002; PINKARD; NEILSEN, 2003), devido à lenta recomposição de copa. Portanto, a definição adequada da intensidade, da frequência e da idade das plantas, por ocasião da aplicação da poda, evita comprometer o crescimento, além de manter o núcleo nodoso reduzido, com conseqüente aumento da produção de madeira limpa (POLLI *et al.*, 2006).

De acordo com Pires (2000), a poda de galhos vivos com elevada quantidade de folha, promove a redução do crescimento das árvores. Pulrolnik *et al.* (2005) relataram que é possível aplicar poda em povoamentos de eucalipto visando à melhoria da qualidade da madeira, sem prejuízo para o crescimento das plantas, quando estas possuem rápida capacidade de recuperação de sua copa.

Segundo Polli (2005), os galhos devem ser retirados antes que cessem suas atividades fisiológicas de forma a gerar nós, que apresentem uma continuidade de seus tecidos lenhosos evitando-se a formação de nós mortos.

Segundo Beig (1991), após analisar experimentos de poda e desbaste em *Eucalyptus sp.*, recomenda poda somente nas melhores árvores, aos 2 anos, até a altura de 4,0 a 5,0 metros. Acima desta altura, a desrama natural é efetiva e não ocasiona a formação de nós mortos. França (1991) recomenda para *E. grandis* na África do Sul, poda até a altura de 2,20 m, aos 2 anos de idade e, após o primeiro desbaste (aos 4 anos), nas melhores árvores, até a altura de 6,0 m.

De acordo com Couto (1995) no caso de plantações de eucalipto, cuja a idade em que os ramos, ainda, estão verdes, a desrama é feita de 1,5 a 3 anos, dependendo

do ritmo de crescimento do povoamento, recomenda-se, nessa idade, a primeira desrama de até 2 a 3 metros de altura, o que corresponderia a cerca de 50% da copa. O autor sugere que nos programas de desrama para a produção de madeira livre de nós, deve ocorrer a poda dos galhos ainda verdes, e não deve ultrapassar os 6,5 metros de altura. Nesse caso deve-se realizar o menor número de podas possível, pois é uma operação de custo alto.

A qualidade da poda também é definida por cortes nos galhos corretamente posicionados. Para uma poda com qualidade, há necessidade dos conhecimentos das técnicas de corte adequadas e mão de obras treinadas, além de conhecer as características fisiológicas das árvores, principalmente os mecanismos de proteção e cicatrização que as árvores utilizam.

Segundo Nutto *et al.* (2003), para uma madeira de eucalipto com qualidade, recomenda-se a poda, apenas, dos galhos vivos, mas os galhos mortos, também deve ser retirados. A figura 2.2 mostra o processo de cicatrização em galhos mortos e vivos.



FIGURA 2.2 – CICATRIZAÇÃO NA PARTE EXTERNA DO TRONCO APÓS A PODA EM UM GALHO MORTO E UM GALHO VIVO

FONTE: Adaptado Nutto *et al.*(2003)

NOTA: A - Toco de um galho morto; B - Toco do galho morto isolado do tronco, muitas vezes removido com facilidade; C - Cavidade após a remoção do toco do galho morto; D - Cicatrização de um galho podado quando ainda vivo

Quando se corta um galho morto, um pequeno toco é empurrado para fora do tronco em função do crescimento em diâmetro da árvore, resultando em uma cavidade, que gera uma madeira de reação e forma a bolsa de resina (Kino) (BREDENKAMP, MALAN; CONRADIE, 1980; WARDLAW; NEILSEN, 1999;

NEILSEN; GERRAND, 1999; STACKPOLE, 2001; NUTTO *et al.*, 2003). Reis (2004) observou que essas bolsas de resina podem ser reduzidas com a poda nas árvores de eucalipto. Na poda efetuada nos galhos vivos, ocorre à cicatrização da ferida rapidamente, formando uma madeira saudável, este processo leva algum tempo ainda até que a árvore continue a crescer com a madeira normal.

Segundo Kurtz e Ferruchi (2004), os maiores rendimentos industriais em madeira livre de nós são obtidos com a poda, contribuindo para o aumento da rentabilidade e, conseqüentemente, agrega além da qualidade o valor comercial da madeira em pé.

### 3.2.1 Efeito e Cicatrização da poda

Deve se conhecer o efeito e desenvolvimento da cicatrização dos ferimentos após a poda dos galhos, bem como a forma, época e intensidade para a aplicação correta da atividade, o que pode contribuir para uma cicatrização mais eficiente, além de reduzir o ataque de microorganismos xilófagos, ocasionando a podridão das árvores.

Diversas espécies florestais, segundo Tonini e Halfeld-Vieira (2006) possuem mecanismos fisiológicos eficientes para reduzir os traumas. Schwarze, Engels e Mattheck (2000) e Ferreira e Milani (2002) ressaltaram que esses mecanismos são alcançados mediante reações químicas que criam barreiras, impedindo a entrada de fungos e outros patógenos.

Segundo Mohammed *et al.* (2000), nas árvores de eucalipto, as feridas devido a poda podem ser problemáticas uma vez que proporcionam um aumento do risco de entrada de doenças fúngicas para o interior do tronco, além de outros problemas que podem surgir durante a oclusão do ferimento.

A velocidade de oclusão do ferimento após a poda influencia na qualidade da madeira, longo período de oclusão leva à ocorrência da descoloração e podridão do tronco, com perdas significativas no valor da madeira serrada (HEIN 2008)

Smith *et al.* (2000) sugerem o corte de galhos mortos não reduz o tamanho do núcleo nodoso, e que todas as podas de eucalipto devem ser programadas para assegurar que os galhos sejam podados enquanto estiverem vivos, pela facilidade de oclusão.



A Figura 2.3 apresenta um processo de cicatrização do galho morto e vivo, observa-se, na Figura 2.3<sup>a</sup>, um galho morto quando é podado, ficando um pequeno toco que com o crescimento em diâmetro da árvore é empurrado para fora, ficando uma cavidade, que normalmente é preenchida por uma substância, chamado de kino. Na Figura 2.3B, uma poda de um galho vivo, rapidamente cicatrizado de forma saudável para a árvore. A Figura 2.4, mostra a cicatrização interna do galho morto e vivo após a atividade prática de poda nas árvores de eucalipto.

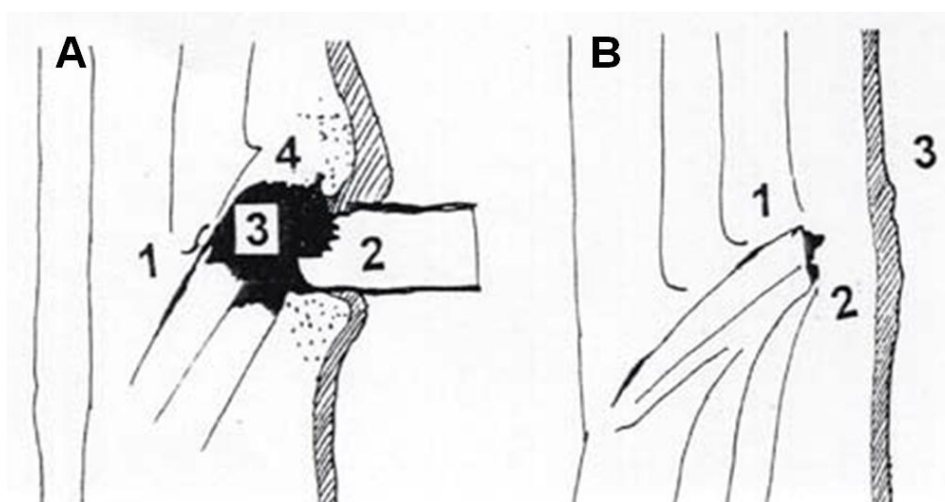


FIGURA 2.3 – REAÇÃO APÓS A PODA UM GALHO MORTO (A) E UM GALHO VIVO (B)  
 FONTE: Adaptado Stackpole (2001)

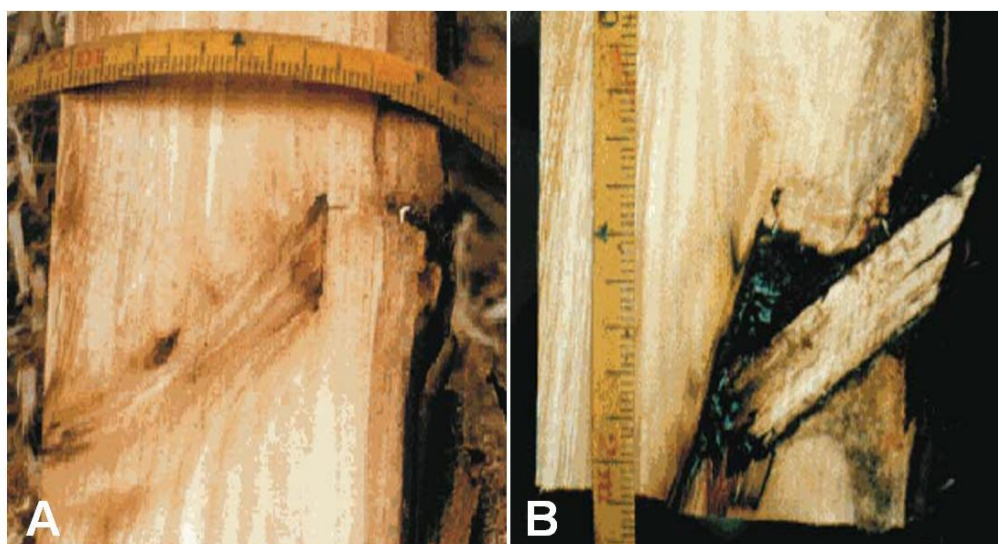


FIGURA 2.4 – CICATRIZAÇÃO DO NÓ EM UM GALHO VIVO E MORTO  
 FONTE: Wardlaw e Neilson (1999)

NOTA: A - Cicatrização de uma poda em um galho vivo; B - Formação da bolsa de kino, após a poda de um galho morto



Mayer-Wegelin (1936)<sup>11</sup>, citado por Nutto e Spathelf (2003), ressaltaram que em coníferas, por exemplo, os galhos mortos, ainda, permanecem na árvore por um longo tempo, uma boa parte dos mesmos é incluída no fuste, proporcionando um núcleo enodado de grande dimensão.

Outro problema, segundo Reid (2002) e Montagu *et al.* (2003) é que os galhos podados, quando não são totalmente removidos, proporcionam a exposição do tecido lenhoso interior, fornecendo um ponto de entrada para fungos causadores da podridão da madeira.

A poda deve ser bem efetuada para que a região não sirva de porta de entrada para organismos xilófagos da madeira, o que irá comprometer a qualidade da madeira, bem como o seu uso final. Ferreira (1989) cita que os nós são projetados até a região do cerne das árvores, podendo os fungos atingir o interior do tronco, e conseqüentemente, o apodrecimento do cerne. Nutto *et al.* (2003) ressaltam que a poda dos galhos vivos deve ser efetuada na sua base, caso penetre o tronco e não ocorra a cicatrização pode provocar uma podridão na região.

A oclusão do ferimento difere entre espécies e pode variar conforme o vigor dos indivíduos, tamanho da cicatriz e, às vezes, com a época ou estação do ano que ocorreu a poda. A cicatrização dos ferimentos resultantes da poda de galhos vivos é mais rápida que aquela de galhos mortos, pois o tecido cambial dos galhos vivos torna-se mais ativo em torno do caule (PULROLNIK *et al.*, 2009).

O tempo necessário para a oclusão do ferimento após a poda depende do diâmetro dos galhos e do incremento do diâmetro do tronco durante o período de oclusão (POLLI *et al.* 2006, HEIN; SPIECKER, 2007).

Segundo Mäkinen (1999) e Hein e Spiecker (2007), os fatores silviculturais que proporcionam o crescimento do diâmetro do tronco, a redução da densidade do povoamento, podem contribuir para a redução do período de oclusão.

Um estudo realizado por Smith *et al.* (2000), na Austrália comparou os processos de oclusão dos galhos, em árvores podadas e não podadas em diferentes espécies de eucalipto. Os resultados sugeriram que as podas de galhos verdes tiveram mais sucesso na produção de madeira limpa. A oclusão de um galho morto, no entanto, acontece de forma gradual e lentamente, aumentando a possibilidade de

---

<sup>11</sup> MAYER-WEGELIN, H. Ästung. Hannover, M.& H. Schaper, 1936. 178 p.

acúmulo de umidade e a entrada de microrganismos naquele local, tornando-o solto (SMITH, 1962).

Montagna *et al.* (1976) sugerem que a poda deve ser realizada em plantações jovens, já que os galhos terão menores diâmetros, com uma cicatrização mais acelerada. O corte deve ser o mais liso possível e sem a presença de dobras, uma vez que dificultam a cicatrização (KRONKA, BERTOLANI e PONCE, 2005). Os galhos quando não são totalmente removidos, através da poda, ficando parte dos mesmos, prejudicam a qualidade da madeira, em razão da demora da oclusão do remanescente do galho (PULROLNIK, 2002; ALMEIDA, 2003). Para uma poda e oclusão de qualidade, o corte deve ser limpo, direto e rente ao tronco, para evitar rachaduras e danos ao tronco, principalmente na primeira poda, uma vez que as árvores são mais jovens, com maior potencial das atividades fisiológicas (Figura 2.5).

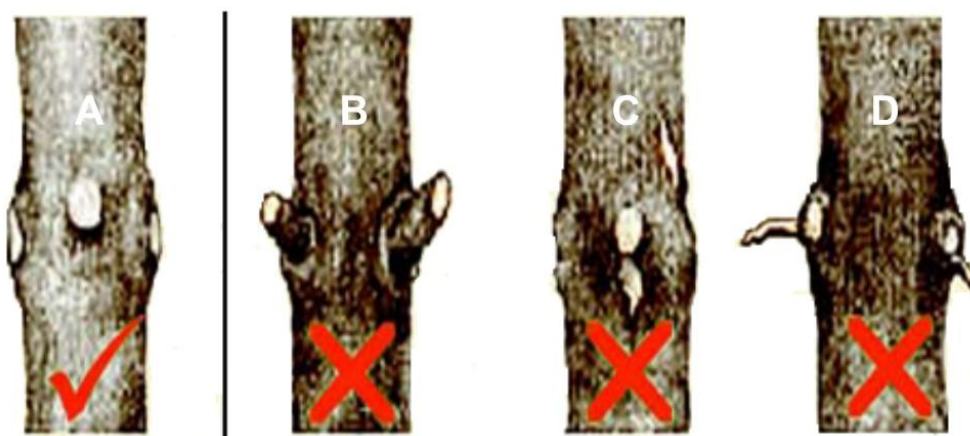


FIGURA 2.5 – QUALIDADE DA PODA EM ÁRVORES DE EUCALIPTO

FONTE: Garretón, Helmke e Rivas (2002)

NOTA: A - Corte reto e limpo; B- Corte com tocos; C - Danos a casca; D - Corte com resto do toco

Pulrolnik (2002), ao estudar a influência de diferentes tratamentos de desrama sobre a qualidade da madeira de *E. grandis*, verificou que a cicatrização dos ferimentos variou com o tamanho do ferimento e posição no tronco, foi mais rápida para ferimentos provenientes de galhos médios e grossos. O autor, no entanto, observou um menor tempo para o fechamento das feridas produzidas, a partir da remoção de galhos com menores diâmetros. Almeida (2003) observou o mesmo comportamento em clones do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*.

De acordo com Pulrolnik (2002), os resultados encontrados em seu estudo, indicaram que a desrama deve ser realizada o mais cedo possível para que ocorra

rápida cicatrização dos ferimentos, reduzindo a possibilidade de desenvolvimento de patógenos que influenciam diretamente na qualidade da madeira, principalmente em razão do escurecimento da madeira na região do ferimento.

Montagu *et al.* (2003) ao contrário, relataram que quanto maior for o diâmetro do galho maior será a probabilidade de prejuízos à qualidade da madeira, sendo mais difícil a sua oclusão completa do tronco e, mais tempo esse permanecerá na árvore.

De acordo com Kozlowski e Pallardy (1997), a taxa de cicatrização do ferimento está correlacionada com a taxa de crescimento cambial. A cicatrização dos ferimentos ocorre mais rapidamente em árvores mais vigorosas. Por isso, a poda, geralmente, é acompanhada por um desbaste, para acelerar o crescimento em diâmetro e a cicatrização.

A oclusão do ferimento dos galhos podados ocorre pela ação do câmbio promovendo a formação de madeira limpa, isenta dos nós. O tempo para se obter essa oclusão depende também do tempo em que a madeira ficar exposta ao ataque de organismos xilófagos, principalmente, naquelas espécies que não exsudam, como resina ou goma que colabora na proteção e cicatrização dos ferimentos (EVANS, 1992). Os galhos mortos de eucalipto, de acordo com Pulrolnik, Reis e Ferreira Reis (2009), não acumulam resinas repelentes à água, como os galhos das coníferas, tornando-os mais susceptíveis ao ataque de fungos.

Perry e Hickman (1987) concluíram que cicatrização de ferimentos em eucalipto ocorre mais lentamente quando efetuada nos meses de inverno, ocasião em que o crescimento cambial, também é mais lento. Floriano (2004) relata que o estresse gerado pelos cortes é menos sentido pelas árvores no final do outono e inverno, o mesmo autor sugere que para a retirada dos galhos mortos, as podas devem ser realizadas no período com crescimento acelerado.

A poda na estação fria faz com que, quando recomeça o crescimento vegetativo, o corte já seja recoberto pelas primeiras camadas de lenho produzidas. Podas em outras estações do ano, também, podem ser realizadas, contudo, cuidados adicionais devem ser tomados com a casca da árvore, uma vez que é mais frágil, principalmente durante o verão, também, se deve ter em mente que a cicatrização do ferimento será mais lenta quando comparada ao da época recomendada (KURTZ; FERRUCHI, 2000).

Para Hawley e Smith (1972) e Fonseca (1979), o período do início da morte dos galhos até sua queda e oclusão da ferida ou da parte do galho, que permaneceu no tronco, determinará a quantidade de madeira limpa, isenta de nós.

A oclusão dos galhos, em consequência da poda, pode demorar de dois a cinco anos, nas espécies do gênero *Eucalyptus*, dependendo de alguns fatores, como a espécie, qualidade do sítio, taxas de crescimento, diâmetros e comprimento dos galhos podados, técnicas aplicadas e a época do ano na qual será efetuada a poda (MONTAGU *et al.*, 2003; WISEMAN *et al.*, 2006).

Glass e McKenzie (1989), ao estudar a podridão, causada pelas podas, em *E. regnans*, na Nova Zelândia, verificaram que, quando as podas são frequentes, os diâmetros dos galhos são menores, diminuindo o tempo de cicatrização, conseqüentemente, o tempo de exposição dos ferimentos à infecção é menor.

### 3.3 QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA APÓS A PODA

Espera-se que os povoamentos florestais submetidos a poda tenham uma maior proporção de madeira limpa e o menor núcleo nodoso possível, contribuindo para um material com qualidade superior, que irá refletir na valorização e agregação dos produtos sólidos de madeira serrada.

De acordo com Zobel (1992), qualquer alteração do padrão de crescimento de uma árvore, resultante ou não de intervenções silviculturais, pode causar variações na qualidade da madeira, mas não é possível prever em que sentido estas variações ocorrerão. Vale *et al.* (2002) ressaltam que a prática silvicultural de desrama artificial torna-se essencial e necessária para atingir os objetivos de produção de madeira serrada de qualidade.

Larson (1962) e Fielding (1965) mencionaram o efeito favorável da desrama artificial, em acelerar a transição de madeira de lenho inicial para madeira de lenho tardio, na região desramada, conseqüentemente, nessa região, a densidade é mais elevada.

Crechi *et al.* (2001) ressaltaram que quando as árvores são submetidas a podas e aos desbastes de maneira oportuna e adequada, estas práticas condicionam em grande medida, a qualidade e quantidade dos produtos florestais, em consequência, a rentabilidade é maior pelo maior valor agregado dos produtos.

A ausência de nós é essencial na madeira destinada às serrarias, portanto, uma forma de eliminá-los é através da desrama artificial dos galhos, logo no período de crescimento das árvores. A prática da desrama artificial, com uma rápida cicatrização dos ferimentos causados pela poda produz uma madeira limpa, de melhor qualidade, livre de nós (SMITH, 1962; EVANS, 1992; KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997; PIRES, 2000).

A poda, também, contribui para a indicação de espécies em programas de melhoramento genético. De acordo com Assis (1999), a seleção de materiais genéticos, com boa desrama natural e a presença de galhos finos, aliada à técnica de desrama artificial, podem melhorar, substancialmente, a qualidade da madeira, evitando a podridão de cerne, presença de elevada nodosidade e formação de bolsas de resina.

Washusen *et al.* (2000) descreveram uma melhoria significativa do grau da aparência na madeira de 6% para árvores não podadas e, de até, 21% para o material podado. Maestri *et al.* (2004), ao analisarem mais de 2000 tábuas de 60 árvores no Brasil, concluíram que o principal defeito responsável pela desclassificação do material foram os nós (45%), confirmando que programas de podas para o eucalipto são indispensáveis para a produção de madeira serrada, com alto valor agregado.

Pires (2000) observou redução de fendas nas toras e tábuas com o aumento da intensidade da poda em árvores de *Eucalyptus grandis*, aos sete anos de idade. Pulrolnik (2002) e Almeida (2003) constataram que as árvores que sofreram poda apresentaram uma melhoria na qualidade da madeira, expandindo a proporção de madeira limpa após a cicatrização em relação às plantas que não receberam poda.

De acordo com Pires (2000), as tábuas provenientes de árvores que sofreram podas proporcionaram um número decrescente de nós vivos e mortos, dependendo da intensidade da poda. O autor concluiu que a poda foi eficiente para a redução do número de nós, vivos e mortos nas tábuas avaliadas, e também contribuiu para um melhor fator de forma do fuste e a redução de tábuas serradas empenadas.

Nutto *et al.* (2013) ressaltaram que, no Sul do Brasil áreas consideráveis de eucaliptos foram plantadas e manejadas para produção de tora nos últimos anos, com um espaçamento inicial, mantendo 750 árvores por hectare. O primeiro desbaste é realizado antes de as árvores chegarem a dois anos de idade. A primeira poda é

conduzida até 3 m, realizada entre 16 e 20 meses, a fim de garantir a madeira de alta qualidade.

Informações sobre diâmetros e comprimento dos ramos não são suficientes para desenvolver esquemas de poda eficientes. Estudo de tempo e eficiência ergonômica de ferramentas de poda também são necessárias para melhorar as condições de trabalho e reduzir a carga de trabalho dos trabalhadores florestais (NUTTO *et al.*, 2013). As ferramentas de poda mais utilizados são serrotes por causa do fácil manuseio e baixa necessidade de treinamento, bem como o menor custo e fácil disponibilidade do equipamento (STACKPOLE, 2001)

Um dos problemas das empresas que pratica atividades de poda no Brasil é a difícil contratação de mão de obra especializada e os aspectos ergonômicos quanto a carga de trabalho (NUTTO *et al.*, 2013).

Seitz (2000), somente a decisão de podar e sua execução adequada, por si só não garantem a qualidade da madeira e o retorno financeiro, outras ações silviculturais também são importantes para garantir o sucesso de gerar uma madeira de alta qualidade, principalmente o manejo da densidade no povoamento.

Portanto, Seitz (2000) estabeleceu alguns aspectos quanto ao custo e a rentabilidade que envolvem a atividade de poda. Os custos, estão relacionados à operação em si e às características das árvores a podar: ângulo de inserção dos galhos; número e diâmetros do galhos; ferramentas de poda; as condições de terrenos e acesso aos povoamentos.

Em relação à rentabilidade, consideraram-se os fatores que afetam o crescimento das árvores, como qualidade do sítio, vitalidade e qualidade das árvores, rotação, risco e danos aos povoamentos, por agentes bióticos e abióticos e o manejo adequado do povoamento florestal.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material de estudo

O material utilizado neste estudo foi proveniente de plantios comerciais de eucalipto de sementes, procedentes da empresa Gestão de Empreendimentos Florestais – GRANFLOR, localizada na cidade de Rosário do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, destinados à produção de madeira para geração de produtos sólidos (Figura 1.1, do capítulo 1, página 76).

As espécies utilizadas no presente estudo foram *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e um clone de *Eucalyptus saligna*. Foram avaliadas as árvores com 65 meses, para as espécies de *E. dunnii* e *E. grandis* e 52 meses, para a espécie *E. saligna*. Na Tabela 1.1 são apresentadas as espécies avaliadas juntamente com a idade e local de origem.

Os plantios foram implantados com espaçamento inicial de 5 m (entre linhas) x 2,8 m (linha), com diferentes desbastes. O trabalho de poda adotado pela empresa consiste na retirada dos galhos, em função da altura das árvores, com previsões de 2 a 3 podas, entre as idades de 18 e 24 meses, com altura de 3 a 4 m sendo e, entre as idades do 3º e o 4º ano, com altura de 6 a 7 m.

### 4.2 Descrição das áreas

Foram selecionadas as parcelas listadas na Tabela 1.1 para avaliação do sistema de poda atualmente aplicado pela empresa. As áreas de coletadas foram apenas na localidade de Ferrugem/Rosário do Sul e Taquara/ Estrada Cacequi-Umbá, onde se localizava os plantios florestais com maior idade.

### 4.3 Seleção das árvores

Visando estudar o efeito do sistema de poda, atualmente aplicado pela empresa, avaliou-se a cicatrização dos ferimentos internos dos nós após a poda, de acordo com o regime adotado pela empresa. As podas foram efetuadas quando as árvores atingiram uma altura de 3 m, e depois 6 m, variando de 12 a 18 meses, e de 24 a 36 meses, respectivamente.

Das árvores cortadas no campo, retiraram-se tocos das regiões da inserção dos galhos podados das árvores amostradas, até à altura de seis metros, para a avaliação da cicatrização interna do nó (Figura 2.6 e 2.7).

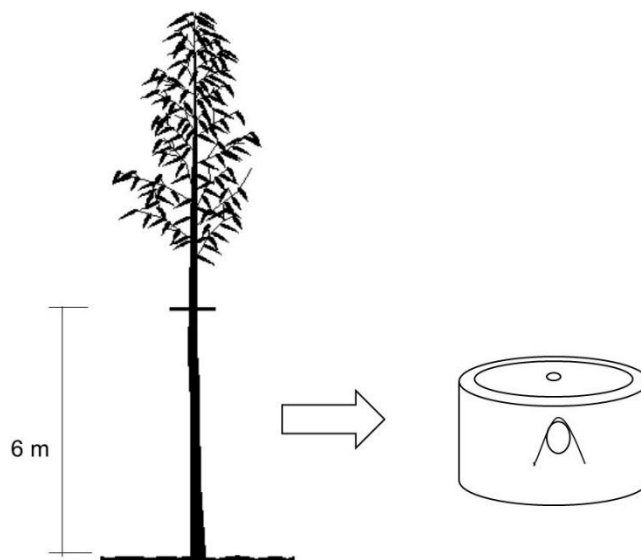


FIGURA 2.6 – RETIRADA DOS TOCOS PARA A AVALIAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO INTERNA DOS NÓS APÓS A PODA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES DE *Eucalyptus*  
FONTE: O autor (2014)



FIGURA 2.7 – FUSTE DAS ÁRVORES EVIDENCIANDO A REGIÃO DE INSERÇÃO DOS GALHOS PODADOS PARA AVALIAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO INTERNA DOS NÓS  
FONTE: O autor (2014)

Em seguida, os tocos foram devidamente identificados e transportados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Engenharia e



Tecnologia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, onde se realizaram-se as análises.

#### 4.4 Avaliação da cicatrização interna do ferimento do nó após poda

Nos tocos, realizou-se o corte diametral no sentido longitudinal no centro do nó passando a serra sobre a cicatriz de inserção do galho, facilitando a análise da cicatrização. Após o corte, as superfícies do material foram lixadas para melhor visualização e mensuração das variáveis (Figura 2.8).



FIGURA 2.8 – CORTE NO SENTIDO LONGITUDINAL DOS TOCOS PARA ANÁLISE DA PODA NAS DIFERENTES ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A - Toco com o centro do nó marcado para o corte; B - Região interna do corte longitudinal do nó para a mensuração das variáveis

Nos cortes, foram mensurados através de uma régua milimetrada, o diâmetro do nó, o tamanho vertical do nó, extensão da oclusão do nó, extensão da madeira com desvio das fibras e fibras normais, extensão do alburno e cerne e, conseqüentemente, a extensão de madeira com o núcleo nodoso (extensão do nó + extensão da oclusão do nó), obtendo-se assim, o diâmetro do núcleo nodoso.

O diâmetro do núcleo nodoso foi estabelecido através do raio da extensão da madeira com nó, mais a extensão da oclusão do nó.

Para avaliar a extensão da madeira limpa, estabeleceram-se os valores do diâmetro final pretendido pela empresa para o corte das árvores, no caso, espera-se que os plantios alcancem, aos 14 anos de idade, um DAP entre 40 a 45 cm. Para simular a extensão da madeira limpa final, utilizaram-se os diâmetros entre 40 a 60 cm. Os valores da madeira limpa foram obtidos pela diferença entre a extensão casca-medula e a extensão da madeira com o núcleo nodoso.

Na Figura 2.9 é mostrada a metodologia utilizada para a mensuração das variáveis relativas a cicatrização da poda para as diferentes espécies de eucalipto do presente estudo.

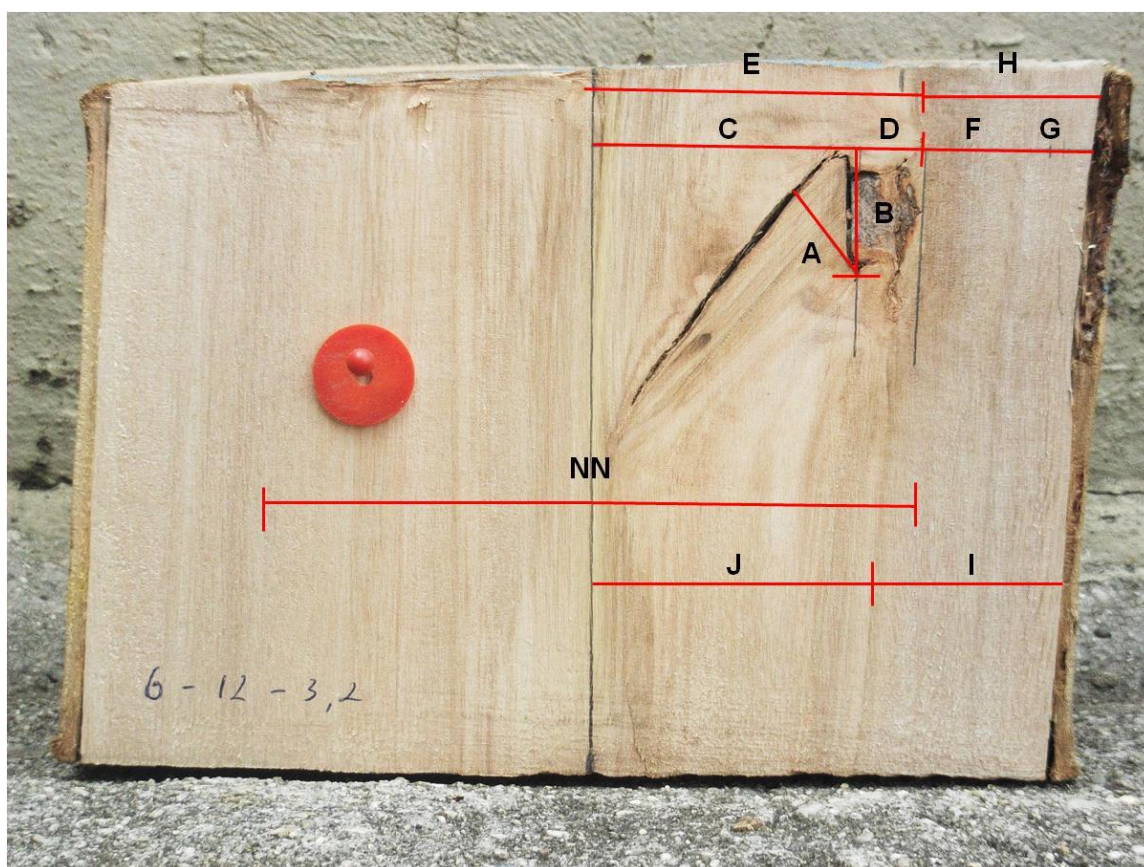


FIGURA 2.9 – VARIÁVEIS MENSURADAS

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A - Diâmetro do nó (cm); B - Tamanho vertical da cicatrização do nó (cm); C - Extensão da madeira com nó – distância medula – galho cortado (cm); D - Extensão da oclusão do nó (cm); E - Extensão da madeira com defeito (C+D); F - Extensão da madeira com fibra anormal; G - Extensão da madeira com fibra normal; H - Extensão da madeira livre do nó (F+G); I - Extensão do albarno; J - Extensão do cerne; NN - núcleo nodoso

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda dos galhos é um processo natural durante a vida das árvores, mas em muitas espécies do gênero *Eucalyptus* isso ocorre de forma insuficiente. Assim, torna-se necessária a prática da poda, com o intuito de proporcionar uma maior extensão da madeira limpa, reduzindo os defeitos provenientes dos nós bem como a sua oclusão. Desta forma, a madeira será melhor empregada como produto sólido, com aspectos econômicos positivos, elevando o volume da madeira livre de defeito.

A figura 2.10, por exemplo, apresenta o comportamento das árvores, quando submetidas à poda, fica evidente a diferença de uma poda bem efetuada de um galho ainda vivo, e uma árvore não podada, com a presença de um galho morto, influenciando diretamente no tamanho final do núcleo nodoso. Os galhos mortos resultam na formação de gomas e em um nó solto, além de servir como porta de entrada a agentes biodeterioradores da madeira, comprometendo a sua qualidade, para fins comerciais. Essa região da madeira, quando colonizada por fungos, pode atingir o interior do fuste, apodrecendo o cerne. ao contrário, nos galhos vivos, a cicatrização ocorre de maneira mais rápida, favorecendo o aumento da área de madeira limpa, isenta de nós e de outros defeitos.



FIGURA 2.10 – COMPORTAMENTO INTERNO DA ÁRVORE PODADA

FONTE: O autor (2014)

NOTA: A - ÁRVORE NÃO PODADA; B - ÁRVORE PODADA



A poda de eucalipto deve fazer parte das práticas silviculturais e do manejo, visando à produção de fustes, com maior percentual de madeira limpa, livre de defeitos e com maior valor agregado. Na Tabela 2.1, são apresentados os valores médios obtidos para as variáveis mensuradas quantitativamente para a avaliação da qualidade da cicatrização dos ferimentos internos dos nós, após a atividade silvicultural de poda para as espécies *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna*.

TABELA 2.1 – VALORES MÉDIOS, MÁXIMO, MÍNIMO E O DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS MENSURADAS PARA AS TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

<i>Eucalyptus dunnii</i>											
	Variáveis										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	NN
<b>Média</b>	1,2	1,5	4,8	0,6	5,4	1,9	0,8	2,6	2,9	5,1	10,8
<b>Máx.</b>	2,5	3,6	10,4	2,8	12,7	6,8	5,9	7,6	4,8	11,1	25,4
<b>Mín.</b>	0,3	0,4	0,5	0,0	0,5	0,2	0,0	0,2	1,2	0,3	1,0
<b>DP</b>	0,6	0,8	2,3	0,7	2,8	1,3	1,3	1,8	0,8	2,4	5,6
<i>Eucalyptus grandis</i>											
	Variáveis										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	NN
<b>Média</b>	1,6	2,2	5,1	1,0	6,1	1,7	0,5	2,2	3,0	5,2	12,2
<b>Máx.</b>	4,3	6,1	11,7	4,4	16,1	4,1	3,9	5,1	4,4	13,7	32,2
<b>Mín.</b>	0,5	0,4	0,3	0,0	0,6	0,3	0,0	0,3	2,1	0,2	1,2
<b>DP</b>	0,9	1,5	2,4	1,0	2,9	0,9	0,9	1,1	0,6	2,7	5,8
<i>Eucalyptus saligna</i>											
	Variáveis										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	NN
<b>Média</b>	1,9	2,8	5,5	1,0	6,5	2,0	0,8	2,8	4,3	5,0	13,0
<b>Máx.</b>	4,6	6,4	7,1	1,4	8,5	3,3	3,4	4,9	5,9	8,4	17,0
<b>Mín.</b>	0,6	1,0	3,2	0,6	3,8	1,1	0,0	1,2	2,9	2,8	7,6
<b>DP</b>	1,5	2,1	1,5	0,3	1,6	0,9	1,3	1,5	1,0	1,9	3,3

NOTA: Máx. - Máximo; Min. - Mínimo; DP - Desvio padrão; A - Diâmetro do nó (cm); B - Tamanho vertical da cicatrização do nó (cm); C - Extensão da madeira com nó – distância medula – galho cortado (cm); D - Extensão da oclusão do nó (cm); E - Extensão da madeira com defeito (C+D); F - Extensão da madeira com fibra anormal; G - Extensão da madeira com fibra normal; H - Extensão da madeira livre do nó (F+G); I - Extensão do alborno; J - Extensão do cerne; NN - Núcleo nodoso

Os valores encontrados para as diferentes espécies fornecem informações que permitem caracterizar a eficiência a qualidade da poda adotada pela empresa, além de identificar relações de outras variáveis que estão associadas à poda. De modo geral, verificou-se que *E. saligna* apresentou valores superiores para as variáveis mensuradas, seguido pela espécies *E. grandis* e *E. dunnii*. Na Figura 2.11,

podem ser melhor visualizados a distribuição e o comportamento dos valores obtidos para as variáveis mensuradas entre as espécie de *Eucalyptus* submetidas à poda.

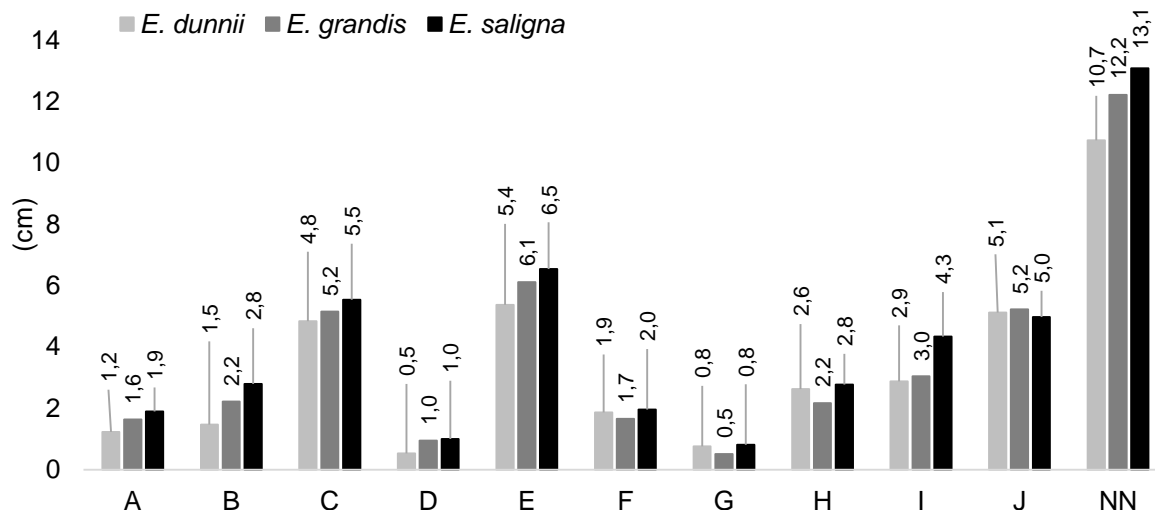


FIGURA 2.11 – Comportamento das variáveis mensuradas entre as espécies de *Eucalyptus* podadas  
 FONTE: O autor (2014)

NOTA: A - Diâmetro do nó (cm); B - Tamanho vertical da cicatrização do nó (cm); C - Extensão da madeira com nó – distância medula – galho cortado (cm); D - Extensão da cicatrização do nó (cm); E - Extensão da madeira com defeito (C+D); F - Extensão da madeira com fibra anormal; G - Extensão da madeira com fibra normal; H - Extensão da madeira livre do nó (F+G); I - Extensão do albarno; J - Extensão do cerne; NN - Núcleo nodoso (cm).

A Tabela 2.2, apresentada a análise de variância (ANOVA) para as variáveis mais importantes na avaliação da cicatrização dos nós das árvores podadas, como o diâmetro do nó (A), tamanho vertical da cicatrização do nó (B), extensão da madeira com nó (C), extensão da cicatrização e oclusão do nó (D), extensão da madeira livre do nó (H) e o diâmetro do núcleo nodoso (NN).

TABELA 2.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS MAIS REPRESENTATIVAS ENTRE AS ESPÉCIES DE *E. dunni*, *E. grandis* E *E. saligna* SUBMETIDAS A PODA

Diâmetro do nó					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
A	2	4,60314	2,30157	3,05	0,0525 ns
Residual	83	62,5304	0,753378		
Total	85	67,1335			
Tamanho vertical da cicatrização do nó					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
B	2	16,6786	8,3393	5,04	0,0086 *
Residual	83	137,422	1,65569		
Total	85	154,101			
Extensão da madeira com nó					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
C	2	3,76293	1,88147	0,36	0,7009 ns
Residual	83	437,452	5,27051		
Total	85	441,215			
Extensão da cicatrização e oclusão do nó					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
D	2	4,04674	2,02337	2,90	0,0605 ns
Residual	83	57,8747	0,697285		
Total	85	61,9214			
Extensão da madeira livre do nó					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
I	2	5,02948	2,51474	1,14	0,3244 ns
Residual	83	182,893	2,20353		
Total	85	187,922			
Diâmetro do núcleo nodoso					
FV	GL	SQ	QM	F	Prob > F
NN	2	59,2688	29,6344	0,97	0,3833 ns
Residual	83	2535,28	30,5455		
Total	85	2594,55			

NOTA: FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma do quadrado; QM - Quadrado médio. A - Diâmetro do nó (cm); B - Tamanho vertical da cicatrização (cm); C - Extensão da madeira com nó – distância medula – galho cortado (cm); D - Extensão da oclusão do nó (cm); I - Extensão da madeira livre do nó (F+G); NN - Núcleo nodoso. \* significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Com exceção da variável “tamanho vertical do nó”, as demais variáveis não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as espécies, pelo teste F, ao nível de 95% de probabilidade, entre os materiais avaliados. O teste de comparação de médias (Figura 2.12) indica que o tamanho vertical da cicatrização do nó apresentou diferença estatística significativa, em nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey, entre os valores médios obtidos, cujas médias para o *E. saligna* e *E. grandis* foram iguais e superiores ao *E. grandis*.

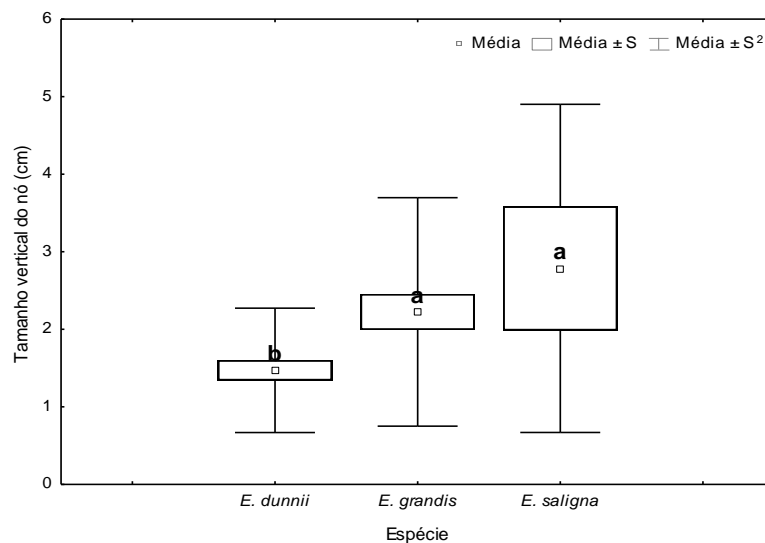


FIGURA 2. 12 – BOX-PLOT DOS VALORES MÉDIOS DO TAMANHO VERTICAL DO NÓ E O TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

### 5.1 DIÂMETRO DO NÓ E TAMANHO VERTICAL DA CICATRIZAÇÃO

As variáveis diâmetro do nó (A) e tamanho vertical da cicatrização do nó (B) são informações de grande importância porque irão influenciar diretamente na qualidade da poda. A espécie *E. saligna* apresentou um diâmetro do nó médio de 1,9 cm, variando de 0,6 a 4,6 cm, o *E. grandis* apresentou um valor médio de 1,6 cm, variando de 0,5 a 4,3 cm, para o para o *E. dunnii*, o diâmetro do nó variou de 0,3 a 2,5 cm, com um valor médio de 1,2 cm (Tabela 2.1).

Os galhos tendem a apresentar maiores diâmetros à medida que um maior espaço é oferecido as árvores, favorecendo as taxas de crescimento, chegando ao diâmetro máximo, ao atingirem a maturidade. No presente estudo, verificou-se que os menores diâmetros do nó proporcionaram uma menor extensão da oclusão do nó. Ressalta-se, no entanto, que a qualidade do sítio, material genético e as técnicas de poda são fatores que podem influenciar na cicatrização dos nós.

O comportamento da oclusão do nó está em conformidade com a literatura, segundo Polli (2005), os ferimentos provenientes de galhos grossos apresentaram maior velocidade de cicatrização, porém, mencionou que os ferimentos procedentes da retirada de galhos finos exibiram um menor tempo de oclusão total do ferimento.

Em função dos ferimentos de maior diâmetro, apresentaram uma maior porcentagem de espaços abertos e maior produção de resina.

O mesmo efeito foi observado por Polli (2005), ao estudar o efeito da desrama para o *E. grandis*, dos 16 aos 55 meses de idade. Constatou que os galhos finos apresentaram menor extensão da oclusão do galho, maior extensão de madeira limpa e menores valores de núcleo nodoso. Este resultado, no entanto, contrasta com o observado por König (2005) que, ao avaliar a poda do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em diferentes áreas de plantios, nas regiões do Espírito Santo e sul da Bahia, encontrou para o diâmetro do galho valores, variando de 0,40 a 3,6 cm, e concluiu que os maiores diâmetros proporcionaram a menor extensão da oclusão do nó.

Em relação ao tamanho vertical da cicatrização do nó ou diâmetro do corte, o comportamento foi semelhante ao diâmetro do nó, apresentando a mesma tendência entre as espécies. O *E. saligna* e *E. grandis* apresentaram o maior tamanho vertical da cicatrização do nó superior estatisticamente, com um valor médio de 2,8 cm, variando de 1,0 a 6,4 cm para o *E. saligna*, seguido pelo o *E. grandis*, com valores variando de 0,40 a 6,10 cm, e um tamanho médio de 2,2 cm, por último, o *E. dunnii* com um valor médio de 1,5 cm, variando de 0,4 a 3,6 cm (Tabela 2.1).

A diferença entre os valores médios, obtidos para as espécies, pode ser atribuída ao comportamento quanto à cicatrização do corte em função das taxas de crescimento da árvores do procedimento para o *E. dunnii* efetuado no corte, apresentando um corte dos galhos mais eficiente, resultado do correto uso do equipamento de corte, visto que apresentou um tamanho vertical do nó, semelhante ao diâmetro do galho podado.

Os valores encontrados no presente trabalho estão em conformidade com König (2005), que encontrou para o tamanho vertical da cicatrização do nó, valores variando de 0,7 a 6,2 cm.

Verifica-se na Figura 2.13 uma relação linear entre o diâmetro do corte (tamanho vertical da cicatrização do nó) e o diâmetro do nó, nota-se uma elevada relação, confirmando a influência do diâmetro do nó com a extensão da cicatrização do nó, afetando o tamanho do núcleo nodoso.



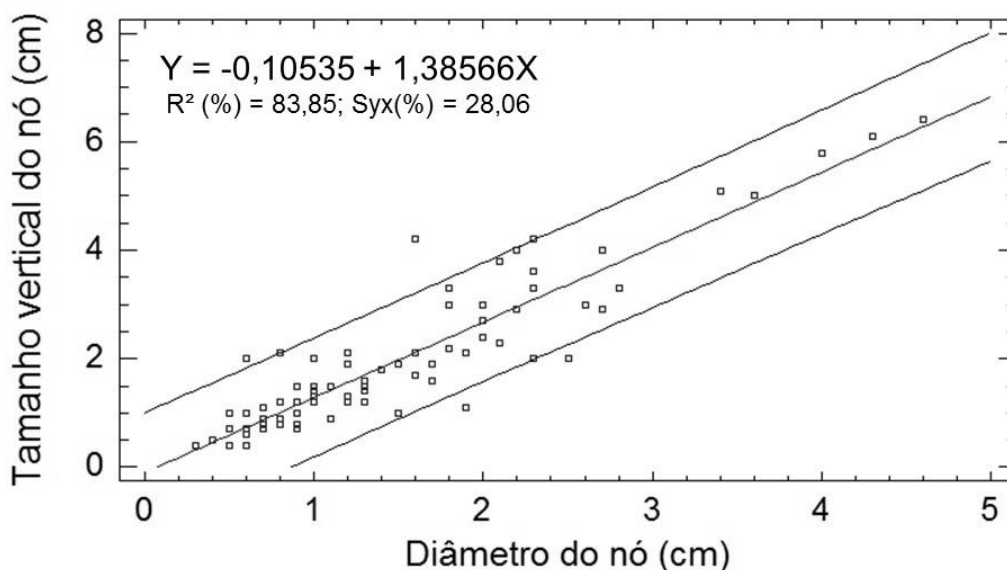


FIGURA 2.13 – RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DO GALHO PODADO E O TAMANHO VERTICAL DA CICATRIZAÇÃO DO NÓ

FONTE: O autor (2014)

Observa-se que o diâmetro do corte não é igual ao diâmetro do nó, executado com o serrote, equipamento de poda utilizado pela empresa, no cote, o ângulo do galho aumenta a área, de forma significativa. O aumento do diâmetro do nó proporcionou um aumento da área do galho cortado, conseqüentemente, irá ocorrer o aumento, também, do tempo necessário para a oclusão do nó, tendendo a aumentar o tamanho do núcleo enodado das árvores. Este fato também pode promover um maior risco de podridão para as árvores, uma vez que maiores ferimentos resultam em maior período para cicatrização e apresentam maior susceptibilidade ao ataque de microorganismos xilófagos.

## 5.2 EXTENSÃO DA OCLUSÃO DO NÓ

A extensão da oclusão do nó (D) retrata o tamanho e o tempo de cicatrização do nó após a poda, assim, os baixos valores são desejáveis, uma vez que proporcionam a redução da área da madeira com defeito, em função do menor período de cicatrização.

O sistema de poda propiciou um valor médio da extensão da oclusão entre as espécies inferior a 1 cm, (média de 0,9 cm). A rápida oclusão dos nós, também colaborou para evitar o ataque de organismos xilófagos. Na tabela 2.1, verifica-se que para a madeira de *E. dunnii*, foi obtido um valor médio de 0,5 cm, variando de 0 a 2,8

cm. A madeira de *E. saligna* apresentou valores que variado de 0,6 a 1,4 cm, com um valor médio de 1,0 cm, o *E. grandis*, também, obteve uma extensão média de 1,0 cm, variando de 0 a 4,4 cm. A menor extensão da oclusão do nó ocorreu na espécie que apresentou o menor diâmetro do galho podado. Polli (2005) constatou que, quanto mais cedo ocorrer a remoção dos galhos das árvores, mais rápida será a cicatrização do ferimento e menor será a extensão da oclusão desse ferimento.

König (2005) encontrou valores da extensão da oclusão do nó variando de 0 a 11,30 cm, mas ressaltou que, valores acima de 1,00 cm, são indesejáveis, assim, os valores médios da presente pesquisa encontram-se dentro deste padrão. Os valores médios da extensão da oclusão do nó encontrados por Polli (2005) variaram de 0,44 cm a 0,98 cm nos diferentes tratamentos de intervenção da desrama, valores, também, são desejáveis para a produção da madeira limpa.

Segundo Evans (1992) e Pulrolnik (2002), a oclusão dos ferimentos pode diferir entre as espécies e variar com o vigor dos indivíduos, como o tamanho da cicatriz, com a época ou estação do ano, que ocorreu a atividade, a posição no tronco e as condições das atividades fisiológicas das árvores.

O desbaste, acompanhando a poda, é fundamental para o vigor das árvores, acelerando as taxas de crescimento e as atividades fisiológicas, o que contribuiria para a cicatrização mais rápida dos nós. Polli (2005) ressaltou a importância do planejamento para a atividade de poda, entre outras práticas silviculturais.

### 5.3 NÚCLEO NODOSO

O núcleo nodoso localiza-se na parte central do tronco, presente em todas as árvores, com diferentes proporções, dependendo das práticas silviculturais, manejo florestal e taxas de crescimento das árvores, aliadas aos fatores ambientais. Considera-se como o núcleo nodoso o somatório da extensão da madeira com nó, mais a extensão da oclusão do mesmo, sendo fundamental na qualidade e valor agregado à madeira.

Como consta na Tabela 2.2, não houve diferença estatística significativa entre os valores médios de núcleo nodoso (NN) para as espécies estudadas. O *E. saligna* apresentou uma extensão da madeira com nó (raio) com 5,5 cm, seguida pelo *E. grandis* com 5,1 cm, e o, *E. dunnii*, com 4,8 cm. Ao somar a extensão do nó com a

extensão de sua oclusão, a madeira de *E. dunnii* foi a que proporcionou o menor núcleo nodoso, fato este desejável para a produção de madeira limpa, para a obtenção de serrados destinados a fabricação de produtos sólidos, potencializando assim a qualidade da madeira.

O *E. dunnii* foi a espécie que também apresentou os menores valores médios para o diâmetro do nó (A) e o seu tamanho vertical da cicatrização (B), além da pequena extensão de sua oclusão. A espécie de *E. dunnii* apresentou um diâmetro médio do núcleo nodoso de 10,7 cm, enquanto que o *E. grandis* apresentou 12,2 cm, e o *E. saligna*, 13,1 cm (Figura 2.11). Este resultado reforça o fato da poda dos galhos ser feita o mais cedo possível, principalmente dos galhos, já com maiores diâmetros, elevando a qualidade da madeira.

Os valores médios obtidos, no presente trabalho foram acima do relatado por Polli *et al.* (2006), que encontraram, nos ferimentos localizados acima de 1,5 m de altura da tora, valores para o diâmetro do núcleo nodoso igual a 7,3 cm, para os ferimentos localizados abaixo de 1,5 m, o valor obtido foi de 6,7 cm.

Nutto *et al.* (2003) ressaltaram que, espécies do gênero *Eucalyptus*, quando não são podadas, tendem a possuir um núcleo nodoso em torno de 40 cm, impedindo o uso da madeira para geração de produtos, com alto valor agregado.

Polli *et al.* (2006) verificaram que o núcleo nodoso foi, significativamente, mais elevado para o controle, independentemente da idade na qual foi feita a intervenção de poda, demonstrando a sua importância sobre a qualidade da madeira.

Os resultados indicam que o *E. dunnii* foi o que apresentou o melhor comportamento, em resposta à cicatrização interna dos nós, após a poda com o menor núcleo nodoso, tendendo a apresentar uma maior extensão da madeira limpa com qualidade superior para a geração dos produtos sólidos. Este aumento da madeira limpa dependerá também do potencial de crescimento das árvores, bem como de certos fatores, como a qualidade de sítio, práticas silviculturais e manejo florestal.

#### 5.4 EXTENSÃO DA MADEIRA LIMPA

De acordo com o apresentado na Figura 2.9, as variáveis F e G retratam as extensões da madeira em que ocorreu o desvio das fibras em função do nó. O nó influencia a direção das fibras e o tempo que leva para as fibras voltarem ao normal,

após a oclusão do nó. As alterações da direção das fibras podem variar conforme as dimensões e cicatrização dos nós, bem como das taxas de crescimento das árvores.

Em torno dos nós, as fibras são alteradas, ocorrendo inclinações das mesmas, interferindo na resistência e rigidez da madeira, além da depreciação do produto final, em função dos processos de usinagem e acabamento. A maior influência do sentido das fibras, em função da cicatrização do nó, ocorre na madeira de *E. saligna* em que se obteve uma extensão médias das fibras desviadas e normais de 2,0 e 0,8 cm, respectivamente, seguido pelo *E. dunnii*, com 1,9 cm e 0,8 cm e o *E. grandis*, com 1,7 cm e 0,5 cm (Tabela 2.1; Figura 2.11).

A diferença entre a extensão da casca-medula e a extensão do núcleo nodoso resultou na extensão da madeira livre do nó. Apesar do *E. dunnii* ter apresentado o menor diâmetro para o núcleo nodoso, *E. saligna* apresentou um valor da extensão da madeira, livre do nó, mais expressivo, com 2,8 cm, seguido pelo *E. dunnii* e *E. grandis*, com 2,6 e 2,2 cm, respectivamente, para o diâmetro das árvores nesta idade (Tabela 2.1; Figura 2.11). Muito embora estas diferenças entre médias não fossem estatisticamente significativas, observou-se que as árvores que apresentaram os maiores diâmetros do nó proporcionaram uma maior extensão da madeira livre do nó, o que pode ser explicado em função das taxas de crescimento, apesar de possuir uma idade inferior, apresentou o mesmo comportamento das demais espécies. Este fato, se refere, especificamente, para árvores nesse diâmetro.

Bredenkamp *et al.* (1980), também, não observaram diferenças estatísticas significativas para a extensão de madeira limpa entre os tratamentos de desrama, aplicados em árvores de *Eucalyptus grandis*, na África do Sul. Pulrolnik (2002) e Almeida (2003), ao estudarem o efeito da desrama artificial sobre a produção de madeira limpa em clones de *E. grandis* e de *E. grandis* x *E. urophylla*, encontraram, uma influência positiva da desrama artificial sobre a proporção da extensão de madeira limpa.

Observou-se que a maior extensão na madeira, com fibras desviadas, ocorreu na espécie que apresentou o diâmetro do nó superior, visto que isso tende a proporcionar um maior tempo de oclusão dos ferimentos, com o relatado anteriormente. Apesar disso, a madeira de *E. saligna* foi a que apresentou a maior extensão de madeira limpa, esta região é totalmente livre de defeitos, tendendo a apresentar as melhores características da madeira.

A quantidade de fibras distorcidas, ao redor dos nós, compromete a qualidade da madeira, proporcionando baixa resistência e rigidez mecânica, tornando-a mais frágil, além de promover tensões, empenamentos e rachaduras. As fibras com orientação distorcida, também, afetam as características da madeira, quanto à trabalhabilidade, influenciando nos processos de usinagem, conseqüentemente, desvalorizam, comercialmente, a madeira, classificando-a de qualidade inferior.

Em relação às propriedades mecânicas a perda da resistência à tração é a mais afetada, seguida pela resistência à flexão e a compressão, de acordo com Knigge e Schultz (1966), quando ocorre a inclinação da grã. Cruz e Nunes (2007) ressaltaram que a influência dos nós na resistência mecânica ocorre em função das fibras estarem perpendiculares a direção geral das fibras da peça.

As variáveis J e I (Figura 2.9) representam, apenas a extensão do cerne e alburno, respectivamente e, não, influencia no núcleo nodoso. A quantificação do alburno e cerne estão mais relacionadas com as classificações realizadas nas serrarias, e principalmente, com as propriedades de resistência e rigidez, que são influenciada pelas características anatômicas, químicas e tecnológicas da madeira.

A espécie *E. grandis* apresentou uma extensão para o alburno de 3,0 cm e para o cerne 5,2 cm, enquanto que para a espécie de *E. dunnii*, a extensão de alburno e cerne apresentou valores médios mais distantes, com 2,9 e 5,1 cm, respectivamente. Para o *E. saligna* obtiveram-se valores para extensão do alburno de 4,3 cm e, para o cerne, de 5,0 cm, para o diâmetro médio da árvores (Tabela 2.1; Figura 2.11).

Apesar de as árvores serem jovens a proporção do cerne tende a aumentar em função das taxas de crescimento, o que torna a madeira mais apta para a produção de produtos sólidos, o cerne apresenta propriedades tecnológicas superiores ao alburno, apesar de possuir difícil trabalhabilidade devido a maior massa específica. Para Oliveira (1997) a quantificação da proporção cerne e alburno é muito importante do ponto de vista tecnológico, dependendo da utilização que será dada à madeira. Pereira *et al.* (2013) ressaltaram que a madeira com maior quantidade de cerne é desejável para a produção de móveis e aplicação no setor de construção civil. A madeira com maior presença de cerne devido a sua coloração e propriedades específicas, apresenta maior valor tecnológico para usos em serrarias (SILVA, 2002).

Na tabela 2.3, verifica-se a estimativa da extensão da madeira limpa ao considerar o diâmetro de corte mínimo que a empresa espera que as árvores

alcancem para realizar o corte das árvores. Os valores obtidos foram determinados pela diferença entre a extensão da medula à casca e a extensão média do núcleo nodoso com e sem a presença da extensão das fibras desviadas em função do nó para cada espécie. Os diâmetros considerados para esta estimativa foram 40, 50 e 60 cm, conseqüentemente, a extensão da medula a casca foi de 20, 25 e 30 cm, respectivamente.

TABELA 2.3 – VALORES ESTIMADOS DA EXTENSÃO DA MADEIRA LIMPA PARA AS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* CONSIDERANDO OS DIÂMETROS DE 40, 50 E 60 cm

Diâmetro (cm)	Extensão da madeira limpa - raio (cm)					
	C+D			C+D+F		
	d = 40	d = 50	d = 60	d = 40	d = 50	d = 60
<i>E. dunnii</i>	14,6	19,6	24,6	12,8	17,8	22,8
<i>E. grandis</i>	13,9	18,9	23,9	12,2	17,2	22,2
<i>E. saligna</i>	13,5	18,5	23,5	11,5	16,5	21,5

Nota: d - diâmetro; C - extensão do nó; D - extensão da oclusão do nó; F - extensão da madeira com o desvio das fibras.

Os valores médios, obtidos para a extensão da madeira limpa, foram próximos entre as espécies avaliadas, entretanto verifica-se que a madeira de *E. dunnii* tende a apresentar a maior extensão da madeira limpa estimada, ao considerar tanto a extensão do núcleo nodoso (C+D) quanto a extensão no núcleo nodoso, mais a extensão da madeira com o desvio das fibras (C+D+F), apresentando, assim, a melhor resposta ao regime de poda proposto pela empresa.

Para melhor visualização, na Figura 2.14 é apresentado o perfil de comportamento estimado para as diferentes espécies em relação à extensão da madeira limpa, considerando um diâmetro final que a empresa pretende alcançar entre 40 a 60 cm de diâmetro. Observa-se o diâmetro do núcleo nodoso (Figura 2.12A) e a extensão da madeira limpa, estimada no seção longitudinal (Figura 2.12B), considerando o núcleo nodoso e o núcleo nodoso, incluindo o desvio das fibras.

O núcleo nodoso, depois de formado, é um fator constante, ocorrendo, apenas o crescimento da madeira limpa, ao redor do fuste, nota-se que a poda limita os nós na zona central do fuste, garantindo uma maior extensão da madeira limpa.

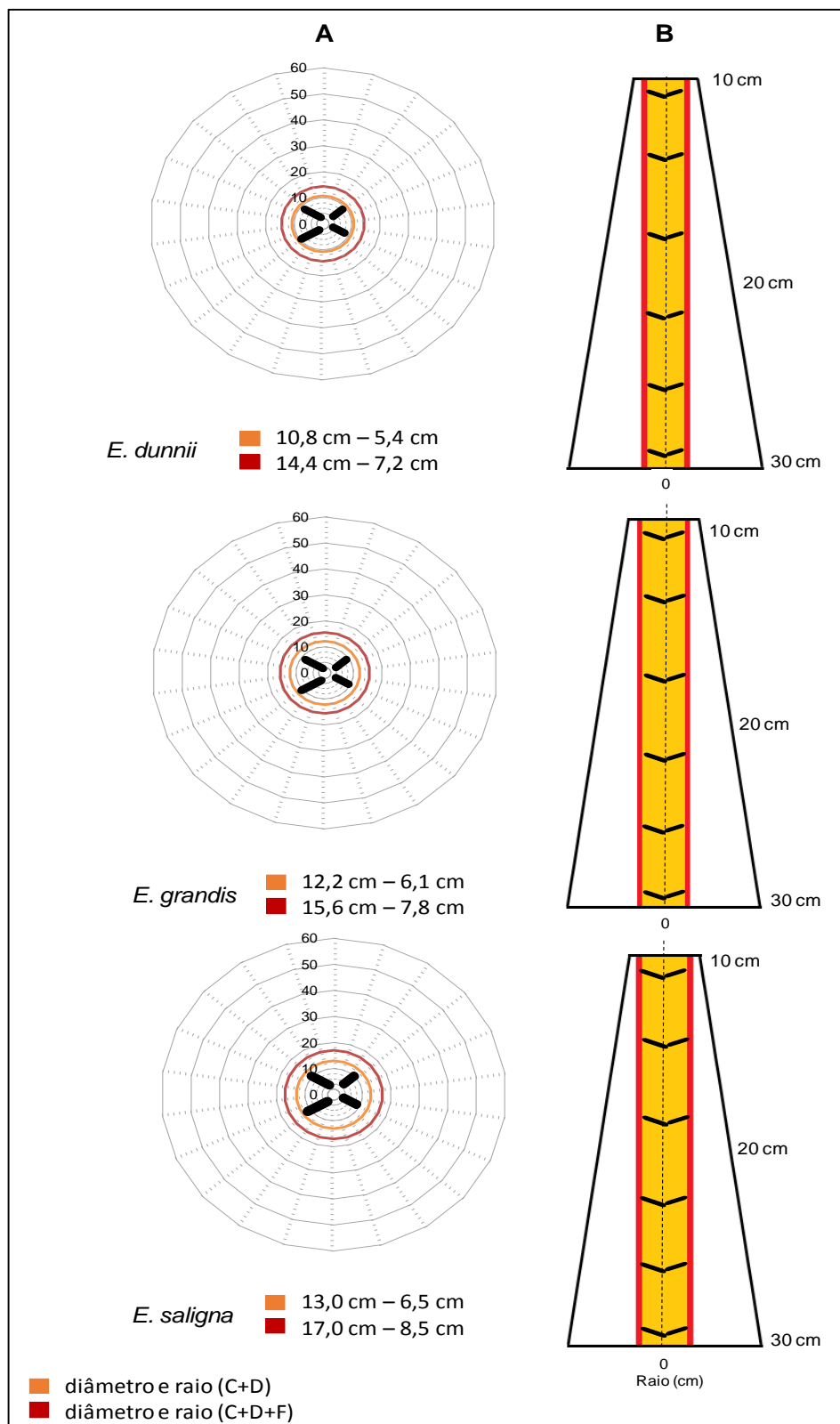


FIGURA 2.14 – DIÂMETRO (A) E EXTENSÃO DO RAIOS (B) DA MADEIRA LIMPA ESTIMADOS PARA AS ESPÉCIES DE *E. saligna*, *E. grandis* E *E. dunnii* ESTIMADOS ENTRE 40 E 60 cm DE DIÂMETRO

FONTE: O autor (2014)

NOTA: C - Extensão da madeira com nó; D - Extensão da oclusão do nó (cm); F - Extensão da madeira com fibras anormal.

Polli (2005), avaliando a qualidade da madeira de clone de *E. grandis*, em diferentes tratamentos de desrama, constatou que a aplicação da desrama artificial promoveu um ganho médio de 94% de madeira limpa, em relação às árvores testemunhas, fato justificado pela redução do núcleo nodoso, em virtude da desrama. O autor, contudo, observou que a aplicação da primeira intervenção de poda em árvores mais velhas, promoveu a redução no ganho de extensão de madeira limpa, indicando que a desrama deve ser efetuada o mais cedo possível, mesmo que implique em alguma redução de crescimento.

Segundo Montagu *et al.* (2003), a produção de madeira limpa só ocorre após a total oclusão do ferimento, os ferimentos maiores levam mais tempo para a total oclusão, em relação aos ferimentos menores, justificando, assim, a adoção de técnicas de desrama o mais cedo possível, fazendo a retirada dos galhos, quando estes ainda apresentarem um diâmetro reduzido.

Quando podadas, as árvores tem o seu núcleo nodoso reduzido, apresentando um maior percentual de madeira limpa à medida em que aumenta o seu diâmetro, segundo Nutto *et al.* (2003) quando não ocorre a poda nas árvores, o núcleo nodoso é de 40 cm ou superior, impedindo o uso da madeira, como de alto valor agregado.

A produção de uma maior extensão da madeira limpa está relacionado também as taxas e potencial de crescimento de cada espécie, além de outros fatores, associados ao desenvolvimento das árvores. Como relatado no capítulo 1 do presente estudo, as taxas de crescimento das variáveis analisadas (DAP, Ht, Ac, Dc) são semelhantes entre as espécies, mesmo *E. saligna* com uma idade de 52 meses e, *E. dunnii* e *E. grandis*, ambos com 65 meses.

De acordo com Nutto *et al.* (2003) espécies do gênero *Eucalyptus* não possuem uma desrama natural satisfatória, havendo a necessidade de realizar a poda, sendo necessário as árvores alcançarem um diâmetro próximo a 60-70 cm para uma maior produção de madeira limpa, isenta de nós.

Apesar da poda ser uma prática complexa e onerosa, contribui para agregar valor à madeira e ao produto final, sem perder a produtividade do povoamento florestal, proporcionando a redução do núcleo nodoso, conseqüentemente, eleva a quantidade de madeira limpa, visto que é de grande interesse para a produção de madeira serrada.



Ao aplicar tal atividade, no entanto, há a necessidade de um planejamento das atividades silviculturais, avaliando os aspectos econômicos para a tomada de decisões, analisar os ganhos finais e investimentos necessários.

A Figura 2.15 evidencia o comportamento das espécies avaliadas que passaram pelo processo de intervenção da poda, o que proporciona uma maximização da qualidade da madeira, limitando a presença dos nós, apenas, a zona central do tronco, onde a madeira ainda é juvenil com propriedades inferiores, quando comparada ao lenho adulto, assim, há uma tendência ao maior uso e aproveitamento da madeira com características superiores.

*Eucalyptus dunnii*



*Eucalyptus grandis*



*Eucalyptus saligna*



FIGURA 2.15 – CORTE LONGITUDINAL NAS SEÇÕES DO TRONCO DAS ÁRVORES DE DIFERENTES ESPÉCIES DE *Eucalyptus*, COM A OCLUSÃO DO NÓ  
 FONTE: O autor (2014)

É nítida a tendência de uma maior produção de madeira limpa, limitando a região do núcleo nodoso, proporcionando um maior rendimento da produção de madeira sólida, uniformização da madeira serrada livre de defeitos e maior agregação do valor da matéria prima, bem como do produto final. Isso, também, contribuirá para a redução do descarte da matéria prima, dos custos de processamento, e, resulta em preços mais elevados pago ao produtor (MONTAGU *et al.* 2003).

As práticas silviculturais necessárias para maximizar a produção de madeira dependerão, também, da espécie, de sua susceptibilidade às doenças, e das taxas de crescimento e da qualidade do sítio. O desenvolvimento de ações que promovam uma desrama natural, também, deve ser consideradas. Dentre estas ações, está o melhoramento genético que aliados a técnicas de poda, tende a proporcionar madeira uma qualidade superior. Favorece a seleção de material com características desejáveis, que contribuem para a produção de madeira sólida, livre de defeitos e maior valor agregado.

A existência de um mercado para madeira de qualidade, equipamentos necessários, técnicas de poda e mão de obra disponível para o trabalho correto, e conhecimento fisiológico das plantas são alguns fatores de suma importância para a aplicação de um sistema de poda eficiente.

Segundo Gerrand *et al.* (1997), para a produção de 90% do volume de madeira limpa é preciso um diâmetro central, no momento da colheita de 50 cm e um diâmetro do núcleo nodoso inferior a 15 cm. No presente trabalho, observa-se que o diâmetro do núcleo nodoso apresentou valores inferior a 15 cm, evidenciando a poda como satisfatória.

As árvores, quando podadas tendem a reduzir o núcleo nodoso, principalmente em toras com maiores diâmetro, porque proporcionam maior área de madeira limpa, livre de defeito, resultando em melhor aproveitamento da madeira serrada. As informações adquiridas quanto à qualidade e cicatrização da poda supõem um melhor emprego da matéria prima para a produção de produtos sólidos. É necessário uma elaboração do regime de poda, antes da sua execução, em função das características do povoamento florestal.

Sugere-se, também, a elaboração e simulação de modelos de corte de acordo com as características da indústria e com as adequações às peça, verificando a eficiência do rendimento de madeira serrada das toras que passaram pelo processo

de poda e a sua classificação na serrarias. Essas atividades contribuirão para as tomadas de decisão e planejamento. Vale ressaltar que, na prática, problemas inerentes à matéria-prima, equipamentos, operacionalidade podem ocorrer, proporcionando erros que poderão distorcer do aproveitamento final esperado.

A atividade de poda deve ser considerada uma operação integrante com outras práticas silviculturais. O desenvolvimento de modelos de crescimento que incorporam a poda em diferentes intensidades, juntamente com outras atividades silviculturais, como o desbaste, oferecendo diferentes regimes silviculturais e avaliação econômica da poda, devem ser estabelecidos, buscando novas informações que agreguem as constatações feitas neste estudo, para a geração de produtos sólidos de qualidade.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos da influência da poda sobre a qualidade da madeira para as espécies de *Eucalyptus*, no presente estudo, permitem as seguintes conclusões:

➤ O *E. dunnii*, foi o que apresentou a melhor resposta ao sistema de poda, resultando em menor núcleo nodoso e a maior projeção de produção de madeira limpa quando estimada para os diâmetros de corte pretendido.

➤ O menor diâmetro do nó proporcionou um menor período de cicatrização dos ferimentos, menor extensão da oclusão do galho, maior extensão da madeira limpa, assim, deve-se priorizar a poda enquanto os galhos ainda são jovens com um menor diâmetro;

➤ Espera-se que a atividade de poda, quando eficiente contribua para uma maior proporção da extensão da madeira limpa, livre de nós, visto que a presença de nós é limitada à zona central do fuste da árvore quando podada;

## 7. RECOMENDAÇÕES

Outros estudos que envolvam a importância do regime de poda nos povoamentos florestais para espécies de *Eucalyptus* são recomendados:

- Avaliar a intensidade da poda associada aos fatores ambientais, sistema fisiológico das árvores, características dendrométricas e outras práticas silviculturais;
- Elaborar modelos de desdobro da madeira em simuladores específico, verificando o rendimento da madeira serrada que foi podada;
- Estudar a eficiência de seleção e adaptação de equipamentos utilizado para podar, verificando as viabilidades ergonômicas e econômicas;
- Verificar a prognose da compensação do investimento da atividade de poda em relação ao valor que pode ser agregado a madeira serrada.

## 8 REFERÊNCIAS

ALCANTARA, D. S. **Uso de técnicas óticas na avaliação do alinhamento das fibras da madeira sob esforço de flexão estática**. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ALMEIDA, M.L. **Desrama artificial em clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* com diferentes arquiteturas de copa**. 2003. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ASSIS, T.F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* sp. para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa, **Anais...**, Viçosa: SIF. 1999. p.61-65.

BALDWIN JR., V. C.; PETERSON, K. D.; CLARK, A.; FERGUSON, R. B.; MIKE R STRUBE, M. R.; BOWEN, D. R. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly Pine. **Forest Ecology and Management**, v. 137, n. 1-3, p. 91-102, 2000.

BEADLE, C. L.; BARRY, K.; HARDIYANTOD, E.; IRIANTO, R.; JUNARTO; MOHAMMEDA, C.; RIMBAWANTOG, A. Effect of pruning *Acacia mangium* on growth, form and heart rot. **Forest Ecology and Management**, v. 238, n. 3, p. 261-267, 2007.

BEIG, O. Manejo de florestas de *Eucalyptus* sp, visando a produção de madeira para serraria na Eucatex Ltda. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE FLORESTAS PLANTADAS, 1991, Esteio. **Anais...** Esteio: 1991. p. 17-33.

BREDENKAMP, B. V.; MALAN, F. S.; CONRADIE, W. E. Some effects of pruning on growth and timber quality of *Eucalyptus grandis* in Zululand. **South African Forestry Journal**, v. 114, p. 29-34, 1980.

BRIGGS, D. Modelling crown development and wood quality. **Journal of Forestry** v. 94, p. 24-25, 1996.

CARPINELLI, S.M. **Rendimento no desdobro e produtividade em madeira serrada de uma floresta de *Eucalyptus grandis***. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COUTO, H.T.Z. Manejo de florestas e suas utilizações em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995, p. 20-30.

CRECHI, E. H.; FRIEDL, R. A.; FERNÁNDEZ, R. A.; FAHLER, J.C. **Efectos de la intensidad de raleo en *Pinus taeda* L. sobre el crecimiento y la producción en el noroeste de Misiones.** Informe técnico 35, INTA EEA , 2001.16 p.

DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste.** 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Árvore**, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

ENGLERTH, G.H. **Framework of qualitative relationships in wood utilization.** Madison: Forest Products Laboratory, 1966. 18p.

EVANS, J.L.W. **Plantation forestry in the tropics.** New York: Oxford Science Publications, 1992. 403 p.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.

FERREIRA, F.A. **Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570p.

FERREIRA, F.A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil.** Mogi Guaçu: International Paper, 2002. 98p.

FERREIRA REIS, M.G. Artificial pruning planning for clonal *Eucalyptus* forest based on crown architecture. In: IUFRO CONFERENCE “EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD”, 2004, Aveiro. **Proceedings...** Aveiro: IUFRO, 2004, p. 1-4. CD-ROM.

FIELDING, J. M. Pruning *Pinus taeda* in Australia with particular reference to the wood produced. In: MEETING OF SECTION 41; FOREST PRODUCTS. WORKING GROUP OF WOOD AND TREE CHEMISTRY, 1965, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: IUFRO. 1965, v. 2, p. 1-8.

FINGER, C.A.G.; SCHEIDER, P.R.; BAZZO, J.L.; KLEIN, J.E.M.K. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 53-64, 2001.

FLORIANO, E. P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** 93 f Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2004.

FONSECA, S.M. Implicações técnicas e econômicas na utilização da desrama artificial. **Circular Técnica IPEF**, n. 46, p.1-22, 1979.

FRANÇA, F.S. **Sistema de manejo florestal e tecnologia da madeira de *E. grandis* África do Sul Especial.** São Paulo: Relatório, Duratex S.A, 1991, 6p.

GALVÃO, P. M. Aspectos fundamentais do uso e da comercialização da madeira de pinus no Brasil. In: SIMPÓSIO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL – TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. p. 30-39.

GARRETÓN, A. S.; HELMKE, E.; RIVAS, E. G. **Manejo y mantencion de plantaciones forestales *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp.** Enero: LOM Ediciones, 2002, 56p.

GARTNER, B.L. Assessing wood characteristics and wood quality in intensively managed plantations. **Journal of Forestry**, v. 103, p. 75–77, 2005.

GERRAND, A. M.; NEILSEN, W. A.; MEDHURST, J. L. Thinning and pruning eucalypt plantations for sawlog production in Tasmania. **Tasforests**, n. 9, p.15-34, 1997.

GLASS, B.P.; MCKENZIE, H. Decay distribution in relation to pruning and growth stress in plantation-grown *Eucalyptus regnans* in New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 19, n. 2-3, p. 210-222, 1989.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J-P.; SMETHURST, P.; GAVA, J. L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, n. 193, p. 45 - 61, 2004

HARD, J. Success of spruce beetle attacks in pruned and unpruned boles of Lutz spruce in south-central Alaska. **Forest Ecology and Management**, v. 47, p. 51-70, 1992.

HAWLEY, R.C.; SMITH, D.M. **Silvicultura práctica.** Barcelona: Omega, 1972. 544p.

HEIN S. Knot attributes and occlusion of naturally pruned branches of *Fagus sylvatica*. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 2046–2057, 2008.

HEIN, S.; SPIECKER, H. Comparative analysis of occluded branch characteristics for *Fraxinus excelsior* and *Acer pseudoplatanus* with natural and artificial pruning. **Canadian Journal of Forest Science**, v. 37, p. 1414–1426, 2007.

HENSKENS, F.L., BATTAGLIA, C.L., CHERRY, M.L., BEADLE, C.L. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. **Trees: Structure and Functions**, v. 15, n. 6, p. 365-377, 2001.

HOPPE, J. M.; FREDDO, A. R. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus ellioti* Engelm, no município de Piratini, RS. **Ciência Florestal**, v.13, n. 2, 2003.

JOHANSSON, C.J. Grading of timber with respect to mechanical properties. In: THELANDERSSON, S.; LARSEN H.J. (Ed.). **Timber engineering.** Wiley: Chichester, 2003. P. 23–43.

JOHANSSON, C-J.; BOSTRO, M. L.; BRAUNER, L.; HOFFMEYER, P.; HOLMQVIST, C.; SOLLI, K.H. **Laminations for glued laminated timber—establishment of**



**strength classes for visual strength grades and machine settings for glulam laminations of Nordic origin.** São Paulo: Swedish National Testing and Research Institute, SP REPORT, v. 38, 1998.

KNIGGE, W.; SCHULTZ, H. **Growndise der Forestbenutzung.** Hamburg and Berlin: Varlang, Paul Parey, 1966. 584p.

KÖNIG, C. **Optimizing the production of high value timber in fast growing Eucalyptus plantations in Brazil (Aracruz Celulose S.A.) – Efficiency and economic Impact of pruning.** 116 f. Tese (doutorado) - Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs, Universität Freiburg, Freiburg, 2005.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants.** San Diego: Academic Press, 1997. v. 2. 411p.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of trees.** New York: MacGraw-Hill, 1960. 642p.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do *Pínus* no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 156 p

KURTZ, V. D.; FERRUCHI, R. La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad. In: XV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 2000, Concordia. **Informe Técnico Nº...** Concordia: Centro Regional Misiones, Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo, 2000. p. B2-1:B2-23. Disponível em: <<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210701.pdf>>. Acesso em: 12/08/2014.

KURTZ, V. D.; FERRUCCHI, M. R. **Poda florestal.** Cartilla Técnica Nº 2. INTA. 2004. 16 p.

LADRACH, W.E. Control of wood properties in plantations. In: IUFRO WORLD CONGRESS 18, 1986, Ljubljana. **Proceedings...** Ljubljana: 1986, p. 369-379.

LARSON, P. R. A biological approach to wood quality. **Tappi**, v. 6, n. 45, p. 443-448, 1962.

LARSON, P.R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST AND TREE IMPROVEMENT, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings...** Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines - a synopsis.** US Forest Products Laboratory. General Technical Report, FPL-GTR-129, Madison, 2001.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. F. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de Eucalyptus sp. submetidos a desbaste. **Árvore**, v.29, n.2, p.271-280, 2005.

LEGGATE, W.; PALMER, G.; MCGAVIN, R.; MUNERI, A. Productivity, sawn recovery and potential rates of return from eucalypt plantations in Queensland. In: THE

FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceeding...** Launceston, International Union of Forest Research Organizations Conference, 2000.

LIU, Q.; CHEN, SX; LI, Z.H.; ARNOLD, R.J. Growth response and wound occlusion in pruned *Corymbia torelliana*. **Journal of Tropical Forest Science** v. 24, n. 2, p.187-197, 2012.

MAESTRI, R.; SATORI, R.C.; MATTOS, J.L.M.; NUTTO, L. Wood properties of fast grown plantation eucalypts in Brazil for high value timber production. In: IUFRO CONFERENCE "THE ECONOMICS AND MANAGEMENT OF HIGH PRODUCTIVITY PLANTATION", 2004, Lugo, Spain. **Proceedings...** Lugo: University of Santiago de Compostela, 2004.p. 1-15. CD-ROM

MÄKINEN H. Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 29, p. 585–594, 1999.

MOBERG, L. Variation in knot size of *Pinus sylvestris* in two initial spacing trials. **Silva Fennica**, v. 33, n. 2, p. 131-144, 1999.

MOHAMMED C.; BARRY K.; BATTAG. M.; BEAD C.; EYLES, A.; AOLLON, A.; PINKARD, E. Pruning-associated stem defects in plantation *E. nitens* and *E. globulus* grown for sawlog and veneer in Tasmania, Australia. IN: IUFRO CONFERENCE, THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000. p. 357-364.

MONTAGNA, R. G.; FERNANDES, P. de S.; ROCHA, F. T.; FLORESTEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. do. Influência da desrama artificial sobre o crescimento e a densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var.elliottii. **Série Técnica IPEF**, v. 9, n. 27, p. 35-46, 1993.

MONTAGNA, R.G.; GUIANNOTTI, E.; KRONKA, F.J.N. Influência da desrama artificial sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus elliottii*. **Silvicultura**, n. 10, p. 89-100, 1976.

MONTAGU, K.D., KEAMEY, D.E.; SMITH, R.G.B. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production – a review. **Forest Ecology and Management**, n.179, p.1-13, 2003.

NEILSEN, W.A.; GERRAND, A.M. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacings and the effect on final crop selection. **Forest Ecology and Management**, v. 123, p. 217-229, 1999.

NOLAN, G.; WASHUSEN, R.; JENNINGS, F.; GREAVES, B.; PARSONS, M. **Eucalypt plantation for solid wood products in Australia - a review**. Melbourne: Forest and Wood Products Research and Development, 2005.130p.

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processamento de toras de madeira**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

NUNES, L; CRUZ, H. **A madeira como material de construção**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, 2007.

NUTTO, L.; MAESTRI, P. Growth rate and growth stresses in Brazilian eucalypts: preliminary results of growth and quality modeling on an individual tree basis. In: 4TH WORKSHOP "CONNECTION BETWEEN SILVICULTURE AND WOOD QUALITY THROUGH MODELLING APPROACHES AND SIMULATION SOFTWARE", 2002. Nancy. **Proceedings...** Nancy: INRA-ENGREF, 2002, p. 219-230.

Nutto L.; Malinovski R. A.; Brunsmeier M.; Schumacher Sant'Anna F. Ergonomic aspects and productivity of different pruning tools for a first pruning lift of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Silva Fennica**, v. 47, n. 4, p 1-14, 2013.

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze. **Floresta**, v. 33, n. 3, p. 295-309, 2003.

NUTTO, L.; SPATHELF, P.; SELING, I. Management of individual tree diameter growth and implications for pruning for Brazilian *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Floresta**, v. 36, n. 3, 2006.

NUTTO, L.; TOUZA VÁZQUEZ, M.C.; DELGADO, J. L. Producción de madera de calidad de eucalipto. La poda - conocimientos fundamentales y técnicas. **Revista Cismadera, Ciencia y Tecnología**, v. 11, p. 35-45, 2003.

NUTTO, L.; TOUZA VÁZQUEZ, M. C. High Quality Eucalypt Sawlog Production. In: IUFRO CONFERENCE "EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD", 2004, Aveiro, Portugal. **Proceedings...** Aveiro, 2004. p. 658 - 666.

OLIVEIRA, J. T. S. Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. 429 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J.T.S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: Workshop sobre técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto, 1999, Viçosa. **Anais...**Viçosa: SIF. 1999. p.47-50.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: 1980. 722p

PEREIRA, J.C.D.; AHRENS, S. Efeito da desrama sobre a espessura e densidade da madeira dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisas Florestais**, n. 46, p. 47-56, 2003.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 49, p. 61-81, 2004.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A.C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 217-225, 2013.

PERRY, E.; HICKMAN, G. Wound closure in *Eucalyptus*. **Journal of Arboriculture**, v. 13, n. 8, p. 201-202, 1987.

PINKARD, E. A.; BEADLE, C. L. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. **New Forests**, v. 15, p. 107-126, 1998.

PINKARD, E. A.; BATTAGLIA, M.; BEADLE, C. L.; SANS, P. J. Modelling the effect of physiological responses to green pruning on net biomass production of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. **Tree Physiology**, v. 19, p. 1-12. 1999.

PINKARD, E. A. Effects of pattern and severity of pruning on growth and branch development of pre-canopy closure *Eucalyptus nitens*. **Forest Ecology and Management**, v. 157, p. 127-230, 2002.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, p. 215-227, 2003.

PIRES, B.M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria e fabricação de móveis**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PIRES, B. M.; FERREIRA REIS, M. G.; REIS, G. G. Crescimento de *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes intensidades de desrama artificial na região de Dionísio, MG. **Brasil Florestal**, v. 21, n. 73, p. 14-22, 2002

POLLI, H. Q. **Crescimento e qualidade da madeira para serraria em clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetido à desrama artificial**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

POLLI, H. Q.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; VITAL, B. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; FONTAN, I. C. I. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. HILL EX MAIDEN submetido a desrama artificial. **Árvore**, v. 30, n. 4, p. 557-566, 2006.

PONCE, R. M. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. **Silvicultura**, São Paulo, p. 9-13, 1984.

PUEHRINGER, C. A. **Uso de emissão de ondas de tensão para avaliação não destrutiva de árvores e da madeira de *Pinus taeda* L.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PULROLNIK, K.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F. **Desrama artificial de florestas plantadas de eucalipto**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009, 32p.

PULROLNIK, K. Crescimento, dinâmica de copa e qualidade da madeira para serraria de clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetido à desrama artificial. 2002. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PULROLNIK, K.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MONTE, M. A.; FONTAN, I. C. I. Crescimento de plantas de clone de *Eucalyptus grandis* [Hill Ex Maiden] submetidas a diferentes tratamentos de desrama artificial, na região de cerrado. **Árvore**, n. 4, p. 495-505, 2005.

QUOIRIN, N. S. R. **Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios x**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

REID, R. The Principles and Practice of Pruning. **AFG Special Liftout**, v. 25, p. 1-12, 2002.

REIS, G.G. Wound closure in pruned *Eucalyptus grandis* trees. In: IUFRO CONFERENCE “EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD”, 2004, Aveiro. **Proceedings...** Aveiro: IUFRO, 2004, p. 1-2. CD-ROM.

SAHLBERG, U. Influence of knot fibers on TMP properties. **Tappi Journal**, v. 78, n. 5, p. 162-168, 1995.

SCHONAU, A.P.G.; COETZEE, J. Initial Spacings, Stand Density and Thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v.29, p. 245-66, 1989.

SCHWARZE, W.M.R.; ENGELS, J.; MATTHECK, C. **Fungal strategies of wood decay in trees**. Berlin: Springer-Verlag, 2000.185p

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm. implantado em solo pobre, no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Ciência Florestal*, v. 9, n. 1, p. 35-46, 1999.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal**. Lavras: FAPE, 1997. 433p.

SEITZ, R. A. **Manual de podas de espécies arbóreas florestais**. Curitiba: FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, 1995, 55p.

SEITZ, R. A. Critérios para a seleção de um regime de podas de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil. 77 f. Tese (Professor titular) -Setor de Ciências Agrárias, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SELLA, R. L. Técnicas silviculturais e de exploração para a obtenção de madeira de qualidade para a laminação e serraria. In SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF. 2001, p. 19-24.

SEITZ, A. S. **Manual de Podas de Espécies Florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995, 56p.

SILVA, J. C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002

SIMÕES, J. W. **Reflorestamento e manejo de florestas implantadas**. Piracicaba: Documentos Florestais IPEF/ESALQ/USP, n.4, 1989, 17p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap4.pdf>.> Acesso em: 13/08/2014.

SIXEL, R. M. M.; GOMEZ, F. M. Produção de florestas com qualidade: técnicas de **plantio**. **Série Técnica, IPEF**, 2008, 28p. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>. Acesso em: 13/08/2014.

SMITH, D.M. **The practice of silviculture**. New York: John Wiley & Sons, 1962. 578p.

SMITH, R.G.B., KEARNEY, D.E., MONTAGU, K.D. **Growth and branch occlusion after pruning in four sub-tropical eucalypts**. Cairns: Australian Forest Growers Association, 2000.

SMITH, R. G. B.; DINGLE, J.; KEARNEY, D.; MONTAGU, K. Branch occlusion after pruning in four contrasting sub-tropical eucalypt species. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 2, p. 117-123, 2006.

SOUZA, A.N. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp em sistemas agroflorestais**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

SPELTZ, G.E.; DISSMANN, W. Aspectos econômicos da desrama artificial em pinus tropicais. In: 3º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. Curitiba. **Anais...** Curitiba, v.2, 1980, p.311-314.

SPELTZ, R. **Avaliação econômica integrada de regimes de manejo em *Pinus taeda* L. direcionados a múltiplos produtos da madeira**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2000.

STACKPOLE, D. Eucalypt stem pruning. **Agriculture Notes**, Box Hill, n. 773, p.1-2, 2001.

STANALKER, J. J.; HARRIS, E. C. **Structural design in wood**. New York: Chapman and Hall, 1989. 426p.

TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B. A. Desrama, crescimento e predisposição à podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 7, p.1077-1082, 2006.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material: source, structure, chemical composition, grow, degradation and Identification**. New York: Pergamon Press. 1968. 276p.

VALE, R. S.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORI, F. A.; MORAIS, A. R. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Árvore**, v. 26, n. 3, p. 285-297, 2002.

VEIGA, A. A. **Curso Intensivo de Silvicultura**. São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, n. 26, 1985.

WARDLAW, T.J.; NEILSEN, W.A. Decay and other defects associated with pruned branches of *Eucalyptus nitens*. **Tasforests**, v.11, p. 49-57, 1999.

WASHUSEN, R.; WAUGH, G.; HUDSON, I.; VINDEN, P. Appearance product potential of plantation hardwoods from medium rainfall areas of the southern Murray-Darling Basin. Green product recovery. **Australian Forestry**, v. 63, p. 66-71, 2000.

WASHUSEN, R. Processing conventional appearance products from plantation-grown *E. globulus* and *E. nitens* in existing hardwood mills. **CSIRO Forestry and Forest Products**, p. 1-4, 2004.

WISEMAN, D., SMETHURST, P., PINKARD, L., WARDLAW, T., BEADIE, C., HALL, M., BAILLIE, C., MOHAMMED, C. Pruning and fertiliser effects on branch size and decay in two *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 225, p. 123-133, 2006.

WHITESIDE, I. D.; WILCOX, M. D.; TUSTIN, J. R. New Zealand Douglas-fir timber quality in relation to silviculture. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 22, p. 24-45, 1977.

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International, Piracicaba**, v. 2, p. 31-38, 1992.