

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**TESE**

**Propriedades e Comportamento Tecnológico da  
Madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-  
Maiden Visando a sua Utilização em Produtos  
de Maior Valor Agregado**

**Gilmara Pires de Moura Palermo**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**PROPRIEDADES E COMPORTAMENTO TECNOLÓGICO DA  
MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W. HILL EX-MAIDEN VISANDO A  
SUA UTILIZAÇÃO EM PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO**

**GILMARA PIRES DE MOURA PALERMO**

*Sob a Orientação do Professor Dr.*  
**João Vicente de Figueiredo Latorraca**

*e Co-orientação dos Professores Dr.*  
**Rosilei Aparecida Garcia**  
**Alexandre Monteiro de Carvalho**

Tese submetida como requisito parcial  
para obtenção do grau de **Doutor**, no  
Programa de Pós-graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais, Área  
de concentração em Tecnologia e  
Utilização de Produtos Florestais

Seropédica, RJ  
Maio 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**GILMARA PIRES DE MOURA PALERMO**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

TESE APROVADA EM: 28/05/2010

João Vicente de Figueiredo Latorraca. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

Elias Taylor Durgante Severo. Prof. Dr. UNESP / Botucatu

José Tarcísio da Silva Oliveira. Prof. Dr. UFES

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ

Acacio Geraldo Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ

A você que deixou seus sonhos para que eu sonhasse.  
Derramou lágrimas para que eu fosse feliz.  
Acreditou em mim, apesar dos meus erros.  
A você símbolo do amor, pois deu sua vida em favor da minha.  
Jamais esqueça que eu levarei para sempre  
um pedaço do seu ser dentro do meu próprio ser

### Ofereço

Ao meu esposo Luiz Felício Palermo que durante esses anos esteve ao meu lado e não mediu esforços para ver este trabalho concretizado.

Ao meu filho Mateus de Moura Palermo, presente de Deus e motivação do meu viver.

Aos meus familiares pelo amor, carinho, incentivo e exemplos de vida. Em especial a minha mãe Zilda da Penha Pires de Moura e minha irmã Sunamita de Moura Oliveira, que me ensinou a confiar em Deus e prosseguir nos momentos de adversidades.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela direção, sustento e cumprimento de sua palavra em minha vida.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) que esteve sempre presente em minha caminhada na busca e aquisição do conhecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca, pelo cuidado durante a orientação, permitindo que o projeto fosse executado de maneira coerente. Pela confiança, amizade, incentivo e companheirismo dedicado a mim durante todos esses anos de convívio.

Ao Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho pela amizade, incentivos e valiosas sugestões prestadas na qualidade de co-orientador que muito contribuiu para o desenvolvimento do trabalho de usinagem da madeira.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Rosilei Aparecida Garcia que através de sua experiência profissional pôde contribuir de maneira significativa para a realização do tratamento térmico da madeira.

A QUINVALE pelo fornecimento do material para o estudo.

À serraria LPZ - Artefatos de Madeira e Serviços Ltda que propiciou o desdobro da madeira.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Silvia Regina Góí pelo empréstimo da objetiva de 4(x) que permitiram capturar e mensurar os elementos celulares da madeira.

Ao Professor Heber dos Santos Abreu que ao permitir o uso do microscópico óptico localizado em seu laboratório, contribuiu para que os elementos celulares da madeira fossem capturados e mensurados com maior rapidez e eficiência.

Ao Professor Dr. Mário Tomazello Filho pelos ensinamentos, orientações e em especial pela utilização dos equipamentos instalados em seu laboratório que possibilitaram a determinação da densidade da madeira.

A Professora Dr<sup>a</sup>. Adriana Nolasco e ao Dr. Luiz Fernando de Moura pelos ensinamentos e apoio na execução das atividades de determinação da rugosidade da madeira.

Ao marceneiro Sebastião Ferreira Lima pela confecção dos corpos-de-prova utilizados neste estudo e execução das operações de usinagem da madeira.

Ao secretário Frauzo Coelho Mendes (DPF/IF) e as secretárias Lenice Gomes Ribeiro Almeida da Silva (PGCAF/RJ) e Solange (PGCAF/RJ) pela amizade e incansável apoio administrativo.

Aos auxiliares de serviços gerais: Marina de Brito Lourenço e José Carlos Ferreira Batista pela amizade, confiança, gentileza e companheirismo.

À equipe de campo composta por Alexandro Soares Verneq, Zenon Eneias de Paula, Dinaldo Pereira Eugênio e Daniel de Almeida Gomes pelo auxílio prestado durante a coleta do material no campo.

A todos os professores do Instituto de Florestas (IF) que participaram do meu processo de aprendizagem durante esse período. Ao Professor Alfredo Victor Bellido Berned da Pós-graduação em Geoquímica (UFF) pelos valiosos ensinamentos sobre estatística multivariada. Pela paciência, auxílio e tempo dispensado na interpretação dos dados.

Às bolsistas da FAPERJ, Beatriz Garcia Duarte, Ana Carolina de Carvalho Ribeiro, Karina Fernandes Rosa da Costa e Mayara Ramos Cristino inclusas no projeto “Jovens Talentos” que auxiliaram na preparação das lâminas histológicas e de macerado, bem como, na aquisição das imagens para mensurações dos elementos celulares utilizados nos estudos anatômicos da madeira.

As amigas do Laboratório de Anatomia e Qualidade da madeira Bruna Roque Ugulino de Oliveira, Milena Scaramussa Pastro, Letícia Maria A. Ramos, Milene Teixeira de Souza e Dandara Maria Real Silva, pela amizade e companheirismo, pois tornaram a jornada de trabalho mais leve e descontraída.

Aos alunos de graduação Ângelo, Felipe, Marcio, Gabriel, Talita e Tatiane que auxiliaram na coleta dos dados referente ao processamento e secagem da madeira.

À minha sogra Ariadne Vaz Palermo, Cauby Monteiro Crespo e Viviane Vaz Crespo pela hospitalidade. À Diva Mamede Vaz pelo carinho e ensinamentos que me capacitaram cuidar do meu lar de maneira eficiente. Ao José de Souza Vaz que abdicando do seu bem estar, me ensinou que o mais importante na vida é o respeito, carinho e amor ao próximo.

Ao vizinho Adilson de Oliveira Gribel pelos saborosos pratos preparados, que fizeram dos domingos momentos de descontração e lazer.

As minhas assistentes do lar Márcia Cristina e Andréia Felícia dos Santos pelas ajudas domiciliares, pois sempre com muito carinho e dedicação cuidaram para que meus esforços fossem apenas focados na concretização deste trabalho. Para mim vocês se tornaram integrantes do lar, pois contribuíram para a educação do Mateus, nos momentos de minha ausência.

Aos colegas da pós-graduação, em especial a Regina Paula Willemen Pereira, Beatriz Betika e Henrique Trevisan e todos que fiz no decorrer deste trabalho.

Aos amigos e irmãos em Cristo que sempre estiveram comigo em oração pedindo a Deus, o sustento, a saúde e a direção durante a execução deste trabalho.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para que este estudo se tornasse realidade.

## RESUMO GERAL

PALERMO, Gilmara Pires de Moura. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-maiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado.** 2010. 237p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando sua utilização em produtos de maior valor agregado (PMVA). Para isso, seis árvores, com vinte três anos de idade, provenientes de plantios comerciais pertencentes à empresa QUINVALE Florestal Ltda foram abatidas. De cada árvore foram retiradas, a partir do DAP, três toras com 2,40 m de comprimento. Essas toras foram encaminhadas para a serraria LPZ – Artefatos de Madeira e Serviços Ltda, localizada em Piraí-RJ, para retirada dos anelamentos que foram feitos em seus topos, bem como, para sua medição e desdobro. Após a retirada dos anelamentos, os topos das toras foram pintados com três diferentes cores para definir regiões distintas: uma central (C), uma intermediária (I) e uma externa (E). Em seguida, as toras foram desdobradas em tábuas com o auxílio de uma serra de fita simples e essas tábuas foram utilizadas para caracterização dendrométrica, tecnológica e de usinagem da madeira. Para obtenção dos discos utilizados nos estudos anatômicos e de densidade, as seções circulares de aproximadamente 20,0 cm, pertencente a região do anelamento foi transformada em dois discos de 10,0 cm de espessura, sendo um utilizado na caracterização anatômica e o outro na determinação da densidade da madeira pela técnica de densitometria de raios-X. A metodologia e os resultados obtidos durante essa caracterização encontram-se abordados dentro de cada capítulo. O capítulo I envolve os estudos referentes ao processamento e secagem da madeira. O capítulo II envolve os estudos das propriedades anatômicas e físicas da madeira. O capítulo III envolve os estudos sobre o efeito do tratamento térmico sobre perda de massa, propriedades de densidade e dureza Janka. O capítulo IV envolve a avaliação qualitativa e quantitativa da superfície da madeira usinada.

**Palavras-chaves:** propriedades da madeira, termorreificação, usinagem da madeira, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

PALERMO, Gilmara Pires de Moura. **Properties and technological behavior of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood for use PMVA.** 2010. 237p. Thesis (Doctor in Environmental and Forestry Science). Instituto de Florestas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

The objective of this study was to characterize the wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden for use PMVA. Therefore, six trees, with twenty three years-old, from commercial plantations of the company were killed QUINVALE Florestal Ltda were killed. From each tree, were removed three logs of 2.40 m length from DBH. These logs were sent to the LPZ - Wooden Artifacts & Services Ltda. sawmill, situated in Piraí-RJ, to remove the girdling made at their tops, and for their measurement and processing. After removing the girdling, the tops of the logs were painted with three different colors to define three distinct regions: central (C), intermediate (I) and external (E). Then, the logs were processed into boards by using of a simple band saw and they were used for wood dendrometrical, technological and machining characterization. To obtain the disks used for anatomical and density studies, the circular sections of about 20.0 cm from girdling region were cut into two discs of 10.0 cm thickness, with one disk used for anatomical characterization and the other for the wood density determination by X-ray densitometry technique. The methodology and results obtained during this characterization are presented within each chapter. Chapter I presents the study about wood drying and processing. Chapter II presents the study about anatomical and physical properties of wood. Chapter III presents the study about the effects of heat treatment on weight loss, density and hardness properties. Chapter IV presents the qualitative and quantitative evaluation of wood surface following machining.

**Key words:** wood properties, heat treatment, wood machining, *Eucalyptus grandis*.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Utilização da Madeira de Eucalipto.....	3
2.2 Características Dendrométricas e Tecnológicas que Influenciam na Qualidade da Madeira de Eucalipto.....	5
2.2.1 Qualidade das toras.....	5
2.2.2 Tensão de Crescimento.....	7
2.2.3 Sistema de Desdobro .....	8
2.2.4 Defeitos naturais ou ocasionados pelo desdobro e secagem .....	11
2.4 Propriedades Anatômicas .....	16
2.4.1 Variação radial dos caracteres anatômicos .....	17
2.4.2 Madeira juvenil e adulta .....	18
2.5 Propriedades Físicas .....	20
2.5.1 Determinação da densidade por densitometria de raios-X.....	23
2.6 Operações de Usinagem da Madeira .....	23
2.6.1 Cortes na madeira .....	26
2.6.2 Qualidade da superfície .....	29
2.7 Tratamento Térmico da Madeira .....	35
2.7.1 Efeito do tratamento térmico nas propriedades da madeira .....	38
2.8 Estatística Multivariada .....	41
2.8.1 Análise de agrupamento .....	42
2.8.2 Análise de componentes principais .....	46
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>51</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>52</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>56</b>
2.1 Material e Coleta dos Dados.....	56
2.2 Desdobro.....	58
2.3 Avaliação das Tensões de Crescimento.....	59
2.4 Secagem.....	60
2.5 Avaliação de Defeitos da Madeira Após a Secagem em Estufa.....	61
2.5.1 Índice de rachaduras .....	61
2.5.2 Contração volumétrica aparente .....	61
2.5.3 Empenamentos .....	61
2.5.4 Outros defeitos.....	63
2.6 Análise Estatística .....	64
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
3.1 Características Dendrométricas .....	66
3.1.1 Análise de agrupamento .....	67
3.1.2 Análise das componentes principais.....	68
3.2 Avaliação dos Defeitos após a Secagem da Madeira .....	73
3.2.1 Análise de agrupamento .....	74
3.2.2 Análise das componentes principais.....	80
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>

<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>92</b>
RESUMO .....	93
ABSTRACT .....	94
1 INTRODUÇÃO.....	95
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	97
2.1 Amostragem .....	97
2.2 Propriedades Anatômicas .....	97
2.2.1 Preparo das Amostras para Mensuração dos Elementos Anatômicos.....	97
2.2.2 Preparação de cortes histológicos e confecção de lâminas.....	97
2.2.3 Preparação de macerado e confecção de lâminas.....	98
2.2.4 Determinação da Variação dos Caracteres Anatômicos.....	99
2.3 Propriedades Físicas .....	100
2.3.1 Preparo da amostra para determinação da densidade .....	100
2.3.2 Obtenção dos filmes radiográficos .....	101
2.3.3 Análise dos filmes radiográficos .....	102
2.3.4 Variação radial e longitudinal da densidade.....	103
2.4 Determinação da Idade de Transição Entre o Lenho juvenil e adulto .....	103
2.5 Análises Estatísticas .....	103
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	104
3.1 Propriedades Anatômicas .....	104
3.1.1 Caracterização anatômica.....	104
3.1.2 Dimensão dos caracteres anatômicos .....	105
3.1.3 Variação radial do comprimento das fibras.....	106
3.1.4 Variação radial do diâmetro externo e interno das fibras.....	107
3.1.5 Variação radial da espessura da parede das fibras.....	109
3.1.6 Variação radial da fração parede e índice de esbeltez .....	109
3.1.7 Variação radial do comprimento e diâmetro tangencial dos vasos .....	111
3.1.8 Porcentagem dos elementos anatômicos .....	112
3.2 Densidade da Madeira .....	114
3.2.1 Variação Radial da Densidade.....	115
3.2.2 Variação Longitudinal da Densidade .....	117
3.2.3 Idade de transição entre o lenho juvenil e adulto .....	117
4 CONCLUSÕES .....	121
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>122</b>
RESUMO .....	123
ABSTRACT .....	124
1 INTRODUÇÃO.....	125
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	128
2.1 Amostragem .....	128
2.2 Tratamento de Termorretificação da Madeira .....	128
2.3 Determinação da Perda de Massa.....	130
2.4 Determinação da Densidade Aparente da Madeira .....	130
2.5 Determinação da Dureza Janka .....	130
2.6 Análises Estatísticas .....	131
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	132
3.1 Perda de Massa .....	132
3.2 Densidade Aparente da Madeira .....	134
3.3 Dureza Janka.....	136
4 CONCLUSÕES .....	139
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>140</b>

RESUMO .....	141
ABSTRACT .....	142
1 INTRODUÇÃO.....	143
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	146
2.1 Preparo das Amostras .....	146
2.1.1 Aplainamento (Desempeno e Desengrosso).....	148
2.1.2 Rasgo na furadeira horizontal.....	149
2.1.3 Furação .....	149
2.1.4 Furação para dobradiça.....	150
2.1.5 Lixamento.....	150
2.2 Avaliação das Operações de Usinagem.....	150
2.2.1 Avaliação qualitativa .....	151
2.2.2 Avaliação quantitativa .....	153
2.3 Análises Estatísticas .....	154
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	155
3.1 Avaliação Qualitativa .....	155
3.1.1 Aplainamento .....	156
3.1.2 Rasgo na furadeira horizontal.....	162
3.1.3 Furação .....	164
3.1.4 Furação para dobradiça.....	167
3.1.5 Lixamento.....	170
3.2 Avaliação Quantitativa .....	176
3.2.1 Rugosidade das superfícies aplainadas.....	176
3.2.2 Rugosidade das superfícies lixadas .....	178
4 CONCLUSÕES.....	181
<b>3 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>182</b>
<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>205</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um material orgânico composto por celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e alguns minerais, agrupados em estruturas celulares, com propriedades e funções específicas, sendo que variações nas características e volume destes componentes resultam em uma matéria-prima com uma diversidade de propriedades físicas e mecânicas, como densidade, resistência, coloração e durabilidade (MUNIZ, 1994).

Dada a grande diversidade de espécies com diferentes características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas, a madeira tem sido utilizada para confecção de uma grande variedade de produtos. No início ela foi usada como fonte de energia e fabricação de armas. Posteriormente tornou-se imprescindível na construção de moradias e meios de transporte. À medida que a humanidade avançou, a madeira foi sendo cada vez mais estudada e compreendida, conferindo a ela usos mais adequados e nobres (ROCHA, 2000).

Atualmente, o emprego de novas tecnologias de transformação da madeira vem permitindo obter uma variedade de produtos tais como: laminados, compensados, chapas de madeira aglomerada, chapas de fibras, resinas, açúcares, taninos, celulose, papel, energia, madeira serrada, móveis, pisos, forros, painéis estruturais, entre outros.

No Brasil, durante décadas, o setor madeireiro utilizou madeiras provenientes de florestas nativas. Porém, diante da crescente pressão ambiental e preocupação dos consumidores em preservar o meio ambiente, as indústrias optaram por produzir um produto ecologicamente correto, cuja madeira é extraída de florestas renováveis, principalmente de eucalipto.

O gênero *Eucalyptus* possui mais de 400 espécies, variedades e híbridos; originárias em sua maioria do continente australiano, porém, também tem ocorrência na Indonésia; Papua Nova Guiné e Filipinas. Embora existam mais de 400 espécies já conhecidas botanicamente, apenas algumas delas têm importância comercial e são plantadas extensivamente em todo mundo.

No Brasil, as espécies mais utilizadas em plantios comerciais são: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. robusta*, *E. viminalis*, *E. exserta*, *E. deglupta*, *E. dunnii*, *E. cloeziana* e o *E. citriodora*, que atualmente foi incluído no gênero *Coyimbia* e denominado de *Corymbia citriodora*.

Inúmeras são as razões para que o eucalipto seja indicado como a alternativa promissora de oferta de madeira. Segundo a ABRAF (2009) estima-se que existam em torno de quatro milhões, duzentos e cinquenta e oito mil hectares de eucaliptos plantados no Brasil. ORTOLAN (2003) afirma que devido o eucalipto ser uma matéria-prima abundante, com maior apelo ambiental e a menor custo, certamente substituirá a madeira tropical.

Apesar da sua grande disponibilidade em termos de matéria-prima, algumas espécies de eucalipto apresentam certas características desfavoráveis tais como, alta tensão de crescimento, grã espiralada e revessa, bolsas de resina, cerne quebradiço, empenamentos, presença de nós etc. que podem causar dificuldades durante o seu processamento.

CASTRO SILVA (2003) destaca que a identificação de espécies com características adequadas à produção de toras, adoção de técnicas de silviculturais e de manejo (objetivando estabelecer métodos de propagação, espaçamento, cronograma de desrama e duração da rotação), investigação de melhores métodos de colheita, tratamento das toras, desdobro, secagem, usinagem, colagem e acabamento são algumas estratégias que podem ser utilizadas para se obter êxito durante o processamento da madeira de eucalipto.

O eucalipto foi inicialmente introduzido no nosso país para fornecer matéria-prima para obtenção de pasta celulósica, papel, carvão vegetal e lenha. Nesta época, os maciços florestais foram implantados com interesse voltado para a produção quantitativa de madeira.

Atualmente, grandes áreas de florestas de eucalipto, implantadas para a produção de papel e celulose estão sendo exploradas pelas indústrias de processamento da madeira (serraria, movelaria, marcenaria, laminadora e construção civil). No entanto, ao se pensar em utilizar a madeira de eucalipto para fins mais nobres, como serraria, laminação e produção de móveis torna-se necessário incorporar procedimentos de ordem silvicultural já utilizados na formação de florestas tradicionais a outros programas complementares de manejo e condução de florestas, como o desbaste e a poda dos ramos, além de avaliar outros aspectos da madeira, como os níveis de tensões de crescimento, a estabilidade dimensional, a coloração, a presença de madeira juvenil e adulto, a relação cerne/alburno, a resistência mecânica, a trabalhabilidade e o seu comportamento em todas as fases de desdobro e secagem, (CASTRO SILVA, 2003).

Para uma maior e melhor utilização da madeira de eucalipto é necessário um conhecimento das melhores formas de industrialização da madeira, a fim de compreender a interação entre as propriedades da madeira e os recursos utilizados para sua transformação em produtos manufaturados.

Segundo SILVA et al. (2003), a viabilidade econômica da industrialização da madeira de eucalipto passa pelo controle do volume de perdas que ocorrem durante as operações de processamento e secagem da madeira.

Baseado neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo geral avaliar as propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* visando sua utilização em PMVA (s), a partir da:

- Avaliação das características dendrométricas da madeira.
- Avaliação das tensões de crescimento durante o desdobro da madeira.
- Avaliação dos defeitos da madeira no sentido medula-câmbio após o processo de secagem em estufa.
- Caracterização da madeira, no sentido medula-câmbio, com relação às propriedades anatômicas ligadas aos aspectos das fibras, dos vasos, do parênquima radial e axial e do percentual, por tipos de células.
- Caracterização da madeira, no sentido medula-câmbio e base topo com relação à densidade aparente da madeira.
- Determinação do efeito do tratamento térmico na perda de massa, densidade aparente e Dureza Janka.
- Verificação do comportamento da madeira no sentido medula-câmbio, frente às operações de usinagem para desempenho, desengrosso, furação e lixamento.
- Determinação do efeito do tratamento térmico nas operações de usinagem para desempenho, desengrosso, furação e lixamento.
- Avaliação da qualidade da superfície da madeira usinada através da norma ASTM D-1666/87 e pelo método de medição direta da rugosidade.

Para melhor organização, este trabalho foi estruturado em capítulos, sendo que o Capítulo I aborda o processamento e secagem da madeira de *E. grandis*. O capítulo II a variação dos caracteres anatômicos e da densidade da madeira de *E. grandis*. O Capítulo III o efeito da termorreificação na perda de massa, densidade e dureza Janka da madeira de *E. grandis* e o Capítulo IV a avaliação da superfície da madeira usinada de *E. grandis* antes e após o tratamento de termorreificação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Utilização da Madeira de Eucalipto

O eucalipto foi introduzido inicialmente no Brasil para fins paisagísticos e de proteção contra ventos. Posteriormente passou a fornecer matéria-prima para produção de lenha, usinas siderúrgicas e indústria de celulose e papel.

É difícil se determinar com segurança, a data de introdução do eucalipto no Brasil. No entanto sabe-se que a expansão da eucaliptocultura deve-se à Companhia Paulista de Estradas de Ferro e ao Dr. Edmundo Navarro de Andrade.

Foi no final do Século XX, em Jundiaí no estado de São Paulo, os primeiros estudos experimentais que deram a sustentação à implantação do eucalipto em grande escala (CASTRO SILVA, 2001). Nesta época, as introduções com essências exóticas eram realizadas com interesses voltados única e exclusivamente para crescimento em altura. Eram os chamados testes de competição de diferentes espécies. Posteriormente, estes testes passaram a considerar diâmetro e volume. Atualmente estudam-se todos os parâmetros: altura, diâmetro, volume, distância de internódios, retidão, angulação dos ramos e densidade, (BERTOLAN, 1978).

A pequena participação do eucalipto no mercado de produtos sólidos (madeira serrada, laminas, pisos, móveis rústicos, vigas estruturais, batentes de portas e janelas, molduras, entre outros) se dá devido o mesmo ter sido plantado e manejado para produção de lenha, pasta celulósica, papel e carvão vegetal e apresentar características adequadas para essas finalidades.

Segundo GALVÃO (1976) a utilização do eucalipto na indústria de móveis, pisos, construção civil, dentre outras, é viável desde que se considere: o uso de espécies com características favoráveis ao desdobro e as exigências do produto final a ser obtido; o desdobro de toras provenientes de árvores com mais de trinta anos de idade; emprego de métodos de desdobros que permitam obter peças radiais; secagem controlada em estufas até a umidade de equilíbrio e revestimentos que reduzam as oscilações higroscópicas da madeira. Segundo COSTA (1996), a idade de corte considerada ideal para uso em serraria e movelaria está em torno de quinze a vinte anos.

De acordo com CASTRO SILVA (2003) estudo realizado com *Eucalyptus grandis* entre as idades de onze e vinte e um anos mostrou que a madeira de maior idade apresentou rendimento superior em madeira serrada, bem como maior qualidade após a etapa de secagem.

Para a utilização da madeira que apresenta característica adequada para a produção de pasta celulósica, papel e carvão vegetal, em outras finalidades recomenda-se que o melhoramento genético considere não só o volume produzido, mas também às características físico-mecânicas da madeira, tais como densidade, grã, dureza, rigidez, módulo de elasticidade, entre outras, bem como, a qualidade do produto a ser obtido.

Segundo MARQUES (1999), citado por SILVA (2003), as principais características da árvore que provocam impacto direto na produtividade de uma unidade industrial são identificadas como: diâmetro, retidão, circularidade, ausência de nós e tensões internas de crescimento. Já as propriedades físicas e mecânicas que provocam impacto na qualidade do produto final são resistência mecânica, densidade aparente e estabilidade dimensional.

Diversos países já utilizam o eucalipto como fonte de matéria-prima na fabricação de madeira serrada, para indústria de móveis e como material de acabamento para construção, obtendo bons resultados e produtos de boa qualidade.

No Brasil, há vários sinais de que a revolução já começou, visto que grandes empresas de papel e celulose, por exemplo, a Aracruz celulose S/A e Klabin Florestal estão investindo na implantação de povoamentos com variedades de eucaliptos melhoradas geneticamente para a fabricação de outros produtos tais como, móveis, janelas, pisos e acabamentos de interiores.

Segundo CORREIA (1995), a Klabin Florestal cultiva há mais de 20 anos algumas áreas de reflorestamento para produção de madeiras para lenha e serraria separadas das áreas de reflorestamento destinadas à produção de celulose.

Em virtude destes investimentos, inúmeras experiências de utilização da madeira de eucalipto com resultados promissores já podem ser vistas em nosso país.

Por exemplo, a companhia CAF Santa Bárbara, tradicional produtora de florestas e de carvão vegetal para uso siderúrgico, instalou, há alguns anos, uma unidade industrial de madeira serrada, com capacidade para 1750 m<sup>3</sup>/ mês, no município mineiro de Martinho Campos. Uma nova unidade industrial com maior capacidade instalada e dotada de equipamentos modernos para produção de madeira serrada de eucalipto está em funcionamento no município de Teixeira de Freitas, no sul da Bahia (CASTRO SILVA, 2001).

Outro exemplo é o da TECFLOR Industrial que também instalou uma grande unidade industrial para madeira serrada de eucalipto no município de Nova Viçosa, no sul da Bahia, com capacidade instalada de 75.000 m<sup>3</sup>/ano para processar a madeira de *Eucalyptus grandis*, especialmente plantada para fins de serraria. A empresa testou mais de 50 clones de eucalipto, implantou as melhores técnicas de silvicultura e manejo e realizou inúmeros testes para melhor qualificar a madeira para diferentes usos. Foi um dos maiores empreendimentos no setor e, por certo, um dos marcos na área de produtos sólidos, oferecendo ao mercado um produto da mais alta qualidade (CASTRO SILVA, 2001).

No Estado do Espírito Santo a utilização da madeira de eucalipto para fabricação de móveis já ocorre há algum tempo, e a cada ano ganha novos adeptos. Ela foi inicialmente utilizada na fabricação de estruturas de estofados e armários e atualmente vem sendo usada na confecção de peças mais nobres tais como, mesas, criados-mudos, cadeiras, dormitórios e como material de acabamento, conforme pode se constatar nos produtos oferecidos pelos pólos industriais moveleiros de Linhares e Colatina.

Os móveis produzidos por estas empresas são fabricados a partir de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, provenientes de plantios pertencentes a Aracruz Produtos Sólidos de Madeira, sediada na Bahia. Uma parte dos móveis fabricados é absorvida no mercado interno e a outra parte é exportada para os Estados Unidos, Canadá, Grã-Bretanha e México.

Segundo Luiz Rigoni, atual presidente da empresa RIMO Indústria de Móveis e Comércio Ltda, sediada no município de Linhares/ES, a opção em trabalhar com o híbrido é porquê o mesmo apresenta poucos problemas durante a transformação da madeira em produtos manufaturados.

Entre as espécies de eucalipto mais utilizadas para produtos sólidos destaca-se o *Eucalyptus grandis*, que embora não plantada para tal fim, possui características desejáveis para usos múltiplos e bom desempenho nas fases de desdobro e secagem. Além disso, trata-se de uma das espécies mais promissora, pois possui a maior área plantada dentre as espécies comerciais. Também sua madeira possui boa aceitação no mercado, pois é de fácil trabalhabilidade e apresenta coloração muito semelhante ao mogno e é de fácil trabalhabilidade (ALZATE, 2004).

Apesar de apresentar propriedades físico-mecânicas e organolépticas adequadas para o uso múltiplo a madeira de eucalipto pode conter alguns problemas tais como bolsas de resina,

nós, colapso, rachaduras demasiadas e deformações, desvios da grã e tensão de crescimento, dentre outros (PIRES, 2000; PULROLNIK, 2002; VALE et al., 2002; ALMEIDA, 2003; MONTAGUE et al., 2003, GONÇALEZ et al. 2006) que irão afetar a aparência das peças, o rendimento de madeira serrada, como também, suas propriedades de resistência.

Por isso, são necessários estudos sobre as características dendrométricas e tecnológicas, bem como das características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira que está sendo utilizada, a fim de se obter informações sobre o seu comportamento durante as operações de desdobro, secagem e beneficiamento.

## **2.2 Características Dendrométricas e Tecnológicas que Influenciam na Qualidade da Madeira de Eucalipto**

### **2.2.1 Qualidade das toras**

Segundo BAUER et al. (1999), o eucalipto no Brasil tem um dos índices de crescimento mais altos do mundo, atingindo 50 m<sup>3</sup> de madeira por ha/ano. Esse crescimento causa altas tensões na árvore que durante o abate ou logo depois do desdobro provoca rachaduras e deformações nas tábuas. As rachaduras associadas às tensões de crescimento e os defeitos de secagem (trincas internas e nas extremidades das tábuas, empenamentos e colapso) trazem como resultado uma perda significativa de madeira e tem sido considerado como um dos principais entraves à utilização econômica de espécies de *Eucalyptus* sp.

Inúmeras pesquisas no Brasil têm demonstrado que as longas rotações adotadas no manejo de plantações de eucalipto proporcionam maior diâmetro das toras das árvores e, conseqüentemente, melhor qualidade e maior rendimento no desdobro da madeira e obtenção de produtos de maior valor agregado (SILVA, 2003).

Segundo MARQUES (1999), citado por SILVA (2003), as principais características da árvore que provoca impacto direto na produtividade de uma unidade industrial são identificadas como: diâmetro, retidão, circularidade, ausência de nós e tensões internas de crescimento. Já as propriedades físicas e mecânicas que provocam impacto na qualidade do produto final são: resistência mecânica, densidade aparente e estabilidade dimensional.

De modo geral, as toras são classificadas de acordo com as formas gerais do tronco, defeitos ou anormalidade visíveis tanto na extremidade como na superfície (IBDF, 1984). Assim ao se adquirir as toras é necessário considerar, além do volume, os defeitos que poderão afetar a eficiência da serraria, rendimento e qualidade da madeira serrada.

Segundo WENGERT & MEYER (1994), o custo para se processar toras de maior diâmetro e melhor qualidade é inferior àquele para se processar o mesmo volume de toras de menor diâmetro e de qualidade inferior.

Aliadas às propriedades físicas e mecânicas da madeira, as características dendrométricas, tais como diâmetro, volume de madeira e de casca, a forma da árvore (conicidade, achatamento, tortuosidade etc.), as tensões de crescimento e relação cerne/alburno são de elevada importância para eficiência e produtividade de uma indústria.

A conicidade (ou “taper”) é uma indicação do afinamento da tora como conseqüência do mecanismo de formação das árvores. É definida como a relação entre os diâmetros das extremidades da tora dividida pelo seu comprimento. A árvore é considerada cônica quando apresentar diminuição de 1cm/m no diâmetro ou 3cm/m na circunferência do tronco.

OLIVEIRA et al. (1999) estudando sete espécies de eucalipto evidenciaram que de forma geral, os eucaliptos apresentam fustes com boa forma e que a conicidade variou de 1,80 cm/m a 2,17 cm/m na primeira tora, 0,45 a 0,82 cm/m na segunda tora e 0,47 a 0,92 cm/m na terceira tora, ou seja, houve uma redução da conicidade na segunda e terceira tora. SILVA (2002) encontrou para a espécie de *Eucalyptus grandis* conicidade média de 0,72cm/m e

SCANAVACA JÚNIOR & GARCIA (2003) encontraram para *E. urophylla* valores de 0,0182 cm/m e 0,0156 cm/m para árvores com cascas e sem casca, respectivamente.

LOPES (2003) em seu trabalho sobre agrupamento de árvores matrizes de *E. grandis* encontrou um valor de conicidade de 1,41m/cm. Segundo o autor, o volume comercial com casca e sem casca correlacionaram-se positivamente com as variáveis dendrométricas: altura comercial, altura total, conicidade, DAP, massa seca, relação altura/diâmetro; negativamente com o fator de forma; e positivamente com as características fenotípicas: tamanho de copa, tipo de resíduo de casca e espessura dos ramos.

PURNELL (1988) e GROSSER (1989) citado por SCANAVACA JÚNIOR (2001) afirmam que a conicidade varia de espécie para espécie, diminuindo com a idade da árvore, sofrendo pouca influência genética e é maior na primeira tora, ou seja, na base da árvore. Ela sofre influência ambiental, principalmente do espaçamento e influencia o rendimento de madeira serrada.

Segundo SILVA (2001) a conicidade das toras é mais influenciada pelo manejo florestal do que pelas características genéticas.

O achatamento é uma medida do desvio da forma circular da tora. O achatamento acentuado dificulta a produção de um bloco central quadrado e diminui o rendimento de madeira serrada. Segundo IBDF (1984) é considerado defeito quando o achatamento é inferior a 90%. O achatamento além de afetar a classificação das toras aumenta a produção de resíduos. No trabalho de SILVA (2002) o valor do achatamento foi em torno de 97,4% para a espécie de *E. grandis*.

Na avaliação da produção líquida de madeira, a determinação do volume de madeira e porcentagem de casca é importante para quantificar a produtividade florestal. De acordo com ALZATE (2004) a porcentagem de casca é de aproximadamente 10 a 20% do volume total do tronco e se não for determinada corretamente pode contribuir a erros sistemáticos nos inventários florestais, superestimando a produtividade da madeira dos fustes.

PAULA NETO et al. (1992b) estudando a variação da porcentagem de casca ao longo do tronco entre árvores de eucaliptos, verificaram que esta é maior nas menores alturas e estabilizam-se a partir dos 4 m, diferindo significativamente ao longo do tronco e entre árvores e que os fatores de casca tomados a 1,30 m de altura do tronco, são representativos dos valores médios de casca de cada árvore.

ALZATE (2004) e OLIVEIRA et al. (1999) constataram que a porcentagem de casca em árvores de *E. grandis* foi maior na base e no topo do tronco, diminuindo nas posições intermediárias.

LOPES (2003) ao analisar 63 árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* constatou que o percentual volumétrico de casca representava em média 3,45% do volume comercial das árvores.

PAULA et al (1992) analisando as equações de volume de casca de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. alba* com idades de 3 a 8 anos, em regime de alto fuste e primeira talhadia, afirmaram que pelo volume de casca, estas espécies podem ser consideradas semelhantes.

Segundo LOPES (2003) e ALZATE (2004) a quantificação de cerne e alburno é muito importante principalmente no que diz respeito à utilização da madeira, pois, quanto maior o percentual de alburno na árvore, melhor será a sua capacidade de impregnação por produtos preservativos. Por outro lado, quanto maior o percentual de cerne, melhor a capacidade produtiva em madeira serrada com coloração uniforme. Ao analisar os diâmetros de árvores de *E. grandis*, observou uma tendência crescente do percentual de cerne até 25% da altura comercial sentido base-topo, tornando-se, a partir dessa altura, decrescente até 100% da altura comercial. Comportamento inverso foi encontrado para o percentual de alburno apresentando-se decrescente ao nível do DAP e 25% altura comercial e tornando a crescer até 100% altura comercial. Para o autor, o percentual volumétrico de alburno correlacionou-se positivamente

com a altura comercial e com o encurvamento das tábuas e negativamente com o tipo de casca. Por outro lado, o percentual volumétrico de cerne obteve correlação negativa com as variáveis altura comercial e encurvamento e positiva com o tipo de casca.

SILVA (2002) caracterizando a madeira de árvores de *E. grandis* com 10 até 25 anos verificou que as árvores mais velhas apresentaram maior porcentagem de cerne. O valor médio 3,2 encontrado para a relação cerne/alburno foi considerado bom para o uso de madeira serrada.

OLIVEIRA (1999) ao estudar a porcentagem de alburno no sentido base-topo de *E. grandis* verificou que os valores obtidos para a porção basal, 25%, 50%, 75% e 100% da altura do tronco foram 32,90%; 28,98%; 36,49%; 54,21% e 100%, respectivamente.

Embora não se tenham efetivos estudos do mercado consumidor, é notado que existe uma tendência de preferência da madeira do cerne, devido principalmente à sua coloração rosada, diferentemente da coloração bege do alburno.

### 2.2.2 Tensão de Crescimento

A tensão de crescimento é um mecanismo que melhora a sustentação vertical das árvores, aumentando a sua resistência à ação dos ventos e outros esforços laterais e ocorrem nas direções radial, tangencial e longitudinal. As tensões de crescimento mais severas e variáveis são as longitudinais. Elas apresentam um gradiente variável de tração máxima nas proximidades da cascas e uma compressão também máxima nas proximidades da medula (KUBLER, 1987).

As tensões de crescimento originam-se na região cambial dos troncos das árvores, durante a maturação das paredes celulares. O câmbio, responsável pelo crescimento em diâmetro da árvore forma células de casca para o meio externo e madeira para o meio interno. Segundo HILLIS & BROWN (1978) o surgimento das tensões de crescimento ocorre na fase de lignificação das células do câmbio. Ao ser depositada a lignina nas paredes transversais das células, estas se expandem provocando uma retração no sentido axial. As células vizinhas, já com maior rigidez, restringem a diminuição do comprimento celular, gerando tensões de longitudinal (tração). Tais tensões são distribuídas pelo tronco da árvore de forma cumulativa, devido à sucessiva deposição de camadas e suas respectivas tensões.

Estas tensões de crescimento estão em equilíbrio enquanto a árvore encontra-se em pé, porém, no momento ou logo após a derrubada ocorre sua liberação. Em consequência disso, a zona periférica da tora que estava sob tração, tende, após o abate, a contrair e a parte central, sob compressão, a expandir (MALAN, 1979).

JACOBS (1945) demonstrou que níveis tração periférica e da compressão no centro da árvore permanecem constantes ao longo de sua vida. Isto significa que há uma redistribuição de tensões no interior da árvore e os gradientes de tensão se tornam menos acentuados ao longo do tempo. Por isso, os defeitos ligados a tensão de crescimento tendem a diminuir a medida que uma mesma árvore aumenta o seu diâmetro.

As causas dos elevados níveis de tensões de crescimento em eucalipto ainda não são bem entendidas, embora existam evidências fortes de que estejam ligadas ao genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento, idade e inclinação dos troncos, podendo se agravar ainda mais, dependendo das práticas silviculturais adotadas, das condições de crescimento da árvore e pelos métodos de exploração adotados (SILVA, 2001 e SCHÖNAU & COETZEE 1989).

Existem várias maneiras de se avaliar a tensão de crescimento, porém, cada método possui sua particularidade. Os métodos mais utilizados são aqueles baseados na medição das alterações dos comprimentos das peças de madeira (flecha ou deslocamento) após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro de um tronco de árvore (LISBOA, 1993).

Porém, são utilizados métodos não destrutivos como o desenvolvido pelo CIRAD – Centro de Coopération Internationale em Recherche Agronomique pour lè Déveleppement, Département des Forêts, que se baseia na determinação da deformação residual longitudinal (DRL), mensurada pelo extensômetro (medidor de deformações de crescimento), a uma distância fixa, a qual é diretamente proporcional à tensão de crescimento na direção longitudinal, (TRUGILHO et. al, 2002).

Devido às tensões de crescimento, a produção de madeira serrada de eucalipto exige realmente uma certa técnica de desdobro para garantir um bom rendimento, boa produtividade e principalmente, boa qualidade das peças produzidas. GARCIA (1995) destaca que para cada “lay out” existe uma técnica de desdobro mais apropriada, pois em cada um deles a manifestação das tensões de crescimento se dará de uma forma diferente.

Existem várias técnicas que podem ser empregadas para neutralização das tensões de crescimento. No entanto, nenhuma delas é considerada inteiramente satisfatória (CHAFE, 1979 e TEJADA et al., 1997). Uma dessas técnicas foi proposta por NICHOLSON (1973 a), na qual consiste em armazenar as toras em condições úmidas por 300 dias. A outra técnica, proposta por autores tais como, SKOLMEN (1967); OKUYAMA et al. (1981 e 1990) seria o de aquecer as toras para provocar o relaxamento das tensões em um período relativamente mais curto.

O uso de fita metálica ou plástica; anelamento do tronco da árvore, de modo que ela morra e continue em pé durante no mínimo seis meses; anelamento das toras; aspersão ou imersão total das toras em água; técnicas de desdobro como a de corte radial, corte tangencial, corte tangencial de dois lados simétricos utilizando serras múltiplas e girando a tora para o próximo corte são alguns métodos utilizados para aliviar as tensões de crescimento.

TRUGILHO et al. (2002) avaliando a tensão de crescimento em clones de *eucalyptus* encontrou um valor médio de deformação residual longitudinal (DRL) de 0,090 mm.

CALONEGO & SEVERO (2005) estudando o efeito do diâmetro da tora na magnitude das tensões de crescimento conclui que tora de menor diâmetro tem maior propensão em apresentar abertura das tábuas em relação ao bloco.

Em seu trabalho sobre influencia do desbaste e da fertilização nas tensões de crescimento de *E. grandis*, LIMA et al. (2006) não observaram diferenças significativas entre as três intensidades de desbaste, dentro de cada tora e posição radial, para a rachadura de extremidade de tábua verde.

SCHACHT et al. (1998) analisaram a variação genética dos indicadores de tensão de crescimento em árvores de clones de *E. urophylla* com 9 anos de idade a partir da sua altura do fuste, DAP, entre outros, demonstrando que as rachaduras e flechas são características altamente herdáveis e importantes indicadores tecnológicos para os programas de melhoramento. Houve significativa correlação fenotípica entre a altura total das árvores e intensidade de rachaduras, resultante da competição, com o diâmetro das árvores influenciando no gradiente de tensões.

Segundo SEVERO & TOMASELLI (2000) a vaporização das toras por um período de 20 horas, proporcionou redução significativa nas tensões de crescimento, representadas pela abertura das tábuas em relação à tora, bem como pelo comprimento e largura das rachaduras, em duas procedências de *Eucalyptus dunnii*.

### **2.2.3 Sistema de Desdobro**

O desdobro da madeira consiste na conversão de toras em peças (tábuas, pranchões, caibros etc.) de forma e tamanho desejáveis. Existe uma ampla variedade de sistema de corte (primário e secundário) da madeira e podem ser classificados de acordo com TUSET & DURAN (1986) da seguinte maneira:

- a) Classificação com relação aos anéis de crescimento e os raios lenhosos (tangencial ou radial);
- b) Classificação com relação ao eixo longitudinal (paralelo à casca ou à medula);
- c) Classificação segundo a continuidade dos cortes (sucessivo, simultâneo ou alternado);
- d) Sistemas especiais por defeitos.

O corte tangencial consiste na obtenção de peças tangentes às camadas de crescimento. Segundo PANDEY et al. (1984) citado por NAUZ (1999) está técnica é bastante utilizada para outras espécies de madeira, mas quando é aplicada para a madeira de eucalipto, apresenta problemas, como o alongamento da parte interior da tábua e o encurtamento da sua parte exterior. Desta forma, ao invés de ser reta torna-se encurvada para fora da tora. Além desse defeito diversos problemas durante os processos subseqüentes podem ocorrer, tais como: colapso, empenamentos, fendas de superfície e torcimento.

Segundo LATORRACA (1998) o corte tangencial se aplica a toras de qualquer tamanho, é mais simples de se realizar, portanto o rendimento da madeira serrada por hora/máquina ou hora/homem é maior. As peças com faces tangenciais apresentam menor contração em espessura, porém, maior em largura. Este método apresenta também a vantagem de permitir que o empenamento apresentado pelas tábuas seja mais facilmente corrigido do que em tábuas radiais.

No desdobro radial, os cortes são feitos paralelos aos raios. BOOTLE (1983) afirma que uma peça é tida como completamente radial quando os anéis de crescimento possuem um ângulo maior que 80° em relação à face da tábua e que tal técnica apresenta numerosas vantagens, tais como: menor contração no sentido da largura da tábua; as bolsas de resina (quino) apresentam-se como linhas finas neste tipo de tábua; tábuas de eucalipto susceptíveis ao colapso durante a secagem da madeira respondem melhor ao condicionamento se forem radiais e as tábuas são menos susceptíveis ao encanoamento e fendilhamento. As desvantagens são que as tábuas tendem a apresentar arqueamento logo após o desdobro e em toras de pequenos diâmetros essa técnica torna-se inviável, pois reduz a produtividade (GARCIA, 1995).

Na técnica simultânea os cortes são feitos ao mesmo tempo, e não existe uma orientação em relação aos anéis de crescimento, proporcionando uma mistura de tábuas radiais e tangenciais. Essa técnica tem sido cada vez mais utilizada, pois permite liberar simétrica e simultaneamente as tensões internas de crescimento. As toras desdobradas por esse sistema apresentam maiores rendimentos e produzem tábuas com medidas precisas.

No corte alternado, a tora após um ou mais corte é girada para seguir com um número similar de corte na metade oposta. Ele é um corte substituto do simultâneo e é utilizado para diminuir as tensões de crescimento.

No eucalipto, devido às tensões internas de crescimento serem altas e acarretarem defeitos como empenamentos e rachamento das toras antes e durante o seu processamento primário, o desdobro da madeira exige técnicas especiais.

ROCHA & TOMASELLI (2002) estudaram o efeito do desdobro na qualidade da madeira serrada de *E. grandis* e *E. dunnii* e concluíram que o sistema de desdobro foi o fator de maior influência na intensidade de ocorrência de defeitos; que o modelo de desdobro tangencial foi o mais adequado que o sistema radial e que o *Eucalyptus grandis* é mais adequado para a produção de madeira serrada do que o *Eucalyptus dunnii*.

DEL MENEZZI (1999) usando um método combinado de desdobro e secagem denominado de SSR (serrar-secar-serrar) para *E. grandis* e *E. cloeziana* concluiu que a frequência de arqueamento, empenamento duplo (arqueamento + encurvamento) porcentagem de peças rejeitadas foi reduzida em comparação ao método convencional.

FERREIRA et al. (2004) entre os três métodos de desdobro analisados (tangencial paralelo ao centro da tora, balanceado paralelo à casca e ao centro da tora), o tangencial balanceado paralelo à casca resultou em maior rendimento de tábuas.

### ❖ Rendimento de madeira serrada

O rendimento de madeira é obtido pela relação entre o volume de madeira serrada e o volume cilíndrico real da tora, expressa em %, e pode ser afetado de diferentes formas. De acordo com ROCHA & TOMASELLI (2001), o rendimento varia de 45% a 55% para folhosas, sendo afetado pela qualidade das toras, dos equipamentos, técnicas de desdobro e pela qualificação profissional dos operários.

IWAKIRI (1990) destaca que a obtenção dos valores de rendimento para cada espécie é de suma importância para os empresários do setor, pois possibilita o planejamento e diagnose da produção de uma serraria.

A serraria pode trabalhar com três tipos de tora (boa, regular ou ruim). Quanto melhor a qualidade da madeira, melhor é a qualidade dos produtos que dela podem ser tirados. O rendimento obtido na transformação das toras em tábuas varia de espécie para espécie, devido às características de densidade, disposição dos elementos estruturais, teor de umidade, presença de componentes químicos, entre outras (SILVA, 2003).

Segundo o mesmo autor a matéria-prima ideal para serraria é aquele que apresenta as seguintes características: homogeneidade, diâmetros adequados ao processo, baixa presença de tensões e rachaduras, grã direita, ausência de nós, retilínea, forma cilíndrica, ausência de podridão e ataque de pragas, baixa incidência de alborno, pouca diferença entre cerne e alborno, ausência de bolsa de resina, medula centralizada e ausência de impurezas (pedra, areia, pregos, etc.).

SCANAVACA JUNIOR & GARCIA (2003) em seu trabalho sobre 20 progênies de *E. urophylla* concluíram que o rendimento final (descontadas, as perdas do desdobro das tábuas e das tensões de crescimento longitudinal) variou de 42,53% a 83,53%.

DEL MENEZZI (1999) constatou que o rendimento de madeira serrada para *E. grandis* e *E. cloeziana* foram de 51,6% e 51,8%, respectivamente e relatou que autores como STEELE & WADE apontaram tendência de aumento do rendimento com o aumento do diâmetro da árvore.

SERPA et al. (2003) avaliando algumas propriedades da madeira de *E. grandis*, *E. saligna* e *Pinus elliottii* encontraram valores de rendimento de madeira serrada na ordem de 64,38%; 66,83% e 50,13%, respectivamente. Os valores elevados de rendimentos foram influenciados pelo diâmetro das árvores, pela conicidade, pelo encurvamento, pela qualidade dos equipamentos e pela operação do engenho de serra. Segundo o autor as árvores apresentavam grandes diâmetros e baixos índices de conicidade e encurvamento.

BERENGUT, et al. (1973), utilizaram quatro métodos de desdobro para a madeira de *E. saligna* e constatou que dos métodos ensaiados, o método 4 (o mais praticado nas serrarias nacionais), onde a tora é esquadrejada em três faces e o bloco restante é desdobrado em cortes paralelos foi o que apresentou melhores resultados. O método um (“quartersawing”) apresentou os piores resultados. O método 2, onde são retiradas uma costaneira e uma tábua na espessura desejada de cada lado da tora e depois de esquadrejada são retiradas sucessivas tábuas em cada face e o método 3, onde as toras são desdobradas em cortes paralelos apresentaram resultados intermediários. Os rendimentos médios para os quatro métodos foram teoricamente altos (60,4%; 69,2%, 60,8% e 67,6%, respectivamente), porém não foi considerada a qualidade das peças obtidas.

SOUZA et al. (2007) constatou que o rendimento do desdobro das toras de híbridos de eucalipto (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) em tábuas com dimensões de 10,0 cm x 2,8m x 20 mm e 14,0 cm x 2,80 m x 37 mm foram 38,7% e 37,05%, respectivamente.

CARPINELLI (2002) verificou que o rendimento e produtividade em madeira serrada de uma floresta de *E. grandis* variou de 33% a 61%.

Os rendimentos médios na condição verde obtido por ROCHA (2000) para o *E. grandis* foram de 45,71% para o desdobro tangencial e 50,41% para o desdobro radial demonstrando que o rendimento é afetado pelo sistema de desdobro adotado.

#### 2.2.4 Defeitos naturais ou ocasionados pelo desdobro e secagem

Segundo BURGER & RICHTER (1991) são considerados defeitos as anomalias e também as estruturas normais que possam desvalorizar, prejudicar, limitar ou impedir o aproveitamento da madeira.

Para KIKUTI et al. (1996), citado por SILVA (2005) a madeira de melhor qualidade é aquela que apresenta menos defeitos, que podem ser considerados intrínsecos à madeira ou resultantes do processo de produção e beneficiamento. Na tabela 1 encontram-se descritos os defeitos da madeira e suas principais causas.

Segundo ASSIS (1999) a madeira de eucalipto representa uma alternativa potencial no abastecimento de matéria-prima para as indústrias madeireiras. No entanto, os defeitos intrínsecos (nós, bolsa de resina, rachaduras de topo, entre outros) e os defeitos ocasionados pelo desdobro e secagem (rachas superficiais, empenamentos, colapso, entre outros) constituem um obstáculo adicional a sua utilização e trazem como resultado uma perda significativa de madeira (PONCE, 1997).

O processo de secagem da madeira de eucalipto é considerado um dos pontos cruciais na sua utilização. Os maiores problemas ocorridos nesta fase dizem respeito à anisotropia dimensional, cuja conseqüência é a ocorrência de defeitos como torções, rachaduras, empenos, abaulamento e colapso, (LELES & SILVA, 1997).

**Tabela 1.** Principais defeitos e suas possíveis causas.

DEFEITO	CAUSA DO DEFEITO			
	Intrínsecos a madeira	Desdobro	Secagem	Fatores Externos
Rachadura de topo	X	X	X	
Rachadura de superfície			X	
Nós	X			
Medula	X			X
Furo de Insetos		X		
Esmoado		X		
Empenamento		X	X	
Bolsas de Resina	X			
Inclinação da grã	X			
Desbitolamento		X		
Podridão				X
Encruamento			X	
Colapso	X		X	
Cor	X			
Relação cerne/alburno	X			
Características físico-mecânicas	X			X

Fonte: KIKUTI et al., 1996.

HILLIS e BROWN (1988) citado por SILVA (2002) afirmaram que as madeiras de *Eucalyptus* spp. de crescimento rápido, normalmente, apresentam contração excessiva e, conseqüentemente, vários defeitos de secagem, como empenamentos e fendilhamentos.

MOURA (2000) destaca que a variação dimensional ocasionada pelas alterações de umidade pode limitar o uso da madeira e dependendo da solicitação, desqualificá-la, causando, em alguns casos, a sua substituição por outros materiais.

Segundo PANSWIN e DE ZEEUW (1980) a contração varia com relação à posição da madeira dentro da árvore. Na madeira juvenil, a contração longitudinal é maior mais próximo da medula, diminuindo rapidamente no sentido medula-casca durante o período de crescimento juvenil. Tal variação está relacionada à redução do ângulo microfibrilar na parede celular e o aumento do comprimento da célula e do conteúdo de celulose. Na madeira madura, as contrações transversais e volumétricas estão diretamente relacionadas com a densidade da madeira, comprimento das fibras, ângulo microfibrilar das paredes celulares e teor de extrativos presentes no cerne.

SILVA (2002) através dos resultados médios obtidos para a contração volumétrica total da madeira de *E. grandis*, observou-se uma tendência crescente desta propriedade no sentido medula-casca. Para ele esta tendência pode ser entendida pela variação da massa específica, que também é crescente na mesma direção, associada a maiores proporções de parede, que conseqüentemente conduziu a maiores contrações na região de maior massa específica.

SANTOS (2002) afirma que os mais importantes defeitos de secagem podem ser agrupados em quatro categorias: o colapso, as rachaduras, o endurecimento superficial e os empenamentos.

O colapso é uma tendência manifestada por algumas espécies ou indivíduos de algumas espécies de se deformarem durante o processo de secagem, prejudicando a qualidade e o rendimento da madeira serrada.

Segundo KOLLMANN & COTÊ (1968) o colapso ocorre acima do PSF, durante a movimentação da água capilar. É caracterizado por uma contração anormal e desuniforme, com ondulações nas superfícies da peça, as quais podem apresentar-se bastante distorcidas. Sua ocorrência está diretamente relacionada à temperatura utilizada no início do processo de secagem, cujo aumento, torna o material mais plástico, diminui sua resistência à compressão e possibilita o esmagamento interno da célula. SEVERO (1998) e VERMAAS (1995) recomendam para a madeira de eucalipto, que a temperatura inicial de secagem seja sempre inferior a 45°C.

CALONEGO et al. (2006) constataram que não houve colapso nas tábuas pré-vaporizadas e vaporizadas de *Eucalyptus grandis* indicando que a ausência desse defeito está relacionada com aplicação da vaporização da madeira e com a utilização de um programa de secagem suave.

Segundo ZOBEL & JETT (1995) citado por ASSIS (1999) o colapso é um defeito que apresenta relativamente forte controle genético podendo-se prever ganhos pela seleção de indivíduos menos propensos a apresentar colapso. A seleção de clones superiores, quanto a esse aspecto, e o desenvolvimento de programa de secagem específico para cada clone, onde a madeira a ser submetida à secagem constituiu um grupo de peças mais homogêneo, podem proporcionar melhoria dos resultados práticos da operação de secagem.

A pré-disposição que as toras ou tábuas apresentam em rachar e apresentar distorções durante o processo de desdobro e secagem é um dos principais entraves à utilização econômica de espécies de eucaliptos. Segundo ASSIS (1999) variações quanto a esses atributos tem sido verificado na prática, tanto ao nível de espécies quanto de procedências e de indivíduos. ZOBEL & JETT (1995) relatam que é prática, em algumas espécies de eucalipto a seleção e a clonagem de genótipos menos propensos a rachaduras.

Segundo SILVA (2001) as rachaduras podem estar associadas primeiramente às tensões de crescimento e depois ao processo de secagem da madeira. As rachaduras originárias das tensões de crescimento se estendem muito pouco durante a secagem. Na madeira de *Eucalyptus grandis* verifica-se que o refilamento das bordas das peças serradas antes da secagem, retirando-se o alburno, produz peças mais estáveis, com pouca possibilidade de trincas e empenamentos. Quanto mais espessa a peça de madeira serrada, mais lenta deve ser a secagem.

Segundo GRUPO ANDINO (1989) as rachaduras superficiais e nas extremidades das tábuas se apresentam com maior frequência nas primeiras etapas do processo de secagem, quando se aplica um gradiente alto de secagem, ou seja, quando a diferença psicométrica é muito grande. Elas se formam devido à secagem rápida da superfície da madeira, enquanto o centro da peça continua úmido. O gradiente de secagem formado faz com que a madeira da superfície se contraia. Essa contração não se pode desenvolver por toda a peça, pois a madeira úmida do centro da peça a impede. Como consequência deste fenômeno se formam tensões superficiais na direção perpendicular a grã, que podem exceder a resistência da madeira nesta direção, formando-se assim as rachaduras.

Diversas alternativas, tais como evitar a radiação direta do sol sobre a madeira, o desdobro logo após o abate da árvore, vaporização das tábuas, colocação de cintas metálicas nas extremidades das toras, anelamentos, entre outras, têm sido empregada para evitar a formação das rachaduras superficiais e nas extremidades das tábuas.

CALONEGO & SEVERO (2007) verificaram que o comportamento das rachaduras das tábuas de *E. grandis* analisadas foram semelhantes aos relatados por DELL MENEZZI et al. (2001), ROCHA & TOMASELLI (2002), SCANAVACA JUNIOR & GARCIA (2003) e TOUZA (2001), que ao estudarem, respectivamente, as rachaduras na madeira serrada de *Eucalyptus cloeziana*, de *Eucalyptus globulus*, de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* e de *Eucalyptus urophylla*, concluíram que há uma diminuição da intensidade desse defeito no sentido medula-casca.

De acordo com SANTOS (2002) é recomendável a exclusão do material próximo à medula, pois além de ser uma região mais propensa ao colapso, apresenta maior proporção de madeira juvenil, e por serem tábuas centrais radiais, possuem maior tendência a rachaduras de topo ocasionadas pelas tensões de crescimento.

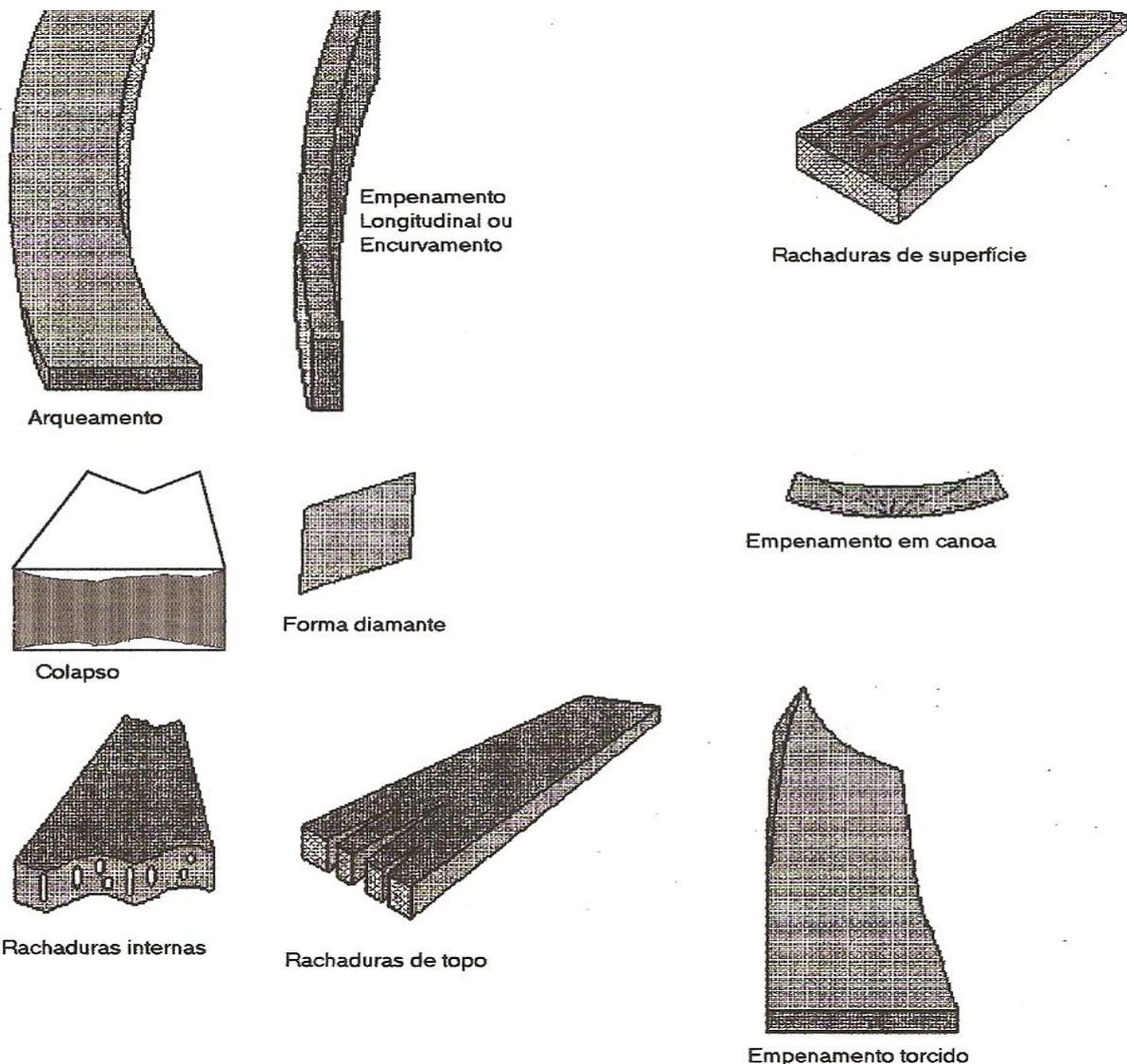
O empenamento das peças durante o processo de secagem se deve a anisotropia da madeira. Pode-se dizer que esse defeito não está estritamente ligado às características naturais da madeira, mas também ao tipo de operação de secagem adotado. O interessante é manter as deformações dentro de certos limites (GRUPO ANDINO, 1989).

O empenamento se define como a deformação que uma peça de madeira apresenta pela curvatura de seus eixos longitudinal e transversal ou ambos. Segundo MARTINS (1988) existem cinco formas de empenamentos: encanoamento, torcimento, encurvamento, arqueamento e forma de diamante. A Figura 1 ilustra os tipos de empenamentos e outros defeitos que ocorrem durante a secagem.

O encanoamento é o empenamento das peças quando as arestas ou bordas longitudinais não se encontram no mesmo nível que a zona central. De acordo com GALVÃO & JANKOWSKY (1985) o encanoamento pode ocorrer quando uma face é seca mais rapidamente que a outra ou quando uma se contraí mais que a outra, mesmo com secagem uniforme. As peças com encanoamento apresentam um aspecto côncavo.

O torcimento se apresenta quando as bordas de uma peça de madeira não se encontram no mesmo plano. O empenamento torcido pode ter as mesmas causas do encanoamento, ocorrendo também, pela combinação de diferentes contrações e desvios da grã, como a disposição espiralada das fibras, que é característico de certas espécies de eucalipto, GOMIDE (1973).

O encurvamento é o empenamento no sentido do comprimento (longitudinal). GALVÃO & JANKOWSKY (1985) o definem como sendo uma curvatura da peça no eixo longitudinal em relação à superfície de maior dimensão (largura). Já o arqueamento é a curvatura da peça no eixo longitudinal em relação à superfície de menor dimensão (espessura).



**Figura 1.** Principais defeitos de secagem (PRATT, 1974).

SANTOS et al. (2004) estudando a qualidade da madeira de *E. grandis* com relação à posição da tora na árvore verificaram que os índices de rachaduras nas extremidades das tábuas verde e seca e encurvamento foram maiores na segunda tora, retirada a 2,73m de altura do tronco. Já os valores de arqueamento foram semelhantes na primeira e segunda tora. Segundo o mesmo autor a densidade da madeira e o encurvamento são propriedades que podem ser utilizadas para avaliar a aptidão das árvores para serraria.

SANTOS (2002) em seu estudo sobre a otimização da secagem da madeira de *E. grandis* constatou que o arqueamento da madeira, com magnitude média a forte já estava presente em 52,5% das peças úmidas, aumentando para 58,1% após pré-secagem e para 74,4% após secagem convencional. Já o torcimento de leve a médio ocorreu em 55,8% das peças úmidas, aumentando para 62,3% na secagem ao ar e diminuiu para 26,5% na secagem artificial. O torcimento forte ausente na madeira recém serrada apresentou aumento constante

e ao final da secagem estava presente em 67,9% das peças. O encurvamento forte estava presente em 93, % da madeira úmida, aumentando para 98,6 % ao final da secagem combinada.

MATOS et al. (2003) ao analisar a redução das tensões de crescimento por meio do anelamento da árvore e tora, aplicação de herbicida e selante, desdobro das toras em 72 horas e 12 dias após abate verificaram que os métodos de obtenção de toras pela técnica de anelamento e morte da árvore com aplicação de herbicida foram mais eficientes na redução do efeito das tensões de crescimento (rachaduras, arqueamento e encurvamento). Também as tábuas obtidas de toras de árvores mortas com aplicação de herbicida apresentaram rachaduras e encurvamento em menor intensidade.

Conforme descrito em parágrafo anterior existem defeitos intrínsecos a madeira que podem desclassificá-la para um determinado uso. Os defeitos comumente encontrados nas peças de madeira de eucalipto são os nós e as bolsas de resina.

A formação de bolsas de resina é considerada por HILLS & BROWN (1978) citado por ASSIS (1999) como um dos principais fatores de desqualificação ou rejeição da madeira de eucalipto na Austrália, principalmente onde haja exposição da madeira ou exija resistência mecânica.

Não existe consenso entre os pesquisadores sobre as verdadeiras causas do aparecimento de bolsas de resina. Alguns as associam a fatores genéticos e outros a fatores externos. No entanto, o que tem sido observado na prática é que sua formação ocorre, na grande maioria das vezes associada às respostas das plantas a alguma forma de injúria, provocada no tecido cambial. Essa resposta se manifesta na forma de exsudação de resina, que acaba ficando confinada no interior do lenho quando nova camada de madeira é formada (ASSIS, 1999).

SILVA (2003) a partir de observações feitas em *C. maculata* vivendo em local com alta deficiência hídrica verificou que a madeira do mesmo apresentou maior intensidade de bolsas de resina do que àqueles que viviam em locais sem déficit hídrico. O mesmo fenômeno foi verificado em *E. grandis* procedentes da região de Coff's Harbour, ao sul da Austrália, plantadas em locais com alto déficit hídrico.

Uma importante fonte de variação da madeira é a presença dos nós e, sua frequência, tamanho, posição e o tipo (vivo ou morto) determinam a qualidade da madeira, principalmente na obtenção de produtos sólidos. Na indústria de polpa celulósica estes defeitos são, às vezes, menos importantes, sendo separados no início do processo ou mesmo desagregados nos processos químicos (SHIMOYAMA, 2005).

O nó é definido como uma porção de galho que está encaixado no tronco de uma árvore ou em outro galho maior (PONCE, 1995). Os nós podem ser classificados, conforme o estado em que se encontram: nós mortos, aqueles formados pelo ramo morto, que sofreram uma queda natural ou induzida, que não formam continuidade estrutural nos tecidos lenhosos e que, dependendo da posição na peça, comprometem a qualidade da madeira produzida; nós vivos, aqueles que apresentam crescimento sadio, mantendo perfeita continuidade dos tecidos lenhosos, e que quando pequenos, sua presença não desqualifica a madeira serrada (GROSSER, 1979).

De acordo com SILVA (2003) a presença de nós mortos na madeira é um fator de depreciação, quando se usa a madeira em partes estruturais, na fabricação de móveis e lâminas. Os nós mortos, dependendo da posição da peça, comprometem a secagem, o beneficiamento, a aderência de colas e a resistência da madeira. Além disso, em madeira de eucalipto podem contribuir com a descoloração e apodrecimento.

As madeiras livres de nós, as chamadas madeiras “clear” alcançam melhores valores no mercado. Para a produção de madeira desse tipo tem sido indicada à realização de desrama artificial, mesmo em espécie que exibe boa desrama natural como o *E. grandis*. Nessa espécie

a queda dos galhos na porção inferior do tronco somente começa a se manifestar de 2 a 3 anos após a morte do galho (SHIMOYAMA, 2005).

De acordo com SILVA (2001) a permanência de ramos secos nas idades jovens ou a retirada dos mesmos ocasionam problemas de nós na madeira e formação de bolsas de resina. Tanto a presença de nós, como de bolsa de resina diminuem a resistência mecânica das peças de madeira e prejudicam a aparência. A poda nas plantações industriais de eucalipto melhora a qualidade da madeira, livrando-a dos nós e diminuindo a conicidade do tronco.

Embora a ocorrência desse problema seja muito influenciada pelo espaçamento de plantio, a seleção de árvores com boa desrama natural tem proporcionado ganhos importantes na redução da presença de nós na madeira. Na África do Sul, existem vários exemplos bem sucedidos do melhoramento desta característica. Mesmo em situações em que se prevê a realização de desrama artificial, a seleção, visando à melhoria da desrama natural e redução na espessura dos galhos, pode trazer benefícios na redução dos custos dessa operação, (ASSIS, 1999).

## 2.4 Propriedades Anatômicas

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas para desempenharem as funções de condução, sustentação e armazenamento de substâncias nutritivas. A formação das células se dá devido a presenças de meristemas com capacidade de produzir novas células. O meristema apical, localizado no ápice do tronco e ramos é responsável pelo crescimento em altura. O meristema cambial, localizado entre o floema secundário (casca interna) e o xilema secundário (madeira) é responsável pelo crescimento em diâmetro. O câmbio é o formador dos tecidos secundários do vegetal, objeto de estudo da anatomia da madeira (BURGER & RICHTER, 1991).

É sabido que o crescimento em diâmetro se dá mediante a superposição de camadas concêntricas. Por meio de um corte transversal no tronco é possível observar uma série dessas camadas de largura variada, com a coloração se alternando entre um tom mais claro e outro mais escuro. Cada conjunto de duas camadas sucessivas (clara e escura) é denominado anel de crescimento. A parte mais clara do anel de crescimento é denominada de lenho inicial ou primavera e a madeira dessa região apresenta células de paredes finas, com maiores diâmetros externo e interno (lume), sendo, portanto, mais porosa e menos densa e, conseqüentemente, menos resistente. Ao contrário, a parte mais escura do anel, denominada de lenho tardio ou outonal possui células menores, paredes mais espessas, lume celular menor e madeira menos porosa, mais densa e, conseqüentemente mais resistente (BENJAMIN, 2006).

De acordo com TOMAZELO FILHO (1985a) a madeira de *Eucalyptus grandis* caracteriza-se anatomicamente por possuir:

- 1) Anéis de crescimento - Delimitados por zonas fibrosas;
- 2) Vasos - Poucos numerosos  $7/\text{mm}^2$ , alinhamento oblíquo presente somente em algumas áreas, dispersos e isolados; diâmetro tangencial variando de pequenos ( $53 \mu\text{m}$ ) a médios ( $161 \mu\text{m}$ ), com predominância de pequenos ( $111 \mu\text{m}$ ), contorno oval e circular, com placas de perfuração simples;
- 3) Raios – Numerosos ( $9/\text{mm}$ ), dispersos, medianos, com altura média de  $202 \mu\text{m}$ , extremamente finos, com largura média de  $14 \mu\text{m}$ , com um número médio de 17 células para raios unisseriados mais altos e de 14 para os multisseriados mais altos, predominância dos unisseriados em relação aos bisseriados;
- 4) Parênquima – Paratraqueal escasso envolvendo parcialmente os poros, confluyente entre os poros dispostos em cadeia, vasicêntrico e aliforme, raros difusos;

- 5) Fibras – Libriformes e fibrotraqueídeos, quanto ao comprimento, predominância de curtas (1,2 mm), variando de 0,89 a 1,52 mm, quanto a largura, estreitas (23  $\mu\text{m}$ ), variando de 17,0 a 33,5  $\mu\text{m}$ , quanto a espessura da parede média (5,4  $\mu\text{m}$ ) variando de 5,0 a 6,0  $\mu\text{m}$ , quanto ao diâmetro do lúmen (12,2  $\mu\text{m}$ ) variando de 7,0 a 23,5  $\mu\text{m}$ .

O tecido lenhoso produzido a partir das células meristemáticas é composto por fibras, elementos de vasos, raios, traqueídeos, parênquima axial e algumas estruturas especiais que são elementos característicos de determinadas espécies, gêneros e famílias, tais como canais resiníferos, raios estratificados, células oleíferas e outros, (KOLLMANN & COTÊ, 1989). A proporção, arranjo e dimensão dos elementos celulares no lenho influenciam fortemente na forma de utilização da madeira, pois afetam as propriedades da madeira, bem como o padrão de grã da madeira, (WOOD HANDBOOK, 1987).

#### **2.4.1 Variação radial dos caracteres anatômicos**

A madeira por ser um composto orgânico, heterogêneo, anisotrópico, poroso e higroscópico apresenta comportamento diferenciado entre espécies, e até mesmo dentro de própria espécie, quando submetido a diversas situações de utilização.

Segundo SILVA (2002), a madeira de modo geral, apresenta variações nos seus componentes anatômicos tanto na direção axial (base-topo) quanto na radial (medula-casca), sendo este fato intensamente observado em madeiras do eucalipto. As variações anatômicas têm como consequência, uma variação nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, influenciando de modo significativo em sua utilização.

A seleção de matéria-prima que possua uma variação celular mínima é um passo importante para o controle da qualidade de produtos de madeira. Contudo, a avaliação com base nessas características é difícil devido a grande variação que ocorre entre e dentro das espécies (SILVA, 1992).

HUGHES (1968) destaca três tipos de variação na estrutura da madeira que influenciam em sua utilização. O primeiro é a variação existente entre espécies, gêneros e famílias. O segundo é a variação dentro da mesma espécie e o terceiro é a variação encontrada em função da idade. As dimensões, proporção e arranjo de vários tipos de formas dos elementos estruturais da madeira fazem com que uma espécie seja diferente de outra. Ao se analisar o desenvolvimento e as características tecnológicas da madeira de um grupo de uma mesma espécie é fácil perceber as grandes diferenças entre elas. Por isso, a escolha da espécie é a forma mais simples de exploração da variabilidade.

Segundo MALAN (1995) citado por TRUGILHO et al. (1996) a variação no sentido radial é mais importante fonte de variação, sendo que a extensão desta variação é, principalmente determinada pela presença da madeira juvenil, sua proporção no tronco e suas características físico-químicas e anatômicas.

PANSHIN & DE ZEEUW (1980) descreve que a variação celular ocasionada pelo aumento do crescimento é especialmente evidente para células que se alongam pós cambialmente. Em folhosas é comum encontrar as seguintes variações para comprimento de fibras:

- 1) Curva que indicam um rápido crescimento inicial e posterior estabilização do comprimento próximo ao câmbio;
- 2) Curva que mostra um aumento contínuo no comprimento das células, sem estabilização próxima ao câmbio;
- 3) Curva indicando um rápido crescimento inicial seguido de um decréscimo na região próxima a casca (crescimento parabólico).

Quanto ao diâmetro das células, estudo realizado por BAMBER & CURTIN (1972) revelam que o diâmetro dos elementos de vasos de *E. pilularis* aumentou no sentido medula-câmbio. Em relação às fibras, PANSHIN & DE ZEEUW (1980) destacam que o diâmetro das mesmas não apresenta um padrão de variação. Geralmente ele aumenta moderadamente no sentido medula-câmbio. Porém, em algumas espécies o diâmetro das fibras pode apresentar um decréscimo à medida que se distancia da medula, como foi registrado para duas espécies de *Eucalyptus* ou ser mais ou menos constante, como no caso de *Populus*.

Quanto ao comprimento dos elementos de vasos e espessura das paredes das células eles geralmente apresentam o mesmo padrão de variação medula-câmbio, descrito para o comprimento das fibras. BAMBER & CURTIN (1972) registrou um aumento no sentido medula-câmbio, na espessura das fibras de *E. pilularis*.

Os trabalhos descritos pelos autores TOMAZELLO FILHO (1985b e 1987), BRASIL & FERREIRA (1972 e 1979) TAYLOR (1973), ROCHA et al. (2004), ALZATE (2004), SETTE Jr. (2009) indicaram, que de modo geral, o comprimento das fibras para árvores de eucalipto em idade avançada aumentou no sentido medula-câmbio.

TOMAZELLO FILHO (1985b) ao estudar a variação radial da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* concluiu que houve um aumento do comprimento das fibras no sentido medula-câmbio. A espessura da parede, os diâmetros das fibras e do lúmen apresentaram uma tendência de aumento, mas não significativa. Quanto aos elementos de vasos verificou-se um aumento do diâmetro tangencial e uma diminuição do número/mm<sup>2</sup> no sentido radial.

ROCHA et al. (2004) estudando a variação da estrutura anatômica da madeira de *E. grandis* com sete anos de idade concluíram na direção radial (medula-casca) todas as dimensões das fibras apresentaram tendência crescente; nos vasos a tendência crescente foi observada para comprimento e diâmetro tangencial e, decrescente para frequência; os maiores valores das dimensões dos raios foram verificados na região da medula e a frequência apresentou tendência decrescente.

BRASIL & FERREIRA (1972) verificaram que o comprimento de fibras e espessura das paredes aumentaram no sentido medula-câmbio e o diâmetro do lúmen decresceu. Quanto ao diâmetro das fibras, este não variou na seção transversal do caule.

CRUZ (2000) destaca que madeiras com características mais homogêneas, tais como grã regular, uniformidade na largura dos anéis de crescimento, pequena variação radial dos elementos celulares são as mais almejadas para a produção de madeira serrada.

#### **2.4.2 Madeira juvenil e adulta**

As árvores durante o seu crescimento produzem diferentes tipos de tecido lenhoso, com diferentes propriedades estruturais, que permitem que os caules sejam divididos em duas regiões.

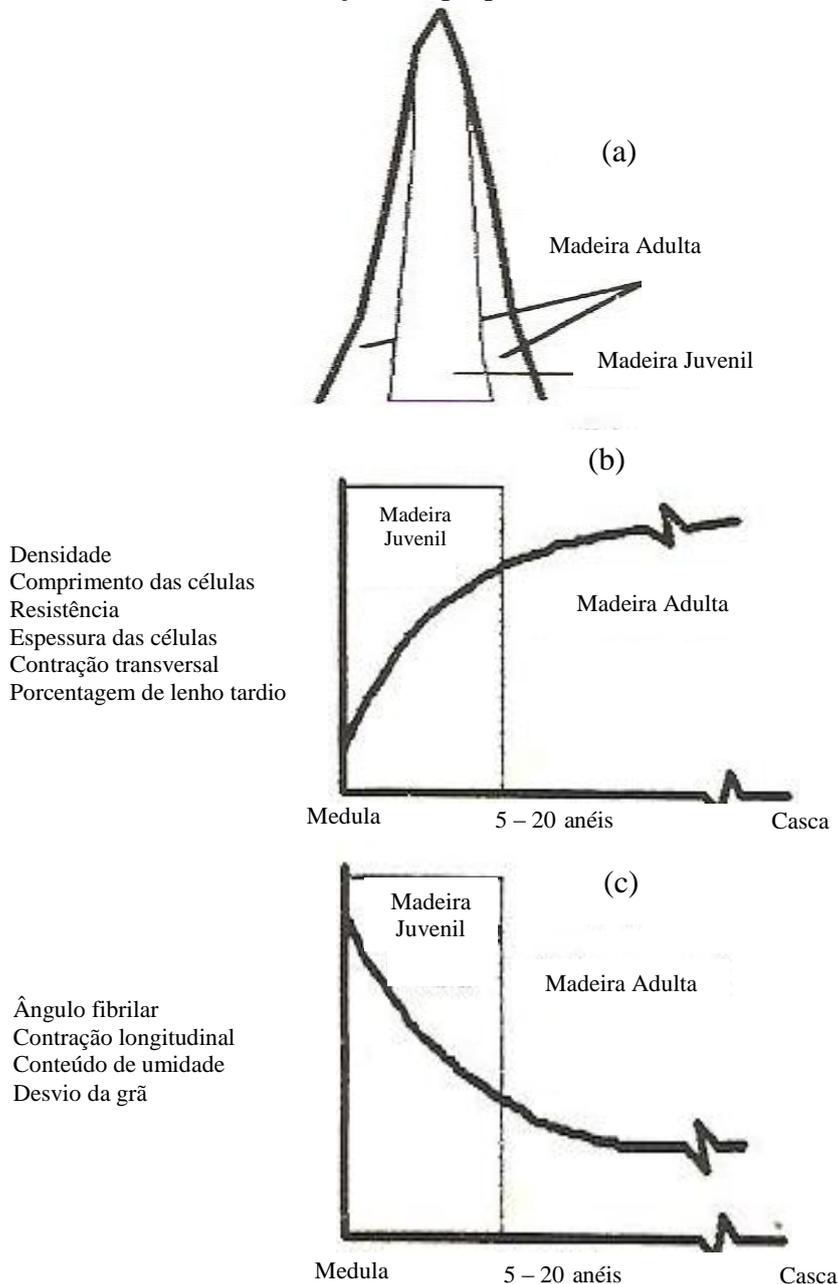
O xilema produzido nos primeiros anos de crescimento, até uma certa idade cambial é denominado de madeira juvenil e está localizado no centro da árvore, ao redor da medula. Já a madeira adulta é produzida após o período de formação da madeira juvenil e está localizada próximo à casca.

A madeira juvenil apresenta a forma de um cilindro, com diâmetro quase uniforme, desde a base até o topo da árvore (EVANS et al., 2000 e CALONEGO et al. 2005). Segundo ZOBEL & SPRAGUE (1998), RICHARDSON (1959) e PLUMPTRE (1983) sua proporção no tronco depende da idade da árvore, constituição genética, procedência, qualidade do sítio, clima e atividades silviculturais.

KRETSCHMANN (1998) dividiu o crescimento da árvore em três fases. Na primeira fase de crescimento, as características da madeira produzida variam marcadamente e a

madeira produzida é denominada de juvenil. Na segunda fase, as variações tornam-se gradativas e a madeira é denominada de transição. Esse período ocorre entre 5º e 20º anel de crescimento. Na terceira fase de crescimento as variações se tornam constante e a madeira é denominada de adulta.

A Figura 2 mostra a localização da madeira juvenil e adulta dentro do caule da árvore, bem como, o modelo de variação das propriedades estruturais no sentido medula-casca.



**Figura 2.** Efeito da madeira juvenil nas propriedades físicas e mecânicas: (a) localização da madeira juvenil e adulta no caule de uma árvore, (b) propriedades que aumentam da medula para a casca, e (c) propriedades que diminuem da medula para a casca. Fonte: KRETSCHMANN (1998).

Em folhosas, de uma forma geral, a madeira juvenil comparada à madeira adulta apresenta: baixa densidade, maior ângulo microfibrilar, resultando em grande contração longitudinal, menor comprimento celular, paredes celulares delgadas, madeira com textura

grossa, de aparência opaca e maior suscetibilidade ao ataque de fungos, insetos e bactérias, influenciando de forma significativa nas propriedades da madeira e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (SILVA, 2002).

Devido a estas características, muitos autores como LARSON (1973), passaram a afirmar que a madeira juvenil quando comparada à madeira adulta possui baixa qualidade. Para ZOBEL & SPRAGUE (1998), esta afirmação podia ser considerada verdadeira em 1973. Hoje, com o avanço da tecnologia, isto não é totalmente correto. Atualmente, para alguns processos e alguns produtos, o lenho juvenil é preferido. Desta forma, o lenho juvenil pode ser considerado um lenho diferente, mas não um lenho ruim.

Independentemente se os efeitos das características da madeira juvenil sobre o uso final são positivas ou negativas, é necessário se ter uma estimativa acurada da proporção e tamanho da zona de madeira juvenil em uma árvore ou tora. Este conhecimento permite separar os dois tipos de lenho, e assim, minimizar as influências negativas sobre o produto final (SAUTER et al., 1999).

ZOBEL & SPRAGUE (1998) destacam que em algumas espécies o término do período juvenil é abrupto, em outras é gradual, o que dificulta determinar com exatidão a idade de transição entre a madeira juvenil e adulta. No entanto é possível fazer uma estimativa da idade de transição utilizando algumas técnicas baseadas no perfil de variação das propriedades físicas, anatômicas e mecânicas da madeira.

Segundo KRAHMER (1986) o comprimento das fibras constitui a variável principal na definição do limite de transição entre a madeira juvenil e adulta devido ser mais curtas perto da medula, aumentando rapidamente na zona de madeira juvenil em direção à casca.

FUKAZAWA (1984) caracterizou a madeira juvenil pelas variações encontradas nas dimensões das células, ângulo microfibrilar, densidade da madeira e contração longitudinal e sugeriu que estes parâmetros podem ser utilizados para separar a madeira juvenil da adulta.

EVANS et al. (2000) utilizaram para delimitar a idade de transição de *Alnus rubra* e *Acer macrophyllum* o perfil de variação de densidade, módulos de ruptura (MOR), módulos de elasticidade (MOE) e largura dos anéis de crescimento no sentido medula-câmbio.

CALONEGO et al. (2005) ao determinarem com base no comprimento de fibras a região de ocorrência da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora* verificaram que a madeira juvenil ocorria da medula até os primeiros 45-55 mm. Os maiores comprimentos das fibras foram encontrados nessa região.

OLIVEIRA (1997) verificou que nas árvores de *Eucalyptus grandis*, de 16 anos de idade, é grande a proporção de lenho juvenil, o qual corresponde a um raio próximo de 80mm. O mesmo autor, estudando *Eucalyptus citriodora*, concluiu pela análise do perfil densitométrico da madeira que a formação da madeira juvenil parece estar confinada nos primeiros 30 a 40mm do raio.

LEONELLO et al. (2008) destacam que os estudos sobre a madeira juvenil de coníferas estão consolidados, porém, em folhosas de rápido crescimento os limites de formação da madeira juvenil e adulta ainda não estão claramente conhecidos. Por isso, o conhecimento das propriedades físicas mecânicas, anatômicas, entre outras é de fundamental importância para dar suporte aos usuários desta matéria-prima, quanto ao seu correto emprego em diferentes situações, desde o desdobro até em utilizações industriais e estruturais.

## 2.5 Propriedades Físicas

A madeira é um material orgânico, heterogêneo, anisotrópico, poroso e higroscópico, apresentando comportamento diferenciado entre espécies e até mesmo dentro de própria espécie, quando submetido a diversas situações de utilização. A composição, estrutura e

organização dos elementos celulares são os fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e sua aptidão para o uso comercial (BURGER & RICHTER, 1991).

Segundo PANSIM & De ZEEUW (1980), dentre as propriedades físicas, a densidade é uma das mais importante na caracterização tecnológica da madeira para os mais diversos fins, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e a variação dimensional da madeira. Ela reflete a porcentagem dos diferentes constituintes químicos da madeira (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos) e é influenciada pela dimensão das fibras (comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen)

A densidade refere-se à quantidade de substância madeira existente num determinado volume a uma determinada umidade. Devido à madeira ser um material poroso constituído de uma matriz de fibras e espaços vazios o valor da densidade depende da inclusão ou não do volume de poros e as determinações da mesma pode ser feita de duas formas. Na primeira determina-se o volume de uma forma global, incluindo o volume de poros e obtendo a densidade aparente. Na segunda, o volume da amostra é determinado sem a inclusão dos poros, obtendo-se o volume real ou densidade da parede celular, cujo valor é igual a 1,53 g/cm<sup>3</sup> (VITAL, 1984).

A utilização da densidade se dá devido à mesma ser de fácil determinação e apresentar boa correlação com as características celulares e outras propriedades físicas da madeira. Geralmente, a densidade utilizada é aquela determinada com base na massa de madeira seca em relação ao seu volume saturado (densidade básica). Porém, outro tipo de densidade pode ser utilizado, como é o caso da densidade aparente a 0 e a 12%. Para esse tipo de densidade a massa e o volume encontram-se a um determinado teor de umidade, que pode ser a 0% ou a 12%.

Segundo SILVA *et al.* (1999), citado por FILHO (2004) a densidade quando analisada em um ambiente fabril representa um parâmetro prático para definição de usos e seleção da melhor máquina e ferramenta a ser utilizada no beneficiamento.

A uniformidade da densidade entre as peças de uma mesma madeira é uma característica muito importante ao se pensar em usos mais nobres, como pisos, móveis, lambris e assoalhos, etc. O processamento e beneficiamento da madeira são relativamente fáceis quando a madeira é uniforme em suas propriedades. Desta forma, indústrias que utilizam a madeira de eucalipto como matéria-prima, necessitam de informações sobre a variação da densidade no sentido radial e tangencial, uma vez que a utilização do material oriundo de partes diferentes da própria árvore pode causar desuniformidade do material.

SPURR & HAYVARINEM (1954) destacam que ocorrem variações nas densidades entre espécies e dentro da espécie e que essas variações são devido ao resultado diferenciado na dimensão e espessamento dos elementos celulares, na proporção de vasos, fibras, parênquima axial e radial e pela presença de extrativos tais como gomas e resinas, fazendo com que uma espécie apresente diferentes valores de densidade entre espécies e dentro da mesma espécie.

AMARAL *et al.* (1971) destacam que apesar de cada espécie ser caracterizada por um modelo estrutural definido, sua densidade é variável em função dos fatores que afetam o crescimento da árvore: distribuição geográfica, potencialidade genética, idade, local do caule onde está sendo retirada a amostra, condições climáticas, etc.

Segundo BRASIL *et al.* (1977) o modelo de variação da densidade da madeira no sentido, medula-casca e base-topo, para o gênero *Eucalyptus* é bastante contraditório. Por exemplo, DADSWELL (1931) trabalhando com *Eucalyptus sideraxylum* e SUSMEL (1953, 1954) com *E. camaldulensis* concluíram que a densidade dos mesmos diminuiu em função da altura da árvore. No entanto, CURRO (1957, 1957a) trabalhando com *E. camaldulensis* concluiu que a densidade do mesmo aumentou em direção à copa.

Segundo REZENDE & FERRAZ (1985), quanto à variabilidade no sentido radial para o gênero *Eucalyptus* o que se pode constatar pela literatura que o modelo mais comum é aquele em que a densidade cresce no sentido medula-casca, sendo a idade um fator primordial para o estudo do perfil radial de densidade da madeira.

REZENDE et al. (1985) observaram em amostras de madeira de *E. grandis* um aumento da densidade média anual no sentido medula-casca, do primeiro ao décimo ano, aproximadamente, vindo a partir daí, a decrescer para idades superiores.

MALAN (1988), TOMAZELLO FILHO (1985), BRASIL & FERREIRA (1972) também encontraram resultados similares, sendo a densidade básica menor na região próxima a medula e aumentando em direção a casca.

Quanto à variação longitudinal PANSHIN & DE ZEEUW (1980) apresenta os seguintes modelos:

1. A densidade decresce com a altura;
2. A densidade é decrescente até certo ponto e crescente daí até o topo da árvore. Algumas vezes pode decrescer levemente nas partes superiores;
3. A densidade é crescente da base para o topo, não obedecendo um padrão uniforme de variação.

BARRICHELO et al. (1983) afirmam que no gênero *Eucalyptus* tem sido comum observar o segundo modelo, ou seja, decrescente até a região do DAP e crescente a partir deste ponto, podendo ou não decrescer próximo ao topo. No entanto diferentes modelos tem sido encontrados em função da espécie de eucalipto estudada. No caso do *E. grandis*, eles observaram uma tendência de crescimento da densidade básica a partir do DAP.

BRASIL et al. (1977) ao estudar a variação da densidade básica de secções transversais do caule de *Eucalyptus propinqua* no sentido base-topo concluíram que a mesma cresce até um ponto máximo próximo ao meio da árvore e depois decresce em direção a copa e que o ponto de máxima densidade possa ser atribuído à formação de madeira de reação.

Outra propriedade física que tem grande influência durante o processamento e beneficiamento é o teor de umidade. A água na madeira encontra-se dentro do lumen da célula, preenchendo os espaços vazios entre as células, pode estar aderida à parede das células (água de adesão) ou pode ainda estar compondo a estrutura química do próprio tecido (água de constituição).

O teor de umidade tem alta correlação com as propriedades de resistência mecânica da madeira. As flutuações da força e potência requerida para o corte estão relacionadas com as variedades de defeitos (fendas, farpas, etc) que ocorrem na madeira no momento de seu beneficiamento. Desta forma, é recomendado que as espécies apresente um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) e com uma umidade de equilíbrio abaixo de 12%. Madeiras lixadas com alto teor de umidade tendem apresentar pontos pretos quando envernizadas, porque os grânulos da lixas penetram dentro dos poros, desvalorizando o acabamento.

As características físicas ligadas à aparência tal como a textura e a grã influenciam na qualidade da superfície usinada. As madeiras de grã irregular apresentam superfícies mais ásperas na região onde a ferramenta corta em sentido contrário a direção normal das fibras. Espécies de textura fina, como no caso da peroba rosa apresentam uma melhor qualidade da superfície usinada quando comparadas à superfície de espécies com textura grossa, como, por exemplo, o angelim pedra.

Do ponto de vista do processamento e beneficiamento, o conhecimento das propriedades físicas densidade, grã, textura, plano de corte e teor de umidade contribui na seleção de espécies mais adequadas ao uso e influenciam de forma significativa na eficiência produtiva, na manutenção das ferramentas, no custo e na valorização do produto final.

### 2.5.1 Determinação da densidade por densitometria de raios-X

Dentre os métodos utilizados para determinação da densidade da madeira, pode-se destacar os métodos nucleares que utilizam feixe de radiação gama, partícula  $\beta$  ou raio-X.

Os primeiros estudos de densidade utilizando a técnica de densitometria de raios-X em madeira foram realizados por LENZ (1957) e POLGE (1963). A técnica consiste em adquirir resposta para a irradiação transmitida em várias direções de uma amostra de madeira (SIQUEIRA, 2004).

Atualmente há vários trabalhos que empregam essa técnica nos estudos dos perfis radiais de densidade, na identificação dos anéis de crescimento, na determinação de incrementos anuais de massa e volume, dentre outras aplicações.

É uma das técnicas mais avançadas para medir as variações de densidade, pois confere alta precisão nos resultados e possibilita a detecção de variações a intervalos de 10 micrômetros, porém, tem sua aplicação limitada pela espessura da amostra que não deve exceder a 1,0 cm. Geralmente, para obtenção do perfil densitométrico da madeira se utiliza uma fina seção transversal de 2,0 mm de espessura.

Para determinação da densidade por essa técnica primeiramente uma fina seção transversal de 2,0 mm de espessura é disposta sobre um filme radiográfico. O fato da madeira ser um material altamente higroscópico torna necessário o acondicionamento das amostras antes da exposição destas aos raios-X por um período de 24 horas, pois a umidade de equilíbrio residual pode ser facilmente alterada pelas variações ambientais, além de afetar fortemente as medidas de atenuação das radiações pelo teor de umidade nas fibras da madeira (FERRAZ, 1993).

Posteriormente, o filme radiográfico é exposto à fonte de raios-X e com a passagem da radiação através da amostra de madeira, forma-se uma imagem de sua estrutura transversal (CHAGAS, 2005). Segundo o mesmo autor, esta técnica permite (1) medir as variações de densidade em pequenos setores, em particular, as variações intra e inter anéis de crescimento; (2) medir a largura dos lenhos iniciais e tardios e a largura do anel de crescimento; (3) determinar a porcentagem de lenho tardio.

A análise por densitometria de raios-X proporciona um perfil detalhado da densidade na direção radial da madeira, nos quais os limites dos anéis de crescimento e efeitos externos sobre as propriedades da madeira podem ser visualizados (TOMAZELLO FILHO, 2006).

### 2.6 Operações de Usinagem da Madeira

A atual situação da indústria madeireira e principalmente o preconceito da utilização da madeira de *Eucalytus* na forma de produtos sólidos estão baseados na falta de conhecimento sobre os processos de usinagem desse material (SILVA, 2005).

As operações de usinagem são aquelas que visam dar a peça de madeira a forma, dimensões ou acabamento, ou a combinação dessas três operações, com produção de cavaco. Elas abrangem o serramento, o aplainamento, a furação, o fresamento, o lixamento e o torneamento.

Enquanto o corte realizado pelo processamento visa produzir uma forma desejada quanto às dimensões, o beneficiamento fornece um melhor aspecto às superfícies, bem como possibilita a fazer molduras, furos, rebaixo e a fabricar peças com formatos variados a partir de um bloco de madeira.

Na usinagem de uma madeira, no início do corte, a ferramenta penetra no material da peça, e esta se deforma elástica e plasticamente. Após ultrapassar a tensão máxima de cisalhamento do material, este começa a escoar. Em dependência da geometria da cunha de corte, o material deformado passa a formar um cavaco que desliza sobre a face da cunha de

corte. O desempenho do material frente a esse trabalho de usinagem é que vai caracterizar a usinabilidade do mesmo (BAPTISTA, 2002).

Segundo ALMEIDA (2005) a usinabilidade é uma propriedade difícil de ser determinada, pois depende de diversos fatores inerentes aos processos de usinagem, tais como:

1. Material da peça (composição química, microestrutura, dureza, propriedades mecânicas, rigidez da peça);
2. Processos mecânicos e condições de usinagem (velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, material e geometria da ferramenta, condições de trabalho, fluido de corte, rigidez da máquina e do sistema de fixação e tipo de operação a ser realizada).

Para BAPTISTA (2002), a usinabilidade não é uma propriedade intrínseca do material, mas, sim, um resultado da interação do material com a operação de usinagem. As condições de usinagem são estabelecidas para cada tipo de material e ferramenta. O avanço e a velocidade são limitados pelo calor gerado pelos atritos e pela deformação plástica do cavaco. Quanto maior a usinabilidade do material da peça e a resistência ao desgaste do material da ferramenta, maiores podem ser os avanços e as velocidades de corte. Deve-se levar em consideração que os fluidos de corte têm ação lubrificante e refrigerante e que a profundidade de corte é um fator que limita o avanço e a velocidade de corte.

Segundo SILVA (2002) para avaliar a usinabilidade de uma madeira, são, geralmente, usados isoladamente ou em conjunto quatro critérios básicos:

1. Vida da ferramenta;
2. Força de usinagem;
3. Qualidade superficial da peça, e
4. Formação de cavacos (forma e tamanho dos cavacos).

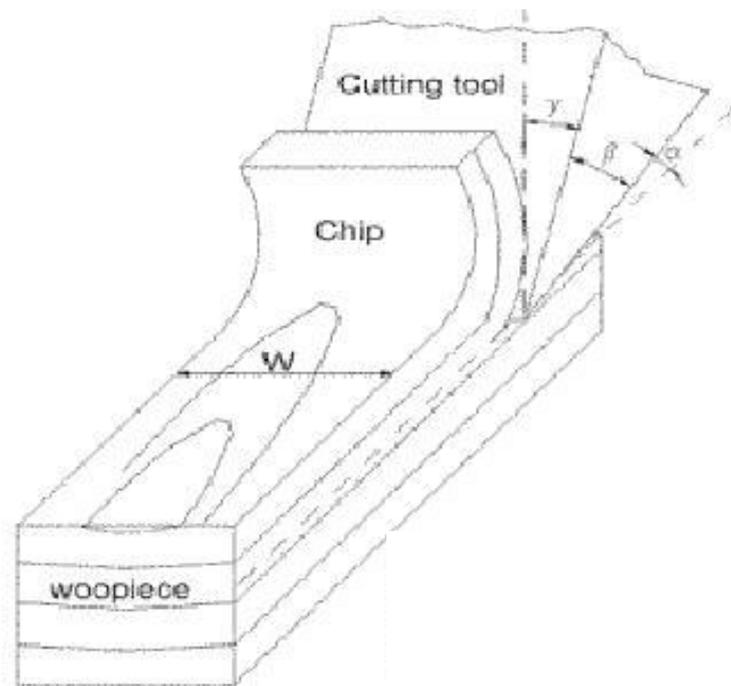
Em qualquer processo de usinagem, o corte dos materiais é sempre executado com base em um dos mais antigos e elementares princípios fundamentais que existe: a cunha. Essa cunha apresenta três ângulos de corte que são: o ângulo de ataque ( $\gamma$ ), o ângulo de folga ( $\alpha$ ) e o ângulo de cunha ou de faca ( $\beta$ ), conforme mostra a Figura 3.

Em relação ao ângulo de cunha ( $\beta$ ) quanto menor ele for, mais facilidade a cunha terá para cortar. Assim uma cunha mais aguda facilita a penetração da aresta cortante no material, e produz cavacos pequenos, o que é bom para o acabamento da superfície. Por outro lado, uma ferramenta com ângulo de cunha muito agudo terá resistência de sua aresta de corte diminuída. Isso pode danificá-la por causa da pressão feita ao executar o corte. Desta forma, a ferramenta deve ter um ângulo de cunha capaz de vencer a resistência do material a ser cortado, sem que sua aresta seja danificada.

Não basta apenas que a cunha tenha um ângulo adequado ao material a ser cortado. Sua posição em relação à superfície a ser cortada também influencia decisivamente nas condições de corte, ou seja, não deve haver uma área de atrito entre o topo da ferramenta e a superfície a ser cortada. Para evitar isso, a ferramenta de corte deve ter um ângulo de folga ( $\alpha$ ).

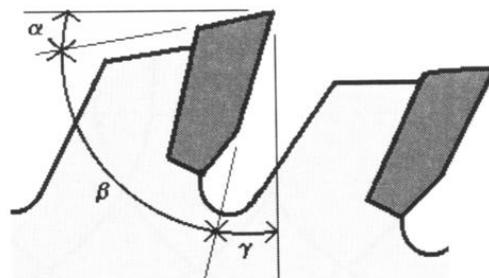
Para materiais que oferecem pouca resistência ao corte, o ângulo de cunha deve ser mais agudo e o ângulo de saída deve ser maior. Entretanto, para materiais mais duros o ângulo da cunha deve ser mais aberto e o ângulo de saída deve ser menor.

Além do ângulo de cunha e de folga, existe um ângulo muito importante relacionado à posição de cunha, denominado de ângulo de ataque ( $\gamma$ ).



**Figura 3.** Geometria do corte ortogonal e componentes das forças de cortes, (Adaptado de WOODSON & KOCH, 1970).

O conhecimento dos ângulos característicos das ferramentas de corte fornece subsídios para prever porções da qualidade da superfície usinada (BONDUELLE, 2001). Na Figura 4, encontram-se esboçados os ângulos básicos de serra circular.



Fonte: Adaptação de Freud (1998).

**Figura 4.** Aspectos ilustrativos dos ângulos básicos dos dentes de uma serra circular, sendo  $\alpha$  = ângulo livre ou folga;  $\beta$  = ângulo de cunha e  $\gamma$  = ângulo de ataque.

O ângulo de ataque ( $\gamma$ ) influi na penetração da aresta cortante na madeira e intervém na evacuação do cavaco. Um ângulo de ataque baixo provoca esforço elevado e a ferramenta arranha a madeira ao invés de cortá-la. Um ângulo ( $\gamma$ ) elevado reduz os esforços, mas tende a provocar um arrancamento de fibras. Se o ângulo de ataque ( $\gamma$ ) variar de  $-2^\circ$  a  $2^\circ$ , ocorre forte compressão das fibras, necessitando de altos esforços de usinagem. A superfície obtida é considerada de baixa qualidade. O ângulo de folga ou livre ( $\alpha$ ) evita o entalamento da ferramenta sobre a madeira e é necessário para evitar atritos que aumentam o esforço de usinagem. Se ele é baixo, a face de folga da ferramenta arrasta sobre a madeira, provocando aquecimento excessivo e maior desgaste da ferramenta. Se ele é alto, a aresta cortante torna-se mais frágil. Para a maioria dos fabricantes de serras circulares, seu valor ideal é próximo de

10° ( $5^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ ). O ângulo de cunha ( $\beta$ ) é complementar dos dois ângulos precedentes e prediz a resistência do dente frente ao ataque na madeira e é dependente do tipo de material e da metodologia empregada na sua confecção. Quanto menor seu valor, menor será o esforço de usinagem. Contudo, baixos valores tendem a promover a pré-clivagem e torcimento ou quebra do dente. Para a maioria dos fabricantes de serra, o valor mínimo de ( $\beta$ ) utilizado é 45°, baseando-se na resistência do material que é utilizado em sua confecção, que em quase sua totalidade é o metal duro (HM), vulgarmente chamado de wídia (SILVA, 2002).

### **2.6.1 Cortes na madeira**

O corte convencional da madeira é definido como sendo a ação da aresta cortante de uma ferramenta sobre uma peça de madeira, que produz cavacos de dimensões e espessuras variáveis. A fabricação destes cavacos dependerá dentre outros fatores da geometria da ferramenta, das propriedades da madeira e da direção de corte em relação à orientação dos elementos anatômicos. A qualidade obtida pela usinagem estará então ligada à formação dos cavacos.

A usinagem de corte clássico é um processo de esforço e ruptura. O esforço é aplicado à madeira pela ação humana ou de uma máquina, através de uma ferramenta de corte (HOADLEY 2000). A orientação e direção da força são controladas pelo tipo de instrumento de corte e pelo braço do operador (ou pela máquina). A direção do movimento e a geometria da ferramenta determinam o desenvolvimento de esforços impostos à madeira e, conseqüentemente, a maneira em que a ruptura ou o “corte” é realizado (DE MOURA, 2004).

Dois fatores influenciam durante o corte da madeira, ou seja:

1. A noção do fio da ferramenta (força e área);
2. O estado ou condição da madeira, em termos de seu teor de umidade, temperatura, presença de defeitos, etc.

GONÇALVES (2000) cita dois modos principais de corte: o corte periférico e o corte ortogonal. As operações de serramento, aplainamento, molduramento, furação de corte, lixamento, rasgo (fresamento, entalhamento) e torneamento, pode, por meio de algumas adaptações, ser analisadas por um destes modos de corte.

#### **a) Cortes Ortogonal**

O corte ortogonal pode ser definido como sendo a situação onde o gume da ferramenta é perpendicular a direção do movimento de avanço da peça. Máquina como serra-fita, serra-circular e plainas de corte podem ser estudadas utilizando o princípio de corte ortogonal (KIVIMAA, 1952, citado por FILHO, 2004).

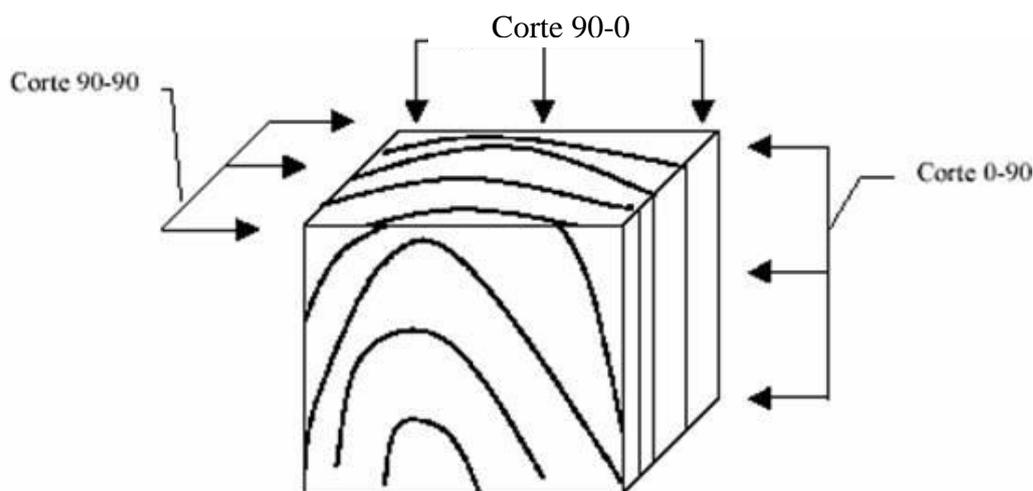
As serras circulares apresentam uma grande variedade de diâmetros, espessura, número e formatos de dentes. São considerados discos finos aqueles que apresentam a espessura igual ou menor que o diâmetro dividido por 200 (GONÇALVES, 2000).

Quanto ao tipo, as serras podem ser classificadas em dentes fixos e dentes postiços. O número de dentes é afetado pelo tipo de trabalho, acabamento ou desbaste, altura dos dentes, espécie de madeira, tipo de cavaco produzido, potência de corte necessária, velocidade de corte e velocidade de avanço.

O corte em madeira “verde” requer menor número de dentes do que para o corte de madeira seca em corte de acabamento. O corte transversal também requer um número de dentes maior que para o corte longitudinal. Para serras de corte longitudinal são recomendados o uso de discos com 32 a 42 dentes e para serras destopadeiras de pêndulo, de 60 a 78 dentes. Quanto mais moles e “verdes” a madeira, menor o número de dentes. Para

dicotiledôneas de média e alta densidade e seca são utilizadas serras com 42 dentes (FILHO, 2004).

MCKENZIE (1964) também propôs uma notação com dois números para descrever as principais situações que podem ocorrer durante o corte ortogonal. O primeiro representa o ângulo entre o gume da ferramenta (aresta cortante) e a fibra (grã) da madeira. O segundo indica o ângulo entre a direção de corte e a fibra (grã) da madeira. Esta notação define as três direções de corte, chamadas 90-0, 90-90 e 0-90 (Figura 5).



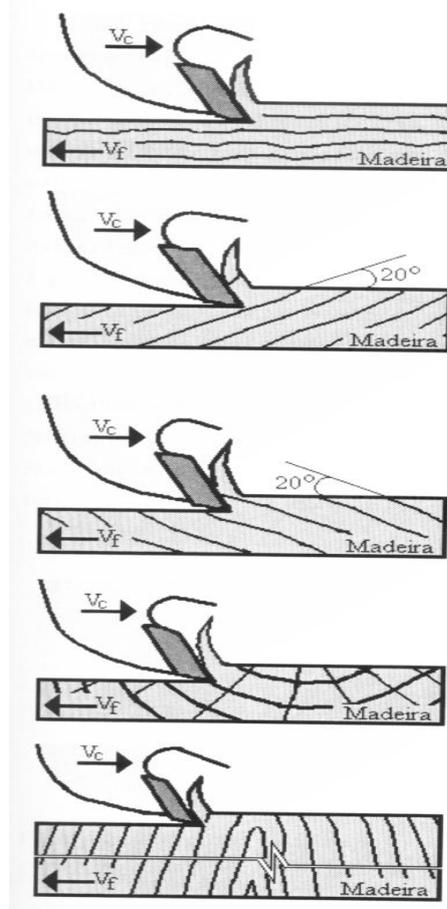
**Figura 5.** Principais tipos de corte ortogonal na seção transversal da madeira (baseado em KOCH, 1964).

O corte 90-0 (direção longitudinal ou axial) ocorre em todo o processo efetuado paralelamente a grã e é encontrada em ações de corte como no processo de fresamento, aplainamento manual e em trabalhos de corte de molduras. A formação do cavaco em corte ortogonal  $90^\circ - 0^\circ$  representa uma das mais freqüentes situações de usinagem, o que explica o fato de que ela tenha sido pesquisada com maior profundidade (DE MOURA, 2004).

O trabalho de serra-fita é típico da direção 90-90 (corte perpendicular às fibras - direção tangencial). Normalmente, maiores esforços são necessários nesta direção.

O corte 0-90 ocorre na direção radial - corte perpendicular de fibras e exige energias de corte ainda menores quando comparado às outras direções.

De acordo com LUTZ (2001), citado por SILVA (2002) a madeira por ser anisotrópica, pode ser usinada de diferentes maneiras, quer seja, em função da direção ou em função do sentido de ataque entre a ferramenta e as fibras da madeira. Desta forma, existe diferentes formas de se trabalhar a madeira, ou seja, pode-se trabalhar longitudinalmente, transversalmente e no topo, tendo cada um corte suas peculiaridades, conforme mostra a Figura 6.



**Figura 6.** Aspectos ilustrativos das técnicas de se cortar a madeira, sendo  $V_c$  = velocidade de corte da serra circular e  $V_f$  = velocidade de avanço da madeira.

### b) Corte periférico

O corte periférico é um processo no qual a madeira é retirada de uma peça sob a forma de cavacos individuais por meio de ação intermitente das facas, instaladas na periferia de um porta-facas rotativo. A superfície obtida consiste numa série de traços ou ondas individuais geradas pelo contato sucessivo das facas sobre a madeira (KOCH, 1985), citado por (MOURA, 2004). Como exemplos de ferramentas utilizadas no corte periférico temos as plainas desengrossadeira e desempenadeira, entre outras. O corte ortogonal é considerado um caso particular de usinagem periférica, no qual o diâmetro do porta-facas tende ao infinito.

O corte periférico é chamado de aplainamento para processos de usinagem de madeira que envolve a remoção de cavaco em operação de desbaste ou acabamento da superfície. No caso das operações de rasgos, rebaiços, furos, chanfros, molduramento em perfis ele é conhecido como fresamento.

Segundo BIANCHI (1996) o fresamento de madeira, na linguagem da indústria madeireira, trata de uma operação de aplainamento lateral ou de topo. O fresamento apresentará características diferentes conforme a orientação das fibras da madeira em relação ao movimento da ferramenta.

Assim como nos metais, a usinagem da madeira por corte periférico pode ser concordante ou discordante. No primeiro caso, o acabamento final da peça é melhor e a potência de usinagem é maior, porém, o corte discordante continua sendo mais utilizado, devido a menor periculosidade para o operador.

Segundo GONÇALVES (2000) as fresas cilíndricas mais comumente utilizadas na usinagem da madeira são as fresas para ranhuras, fresas retas para rebaixos, fresas de chanfro, fresas de perfil, fresas para almofada, para emenda conjugadas ou de corpo único, fresas de perfil côncavo ou convexo e fresas para chanfrar ou arredondar cantos vivos, fresas para encaixes de caixilhos, para guarnição de esquadrias, de perfil e contra-perfil de molduras, entre outras, todas feitas de aço rápido ou metal duro.

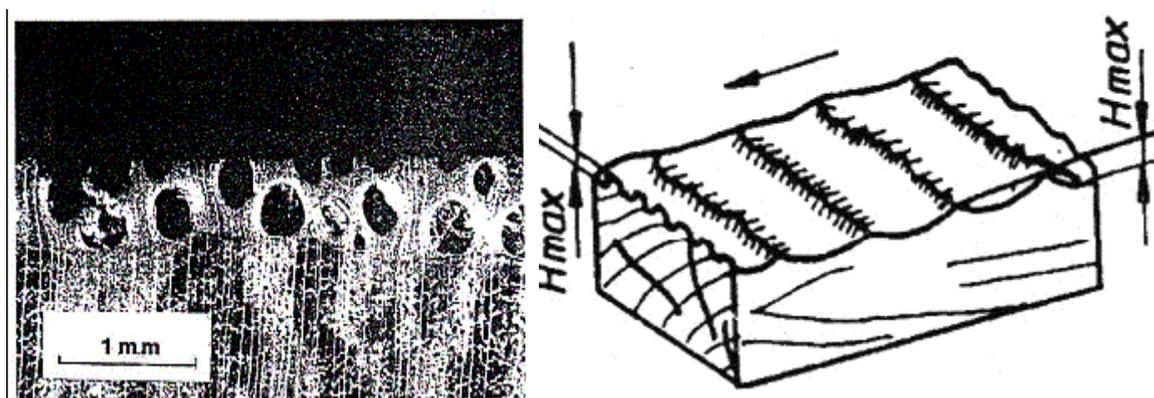
Para que as velocidades de corte sejam elevadas, as fresas de aço média-liga, aço-rápido e metal duro apresentam diâmetros entre 100 e 180 mm, porém, como desenvolvimento de máquinas de alta velocidade (na usinagem de madeiras acima de 100 m/s) e das ferramentas de CBN (nitreto de boro cúbico) e PKD (diamante policristalino), já é possível utilizar fresas com diâmetros inferiores a 80 mm, mais econômicos e de balanceamento dinâmico mais fácil. O número usual de gumes cortantes fica entre 2 e 8, havendo maior tendência ao uso de 2 ou 4 gumes (BIANCHI, 1996).

Segundo FILHO (2004), para que as empresas avancem na capacidade de manufatura, de forma a conseguirem produtos de baixo custo, elevada qualidade e flexibilidade produtiva é importante conhecer o comportamento dos processos de fresamento, corte e furação, que são considerados os principais processos de transformação da madeira em peças e/ou componentes de móveis.

## 2.6.2 Qualidade da superfície

A qualidade da superfície de produtos sólidos é uma das mais importantes propriedades que influenciam o processo de acabamento superficial (aplicação de tintas, vernizes, etc.) e resistência da linha de cola (KILIC et al., 2006).

Durante as operações de usinagem são deixadas irregularidades sobre a superfície de madeira em forma de marcas ou sulcos. Essas irregularidades são geradas pela ferramenta de corte, as quais abrem cavidades nos diferentes tipos de células constituintes do tecido lenhoso. O tamanho dessas cavidades depende da espécie, do tipo de lenho (tardio ou inicial) e direção do corte: radial, transversal ou tangencial (FILHO, 2004). Cada tipo de ferramenta de corte deixa seu próprio padrão. Este padrão é denominado de textura que é a caracterização topográfica da superfície.



**Figura 7.** Características da topografia da madeira. Irregularidades anatômicas e rugosidade, devido ao processo de usinagem. (GURAU *et al.*, 2001).

Segundo LIMA (1995) o objetivo de usinar a madeira não é apenas cortar, mas produzir peças com qualidade e formas desejáveis. Todo processo, realizado por um complexo, máquina-homem-madeira, está sujeito a defeitos como, trincas, rachaduras,

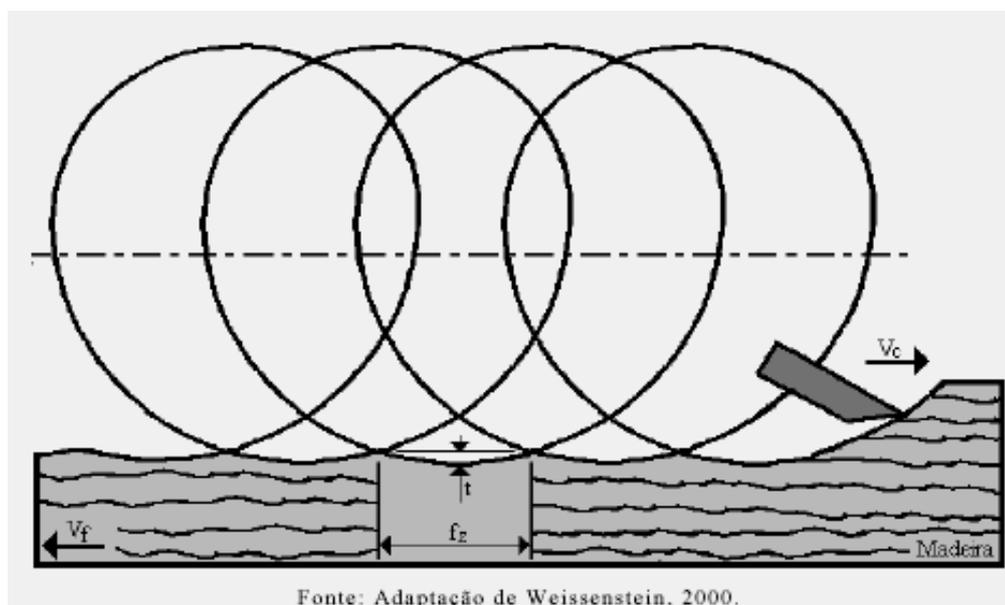
arrancamento de fibras, nós, furo de insetos e qualidade ruim no acabamento superficial. Esses defeitos são prejudiciais à comercialização dos produtos.

Os principais defeitos que ocorrem no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas (SILVA, 2002):

1. Variações das propriedades da madeira;
2. Condições das máquinas – Relacionado diretamente ao desgaste dos componentes das máquinas que alteram o seu funcionamento. Os principais aspectos a serem considerados são a manutenção, o balanceamento e o alinhamento do eixo porta ferramentas;
3. Ferramentas de corte – Relacionado ao estado de conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada;
4. Treinamento do operador – A regulagem e o ajuste correto das máquinas é função do grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada.

A qualidade da superfície usinada dependendo do pesquisador é apresentada de uma determinada forma. WEISSENEITEN (2002); COSTA (1996); SENAI/CETMAM (1996); SENAI, 1995, citado por SILVA (2002) consideram a qualidade em função do avanço consideram que a qualidade em função do avanço por dente ( $f_z$ ) ou da profundidade do arco ciclóide ( $t$ ), sendo expresso em marcas por polegada linear ou em milímetros. Esses parâmetros adotados encontram-se ilustrados na Figura 8.

Para BONDUELLE et al. (2002) e SILVA et al. (1999) além do avanço por dente e profundidade de corte existe uma outra variação que é o da estrutura da madeira. De acordo com este conceito, as falhas na superfície, são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações. Toda essa variação estrutural pode apresentar defeitos na forma de “buracos”, trincas e pré-rachamentos.



**Figura 8.** Valores normativos de um aplainamento, sendo  $f_z$  = profundidade do arco ciclóide,  $V_c$  = Velocidade de corte das facas e  $V_f$  = Velocidade de avanço da peça de madeira.

Com relação ao avanço por dente, quanto menor o seu valor, melhor será a qualidade do acabamento. Segundo LIMA (1995) ao aplainar uma madeira, deve-se ter no mínimo oito marcas por polegada. A melhoria da qualidade do acabamento pode ser alcançada com a

redução da velocidade de avanço da madeira e/ou o aumento do número de gumes de corte e da frequência de rotação do eixo porta ferramenta da máquina.

BONDUELLE (2001) afirma que para as operações de aplainamento ou fresagem, os valores de avanço por dente devem estar no intervalo de 1,0 a 1,8 mm. Quanto ao aumento do número de dentes para melhoria da qualidade, o mesmo autor menciona que esta prática apenas é válida quando se dispõe de tecnologia hidrocentrante ou de modo geral através da fixação hidráulica tal como no sistema “power lock”. Estas tecnologias garantem a eliminação, em grandes proporções, do jogo entre o eixo porta-ferramentas e o furo da ferramenta de corte assim como o alinhamento (retificação) dos gumes sobre o mesmo cilindro de corte.

De acordo com BIANCHI (1996) o acabamento será tanto melhor quanto mais próximos forem os picos de rugosidade resultantes dos movimentos cicloidais descritos pelos gumes de corte. Para aplainamento de desbaste uma distância entre picos de 4-5 mm é suficiente, enquanto que para acabamento fino, esta distância não deve ultrapassar 1,5 mm. Aparentemente, ao elevar-se o número de lâminas a distância entre picos de rugosidade fica menor, porém, na prática, observa-se que não há grande melhora no acabamento, pois o gume necessita retirar uma certa espessura de cavaco. Além disso, o acabamento final da peça depende ainda de muitos outros fatores.

Quando a madeira é destinada para confecção de móveis, assoalhos, esquadrias e outros produtos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho frente aos processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada (SILVA et al. 2009). É importante entender que a correta trabalhabilidade da madeira, requer conhecimento de suas propriedades, dos parâmetros de usinagem e de suas interações (SILVA et al., 2005). Também é importante conhecer qual a qualidade desejada em função da peça produzida, que segundo WEING (2000), pode ser definida em função da magnitude do avanço por dente (fz). No caso de fabricação de porta, janelas, batentes, móveis, este deve ser de aproximadamente 1,0 mm. No caso de fabricação de pisos 1,5 mm e no caso de caibros, tábuas, e portões 2,5 mm.

De acordo com GOLI et al. (1997) a qualidade da superfície pode ser avaliada qualitativamente através do método visual, padronizado pela norma ASTM D-1666/87 ou quantitativamente por meio da medição topográfica da superfície. O método qualitativo tem como premissa a análise visual dos defeitos deixados na superfície da madeira após as operações de aplainamento, molduramento, torneamento, furação, encaixe e lixamento. Já os métodos medição topográfica medem a rugosidade e têm a capacidade de mensurar parâmetros físicos que estão mais ou menos correlacionados com a qualidade da superfície.

Os equipamentos para mensurar a superfície topográfica da madeira são diversos e sua escolha depende da utilização e do grau de precisão requeridos na definição dessa rugosidade (GOLI et al., 1997 e GONZÁLEZ, 1987).

Dentre os equipamentos para medição direta da superfície topográfica destaca-se:

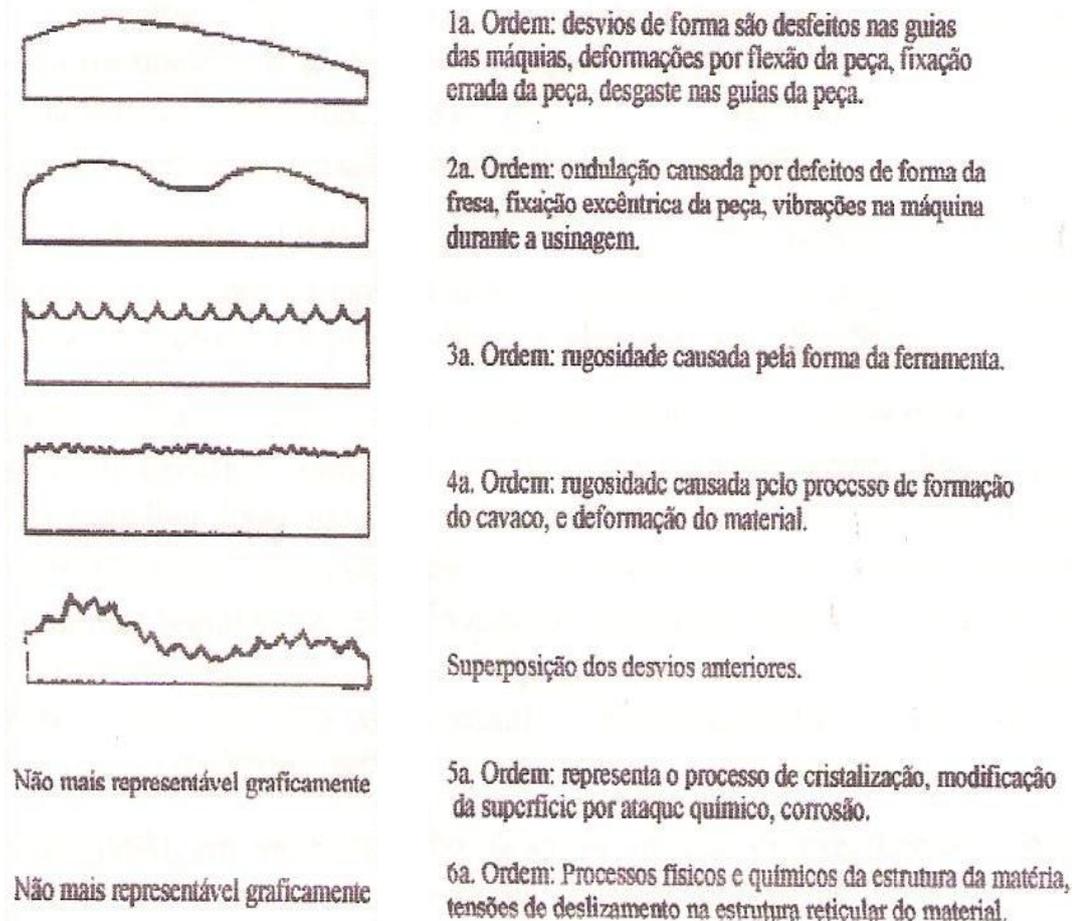
1. Rugosímetros – Fornece um perfil de rugosidade da superfície. São aparelhos eletrônicos baseados em sistemas, que utilizam uma pequena agulha para percorrer uma amostra da superfície, definindo numericamente ou graficamente o seu perfil (Talysurf da Rank Taylor Hobson, Perthometer da Mehr Perthen, Surf test 501 da Mitutoyo e outros);
2. Raio laser – Fornece um perfil de visualização da superfície (Topovise desenvolvido pela ENSTIB);
3. Raios ultra-violeta – Permite visualizar a superfície (Sistema DICOM e EDIXIA).

Dentre os equipamentos de medição da superfície topográfica indireta destaca-se aqueles baseados:

1. Na variação de pressão após as mudanças relativas do vácuo – Método introduzido pela CTBA para avaliar compensado;
2. No controle tátil por meio do mensuramento de fricção (Toposurf da ENSTIB).

Equipamentos mais sofisticados também são utilizados para determinar a superfície topográfica da peça de madeira. Eles são divididos em três categorias: microscópicos, espectroscópicos e termodinâmicos. Os métodos microscópicos provêm informação sobre a morfologia de superfície. Os principais equipamentos utilizados são CLSM – Microscópio a laser confocal, SEM – Microscópio elétrico de varredura e o AFM – Microscópio de força atômica. Os métodos de espectroscopia provêm informação sobre a química da superfície. Os principais equipamentos utilizados são espectroscopia molecular, espectroscopia de massa e espectroscopia eletrônica. Os métodos termodinâmicos provêm informação sobre a energia da superfície. Os principais métodos utilizados são análise do ângulo de contato e cromatografia de gás inversa (TSHABALALA, 2005).

Conforme exposto em parágrafo anterior durante a usinagem são deixadas pelas ferramentas de corte marcas ou sulcos na superfície da madeira. Essas irregularidades são chamadas textura primária (GONZÁLEZ, 1987, citado por SIQUEIRA et al., 2003). A textura é a caracterização topográfica da superfície. Como na superfície de uma peça existem vários níveis de desvios geométricos, a textura não abrange todos, limitando-se aos desvios de segunda a quinta ordem, ou seja, ondulações e rugosidade (Figura 9) (CALIL, 2001).



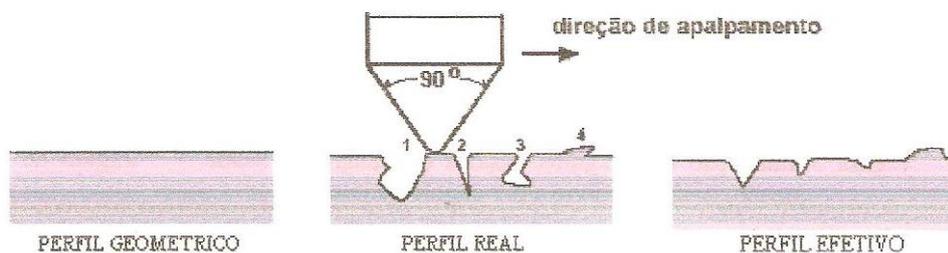
**Figura 9.** Ondulações e rugosidade na superfície da madeira, classificação dos desvios de forma em função de sua ordem e suas causas geradoras. (adaptação de DIN 4760, SIQUEIRA, 2003).

O perfil de rugosidade contém as variações topográficas a fraco comprimento de onda. As ondulações comportam as irregularidades onde o comprimento de onda é muito maior. A delimitação entre os perfis de rugosidade e ondulações vai depender das condições de medida e de filtragem empregadas no momento da avaliação topografia (MUMMERY, 1992 citado por DE MOURA 2006).

Para avaliação da qualidade da superfície tanto os parâmetros de rugosidade quanto os de ondulações são aceitos. A rugosidade pode ser definida como, os desvios apresentados em uma superfície tendo frequências periódicas e aperiódicas produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte ou abrasão sobre as superfícies da peça sofrendo uma influencia sobre o tipo de formação de cavaco. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido à fixação fora do centro, batimento no processo de usinagem e vibrações nas máquinas, ferramentas ou peças (Figura 9) (ARAND, 1989, citado por SIQUEIRA et al., 2003).

Outro conceito que deve ser apresentado é relativo à diferença entre superfícies geométrica, real e efetiva (ABNT,1998 e DIN, 1982), como demonstra a Figura 10.

1. Superficial geométrica é aquela isenta de erros de forma e textura;
2. A superfície real é aquela resultante do processo de fabricação “que limita o corpo e o separa do meio que o envolve”, e
3. Superfície efetiva é aquela avaliada pela técnica de medição. Como os instrumentos de medição, por sua vez, não consegue captar todas as características da textura, esta, torna-se uma aproximação da superfície real.



**Figura 10.** Superfícies geométricas (BEET, 2000).

Assim dependendo da resolução do instrumento de medição, a superfície efetiva estará mais próxima da real.

Nos anos 30 foi lançada a primeira técnica de medição topográfica da superfície utilizando um aparelho pontiagudo denominado de stylus. Este aparelho tinha uma fina ponta que era movida sob a superfície transversal e o seu desvio vertical era então registrado. Atualmente essa técnica foi refinada e a partir dela diversos equipamentos e métodos de medição do estado de superfície foram desenvolvidos.

A norma ISO 1878 classifica os instrumentos de medição dimensionais em três classes básicas: instrumentos para medição de erro e forma, de ondulação e de rugosidade. Existem vários princípios de medição de textura, cada um com faixa de medição e resolução características. A escolha do melhor equipamento deve considerar não só o processo de fabricação, mas também o método de caracterização da topografia (CALIL, 2001).

O mesmo autor destaca que no caso do instrumento ser um rugosímetro deve-se delinear os parâmetros de entrada para o seu funcionamento, como por exemplo: *cutoff*, comprimento de medição, tipo de filtro, raio e ângulo de ponta do apalpador, presença de patins no apalpador e fator de escala.

Após a escolhida dos parâmetros do equipamento que será utilizado, define-se o parâmetro de especificação da superfície. Na tentativa de descrever adequadamente o perfil de uma superfície criaram-se inúmeros parâmetros e funções estatísticas de correlações. Os

primeiros foram criados para o aparelho stylus e incluía os parâmetros Ra, Rq e Rz. TABENKIN (1997) citado por CALIL (2001) afirma existir mais de 100 parâmetros de textura, sendo que muitos deles são similares, como é o caso do Ra e Rq e outros simplesmente desnecessários. Esta quantidade exagerada de parâmetro acaba dando um efeito contrário, pois dificulta ainda mais a caracterização da textura da superfície.

GONZÁLES (1987) divide os parâmetros de medição da superfície em três classes distintas: aqueles que se baseiam na medida da profundidade da rugosidade, os que se baseiam em medidas horizontais e os que se baseiam em medidas proporcionais. Para aqueles que se fundamentam em medidas de profundidade, os seguintes parâmetros ficam definidos:

**Ra** - dado pelo comprimento de amostragem, que indica a medida da rugosidade. Este parâmetro é o mais utilizado para caracterização topográfica da superfície. Ele corresponde à média dos desvios do perfil em relação à linha média;

**Rq** - que é a raiz da média dos quadrados das ordenadas do perfil efetivo. Este parâmetro é utilizado para aumentar a sensibilidade aos valores extremos, isto é a parte alta e baixa do perfil;

**Rz** - a média aritmética dos valores de rugosidade parcial. Ele expressa a profundidade média da rugosidade;

**Rt** - a distância vertical entre o pico mais alto e o mais profundo, e

**Rmax** - a maior das rugosidades parciais.

Naqueles, onde as medidas horizontais são fundamentais, os parâmetros a serem medidos são:

**Lc** - que é o comprimento do contato a uma profundidade abaixo da saliência mais alta, e

**Tp** - a fração de contato a determinada profundidade.

Por último, os parâmetros de medição de rugosidade fundamentados em medidas proporcionais têm como variáveis:

**Ke** - definido como coeficiente de esvaziamento, e

**Kp** - que é o coeficiente de enchimento.

Segundo ZECCHINO (2006) o parâmetro Ra é o mais utilizado para medição da rugosidade da superfície, devido ser de fácil obtenção, bastante conhecido, está bem fundamentado, pois existe bastante literatura e padrões disponível para explicar seus parâmetros e talvez a mais importante é que os engenheiros de processos podem especificá-lo e terminar uma superfície dentro daquela especificação.

Em países líderes no setor de tecnologias de usinagem da madeira, tais como Alemanha e Itália, já existem dispositivos automáticos acoplados às máquinas para avaliação da qualidade da superfície, tais como raio laser para captação de dados e posterior confecção dos perfis e levantamento dos parâmetros de rugosidade. No Brasil, a técnica utilizada em laboratório ainda é baseada na norma ASTM D-1666, que é essencialmente subjetiva baseada na análise qualitativa e na experiência do analista da qualidade. No ambiente fabril, o controle da qualidade da superfície ainda é pior, pois se baseia na avaliação do grau de “aspereza” por meio da sensibilidade ao tato e por exames visuais baseados na experiência do responsável pelo controle de qualidade, os quais não podem fornecer resultados compatíveis e reproduzíveis.

BONDUELLE (1994) destacou que os valores obtidos para a rugosidade das superfícies podem ser usados para predizer o momento certo de troca da ferramenta. Esse valor evitaria a substituição de ferramentas em função da distância usinada, representada pelo

volume de peças processadas, ou por tempo de trabalho da ferramenta, geralmente determinado pelos turnos de trabalho.

Segundo FILHO (2004) um pensamento equivocado que merece mudança é o de que a indústria madeireira não necessita produzir superfícies tão bem acabadas, com baixas tolerâncias nos desvios das condições ótimas obtidas. É de se esperar que o desenvolvimento do setor madeireiro elimine os conceitos negativos e não vise somente aumentar a produtividade, mas também melhorar a qualidade dos produtos, cujos objetivos são de tornar o setor mais competitivo no desenvolvimento desta revisão baseada no setor metal-mecânico para poder inferir para a situação do material madeira, pois conforme BEST (1999), com o desenvolvimento de novos equipamentos e de novas técnicas de análise de superfícies, o campo de aplicação tem se expandido acentuadamente e hoje já se encontram várias aplicações fora do campo puramente mecânico.

## 2.7 Tratamento Térmico da Madeira

O tratamento térmico da madeira é um tratamento realizado a altas temperaturas na ausência de oxigênio e que causa mudanças na composição química da madeira e afeta a maioria de suas propriedades (LEBOW & MORRELL, 2008). O tratamento térmico se efetua em um intervalo de temperatura entre 200 e 300°C e o produto obtido é a madeira termorretificada (produto intermediário entre a madeira seca e o carvão vegetal) (ROUSSET, 2009).

A ação do calor na madeira provoca diferentes níveis de transformação em sua estrutura, as quais estão associadas ao fenômeno de pirólise (BRITO et al., 2006). A pirólise é a primeira etapa nos processos de combustão e gaseificação da madeira, seguida de oxidação total ou parcial dos produtos primários. Em temperaturas baixas e longos tempos de permanência obtêm-se a produção de carvão. Temperaturas altas e longos tempos de permanência aumentam a conversão da biomassa em gás. Temperaturas altas e pequenos tempos de permanência são ótimos para produção de líquidos (BRIDGWATER, 2004).

As fases de pirólise da madeira podem ser identificadas pela sua perda de massa, que ocorre por influência das reações químicas verificadas na elevação da temperatura (BRITO et al., 2006). GUEDIRA (1998) e VOVELLE & MELLOOTTEE (1982) classificaram a redução de massa da madeira, durante o processo de pirólise, em cinco diferentes fases.

1. Ocorre entre a temperatura ambiente e 100 °C, e corresponde à saída da chamada água-livre e água higroscópica da madeira, que permanecia retida no lúmen e parede das células;
2. Ocorre entre 100 e 250 °C e também está ligada à eliminação de água. Uma parte dessa água ainda é chamada higroscópica, pois se encontra retida pelas paredes celulares e é considerada como estando adsorvida junto às hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e da lignina. Outra parte da água é chamada água de constituição, cuja eliminação é acompanhada por uma degradação irreversível da madeira, sobretudo de seus grupos hidroxílicos;
3. Situa-se entre 250 e 330 °C, e em geral, ocorre à destruição da hemicelulose;
4. Situa-se entre 330 e 370 °C, em que se supõe ocorrer à destruição da celulose;
5. Manifesta-se a temperaturas acima de 370 °C, quando o carvão vegetal é produzido, estando fortemente ligada ao início da degradação da lignina.

A termorretificação é um processo em que o calor é aplicado à madeira em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são as mais sensíveis à ação do calor. Conforme GUEDIRA (1998) e VOVELLE & MELLOOTTEE (1982), tais temperaturas estariam entre 100 e 250 °C. O resultado seria a obtenção de um produto sólido apresentando

características diferenciadas, comparativamente à sua madeira original, algumas delas podendo tornar-se interessante para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al. 2006).

Segundo CHOW E PICKLES (1971) quando a madeira é tratada acima de 180 °C, duas principais reações ocorrem: uma é a reação de degradação ou modificação dos seus componentes químicos, podendo incluir reações de desidratação e conversão de grupos funcionais sensíveis ao calor; outra é a degradação da cristalinidade da celulose, diminuindo o comprimento da cadeia de celulose. Podem ocorrer também reações de polimerização dos extrativos e lignina, gerando produtos que exibem forte natureza adesiva, melhorando assim as propriedades de resistência e estabilidade dimensional.

SCHAFFER (1973) apresenta as alterações sofridas pela madeira quando submetida a temperaturas superiores a 50 °C (Tabela 2).

**Tabela 2.** Alterações provocadas termicamente em madeira seca em atmosfera inerte.

Temperatura (°C)	Alterações na Madeira
55	A estrutura natural da lignina é alterada. A hemicelulose começa a amolecer.
70	Começa a retração transversal da madeira.
110	A lignina lentamente começa a perder peso.
120	O teor de hemicelulose começa a diminuir, a alfa celulose começa a aumentar e a lignina começa amolecer.
140	A água de impregnação é liberada.
160	A lignina se funde e começa a re-solidificar.
180	A hemicelulose começa rapidamente a perder peso. A lignina da membrana da pontuação escoa.
200	A madeira começa perder peso rapidamente. As resinas fenólicas começam a se formar e a celulose a se desidratar.
210	A lignina solidifica. A celulose amolece e despolimeriza-se. As reações endotérmicas se transformam em exotérmicas.
225	A cristalinidade da celulose diminui.
280	A lignina atinge 10% de perda de peso. A celulose começa a perder peso.
288	Temperatura adotada para carbonização da madeira.
300	O cerne amolece irreversivelmente.
320	A hemicelulose é completamente degradada.
370	A celulose tem perda de 83% do seu peso inicial.
400	A madeira é completamente carbonizada.

Fonte: SCHAFFER (1973)

As informações descritas a seguir mostram alguns estudos envolvendo as modificações químicas ocorridas na madeira termorretificada.

HSU et al. (1988) avaliando o efeito do tempo de vaporização a 1,55 MPa sobre a composição química de duas espécies: aspen e lodgepole e verificaram que as porcentagens de lignina e celulose praticamente não sofreram alteração com o tratamento térmico, porém, a hemicelulose reduziu com o aumento do tempo de tratamento.

Segundo ROWELL & YOUNGS (1981) dentre os carboidratos as hemiceluloses são as mais susceptíveis a degradação térmica e a madeira de folhosa se comporta diferentemente das coníferas quando submetidas a tratamento térmico.

Recentemente BRITO et al. (2008) ao estudar o efeito do tratamento térmico sobre a composição química da madeira de *Eucalyptus* e *Pinus* verificaram que houve uma redução no conteúdo de arabinose, manose, galactose e xilose após o aumento de temperatura. Já o

conteúdo de glucose permaneceu sem alteração significativa e o de lignina aumentou. Notou-se também que o conteúdo de extrativos aumentou em *Eucalyptus* e reduziu em *Pinus*. Segundo os autores esse comportamento pode ser explicado com base nas diferenças de composição química da madeira de coníferas e folhosas.

Esse aspecto também tem sido levado em consideração em alguns estudos como o de ZAMAN et al. (2000). Os autores estudaram as alterações na composição química e perda de massa da madeira de *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* submetidas ao tratamento térmico na faixa de 200 a 230°C por 4 e 8 horas e verificaram que houve um aumento da lignina e redução dos carboidratos. Segundo os autores, os carboidratos são os polímeros mais suscetíveis à degradação térmica sendo responsáveis por até 36,9% do volume da perda de massa para a madeira de pinus. Devido a madeira de conífera ter maior porcentagem de lignina e as folhosas mais carboidratos, a madeira de betula se decompôs mais rapidamente do que a madeira de pinus.

BHUIYAN & HIRAI (2005) ao estudar sobre a cristalinidade da celulose de madeira de *Picea sitchensis* e *Fagus crenata* tratadas a 220 °C, por um período de 8 horas e que foram posteriormente submetidas à secagem em estufa e a umidade relativa de 85% verificaram que a mesma se comportou diferentemente após subseqüente tratamento com água. Os resultados ainda revelaram que em todos tratamentos empregados à cristalinidade da celulose aumentou inicialmente e depois decresceu. Segundo os autores o aumento da cristalinidade tende a diminuir a porção cristalina e o seu decréscimo tende a aumentar a porção cristalina.

É de conhecimento que a celulose é um polímero constituído por um arranjo de filamentos de microfibrilas. Essas microfibrilas possuem duas regiões distintas: uma cristalina, que é altamente ordenada e uma amorfa, que é altamente desordenada. Desse modo o grau de cristalinidade (GC) é a relação entre quanto da celulose é cristalina e quanto é amorfa (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968) e sua determinação é de considerável importância em relação às propriedades de resistência, bem como para as relações da madeira com a água (STAMM, 1964). Acredita-se que a água entra livremente através da região amorfa da celulose, sendo adsorvida nos grupos hidroxilas disponíveis. Entretanto na região cristalina a água é adsorvida apenas em sua superfície, uma vez que é incapaz de penetrar a armadura cristalina Assim fica evidente que qualquer tratamento que aumente GC provavelmente vai reduzir TUE e o inchamento da madeira (STAM, 1964).

Desde 1950 pesquisas vêm sendo realizadas em madeira modificadas termicamente. No início dessa década, na Europa, vários grupos de pesquisas desenvolveram métodos de tratamento térmico visando encontrar técnicas mais adequadas de modificação térmica que otimizassem o aumento da estabilidade dimensional e durabilidade da madeira. BOONSTRA (2002) destaca que as principais diferenças entre eles encontram-se baseadas nos materiais usados (espécies, madeira verde ou seca, conteúdo de umidade e dimensões das amostras), nas condições de aplicação do tratamento (um ou dois estágios, processo seco ou úmido, oxigênio ou hidrogênio, velocidade de aquecimento e resfriamento), equipamento necessário para o tratamento (autoclave, estufa, túnel de aquecimento, prensa, entre outros). As especificações, dos vários métodos de tratamento térmico estão documentadas em patentes (EP0018446, 1982; EP06122595, 1994; EP0623433, 1994; EP0622163, 1994, EP0759137, 1995 e US5678324, 1997).

Segundo ESTEVES & PEREIRA (2009) os processos de modificação térmica com mais sucesso são Thermowood<sup>®</sup> (Finlândia), Plato<sup>®</sup> wood (Holanda), Retification<sup>®</sup> (França), Bois Perdue<sup>®</sup> (França) e OHT (Alemanha). Esses processos desenvolvem-se normalmente em quatro fases: aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização. As principais diferenças entre os diversos métodos prendem-se no modo como é feito o aquecimento e nas condições operatórias na fase de tratamento, que ocorre a temperaturas entre os 160-260°C.

As condições operatórias dos principais processos encontram-se descritas no Tabela 3 (BOONSTRA, 2002).

**Tabela 3.** Descrição dos principais processos de modificação térmica.

Thermowood®	Aumento rápido da temperatura usando calor e vapor até 100°C seguido de um aumento mais suave até 130°C e secagem durante 1 hora. Aumento até à temperatura de tratamento (185-215°C) que se mantém durante cerca de 2-3 horas. Arrefecimento e estabilização.
Plato® wood	Desenvolvido nos Países Baixos. Envolve um tratamento em dois estágios sob temperaturas inferiores a 200°C. Processo em 5 etapas: pré-secagem em estufa convencional até um conteúdo de umidade de 12-18%; hidrotermólise em auto-clave inoxidável, a temperaturas de 150-180°C em condições úmidas e com pressões acima da pressão atmosférica; secagem em estufa convencional entre 8-9 % de umidade; processo de cura em estufa inoxidável, onde a madeira é tratada termicamente a seco a 170°-190°C e condicionamento, onde o conteúdo de umidade é elevado ao nível necessário para a sua manufatura.
Retification®	Desenvolvido pela École des Mines de Saint-Etienne. A madeira com 12% de umidade é tratada em forno específico a 210 °C – 240 °C, em uma atmosfera com azoto, com mais ou menos 2% de oxigênio.
Bois Perdure®	Desenvolvido pela French holding BCI-MBS. Primeiramente a madeira verde é seca em estufa. Em seguida é tratada a 230 °C em uma atmosfera com vapor e gases de combustão quentes produzidos pela subida na temperatura da madeira e re-injectados na câmara de combustão.
OHT	Tratamento com óleo quente (180-240°C) num recipiente fechado onde se limita o teor de oxigênio.

A maioria dos métodos de tratamento térmico baseia-se na redução da acessibilidade dos grupos hidroxil que se encontram, sobretudo, na celulose e hemiceluloses e que são os principais responsáveis pela higroscopicidade da madeira. Ao bloquear estes grupos, essencialmente os presentes nas hemiceluloses e que se encontram mais acessíveis, a madeira diminui a sua capacidade de absorver água, o que vai ter impacto em várias propriedades da madeira tratada (ESTEVES & PEREIRA, 2009).

### 2.7.1 Efeito do tratamento térmico nas propriedades da madeira

O tratamento térmico é bastante empregado na indústria de produtos florestais para melhorar algumas de suas propriedades (DEL MENEZZI, 2004). No entanto é importante ressaltar que quando a madeira é ensaiada variando sua temperatura, a madeira tratada pode apresentar alteração de propriedades mecânicas, de estabilidade dimensional, de resistência biológica e de morfologia dos componentes anatômicos.

ESTEVES & PEREIRA (2009) destacam que a maior parte dos estudos envolvendo o tratamento térmico foram idealizados para melhorar as propriedades da madeira e produzir um novo material com maior estabilidade dimensional, maior durabilidade, maior resistência a fungos e insetos. No entanto devido ser um processo que modifica a composição química da madeira, ele pode acarretar a degradação de algumas propriedades mecânicas.

O grau de melhoria ou degradação depende do tratamento aplicado e de muitos fatores tais como, amplitude das modificações, espécie de madeira, tempo de tratamento e temperatura. KORKUT et al (2008) destacam que madeiras que foram tratadas a 150 °C apresentaram significantes modificações físicas e químicas. Altas temperaturas melhoram a durabilidade biológica da madeira, porém, as propriedades de resistência são deterioradas em temperatura acima de 150 °C.

Uma revisão sobre o efeito do tratamento térmico sobre as propriedades da madeira de pinheiro bravo e eucalipto foi recentemente publicada por ESTEVES e PEREIRA (2009). Na Tabela 4 encontram-se os trabalhos realizados pelo autor e colaboradores para a madeira de pinheiro bravo.

**Tabela 4.** Alterações verificadas nas propriedades da madeira de pinheiro bravo tratada termicamente

<b>Propriedades</b>	<b>Alterações</b>	<b>Referências</b>
Umidade de equilíbrio	Redução de cerca de 40%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Estabilidade dimensional	Melhorias de até 70%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Resistência contra fungos	Melhorias até perdas de massa inferiores a 2%	ESTEVES (2006)
Resistência contra térmitas	Sem melhorias significativas	ESTEVES (2006)
MOE	Diminuição inferior a 5%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Tensão de ruptura	Diminuição até 40%	ESTEVES <i>et al.</i> (2007)
Molhabilidade	Diminuição mesmo para tratamentos suaves	ESTEVES (2006)
Dureza	Diminuição com a severidade do tratamento até 30%	Dados não publicados
Resistência à colagem	Diminuição com a severidade do tratamento	Dados não publicados
Cor	Mais escura com o tratamento	ESTEVES <i>et al.</i> (2008)

Fonte: ESTEVES & PEREIRA (...).

Segundo GERHARDS (1982), a temperatura tem dois tipos de efeitos na madeira: os efeitos imediatos que ocorrem somente quando a temperatura elevada é mantida e os efeitos permanentes que resultam da degradação térmica dos polímeros da madeira. Os efeitos imediatos são reversíveis, mas os efeitos permanentes não. Na medida que a umidade da madeira diminui a temperatura vítrea de seus constituintes químicos aumentam. Quando temperaturas são mantidas próximas de 55 e 65 °C por períodos prolongados (2 a 3 meses), a hemicelulose começa amolecer e a celulose despolimerizar-se lentamente (FEIST et al., 1973 e LEVAN et al., 1990). A degradação térmica é progressiva e inicia-se assim que começa a volatilização dos gases da madeira e é seguida da pirólise, isto é, da degradação dos polímeros da parede celular (citado por FIGUEROA, 2008).

De forma geral, altas temperatura reduzem as resistências da madeira como consequência da dilatação e da movimentação térmica das moléculas de seus constituintes. Acima de 100 °C, mesmo que de forma lenta, já começa a ocorrer a degradação térmica da madeira (FIGUEROA, 2008).

Segundo KOLLMANN & CÔTÉ (1968), a redução das resistências são maiores quanto mais elevada for a temperatura devido à maior expansão térmica da armação cristalina da celulose e também pelo o aumento da intensidade de oscilação das moléculas provocadas pelo calor.

Muitos estudos têm demonstrado resultados contraditórios em alguns aspetos, principalmente no que diz respeito aos benefícios e prejuízos causados pela temperatura nas propriedades mecânicas da madeira. Essa divergência está relacionada com a forma de condução do tratamento térmico.

Pesquisadores tais como PANSIN & DE ZEEUW (1980), KOLLMANN & CÔTÉ (1968), STAMM (1964) e BROWN et al. (1952) afirmam que de um modo geral as propriedades mecânicas são negativamente afetadas pelo tratamento térmico, exceto em

alguns casos onde suas propriedades elásticas e de resistência são melhoradas (BODIG & JAYNE, 1993). Entretanto, COMBEN (1955), LADEL, (1956) PETRI & ANAYIN (1966), TOMASSELLI (1977) citado por FIGUEROA (2008) não observaram qualquer alteração nas propriedades mecânicas da madeira em função da temperatura.

USAL et al. (2003) estudaram o efeito do tratamento térmico em algumas propriedades e na cor da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* e concluíram que a densidade, inchamento e dureza decresceram com o aumento da temperatura, bem como, com o tempo de duração do tratamento e a madeira escureceu.

BRITO et al. (2006) ao submeter à madeira de *Eucalyptus grandis* a diferentes temperaturas de termorretificação verificaram que a densidade não foi afetada significativamente com o aumento da temperatura (120 a 220 °C). No caso da retratibilidade apenas foi afetada quando se utilizou temperatura de 200 °C.

ESTEVES, et al. (2007) em seu estudo sobre a influencia do valor nas propriedades da madeira de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* concluíram que a perda de massa aumentou com a temperatura e tempo de tratamento, a umidade de equilíbrio decresceu, a estabilidade dimensional aumentou e a molhabilidade da superfície diminuiu. Em relação às propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade (MOE) foi pouco afetado, a resistência à flexão diminuiu.

MILITZ & TJEERDSMA (2001) ao estudar sobre o tratamento térmico da madeira de diferentes espécies de coníferas e folhosas pelo processo Plato<sup>®</sup> wood verificaram que o tratamento provocou um aumento da perda de massa, diminuição do módulos de ruptura e diminuição da higroscopicidade da madeira, expressa em termos de umidade de equilíbrio.

SHI et al. (2007) ao estudarem o comportamento mecânico das espécies de *Picea* spp., *Pinus* spp., *Abies* spp., *Populus* spp. e *Bétula* spp. utilizando o processo Thermowood<sup>®</sup> concluiu que após o tratamento térmico o módulo de ruptura diminuiu nas quatro primeiras espécies. Em *Bétula* o decréscimo foi insignificante. O módulo de elasticidade diminuiu em *Picea* spp. e *Pinus* spp. e aumentou em *Abies* spp., *Populus* spp. e *Bétula*. A dureza da madeira aumentou ou decresceu dependendo da espécie, direção (tangencial, radial e longitudinal) e tempo de tratamento.

STANDFEST & ZIMMER (2008) afirmam que a dureza da madeira é dentre as propriedades a mais importante para se avaliar a qualidade da madeira para produção de piso e decking. As temperaturas baixas aumentam a resistência da madeira, enquanto, as altas causam um decréscimo na mesma. Os mesmos autores ainda avaliando a dureza Brinell de diferentes espécies de folhosas tratadas termicamente em estufa de secagem a 160 a 220 °C verificaram que a dureza na direção longitudinal de amostras tratadas termicamente foi maior do que a dureza de amostras não tratadas. Na direção radial e tangencial ela diminuiu.

Os membros da ASSOCIAÇÃO THERMOWOOD (2003) ressaltam que o calor modificou permanentemente várias propriedades físicas e mecânicas da madeira tratada pelo processo Thermowood<sup>®</sup>. As mudanças desejadas são causadas principalmente pela degradação térmica das hemiceluloses e só começam a partir de 150 °C, prosseguindo quando a temperatura é elevada nas fases posteriores. Como resultado o inchamento e a contração decresce, a durabilidade aumenta, a cor escurece, vários extrativos escoam da madeira e ela se torna leve e friável, o conteúdo da umidade de equilíbrio diminui, o pH decresce e a madeira torna-se mais resistente quando exposta ao ar livre. Por outro lado, ocorreu um decréscimo nas propriedades de resistência. Por exemplo, a densidade, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade diminuíram após o tratamento A resistência à compressão paralela e a dureza aumentou.

KORKUT & HIZIROGULU (2008) destacam que o tratamento térmico aplicado à madeira de *Corylus colurna* acarretou uma diminuição da resistência ao corte.

Com relação às operações de usinagem da madeira tratada termicamente pelo processo Thermowood<sup>®</sup> observa-se que ela é mais susceptível a estragos quando usinada. Por isso são recomendados o uso de ferramentas afiadas e madeira na umidade de equilíbrio local. Essa madeira quando cortada em serra circular não apresenta deformações, visto que o tratamento térmico alivia as tensões de crescimento. Um único problema é que devido ser muito seca quando cortada produz um pó muito fino que se espalha no ambiente. Para o aplainamento é recomendado o uso de plaina com rolo porta-ferramenta estreito ou dois rolos porta-ferramentas. Para evitar rachaduras em peças com perfis é recomendável fazer uma superfície de base plana com uma plaina ou serra de fita antes de construir o perfil. As facas de carboneto são as mais indicadas para trabalhar com a madeira tratada por esse processo. Em geral o lixamento é similar ao da madeira não tratada. Em muitos casos, a qualidade da superfície da madeira Thermowood<sup>®</sup> é boa após o aplainamento e fresagem não sendo necessário o processo de lixamento. Um problema é que o pó produzido durante o lixamento é muito fino e sua exaustão torna-se difícil (ASSOCIAÇÃO THERMOWOOD, 2003).

Devido à madeira tratada termicamente ser mais seca, tenra e frágil durante a usinagem algumas considerações específicas para esse tipo de material deve ser feita. Por exemplo, ela aumenta a produção de pó fino, causa maior corrosão nos parafusos de metal, acarreta o desprendimento do nó e aumenta a formação de rachaduras e fendas. Por isso, a qualidade da madeira e a escolha da espécie são de fundamental importância para se ter êxito durante a usinagem desse tipo de madeira.

OLEK & BONARSKI (2008) avaliando a textura de madeiras modificadas termicamente verificaram que o rearranjo da organização cristalina da celulose de madeiras modificadas termicamente foi manifestado pelo decréscimo de sua textura.

Para KORKUT et al. (2009) madeiras termoretificadas podem oferecer inúmeras oportunidades de utilização. Por exemplo, a madeira termoretificada pode ser uma alternativa ecológica, uma vez que ela aumenta a durabilidade da madeira a fungos sem precisar de aplicação de produtos químicos. Ela pode ser usada em jardins, móveis para saunas e cozinha, revestimentos para construções de madeiras, materiais para pisos, instrumentos musicais e uma variedade de aplicações interiores e exteriores.

Quando se for avaliar o efetivo uso da madeira modificada termicamente, deve-se contrapor as melhorias obtidas em suas características, por exemplo rugosidade da madeira, com decréscimo da resistência da madeira, KORKUT et al. (2009).

## **2.8 Estatística Multivariada**

A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos que, a partir de observações multivariadas, busca identificar a relação existente entre as variáveis envolvidas em um determinado fenômeno. Assim, ao invés de uma única variável aleatória para representar uma só característica de uma unidade experimental (ou observacional), tem-se um vetor aleatório para fazer a representação de várias características. Ela mede o grau de associação ou de correlação entre variáveis aleatórias.

As técnicas de análises multivariadas são estatisticamente mais complexas quando comparada a análise por métodos clássicos de estatística univariada, pois trabalham com um grande número variáveis correlacionadas e necessitam de softwares específicos para o seu desenvolvimento, ou mesmo uma programação computacional. Segundo LUCHESA (2004), a capacidade de lidar com muitas variáveis aleatórias simultaneamente é um dos pontos positivos da estatística multivariada, pois permite obter informações que muitas das vezes permanecem invisíveis nos dados originais.

O uso cada vez mais freqüente dessa técnica se deve à comprovada eficiência e eficácia, assim como o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos mais capacitados para trabalhar com grande volume de dados (LAVORANTI, 2003).

Segundo LIMA (2002), a utilização das técnicas multivariadas no setor empresarial e em todos os ramos da ciência tem crescido bastante nos últimos anos devido a sua potencialidade para resolver problemas envolvendo, ao mesmo tempo, muitas características. CHAVES NETO (1997) descreve que a Análise Multivariada é utilizada na solução de problemas relacionados com:

- Inferências sobre vetores médios;
- Análise da estrutura de covariância de um vetor aleatório;
- Técnicas de agrupamentos;
- Reconhecimento de padrões e classificação.

No setor florestal a análise multivariada (AMV) já foi utilizada nos setores econômicos; na classificação de áreas de reflorestamentos misto; no agrupamento de árvores de *Eucalyptus grandis* de acordo com as variáveis dendrométricas e tecnológicas da madeira; no estudo de mapeamento, diversidade e divergência genética de espécies florestais; na classificação de fases de crescimento, análise de correlação de características tecnológicas da madeira, entre outras áreas do conhecimento (LIMA JUNIOR, 2006; LAVORANTI, 2003, LOPES et al., 2004; MARTINS et al., 2002; CARVALHO et al., 2007; SILVA, 2008; ARAUJO, 2002; SHIMOYAMA, 2005; VALGAS, 2008).

Segundo MINGOTI (2005), as técnicas de estatística multivariada na pesquisa científica se dividem em dois grupos, sendo o primeiro grupo constituído por técnicas exploratórias de sintetização (ou simplificação) da estrutura da variabilidade dos dados. Fazem parte deste grupo métodos como a análise de componentes principais, a análise fatorial, a análise de correlação canônica, a análise de agrupamentos a análise discriminante e a análise de correspondência. O segundo grupo é constituído de métodos de estimação de parâmetros, teste de hipóteses, análise de variância, de covariância e de regressão multivariadas.

Entre as várias técnicas estatísticas de análises multivariadas que podem ser utilizadas, apenas a análise de agrupamento e análise de componentes principais farão parte desta revisão, pois foram utilizadas neste trabalho.

### **2.5.1 Análise de agrupamento**

Uma das maiores habilidades dos seres humanos envolve a capacidade de agrupar e classificar objetos similares. Há muitos anos o homem foi capaz de observar que havia objetos com propriedades comuns, como, por exemplo: cores, formatos, minerais, e assim por diante. A classificação pode, de forma simples, organizar um grande conjunto de dados para que se possam obter informações relevantes de forma eficiente, considerando, por exemplo, a média de cada grupo formado como uma medida conveniente (VALGAS, 2008).

A análise de agrupamentos também conhecida como análise de conglomerados, análise de classificação ou *cluster analysis* é uma técnica amplamente utilizada para diversos fins em ciência florestal e serve para reunir elementos de uma amostra ou população, em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas (MINGOTI, 2005).

Segundo BRAULIO (2005), as técnicas de agrupamento são técnicas exploratórias utilizadas para formar grupos homogêneos de elementos a partir de coeficientes de similaridade ou coeficientes de distâncias entre eles. Esses coeficientes são calculados com base nos vetores de características desses elementos.

Para que se possa proceder o agrupamento de  $n$  elementos é necessário que se decida a medida de similaridade ou dissimilaridade que será utilizada.

### a) Medidas de similaridades e dissimilaridades

Quando itens (unidades ou casos) são agrupados, a proximidade é usualmente indicada por uma espécie de distância expresso através de algum tipo de coeficientes de similaridade (coeficientes binários e quantitativos, com e sem dupla ausência), que representam a maior semelhança entre os objetos ou então através de coeficientes de dissimilaridade (distância euclidiana, de Bray-curtis, de *Mahalanobis*, distância ponderada, etc), os quais apresentam a menor semelhança entre dois pontos representativos de uma amostra (BRAULIO, 2005; VALENTIN, 2000).

Um grande número de medidas de similaridade ou de dissimilaridade tem sido proposto e utilizado em análise de agrupamento, sendo a escolha entre elas baseada na preferência e, ou, na conveniência do pesquisador.

Segundo MINGOTI (2005), dentre as métricas mais usadas para análise de variáveis quantitativas, a distância euclidiana (*Euclidean Distance*) tem se destacado como a principal. Ela simplesmente é a distância geométrica no espaço dimensional e mede a dissimilaridade entre as amostras. Logo, quanto menor os seus valores, mais similares serão os elementos que estão sendo comparados. Sua fórmula é baseada no teorema de Pitágoras descrita por VALENTIN (2000).

$$D_{A-B} = \sqrt{(x_{A1} - x_{B1})^2 + (x_{A2} - x_{B2})^2 + \dots} \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

$D_{A-B}$  é a distância euclidiana entre as amostras  $A$  e  $B$ , em função da abundância  $x$  de duas amostra.

Segundo EVERITT (1993), citado por VALGAS (2008) a distância Euclidiana não preserva a ordem das distâncias entre os objetos quando se altera fortemente a escala das variáveis. Por isso outras medidas de dissimilaridade, tal como, a distância euclidiana

quadrática, distância euclidiana média  $\frac{D}{n}$ , distância de *Mahalanobis*, distância de *Minkowski*, etc, também podem ser utilizadas para determinar a proximidade entre os elementos de uma amostra.

Com a definição da medida de dissimilaridade a ser utilizada, a etapa seguinte é a adoção de uma técnica de agrupamento para formação dos grupos. Para realização dessa tarefa, existe um grande número de métodos disponíveis, dos quais o pesquisador tem de decidir qual o mais adequado ao seu propósito (SOUZA et al., 1997).

### b) Técnicas de agrupamento

SNEAT & SOKAL (1973) classificam essas técnicas em sequenciais, aglomerativas, divisivas, monotéticas, hierárquicas, não-hierárquicas e probabilísticas. Já MINGOTI(2005) adota uma classificação de dois tipos: técnicas hierárquicas e não hierárquicas, sendo as primeiras subdivididas em aglomerativas e divisivas.

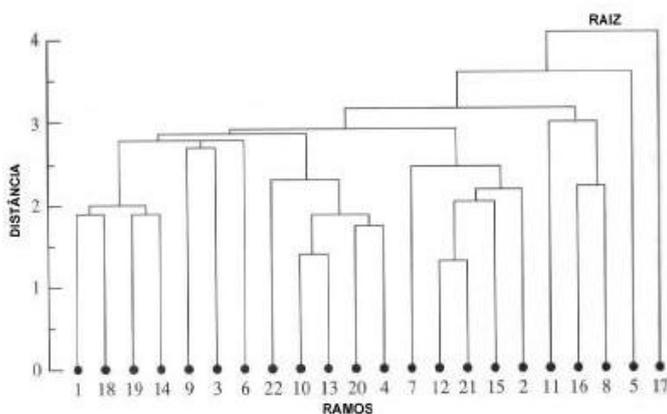
As técnicas hierárquicas são as mais difundidas na pesquisa científica e na maioria das vezes são utilizadas em análises exploratória dos dados com intuito de identificar possíveis agrupamentos, que são formados (MINGOTI, 2005). Elas utilizam uma matriz de distâncias

para identificar o par de objetos mais semelhantes que serão agrupados e considerados um único objeto. A partir daí, define-se uma nova matriz de distâncias na qual será novamente identificado o par mais semelhante para formar um novo grupo, e assim sucessivamente até que todos os objetos estejam incluídos em um mesmo grupo (BARROSO, 2003).

A técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, ou seja, suas semelhanças, que se comportam de acordo com as variáveis escolhidas e que depois de agrupadas entre si são representadas por um dendrograma. A interpretação básica infere que quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Outro dispositivo útil para verificação de associação de variáveis quantitativas, ou entre dois conjuntos de dados, é o gráfico de dispersão, afirmam (BUSSAB & MORETTIN, 2006).

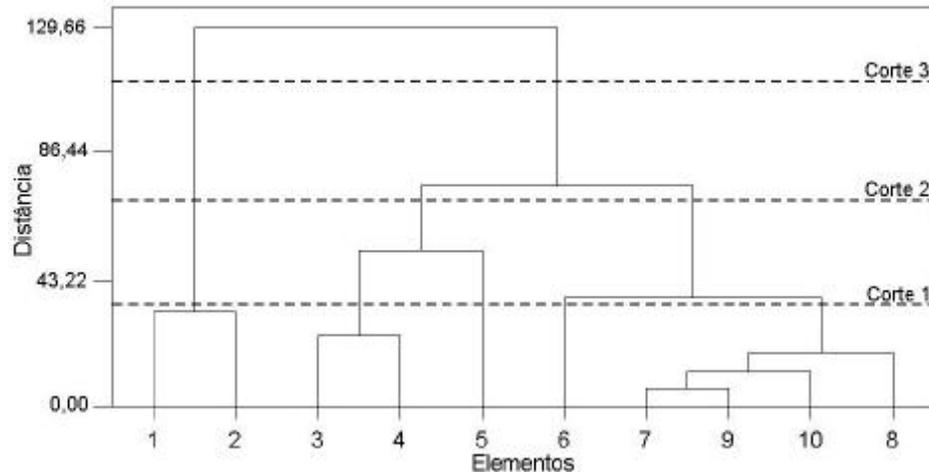
Os dendrogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre amostras ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a representação de gráficos convencionais não é possível. Uma maneira matematicamente simples consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos, usando a distância euclidiana, e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Este procedimento, quando repetido até que todos os pontos sejam agrupado em um só ponto, leva a construção do dendrograma, onde, no eixo horizontal são colocadas as amostras e, no eixo vertical, o índice de similaridade. Pode-se construir dendrogramas a partir de programas estatísticos que fazem classificação dos dados com agrupamento hierárquico (SILVA, 2008).

No dendrograma cada ramo representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos. Através do dendrograma e do conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, deve-se determinar uma distância de corte para definir quais serão os grupos formados. Essa decisão é subjetiva, e deve ser feita de acordo com o objetivo da análise e o número de grupos desejados (DONI, 2004). A Figura 11 traz exemplo de um dendrograma.



**Figura 11.**Exemplo de dendrograma (Fonte: Doni, 2004).

Considerando o dendrograma da Figura 12 pode-se verificar que com três diferentes cortes, obtemos diferentes grupos. No corte 1, verifica-se a existência de cinco grupos, sendo (1, 2), (3, 4), (5), (6) e (7, 9, 10, 8). No corte 2, o número de grupos diminui para três, sendo (1, 2), (3, 4, 5) e (6, 7, 9, 10, 8). Considerando o corte 3, o número de grupos diminui para dois, sendo (1, 2) e (3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 8).



**Figura 12.** Exemplo no qual o dendrograma é cortado em três diferentes níveis (Fonte: Doni, 2004).

A escolha das técnicas de construção dos conglomerados ou *Cluster* é de grande importância uma vez que a correta classificação de uma amostra dentro de um ou outro grupo já formado depende de qual técnica está sendo utilizada (VALENTIN, 2000).

Recentes avanços da ciência da computação permitiram o desenvolvimento de sistemas interativos de processamentos de dados, com algoritmos rápidos e precisos. Com isso, muitos pesquisadores estão desenvolvendo metodologias estatísticas, com a finalidade de estudar e avaliar a estabilidade dos agrupamentos obtidos a partir de matrizes de dissimilaridade. Entre essas metodologias, destaca-se o procedimento de reamostragem “bootstrap”, que pode fornecer um ponto de equilíbrio que permite uma estimativa precisa dos grupos (LAVORANTI, 2003).

Existem vários algoritmos ou métodos de agrupamento hierárquico que diferem, principalmente, do modo como as distâncias entre dois *clusters* são analisadas. Entre estes métodos, destacam-se os Métodos de Ligação Simples (*Single Linkage*), o Método por Ligações Completas, o Método pela Associação Média, o Método por Pesos Proporcionais, e, neste contexto o Método Ward.

### c) Método Ward ou Método pela Variância Mínima

O método de Ward é um método hierárquico de agrupamento de dados que forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõe cada grupo e o vetor médio do grupo. Isto equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo (DUTRA et al., 2003).

Este método foi proposto por Ward em 1963 e seu procedimento fundamenta-se nos seguintes princípios:

- a) Inicialmente, cada elemento é considerado como um único conglomerado;
- b) Em cada passo do algoritmo de agrupamento calcula-se a soma de quadrados dentro de cada conglomerado. Esta soma é o quadrado da distância euclidiana de cada elemento amostral pertencente ao conglomerado em relação ao correspondente vetor média do conglomerado, isto é,

$$SS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{i\cdot})' (x_{ij} - \bar{x}_{i\cdot})$$

(Equação 2)

Onde,

$n_i$  = É o número de elementos do conglomerado  $C_i$  quando se está no passo  $k$  do processo de agrupamento;

$x_{ij}$  = É o vetor de observações do  $j$ -ésimo elemento amostral que pertence ao  $i$ -ésimo conglomerado;

$\bar{x}_i$  = É o centróide do conglomerado  $C_i$  e

$SS_i$  = É a soma de quadrados correspondente ao conglomerado  $C_i$ .

Neste método um grupo irá se reunir a um outro se essa reunião proporcionar o menor aumento da variância intra-grupo. Desta forma, a fusão entre agrupamentos em geral prioriza a união dos grupos que minimiza a variância, ou a soma dos quadrados dos desvios (ou distâncias)  $SS_i$  em relação à média dentro dos grupos (COSTA, 1999).

A cada passo considera-se a soma de quadrados total ( $SSR$ ) entre os grupos como:

$$SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i \quad \text{(Equação 3)}$$

onde  $g_k$  é o número total de grupos no estágio em questão. Inicialmente, cada agrupamento é composto de um único elemento, e  $SSR = 0$ . A cada união de grupos, acrescenta à variância total,  $SSR$ . O objetivo, em cada estágio, é unir dois grupos nos quais tal acréscimo  $\Delta SSR$  seja mínimo. A dissimilaridade (distância) entre os grupos  $C_l$  e  $C_i$  é então, dada por:

$$d(C_l, C_i) = \left[ \frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right] (\bar{x}_l - \bar{x}_i)' (\bar{x}_l - \bar{x}_i) \quad \text{(Equação 4)}$$

DUTRA et al. (2003) destacam que o método Ward parte do princípio, em que se têm  $m$  grupos; ou seja, um grupo para cada vetor componente da base de dados. Neste estágio inicial o erro interno é nulo para todos os grupos, pois cada vetor que compõe cada grupo é o próprio vetor médio do grupo. Igualmente o desvio padrão para cada grupo é nulo. Na etapa subsequente, cada possibilidade de aglutinação entre os grupos 2 a 2 é verificada, e é escolhido o agrupamento que causa o menor aumento no erro interno do grupo. São  $m \times m$  verificações. Desta forma, para uma base de dados com  $m$  elevado, estas verificações exigem um grande esforço computacional caso o método seja implementado em computador. Nota-se que a cada iteração tem-se  $m - i$  grupos ( $i$  = número de iterações), no entanto, como o número de elementos pertencentes a cada grupo aumenta, é maior o número de cálculos para o erro interno de cada grupo.

Apesar de ser um dos métodos mais usados na prática, problemas como sensibilidade a *outliers* podem afetar seu desempenho.

Por fim, a decisão do número de classes ou tipos para análise é tomada, geralmente, a partir do exame do dendograma ou árvore hierárquica, onde podem ser lidos os índices de nível (ou índice de similaridade), que são as distâncias euclidianas em que ocorrem as junções dos pontos observados para formar grupos. Um grande salto nesses índices (o que equivale a uma grande distância no dendograma) indica que a agregação reuniu dois grupos muito dissimilares e, em razão disso, deve-se definir o número de grupos anterior a este salto (BRAULIO, 2005).

## 2.5.2 Análise de componentes principais

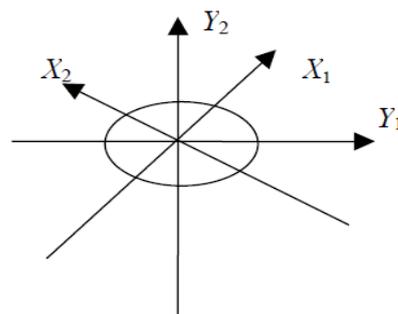
A técnica denominada de análise de componentes principais, popularmente conhecida como (PCA) é um método da estatística multivariada que permite interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados a partir das respectivas matrizes de variâncias-

covariâncias ou de correlações entre os parâmetros considerados. Seu objetivo é reduzir o número de variáveis a serem avaliadas e facilitar a interpretação das combinações lineares construídas (MINGOTI, 2005; ALVES, 2005).

Segundo BERNARDI, et al. (2009) tal técnica consiste numa transformação linear de todas as variáveis originais em novas variáveis não correlacionadas, de tal modo, que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior parte da variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante, e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (BERNARDI et al.,2009). Desta forma, as novas variáveis (componentes principais) são derivadas em ordem decrescente de importância.

A PCA como um método robusto, capaz de lidar com dados não normais, com alto desempenho. Uma das vantagens principais da modelagem dos dados em termos da PCA é a facilidade de visualização das principais componentes em mais de duas dimensões.

Segundo BRAULIO (2005) algebricamente as componentes principais são combinações lineares das  $p$  variáveis originais  $X_1, X_2, \dots, X_p$  que compõem o vetor aleatório  $X$ . Geometricamente, as combinações lineares representam a seleção de um novo sistema de coordenadas obtido por rotação do sistema original, sendo que os novos eixos representam as direções com variabilidade máxima. Como exemplo, tem-se, na Figura 13, a representação da estrutura de componentes principais para  $p = 2$ :



**Figura 13.** Representação do sistema de coordenadas das componentes principais.

onde:

$X_1$  e  $X_2$  são eixos originais.

$Y_1$  e  $Y_2$  são novos eixos (eixos originais rotacionados: centrado na média amostral).

As componentes principais são obtidas a partir de uma matriz de covariância ou da matriz de correlação, que resumem a estrutura de relacionamento das  $p$  variáveis originais que compõem o vetor  $X$ . Então, da matriz de covariância ou da matriz de correlação, obtém-se os auto-valores  $e_1 > e_2 > \dots > e_p$  e os respectivos auto-vetores  $e_1, e_2, \dots, e_p$ . Com estes entes algébricos se constrói as combinações lineares que definem as componentes principais, ou seja,  $Y_i = e_i$ ;  $X_i = 1, 2, \dots, p$ , (BRAULIO 2005).

As Componentes Principais são combinações lineares,  $Y_i$   $i = 1, 2, \dots, p$ , não correlacionadas, uma vez que a matriz dos auto-vetores  $P$ , abaixo é ortogonal,

$$P = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1p} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{p1} & e_{p2} & \dots & e_{pp} \end{bmatrix}$$

**(Equação 5)**

A variância da Componente Principal  $Y_i = e_i X_i = 1, 2, \dots, p$  é dada por:

$V(Y_i) = V(\underline{e}_i' \underline{X}) = \underline{e}_i' V(\underline{X}) \underline{e}_i = \underline{e}_i' \underline{e}_i$ , a covariância entre as componentes  $Y_j$  e  $Y_k$  é nula, ou seja,  $\text{cov}(Y_j, Y_k) = 0$ .

Portanto define-se:

- A primeira componente principal como a combinação linear  $Y_1 = \underline{e}'_1 \underline{X}$  que maximiza a variância de  $Y_1$ , sob a restrição  $\underline{e}'_1 \underline{e}_1 = 1$ ;
- A segunda componente principal como a combinação linear  $Y_2 = \underline{e}'_2 \underline{X}$  que maximiza  $V(\underline{e}'_2 \underline{X})$  sujeita a restrição  $\underline{e}'_2 \underline{e}_2 = 1$  e  $\text{cov}(\underline{e}'_1 \underline{X}, \underline{e}'_2 \underline{X}) = 0$ ;
- A  $i$ -ésima componente principal como a combinação linear  $Y_i = \underline{e}'_i \underline{X}$  que maximiza  $V(\underline{e}'_i \underline{X})$  sujeita a restrição  $\underline{e}'_i \underline{e}_i = 1$  e  $\text{cov}(\underline{e}'_k \underline{X}, \underline{e}'_i \underline{X}) = 0$  para todo  $k < i$ .

Comumente os parâmetros da estrutura de covariância são desconhecidos. Então, a obtenção das componentes principais é feita a partir de seus estimadores, que são a matriz de covariância amostral  $S$  ou a matriz de correlação amostral  $R$ . Estas estatísticas são definidas por:

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\underline{x}_i - \bar{\underline{x}})(\underline{x}_i - \bar{\underline{x}})' \quad \text{(Equação 6)}$$

$$R = D^{-1} S D^{-1} \quad \text{(Equação 7)}$$

onde  $D$  é a matriz desvio padrão amostral e  $\bar{\underline{x}}$  é o vetor médio amostral, dados respectivamente por:

$$D = \begin{pmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & s_p \end{pmatrix}$$

$$\bar{\underline{x}} = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{pmatrix}$$

Segundo SHIMOYAMA (2005) para definição do número de Componentes Principais a serem extraídas usa-se:

- O critério de Kaiser, que sugere escolher somente as componentes correspondentes aos autovalores maiores que a média dos autovalores, se a análise é baseada na matriz de covariância, ou, as componentes principais correspondentes aos autovalores maiores que 1, se for usada a matriz de correlação;
- Reter o número de componentes principais que acumulem pelo menos certa porcentagem da variabilidade total dos dados (de preferência, acima de 70 %);
- Reter as componentes principais que acumulem pelo menos uma certa porcentagem da variabilidade de cada uma das variáveis originais (de preferência, acima de 50 %).

Uma ferramenta que pode auxiliar na escolha do número de componentes principais a reter é o gráfico “**screen plot**”, que representa os autovalores. Comumente, a diferença entre os primeiros autovalores é grande e diminui em direção aos últimos. Sugere-se o corte quando a variação passa a ser pequena.

A interpretação das componentes principais é feita com base nas correlações entre as variáveis originais e as componentes obtidas e nos coeficientes dados pelas combinações lineares que levam às componentes principais. As correlações são medidas das contribuições individuais de cada variável e não consideram a contribuição multivariada das demais variáveis e, os coeficientes são medidas das contribuições multivariadas. Como, em geral, se utilizam somente as primeiras componentes, a magnitude das demais determina se as primeiras se ajustam bem às observações. Quanto menor for a parte desprezada, melhor é o ajuste (SHIMOYAMA, 2005).

## **CAPÍTULO I**

### **PROCESSAMENTO E SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W. HILL EX-MAIDEN**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar as características dendrométricas das árvores, bem como, os defeitos encontrados nas tábuas no sentido medula-câmbio após secagem da madeira em estufa. Para isso foram coletadas seis árvores de *Eucalyptus grandis*, provenientes da QUINVALE Florestal Ltda, situada em Rio Claro - RJ. De cada árvore foram retiradas três toras, a partir do DAP, com 2,40 m de comprimento, as quais foram encaminhadas para a serraria Artefatos de Madeira e Serviços Ltda, localizada em Piraí - RJ, para medição e desdobro. No pátio da serraria o comprimento da tora, a espessura da casca, o diâmetro sem casca, o diâmetro de cerne e a abertura do semi-bloco em relação a tora foram mensurados. A média dos valores obtidos foi considerada para o cálculo do rendimento volumétrico, o índice de achatamento, a conicidade, proporções de cerne/alburno, tensão de crescimento e teor de casca. Em seguida, os topos das toras foram pintados com três cores diferentes para definir regiões distintas, sendo uma central (C), uma intermediária (I) e uma externa (E) e as toras encaminhadas a uma serra de fita simples para serem desdobradas em tábuas. Nas tábuas mediu-se o comprimento, a espessura, largura, a flecha de deslocamento com relação à curvatura da peça, o somatório das rachaduras mais longas e o número de nós. Os valores obtidos foram considerados para determinação: do rendimento de madeira serrada verde e seca, da contração volumétrica total, do arqueamento, de encurvamento, do encanoamento, do índice de rachadura e da quantificação de nós. Também foram feitas observações visuais para colapso, bolsa de resina e rachas superficiais. Para agrupar as árvores e tábuas em grupos semelhantes quanto às características dendrométricas e de defeitos da madeira foi aplicado técnicas de análise multivariada denominadas de análise de agrupamento e análise das componentes principais (PCA). Os resultados dessas análises mostram que árvores e tábuas podem ser agrupadas em três grupos. Para as características dendrométricas o que diferenciou o grupo I (árvore 1) dos demais foi o DAP, relação cerne/alburno, rendimento de madeira serrada verde e seca. O grupo II (árvore 2, 4, 5 e 6) apresentou maior teor de casca e conicidade. O grupo III (árvore 3) destacou-se dos demais pelo achatamento médio e tensão de crescimento. Os valores médios obtidos para teor de casca, achatamento médio, conicidade e relação cerne/alburno são considerados bons para a espécie. No entanto o rendimento de madeira serrada verde e seca foram baixos indicando que apesar da árvore apresentar boas características dendrométricas é necessário à seleção de árvores matrizes com diâmetros acima de 50,0 cm e adoção de técnicas de reaproveitamento das costaneiras, bem como, ajustes técnicos dos equipamentos de desdobro. Quanto aos defeitos o grupo I e II, constituído por tábuas consideradas externas (E e IE) apresentou maior encanoamento e encurvamento e o grupo III, constituído por tábuas consideradas internas (CI e CIE) apresentou maior índice de rachadura, intensidade de arqueamento, contração volumétrica total, ocorrência de nós e bolsa de resina e menor quantidade de colapso.

**Palavras-chave:** características dendrométricas, defeitos, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the dendrometric characteristics of trees, and the board defects found in the pith-cambium direction after kiln drying of wood. Therefore, six trees of *Eucalyptus grandis* were collected from QUINVALE Florestal, located in Rio Claro - RJ Ltda. From each tree, were removed three logs of 2.40 m length from DBH, which were sent to Artefatos de Madeira e Serviços Ltda sawmill, located in Piraí - RJ, for their measurements and processing. The log length, bark thickness and diameter, heartwood diameter and the opening of the half-block up on the log were measured. The average values was considered to calculate the volumetric yield, flatness index, taper, heartwood/ sapwood proportion, growth stress and bark content. Then, the tops of the logs were painted with three different colors to define three distinct regions: central (C), intermediate (I) and external (E) and the logs were processed into boards by using of a simple band saw. The following variables were measured in the boards: length, thickness, width, arrow displacement as a function of the curvature of the piece, the sum of the longest cracks and the knots number. The values were used to determine: the dry and green lumber yield, total volumetric shrinkage, crook, bowing, cupping, cracks index and knots quantification. Visual observations were also made: collapse, resin pockets and superficial cracks. In order to join boards and trees in similar groups of dendrometric characteristics and wood defects, multivariate analysis techniques was applied, which are known as cluster analysis and principal component analysis (PCA). The results of this analysis show that trees and boards can be grouped into three groups. For dendrometric characteristics, the group I (tree 1) was different of the others by the DAP, heartwood/ sapwood ratio, dry and green lumber yield. Group II (tree 2, 4, 5 and 6) showed a higher bark content and taper. Group III (tree 3) was different from other groups by average flattening and growth stresses. The average values for bark content, average flatness, taper and heartwood/ sapwood ratio were considered good for the species. However, the dry and green lumber yield were low indicating that despite the good dendrometric characteristics, it is necessary a selection of matrix trees with diameters up to 50.0 cm and the use of side boards reuse of slabs techniques, and as technical adjustments of process equipments. For the defects in groups I and II, composed by external boards (E and IE), they presented a higher cupping and bowing and group III, composed by internal boards (CI and CIE) had higher cracking index, arching intensity, total volumetric shrinkage, presence of knots and resin pockets and lower amount of collapse.

**Key words:** dendrometric features, defects, *Eucalyptus grandis*.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a utilização da madeira do gênero *Eucalyptus* para serraria e movelaria tem crescido nos últimos anos. No entanto, apesar de apresentar propriedades físico-mecânicas e organolépticas adequadas para o uso múltiplo, a madeira pode conter alguns defeitos tais como bolsas de resina, nós, desvios da grã e tensão de crescimento, dentre outros (PIRES, 2000; PULROLNIK, 2002; VALE et al., 2002; ALMEIDA, 2003; MONTAGU et al., 2003) que irão afetar a aparência das peças, o rendimento de madeira serrada, como também, suas propriedades de resistência.

O processamento da madeira consiste na conversão das toras de seção circular ou elíptica em peças de seção retangular, com resultado bom ou ruim em termos de rendimento e qualidade da madeira.

O rendimento ou porcentagem de aproveitamento é a relação entre o volume de toras que entrou no conjunto de serras e o volume de madeira serrada obtido após esta etapa, (SOUZA et al., 2007) e é afetado pelas características da matéria-prima (diâmetro, qualidade das toras, teor de umidade, densidade, presença de sílica e desvio da grã, entre outros), do produto que se quer obter, do método de desdobro aplicado, da qualidade e do tipo de equipamento utilizado.

O que determina se uma tora apresenta características adequadas para o processamento vai além de sua presença na serraria. O primeiro passo deve ser dado no plantio, com a escolha do material genético e emprego de práticas silviculturais adequadas (espaçamento, fertilização, desbaste e desrama). O segundo passo está no decorrer da exploração, que começa com a seleção visual e escolha de árvores de fuste reto, de formato cilíndrico, de ramos não persistentes, com boa sanidade e de crescimento regular e, termina com a escolha correta de técnicas de abate, derrubada e transporte das toras.

Para EGAS (2000), o rendimento diminui com a redução da qualidade de toras, uma vez que é perdida muita madeira ao se eliminar defeitos no desdobro de toras de baixa qualidade. Este fato é secundado por HOCHHEIM & MARTIN (1993) referenciando que para além da perda da madeira, ocorre também a redução da velocidade de processamento de toras na serraria. Ainda para os mesmos autores, o posicionamento e reposicionamento durante o corte é sempre função da qualidade apresentada pela madeira.

As toras são classificadas de acordo com as formas do tronco, defeitos ou anormalidades visíveis na superfície rolante e em suas extremidades e pelo cálculo do volume líquido. A classificação quanto à forma baseia-se nos valores de achatamento, conicidade, encurvamento e sapopemas.

De acordo com a norma de classificação de toras de madeira de folhosas, (IBDF, 1984), toras com valor de achatamento em cada uma das extremidades, não inferior a 90% e conicidade não superior a 3%, são enquadradas na classe superior, enquanto que toras com achatamento de 60% são enquadradas na classe III. As árvores com baixos valores de achatamento, altos valores de conicidade e encurvamento produzem uma quantidade elevada de resíduo, diminuem o rendimento e modificam as propriedades físicas e mecânicas da madeira serrada.

A conicidade é uma característica natural de certas toras, onde os diâmetros médios das duas extremidades apresentam diferenças significativas. Já o achatamento é caracterizado pela presença de diâmetros diferentes numa mesma seção da tora.

O desvio da forma circular do tronco, isto é, o achatamento é influenciado pelo crescimento irregular das raízes laterais e do caule. Por exemplo, árvores que crescem de

forma inclinada podem apresentar a descentralização da medula, produzindo madeira mais de um lado do que do outro. A produção de madeira mais de um lado, tende a ocasionar, no caso de folhosas, um esforço de tração no lado onde existe maior produção de madeira, acarretando um achatamento da seção do caule, que se tornam elípticos ao invés de circulares.

Segundo FERREIRA (2008), o achatamento do caule, na maioria das vezes está associado com a formação de medula excêntrica. KOLLMANN & CÔTÉ (1968) e GROSSER (1980) destacam que a ocorrência de medula excêntrica está intimamente relacionada com a formação de lenho de reação nas árvores, pois troncos com medula excêntrica são mais propensos ao empenamento e à formação de fendas circulares entre os anéis de crescimento. Além disso, apresentam problemas durante o processamento mecânico, porque exigem posicionamento adequado das toras na serra. Segundo COSTA (2001), a medula excêntrica produz uma forma elíptica no caule, resultando em tábuas de estrutura anatômica desuniforme, podendo causar resultados inesperados no processo industrial.

As espécies de eucalipto inicialmente foram plantadas para atender as indústrias de papel, pasta celulósica e para produção de carvão vegetal, utilizado como redutor nas siderúrgicas. Porém, fatores como oscilação de preço de celulose e papel, baixo preço do carvão vegetal, bem como a substituição deste pelo carvão mineral fizeram com que empresas florestais disponibilizassem essa madeira para usos mais nobres (serraria, movelaria, marcenaria, lâminas e compensados).

Apesar do grande volume de madeira de eucalipto disponível no mercado, deve-se levar em conta que a madeira proveniente de reflorestamento com espécies de rápido crescimento é diferente de uma madeira resultante de um ciclo de corte longo e requer um estudo de técnicas de desdobro e secagem adequadas para a diminuição de defeitos. Estes defeitos são provocados, em grande parte, pelas tensões de crescimento, a qual é uma característica que contribui significativamente para a depreciação do valor da madeira (TRUGILHO et al., 2006).

As tensões de crescimento são forças que atuam naturalmente sobre os tecidos das árvores, de forma mantê-las integras e eretas (LIMA et al., 2004). Elas originam-se na região cambial durante a maturação das paredes celulares e são responsáveis pelo equilíbrio da árvore. Portanto, qualquer processamento que produza desequilíbrio de tensões entre os lados opostos provocará empenamentos ou rachaduras, diminuindo a qualidade e utilização da madeira (PONCE, 1995).

Segundo SILVA (2005), a escolha correta do material genético e aplicação de técnicas adequadas de silvicultura e manejo juntamente com procedimentos de desdobro e secagem diminuem a tendência a rachaduras nas extremidades das toras e nas peças diamétrais durante o desdobro, bem como o empenamento e colapso da madeira serrada, refletindo no aumento do rendimento e na qualidade da madeira processada.

De acordo com NERI et al., (1999), algumas espécies de eucaliptos possuem madeira, muitas das vezes, extremamente densa, portanto, duras, pesadas e resistentes. Devido a isso, aumentam o gasto de energia requerida para processá-los e aceleram o desgaste das ferramentas de corte, das máquinas e do sistema de alimentação e transporte da madeira. Algumas espécies possuem fibras reversas que dificultam o acabamento, altas tensões de crescimento, que acarretam deformações ao longo do tronco (rachaduras de topo) e em tábuas à medida que se vai efetuando o corte.

No Brasil é bastante comum se utilizar o sistema de desdobro convencional, onde a tora é desdobrada sem uma escolha pré-definida do modelo de corte e a critério do operador da serra de desdobro (fita, circular dupla ou serra circular múltipla). Para o eucalipto, devido a grande variação encontrada entre as madeiras de uma mesma espécie, existe um modelo que melhor se adapta para cada uma delas.

O modelo tangencial consiste na obtenção de peças tangenciais aos anéis de crescimento e foi testada por PANDEY et al., (1984). Esta técnica é bastante utilizada devido a sua simplicidade, porém, aplicada ao eucalipto apresenta problemas, no que diz respeito ao encurvamento, pois, no momento do desdobro, a parte interior da tábua, que está sob compressão, tende a alongar com o corte e a parte exterior, que está sob tração, tende a encurtar.

Já o modelo de corte radial consiste na execução de cortes paralelos aos raios. Uma das vantagens em relação ao modelo de corte tangencial é a diminuição das tensões de crescimento, que refletem na obtenção de tábuas com maior estabilidade na largura, menos susceptíveis ao encanoamento e fendilhamento, além de melhorar o condicionamento, caso ocorra colapso, e boa aparência em função da disposição dos raios e grã. No entanto, segundo DEL MENEZZI & NAHUZ (1998), o corte radial pode apresentar limitações se as toras desdobradas apresentarem diâmetros pequenos.

O melhor modelo de corte aplicado ao eucalipto é aquele que visa liberar as tensões de crescimento de forma simultânea. Dentre as várias técnicas de desdobro, existe uma, muito utilizada, que consiste em realizar um primeiro corte em uma serra circular dupla ou em duas serras de fita paralelas, retirando duas costaneiras, originando um semi-bloco. Esse semi-bloco é passado em uma serra circular múltipla dando origem às tábuas.

Partindo do conhecimento que a madeira de eucalipto apresenta certas características desfavoráveis para o seu uso para serraria e movelaria, o objetivo deste capítulo foi avaliar características dendrométricas das árvores e determinar os defeitos encontrados nas tábuas no sentido medula-câmbio, após o processo de secagem da madeira em estufa convencional.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material e Coleta dos Dados

O material utilizado neste trabalho foi proveniente de seis árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex-Maiden com vinte três anos de idade, cedido pela empresa QUINVALE, situada no município de Barra do Piraí, estado do Rio de Janeiro, cujas coordenadas geográficas são 22°43'23" de latitude (S) e 44°08'08" de longitude (W) e uma altitude média de 446 metros.

O clima, segundo a classificação de Koppen é do tipo Ws. com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média máxima de 24°C nos meses de janeiro e fevereiro, e temperatura média mínima de 16,7°C em julho.

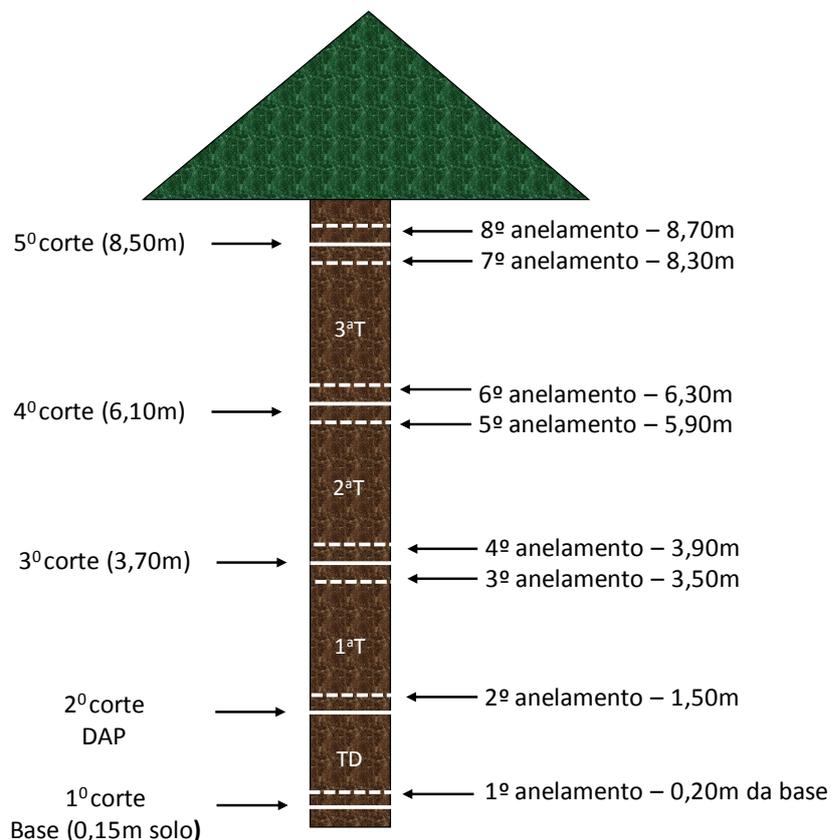
As árvores utilizadas no estudo foram selecionadas ao acaso, num raio de 50 metros entre si, para evitar variações de sítio, sendo a seleção baseada em alguns aspectos qualitativos, tais como, tronco cilíndrico, boa retidão de fuste, menor incidência de galhos e boa sanidade. Evitaram-se também árvores que se encontravam na borda do povoamento. Posteriormente, tomaram-se os diâmetros na base e no DAP.

É importante destacar que o povoamento florestal passou por desbaste e sofreu incêndio florestal e o número de árvores abatidas foi definido em função das condições de transporte e disponibilidade de material.

No momento da derrubada, as árvores foram aneladas com motosserra antes do corte transversal de derrubada, visando liberar parcialmente as tensões de crescimento. Para tal procedimento, foi utilizada a metodologia adotada por ROZAS MELLADO (1993), a qual consiste em realizar o anelamento, que é um corte feito com uma moto-serra no tronco da árvore, na profundidade de  $\frac{1}{3}$  do raio, a uma distância de 20 a 30,0 cm acima do ponto onde será realizado o corte transversal da árvore.

Depois de derrubadas, as árvores foram identificadas com os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6, e de cada árvore, a partir de 1,30 m do solo, foram retiradas três toras com 2,40 m de comprimento (Figura 14). Essas toras foram identificadas com os números 1, 2, 3 de acordo, com sua posição no tronco.

O mesmo procedimento de anelamento utilizado no momento da derrubada das árvores foi feito nas toras, adotando a metodologia utilizada por ROCHA (2000). Desta forma, as toras ficaram com 2,0 m de comprimento e mais 20,0 cm em cada topo, totalizando um comprimento de 2,4 m.



**Figura 14.** Desenho esquemático mostrando o seccionamento do caule principal das árvores de *Eucalyptus grandis*. TD = Tora descartada, T = tora.

Essas toras foram encaminhadas para a serraria Artefatos de Madeira e Serviços Ltda (LPZ), localizada em Santanésia – Pirai – RJ, para medição e desdobro, que ocorreu em um período máximo de 24 horas.

No pátio da serraria foram retirados os anelamentos existentes nas duas extremidades das toras e obtidos os valores das variáveis: comprimento, espessura da casca, em quatro pontos nas duas extremidades, utilizando retas ortogonais, diâmetros sem casca e diâmetros de cerne, realizando-se duas medições, perpendiculares entre si. A média dos valores foi considerada para o cálculo de volumes com e sem casca, pela equação de Smalian (Equação 8), o índice de achatamento (Equação 9), a conicidade (Equação 10), proporções de cerne/alburno (Equação 11), teor de casca das toras (Equação 12) e rendimento volumétrico.

$$V_t = \frac{\pi \times \left(\frac{D1 + D2}{2}\right)^2 + \pi \times \left(\frac{D3 + D4}{2}\right)^2}{80.000} \times L_t \quad \text{Equação 8}$$

$$A_m = \frac{A_{3m} + A_{6m}}{2} = \frac{\left(\frac{D1}{D2} \times 100\right) + \left(\frac{D3}{D4} \times 100\right)}{2} \quad \text{Equação 9}$$

$$C = \frac{\left(\frac{D1 + D2}{2}\right) - \left(\frac{D3 + D4}{2}\right)}{L_t \times 100} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

$$C/A = \left( \frac{SC}{AS} \right) \times 100$$

**Equação 11**

$$TC = \left( \frac{V_{c/c}}{V_{s/c}} \right) \times 100$$

**Equação 12**

Sendo:

$V_t$  = volume da tora, em  $m^3$ ;

$A_m$  = achatamento médio, em (%);

$A_{3m}$  = achatamento da tora na ponta de maior diâmetro, em (cm);

$A_{6m}$  = achatamento da tora na ponta de menor diâmetro, em (cm);

$C$  = conicidade, em (%)

$D_1$  e  $D_2$  = diâmetros da tora na ponta de maior diâmetro, em cm;

$D_3$  e  $D_4$  = diâmetros da tora na ponta de menor diâmetro, em cm;

$L_t$  = comprimento da tora, em m;

$C/A$  = proporção cerne/alburno em (%);

$AS$  = área do alburno ( $cm^2$ );

$SC$  = área do cerne ( $cm^2$ );

$TC$  = teor de casca em (%);

$V_{c/c}$  = volume com casca em  $m^3$ ;

$V_{s/c}$  = volume sem casca em  $m^3$ .

Em seguida, os topos das toras foram pintados com três cores diferentes para que as tábuas pudessem ser identificadas pelas seguintes regiões: central (C), intermediária (I) e externa (E). Cada uma dessas regiões representa um terço do raio (Figura 15 A).

## 2.2 Desdobro

As toras pintadas com três cores foram desdobradas em uma serra-fita simples, do tipo vertical, com volante de 80,0 cm de diâmetro. O sistema de desdobro utilizado foi de cortes paralelos, com retirada de uma costaneira e uma ou duas tábuas dependendo do diâmetro da tora, giro de 180° e repetição do mesmo procedimento adotado anteriormente. Desta forma, as toras foram transformadas em um semi-bloco de aproximadamente 15,0 cm de altura. Posteriormente, o semi-bloco passou por uma serra circular múltipla de dois eixos, com discos equidistantes de 3,0 cm, visando à obtenção de tábuas com espessura nominal de 2,5 cm. Assim, foram realizados cortes simultâneos, onde o bloco foi desdobrado em tábuas tangenciais em maior proporção (Figura 15 E). O método de desdobro adotado levou em consideração às tensões internas existentes nas toras e resultados obtidos em outros estudos, onde evidenciaram ser este o mais adequado a este gênero (MONTANA et al., 1990; VIANNA NETO, 1984; ROCHA E TOMASELLI, 2002).

As tábuas originadas do desdobro foram identificadas por árvore, número da tora e região (central, intermediária e externa). Porém, com relação à região é importante salientar que o desdobro das toras resultou em tábuas contendo madeira de uma, duas e até três regiões simultaneamente, que foram separadas em cinco grupos de acordo com as regiões que possuíam: tábuas contendo madeira da região externa (**E**), intermediária-externa (**IE**),

intermediária (**I**), central-intermediária (**CI**) e central-intermediária-externa (**CIE**). Em seguida, essas foram transportadas para o Laboratório de Física e Secagem da Madeira do Departamento de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Já no Laboratório de Física e Secagem da Madeira, as tábuas passaram por medições do seu comprimento, largura e espessura. Os valores obtidos foram utilizados para cálculo do rendimento em madeira serrada verde (Equação 13).

$$RMS = \left( \frac{VMS}{VT} \right) \times 100$$

**Equação 13**

Onde:

RMS = rendimento de madeira serrada em %;

VMS = volume de madeira serrada em m<sup>3</sup>;

VT = volume total de madeira verde em m<sup>3</sup>.



**Figura 15.** Procedimentos adotados no desdobro. A: Pintura do topo das toras, delimitando três regiões distintas (central, intermediária e externa). B: Desdobro da tora em serra de fita vertical, com retirada de uma costaneira. C: Desdobro do outro lado da tora, após giro de 180°. D: Semi-bloco de 15,0 cm de altura após retirada das costaneiras e tábuas. E: Desdobro do semi-bloco em serra circular múltipla. F: Tábuas resultantes do desdobro, identificadas pelo número da árvore (1 a 6), da tora (1, 2 e 3) e pela cor: região central, intermediária e externa.

### 2.3 Avaliação das Tensões de Crescimento

Quando a madeira é cortada, ocorre a liberação de tensões e a mesma se deforma de acordo com as tensões a que estava submetida, levando ao aparecimento de defeitos tais como: rachaduras, variações de espessura e empenamentos.

Para avaliar as tensões de crescimento na tora foi medida com uma régua a abertura do da tora em relação aos semi-blocos, quando a serra de fita encontrava-se a cerca de 1,80 metros do comprimento final da tora (Figura 16). Este procedimento foi realizado para verificar como o diâmetro da tora influencia na abertura dos semi-blocos.



**Figura 16.** Procedimento para mensuração da tensão de crescimento na tora. A: Tora seccionada ao meio, formando semi-bloco de 15,0 cm de altura. B: Tora mostrando a abertura, quando a serra encontrava-se a 1,80 m do comprimento final da tora. C: Mensuração da abertura da tora com uma régua. D: Semi-bloco para desdobro em serra circular múltipla.

## 2.4 Secagem

As tábuas obtidas do desdobro foram numeradas, entabecadas de acordo com as normas de empilhamento e conduzidas para a estufa de secagem convencional do Laboratório de Física e Secagem da Madeira (Figura 17).

Foi utilizado um programa de secagem suave, conforme mostra a Tabela 5, obtendo-se uma umidade média final de 10%. Após essa etapa, as dimensões de comprimento, largura e espessura foram coletadas novamente. De posse desses dados, foram calculados os rendimentos de desdobro em madeira seca (RMSs), tendo como base a Equação 13, a mesma usada no cálculo de rendimento de madeira verde.

**Tabela 5.** Programa de secagem utilizado para madeira de *Eucalyptus grandis*.

	Aquecimento	TBS	TBU	UR	UE	PS
		40	39	94	22	-
Umidade da Madeira	Até 50	50	40	83	16	3,1
	50 - 40	40	40	36,5	15	2,7
	40 - 30	30	40	36	14	2,2
	30 - 25	25	46	40	11	2,2
	25 - 20	20	53	45	9	2,2
	20 - 15	15	59	46	7	2,2
	15 - 10	10	65	46	35	5
	Uniformização	65	54	57	8	***
	Acondicionamento	65	61	83	14	***

**TBS** = temperatura de bulbo seco; **TBU** = temperatura de bulbo úmido; **UR** = umidade relativa; **UE** = umidade de equilíbrio da madeira, **PS** = Potencial de secagem.

## 2.5 Avaliação de Defeitos da Madeira Após a Secagem em Estufa

Os defeitos foram quantificados por meio da medição das flechas do arqueamento, encurvamento e encanoamento; pelo somatório das rachaduras mais longas nas duas extremidades da tábua; das diferenças entre o volume de madeira verde e seca de cada tábua (contração volumétrica total) e pela contagem do número de nós existente. Ao mesmo tempo, foram feitas observações visuais de defeitos, tais como: rachas superficiais, colapso e bolsas de resina. Estes defeitos visuais foram classificados como ausentes ou presentes.

### 2.5.1 Índice de rachaduras

Para avaliar as rachaduras nas extremidades das tábuas após a secagem, foi determinado o índice de rachadura após a secagem (**IR**), de acordo com a Equação 14.

$$IR = \left( \frac{cr_1 + cr_2}{c_t} \right) \times 100 \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

**IR** = índice de rachadura (%);

**cr<sub>1</sub>** = comprimento da racha mais longa em uma extremidade (cm);

**cr<sub>2</sub>** = comprimento da racha mais longa na outra extremidade (cm), e

**C<sub>t</sub>** = comprimento da tábua em cm;

### 2.5.2 Contração volumétrica aparente

Para avaliação da contração volumétrica aparente, as tábuas tiveram suas dimensões largura, espessura e comprimento mensurado antes (madeira na condição verde) e após sua secagem em estufa convencional (madeira a 10% de umidade). A largura e a espessura foram obtidas por meio de um paquímetro digital e o comprimento por meio uma trena. Após esse procedimento calculou-se o volume antes e após a secagem e por meio da Equação 15 obteve-se o valor da contração volumétrica aparente.

$$CVT_{10\%} = \left( \frac{V_v - V_{10\%}}{V_v} \right) \times 100 \quad \text{Equação 15}$$

**CVT<sub>10%</sub>** = contração volumétrica aparente, a 10% de umidade, em (%);

**V<sub>v</sub>** = volume verde em cm<sup>3</sup>; e

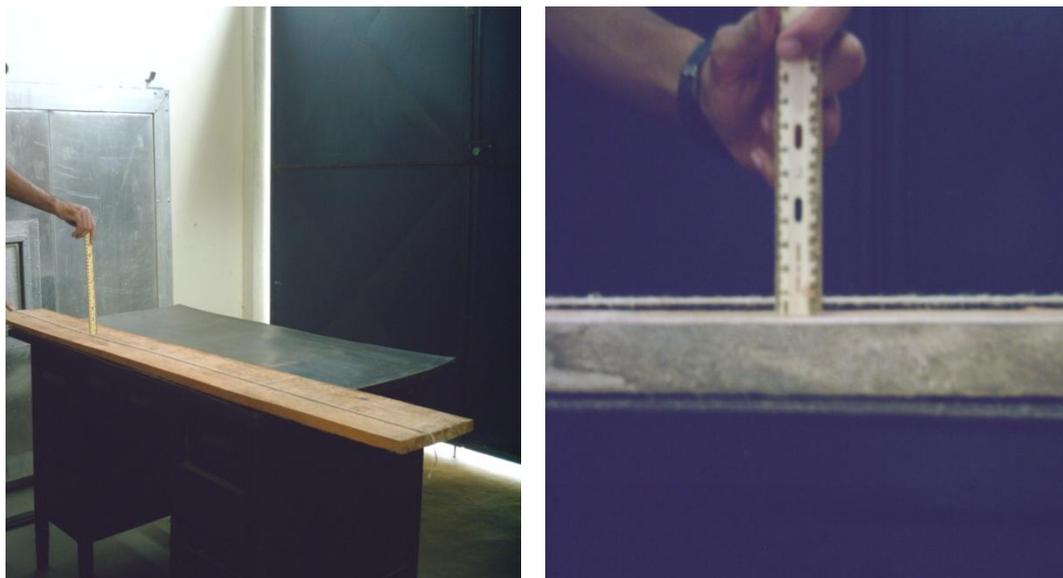
**V<sub>10%</sub>** = Volume a 10% de umidade da madeira, em cm<sup>3</sup>.

### 2.5.3 Empenamentos

É qualquer distorção da peça de madeira em relação aos planos originais de sua superfície. Assim, de acordo com os planos em relação aos quais houve alteração, em cada tábua foram medidos os seguintes tipos de empenamentos:

### a) Encurvamento

O empenamento longitudinal da face, ou seja, a curvatura ao longo do comprimento da tábua em um plano perpendicular à face. Esta medida foi realizada esticando-se um barbante ao longo do eixo longitudinal da tábua e medido o local de maior afastamento com auxílio de uma régua (Figura 17).



**Figura 17.** Medição do encurvamento na peça de madeira de eucalipto.

A quantificação do percentual de encurvamento em relação ao comprimento da peça foi feita através da Equação 16.

$$IET = \left( \frac{x}{L_1} \right) \times 100$$

**Equação 16**

Onde,

$IET$  = Intensidade do encurvamento, em %;

$x$  = flecha na curvatura da peça (mm);

$L_1$  = comprimento da tábua (mm).

### b) Arqueamento

O empenamento longitudinal ao longo do comprimento da peça, em um plano paralelo à espessura da tábua. Esta medida foi realizada esticando-se um barbante ao longo da lateral da tábua e o local de maior afastamento foi medido com auxílio de uma régua. Por meio da relação entre a maior flecha conforme mostra a Figura 18 e o comprimento da tábua, pode-se calcular a partir da Equação 17 o arqueamento.

$$IAT = \left( \frac{Y}{L_1} \right) \times 100$$

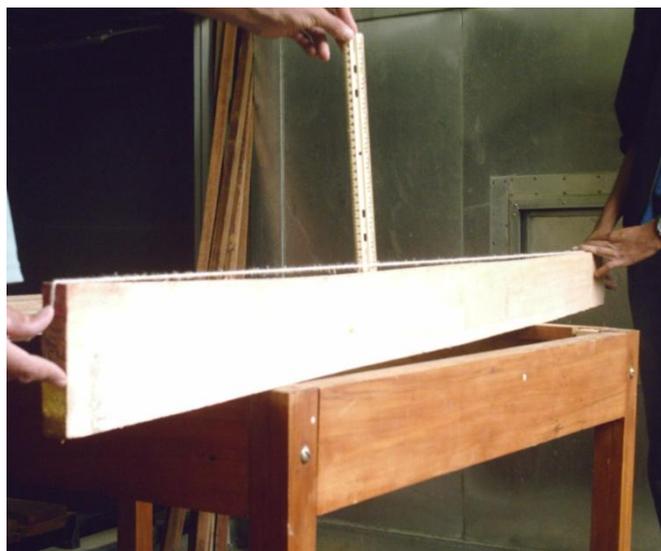
**Equação 17**

Onde:

$IAT$  = Intensidade do arqueamento, em %;

$Y$  = flecha na curvatura da peça (mm);

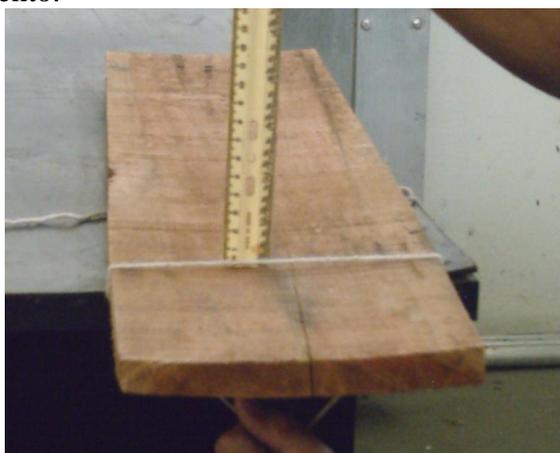
$L_1$  = comprimento da tábua (mm).



**Figura 18.** Medição do arqueamento na peça de madeira de eucalipto.

### c) Encanoamento

O encanoamento foi obtido esticando-se um barbante como mostra a Figura 19 e por meio de uma medida direta da flecha, feita com auxílio de uma régua foi possível determinar o local de maior afastamento.



**Figura 19.** Medição do encanoamento na peça de madeira de eucalipto.

## 2.5.4 Outros defeitos

### a) Colapso

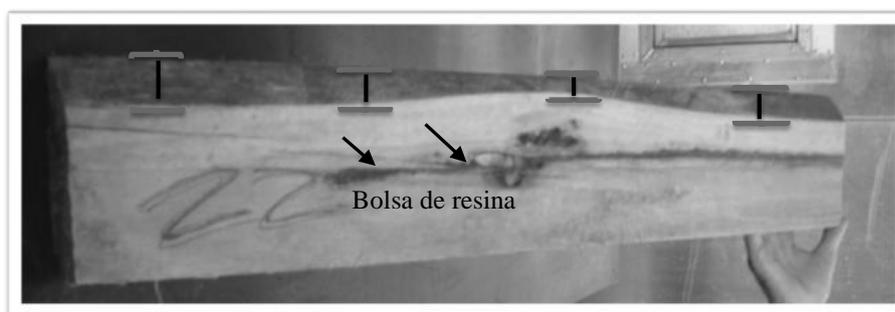
O colapso caracteriza-se por ondulações nas superfícies da peça de madeira e foi avaliado subjetivamente, sendo classificado como ausente ou presente.

### b) Rachas superficiais

Segundo Jankowsky (1990), as rachaduras superficiais podem aparecer quando as condições de secagem são muito severas, isto é, baixas umidades relativas provocando a rápida secagem das camadas superficiais até valores inferiores ao PSF, enquanto que as camadas internas estão ainda com mais de 30% de umidade. Este defeito foi classificado como ausente ou presente.

### c) Bolsas de resina

Este defeito foi classificado como ausente ou presente nas tábuas após secagem da madeira (Figura 20).



**Figura 20.** Tábua com bolsa de resina.

### d) Nós

Após a secagem, os nós foram quantificados utilizando-se para sua determinação o conceito de “pior face”, ou seja, o lado da tábua em que apresentava maior incidência de nós.

## 2.6 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram analisados através de métodos de estatística multivariada, com auxílio do programa estatístico STATISTICA, versão 6.0. A escolha dos métodos multivariados foi devido ao grande número de variáveis envolvidas no estudo e pelo fato de se objetivar uma classificação dendrométrica da madeira por árvore e por posição (medula-câmbio).

A partir dos dados dendrométricos e dos dados de defeitos que surgiram após a secagem da madeira aplicou-se primeiramente o método de classificação conhecido como Análise de Cluster ou Agrupamento. Neste método, os dados são organizados de tal forma, que as observações mais próximas são agrupadas por alguma medida de similaridade, que pode ser coeficiente de similaridade ou coeficiente de distância.

Na análise de cluster cada unidade experimental é incluída em um grupo homogêneo se forem parecidas umas com as outras, neste espaço multidimensional, onde as variáveis são os eixos perpendiculares e os pontos são representados pelas amostras (MARCIA et al., 1979). Agrupar objetos consiste em reconhecer entre eles um grau de similaridade (distância, nesse plano multidimensional) suficiente para reuni-los num mesmo conjunto e representá-lo num gráfico de duas dimensões denominado de *dendrograma*, que é um diagrama na forma de uma “copa de árvore” invertida e representa a formação gráfica dos *clusters*.

Neste trabalho, adotou-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade entre os dados e a união entre os grupos foi realizada utilizando o Método Aglomerativo Hierárquico, denominado de Método Mínima Variância ou Wards. Neste método, a formação dos agrupamentos começa pela fusão sucessiva dos dados que produzirem a menor variância do sistema e que se combinam por suas semelhanças, repetindo o procedimento até esgotar as possibilidades de combinação ou até agrupar todos os dados, terminando em um grande grupo.

As sequências de agrupamentos formadas com base na distância euclidiana resultaram em um *dendrograma*, contendo várias ramificações com a posição de cada unidade experimental em estudo. Neste *dendrograma*, a interpretação de dissimilaridade entre amostras foi realizada a partir de cortes no sentido ascendente, na metade da maior distância, às vezes acima desse valor, observando as ramificações formadas em determinado nível hierárquico.

Para evidenciar quais das características (variáveis) dendrométricas e de defeitos de forma ordenada tiveram maior importância estatística na análise multivariada para definição dos grupos, procedeu-se paralelamente à análise de agrupamento uma Análise dos Componentes Principais (PCA).

A análise das componentes principais estabelece, com base em uma matriz de semelhanças (correlações, variâncias-covariâncias ou até mesmo de similaridade) um conjunto de eixos (componentes ou fatores) perpendiculares. Cada componente corresponde a um auto-vetor (= eixos fatoriais) dessa matriz de comprimento decrescente em razão da sua contribuição à variância total dos dados. Esses comprimentos correspondem os auto-valores (= raízes latentes) da matriz. Deste modo, o primeiro eixo da PCA, sobre o qual serão ordenadas as unidades experimentais (amostras), representará a maior parte da variação dos dados. O resultado é um sistema reduzido de coordenadas, proporcionando informações sobre as semelhanças das amostras (VALENTIN, 2000).

Neste estudo, a PCA iniciou-se com o cálculo dos auto-valores e seus correspondentes auto-vetores (componentes principais) de uma matriz de correlação, permitindo reduzir uma grande quantidade de características a alguns componentes, facilitando assim sua interpretação e estabelecendo quais características dendrométricas e de defeitos induziram diferenças entre árvores e tábuas. As componentes resultantes da análise podem ser facilmente visualizadas em um gráfico biplot.

A importância de cada componente principal foi estabelecida em função da variância contida em cada um deles, onde reside a sua capacidade de explicação da estrutura de variância e covariância. No presente trabalho foram utilizados dois critérios: retenção daquelas que acumularam uma porcentagem da variabilidade total superior a 50 % e que apresentaram, ao mesmo tempo, autovalores iguais ou superiores a 1,0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Características Dendrométricas

A Tabela 6 apresenta os valores médios das características dendrométricas da madeira de *Eucalyptus grandis*. A partir de uma análise preliminar da tabela verifica-se que a árvore 1 apresentou maior DAP e conseqüentemente maior rendimento de madeira serrada verde e seca. A árvore 3 apresentou maior achatamento médio e as árvores 2, 4, 5 e 6 apresentaram variáveis dendrométricas bastante semelhantes.

Observa-se que existem diferenças significativas entre as árvores com relação às características dendrométricas DAP e Rendimento de madeira serrada seca (Anexo 1.1). Após aplicação do teste de Tukey, para comparação entre médias, verificou-se que o DAP da árvore 1 diferia das demais e que o rendimento de madeira serrada seca era estatisticamente inferior nas árvores 2 e 4 (Anexo 1.2 a 1.3).

**Tabela 6.** Dados médios das variáveis dendrométricas e tecnológicas de *Eucalyptus grandis*.

Árvore	DAP (cm)	H (m)	Comp (m)	AT (cm)	RMS (%)	RMS s (%)	TC (%)	Am (%)	C (%)	C/A (%)
1	50,61	1,5 - 8,5	2,00	1,8	46,39	43,27	3,26	95,90	0,44	0,92
2	47,13	1,5 - 8,5	2,00	2,2	30,31	26,90	5,07	95,77	0,96	0,75
3	43,63	1,5 - 8,5	2,00	2,6	33,60	32,90	3,25	98,65	0,25	0,61
4	40,13	1,5 - 8,5	2,00	2,7	30,55	28,37	4,84	96,16	0,50	0,75
5	42,36	1,5 - 8,5	2,00	2,1	32,43	31,05	4,72	96,23	0,54	0,64
6	48,09	1,5 - 8,5	2,00	2,1	38,27	31,42	4,57	96,52	0,88	0,81
<b>Média</b>	<b>45,33</b>	-	<b>2,00</b>	<b>2,23</b>	<b>35,25</b>	<b>32,31</b>	<b>4,28</b>	<b>96,53</b>	<b>0,59</b>	<b>0,74</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,93</b>	-	-	<b>0,34</b>	<b>6,17</b>	<b>5,79</b>	<b>0,81</b>	<b>1,06</b>	<b>0,27</b>	<b>0,11</b>

**Obs.:** H = Altura da tora na árvore; AT = Abertura da tora em relação ao semi-bloco; RMS = Rendimento de madeira serrada verde; RMS s = Rendimento de madeira serrada seca; TC = Teor de casca; Am = Achatamento médio; C = Conicidade e C/A = Relação cerne/ alburno.

O rendimento médio de madeira serrada verde (35,25%) e seca em estufa (32,31%) estão abaixo do encontrado por ROCHA (2000), DEL MENEZZI (1999) e SERPA et al. (2003) para a espécie de *E. grandis*. Para outras espécies de eucaliptos, tais como: híbridos de *E. camaldulensis* x *E. urophylla*, SOUZA, et al. (2007) encontram valores de rendimento entre 38,57% e 37,05%. Para *E. saligna*, BERENGUT et al. (1973), encontraram valores entre 49,7% a 75,3%. Para *E. urophylla*, JUNIOR & GARCIA (2003) encontraram rendimento de 42,53% a 83,53%. Os baixos valores de rendimento em madeira serrada

encontrados podem ser explicados pela grande perda de madeira em forma de costaneiras que não foi aproveitada.

Sabe-se que a qualidade das toras influenciam no rendimento de madeira serrada, por isso, a queda de 16,37% no rendimento de madeira serrada seca da árvore 2 em relação a árvore 1 pode ser explicada com base no maior teor de casca, menor achatamento médio e a maior conicidade que a mesma apresentou em relação as demais árvores.

O teor médio de casca foi de 4,28% e pode ser considerado baixo quando comparado aos encontrados por SANTOS et al. (2004) e SILVA (2002) para a espécie (13,45%, 7,20%, respectivamente). Porém, quase semelhante ao valor encontrado por LOPES et al. (2004), que foi de 3,45%. ALZATE (2004) encontrou valores percentuais médios de casca de 10,17% e destacou que o volume total de casca que não interfere na produtividade florestal é de aproximadamente 10 a 20% do volume total do tronco.

O achatamento médio de 96,53% é considerado bom, de acordo com a norma de classificação de toras de madeira de folhosas do IBDF (1984), porém, as árvores não tiveram a seção totalmente circular, que pode ser devido ao crescimento excêntrico, uma vez que as árvores encontravam em área de encosta e apresentava descentralização da medula.

SILVA (2002) estudando a espécie de *Eucalyptus grandis* encontrou um valor de achatamento médio de 97,4%. GONÇALVES (2006) ao avaliar clone de híbridos de *E. urophylla* e *E. grandis* verificou que o índice de circularidade (achatamento) foi em média 0,96, com menores valores encontrados para as toras da base, aumentando entre 6,0 a 9,0 metros de altura do tronco e dependendo da diminuindo com

A conicidade média de 0,59cm/m (0,59%) é considerada baixa de acordo com a norma do IBDF (1984) e as árvores dependendo de outros itens especificados na norma, podem ser classificadas como superiores. Esse resultado pode ser explicado pela não utilização das toras da base da árvore, que geralmente são mais cônicas. OLIVEIRA et al. (1999), LOPES et al. (2004), DEL MENEZZI & NAHUZ (1998), SILVA (2004) encontraram para *Eucalyptus grandis* conicidade média de 1,49 cm/m, 1,41cm/m, 0,79 cm/m e 0,75cm/m, respectivamente. BARCHET (2001) encontrou valores entre 0,55 a 1,36 (cm/m) para a conicidade das toras de diversas espécies de eucaliptos.

A relação cerne/alburno para a espécie foi de 0,74, significando que 74% da madeira é cerne e 26% é alburno. Este valor é considerado bom, principalmente no que diz respeito à qualidade da madeira. SILVA (2002) e OLIVEIRA (1999) encontraram para *Eucalyptus grandis* uma porcentagem média de alburno de 32,0%. A porcentagem média de cerne e alburno encontrado por LOPES (2003) para a espécie foi 75,66% e 24,34%, respectivamente.

Segundo SELLA (2001), citado por (SILVA, 2002) povoamentos de rotação longa apresentam maiores diâmetros, maiores rendimentos no desdobro produzem madeira mais estável pela maior proporção cerne/alburno e aumentam seu valor comercial, pois aumentam a proporção de madeira limpa de qualidade superior.

O maior ou menor percentual de cerne ou alburno na madeira auxilia na definição de sua utilização nos produtos finais, pois, quanto maior o percentual de alburno na árvore, melhor será a sua capacidade de impregnação por produtos preservativos. No entanto, por outro lado, quanto maior o percentual de cerne, melhor a capacidade produtiva em madeira serrada com coloração uniforme (LOPES, 2003), que é o ideal quando se pensa em utilizar a madeira na confecção de PMVA (s).

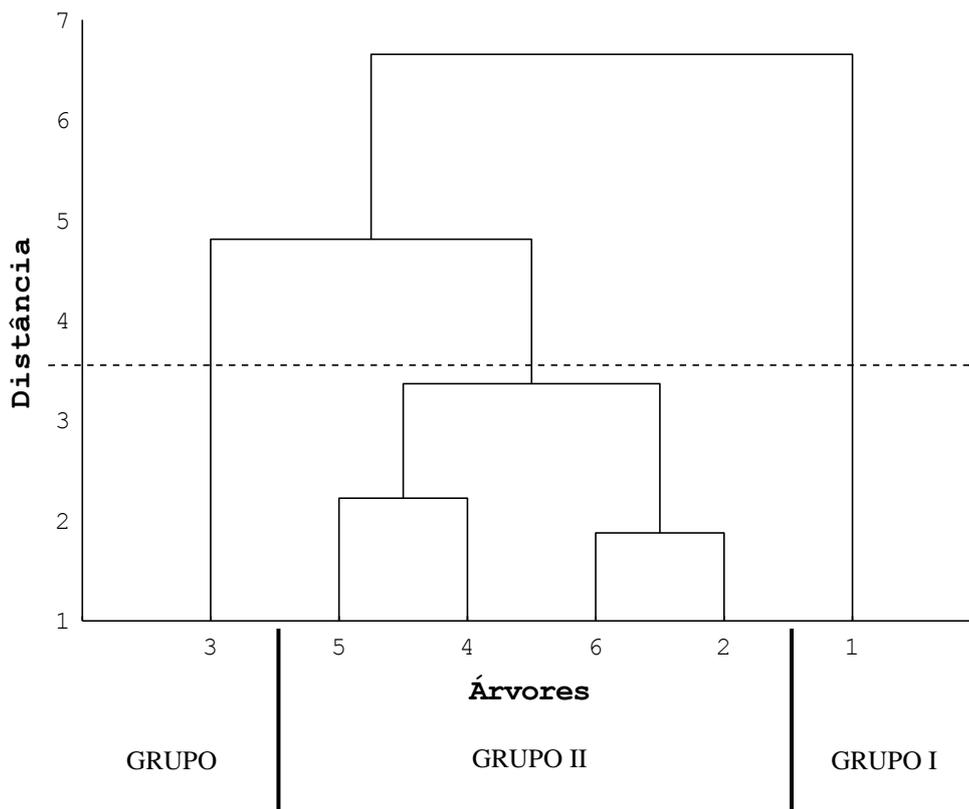
### 3.1.1 Análise de agrupamento

Com o objetivo de agrupar as árvores em grupos semelhantes quanto às características dendrométricas foi realizada uma Análise de Cluster, utilizando-se a distância euclidiana como medida de similaridade entre as árvores, através do Método Ward de ligação. A Figura

21 mostra o dendrograma formado a partir da matriz de dados padronizados, onde o eixo vertical representa a distância euclidiana re-escalada de 1 a 7 e o eixo horizontal as árvores que geraram os grupos.

Os grupos foram definidos pelo traçado de uma linha paralela ao eixo horizontal, denominada “Linha Fenon”. Optou-se pela aplicação da “Linha Fenon”, na distância euclidiana média de aproximadamente 3,5, tendo em vista que um corte na distância 5,0 uniria os dois primeiros grupos, que são estatisticamente distintos (Figura 22).

Observa-se, assim, um corte de três ramos no agrupamento formado, o que permite a classificação dos dados dendrométricos e tecnológicos das 6 árvores analisadas em 3 grupos distintos, sendo o primeiro grupo em destaque composto pela árvore 1, o segundo pelas árvores 2, 6, 4 e 5 e o terceiro pela árvore 3.

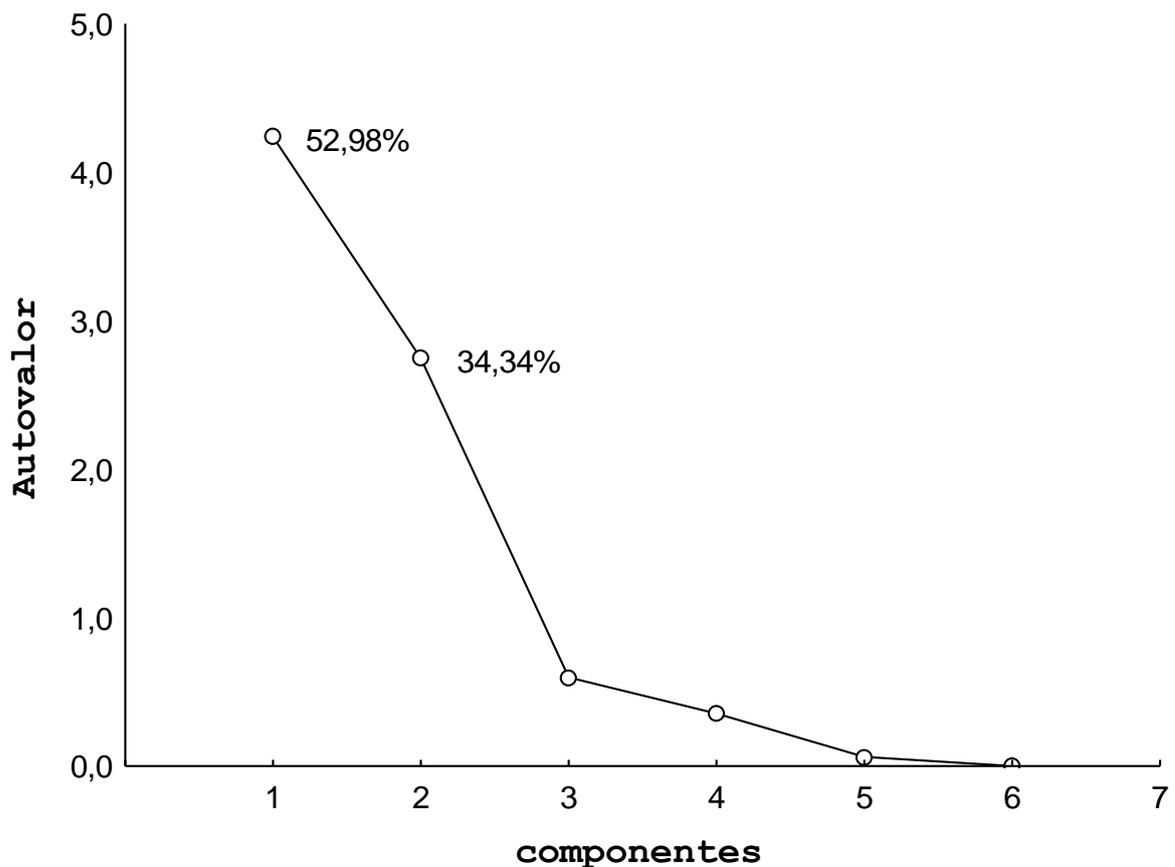


**Figura 21.** Agrupamento das seis árvores, utilizando o método de Ward’s e distância euclidiana, com base nas características dendrométricas das árvores de *E. grandis*.

### 3.1.2 Análise das componentes principais

Para evidenciar quais características dendrométricas foram responsáveis pela diferenciação dos grupos formados pela análise de agrupamento (Cluster) utilizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA).

A análise por componentes principais mostrou que as informações das características dendrométricas resumem-se em três auto-valores. No entanto, optou-se por utilizar apenas os dois primeiros auto-valores, já que os mesmos totalizaram um montante percentual de variância de 87,32% (Figura 22). Assim, as oito variáveis estudadas por árvore foram substituídas por estes dois componentes, com perda de apenas 12,68% de informação sobre a variância total, na qual supõe-se a existência em grande parte de ruído.



**Figura 22.** Representação gráfica da porcentagem de variância explicada para cada auto-valor na análise de componentes principais, referente as seis árvores de *Eucalyptus grandis*.

Para determinar a importância de cada característica dendrométrica nos componentes principais foi utilizado no contraste um valor maior que 0,70 nos auto-vetores conforme mostra a Tabela 7 permitindo estabelecer que:

**No componente principal 1**, em ordem decrescente de importância, as características rendimento de madeira serrada verde e seca, DAP, porcentagem de cerne- alburno, de DAP, abertura da tora em relação ao semi-bloco e relação cerne-alburno foram estatisticamente significativas para este componente explicando 52,98% da variância total dos dados.

**No componente principal 2**, em ordem decrescente de importância, as características de conicidade, achatamento médio e teor de casca foram estatisticamente significativas para este componente, explicando 34,34% da variância total dos dados.

Os valores obtidos para os componentes principais I e II levam a induzir que o primeiro componente é marcado principalmente pelas características quantitativas e o segundo pelas características qualitativas (achatamento médio e conicidade – características de qualidade das toras)

O gráfico bi-plot permite reforçar e visualizar as relações de dominância de cada fator (Figura 23). Nele as características dendrométricas mais distantes do eixo zero são as que mais contribuem para a variação total, que no caso foram RMSs, teor de casca (TC), achatamento médio (Am) e abertura do semi-bloco (AT).

As características próximas uma das outras dentro do mesmo quadrante possuem relação entre si, como é o caso do rendimento de madeira serrada verde e seca, destacadas no quadrante 3 e relação cerne/alburno (C/A) e DAP, destacadas no quadrante 4 (Figura 23).

Além de se relacionarem entre si, as características se correlacionam com outras variáveis que compõem os eixos. Por exemplo, o DAP se correlacionou positivamente com RMS, RMSs e C/A e negativamente com AT (variáveis do eixo X) e se correlacionou positivamente com conicidade (C) e teor de casca (TC), negativamente com achatamento médio (Am), pertencente ao eixo Y.

A correlação positiva entre o DAP e rendimento de madeira serrada verde, rendimento de madeira serrada seca e relação cerne/alburno era esperada, uma vez que toras com maiores diâmetros tendem a produzir maior quantidade de madeira serrada e maior proporção de cerne.

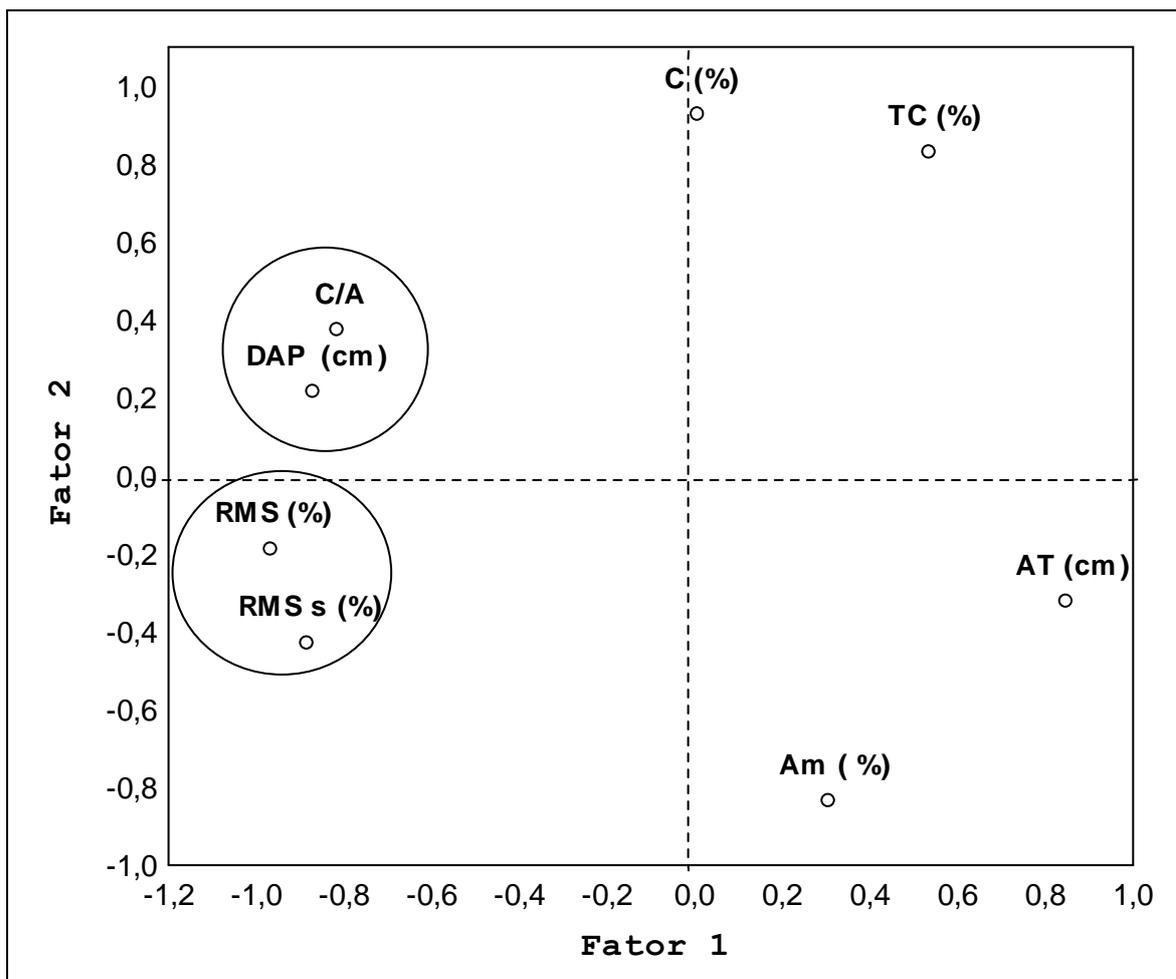
**Tabela 7.** Peso dos auto-vetores na análise de componentes principais para as seis árvores de *Eucalyptus grandis*.

Variável	Auto-Vetor Extração: Principal Auto-vetor > 0,70	
	Fator 1	Fator 2
DAP (cm)	<b>-0,870925</b>	0,211926
AT (cm)	<b>0,848971</b>	-0,325299
RMS (%)	<b>-0,965821</b>	-0,189870
RMS s (%)	<b>-0,884334</b>	-0,429016
TC (%)	0,538103	<b>0,828706</b>
Am (%)	0,305221	<b>-0,835950</b>
C (%)	0,010044	<b>0,923693</b>
C/A (%)	<b>-0,813330</b>	0,371423
<b>Expl.Var</b>	<b>4,238441</b>	<b>2,747567</b>
<b>Prp.Totl</b>	<b>0,529805</b>	<b>0,343446</b>

RMS = rendimento de madeira serrada verde e RMSs = rendimento de madeira serrada seca, DAP, C/A = relação cerne-alburno, AT = abertura da tora em relação ao semi-bloco, C = conicidade, Am = achatamento médio e TC = teor de casca.

A avaliação da proporção de cerne e do alburno no tronco de uma árvore é um dos parâmetros de qualidade muito importante, pois afeta a aplicação da madeira sólida e os processos de transformação da madeira em produtos manufaturados, como na confecção de PMVAs, papel e celulose, no tratamento da madeira com agentes químicos, entre outras finalidades.

No Anexo 1.4 encontra-se disponibilizado o resultado das relações existentes entre as características dendrométricas estudadas, considerando que duas variáveis possuem associação entre si quando o coeficiente de correlação for significativo a 5 % de significância. As correlações significativas encontram-se destacadas em negrito. Os resultados referentes as análises de regressão linear das características dendrométricas estudadas encontram-se descritas nos Anexos 1.5 a 1.8. Verifica-se para algumas características um coeficiente de determinação baixo, porém, significativo.



**Figura 23.** Projeção espacial das características dendrométrica de *Eucalyptus grandis* nas duas componentes principais.

Segundo HILLIS (1987) a quantidade de cerne de uma árvore varia com a espécie, idade (a formação do cerne na árvore, ocorre entre 2<sup>o</sup> ao 6<sup>o</sup> ano), área foliar, taxa de crescimento, posição no tronco da árvore e qualidade da estação. JOIA et al. (2006) avaliando do diâmetro do cerne de *Eucalyptus globulus* com 11 anos de idade e híbridos de *Populus x euramericana* com 8 anos verificaram que houve um aumento no diâmetro do cerne a medida que se aumentou o diâmetro da árvore.

PEREIRA (2004) relata que as regiões do cerne e albarno do lenho das folhosas diferem consideravelmente quanto à função e propriedades. A formação do cerne é um processo natural do envelhecimento das árvores, estando relacionado com a espécie, fatores genéticos e ambientais.

O aumento do diâmetro do cerne e a largura do albarno com o diâmetro do disco de lenho também foram registrados por WILKINS (1991) ao estudar a espécie de *Eucalyptus grandis*, detectando uma alta correlação entre as variáveis e indicando que os teores de cerne e de albarno são fortemente influenciados pelo crescimento das árvores.

De acordo com LOPES (2004), como o desenvolvimento do cerne acompanha o avanço da idade do lenho, a proporção do mesmo é maior onde o lenho é mais velho. Tendo em vista essas considerações é de se esperar que árvores de maiores diâmetros apresentem maior proporção de cerne quando comparadas àquelas de menores diâmetros.

A relação inversa entre o DAP e a abertura do semi-bloco também foi encontrada por CALONEGO & SEVERO (2005), que afirmam que a tensão de crescimento, expressa na abertura da tábua em relação ao bloco foi menor nas toras de maiores diâmetros.

CARVALHO et al. (2010) correlacionando altura e diâmetro com as tensões de crescimento (DRL) em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* constatou que a medida que o DAP aumenta, as tensões de crescimento diminuem. Resultados semelhantes também foram detectados por TRUGILHO et al. (2004) em *E. dunnii*.

A relação positiva entre o DAP e a conicidade também foi encontrada por LOPES (2003) e LIMA (2005) que observaram para *E. grandis* que o índice de conicidade foi maior nas toras com maiores DAPs e diminuiu com a idade da árvore. Segundo FIGUEIREDO et al. (2005) indivíduos de maior diâmetro estabelecem essa relação de maior conicidade, enquanto que indivíduos suprimidos (de menor diâmetro) constroem uma relação de maior proximidade com a forma cilíndrica.

A relação positiva entre o DAP e teor de casca estão de acordo com os resultados encontrados por SANTOS et al. (2006) para *E. grandis* e NETO (1977) para *E. saligna* que demonstrou que o teor de casca em foi maior nas árvores de maiores DAPs.

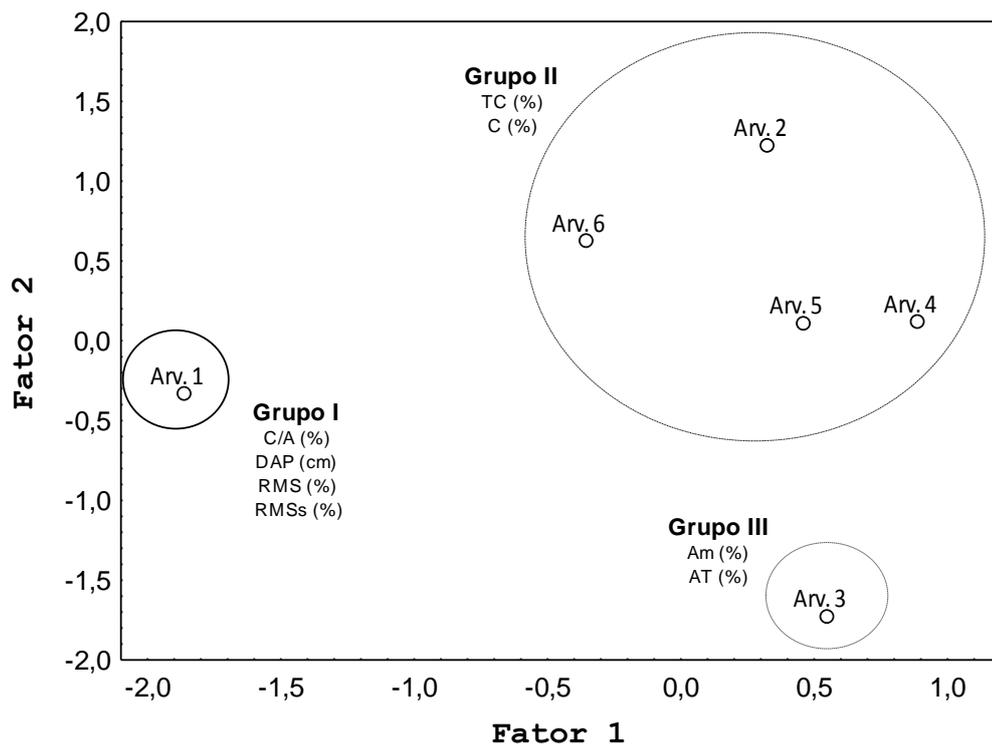
FOELKEL (2007) destaca que a relação entre espessura de casca e DAP depende de influências específicas, como clima, idade cronológica e fisiológica, tamanho das árvores, estação do ano e sítio. Segundo ele, em eucalipto é comum em árvores maiores (em diâmetro e altura) de uma mesma espécie e de uma mesma idade, tenderem a ter um menor percentual de casca. No entanto, apesar de percentualmente os teores serem menores nas árvores mais maduras a quantidade total de casca, em metros cúbicos ou toneladas por hectare é maior nos povoamentos mais velhos que em povoamentos mais jovens devido à maior dimensão de suas árvores.

A relação inversa entre o DAP e achatamento médio pode ser explicado com base na influência das raízes sobre a seção transversal do caule. Por exemplo, árvores com duas raízes superficiais, crescendo em um mesmo plano, porém em lados opostos podem ocasionar um desvio da forma circular do caule, pois essas raízes puxarão o caule para os lados, acarretando um achatamento nos outros dois lados sem raízes. Ao nível do DAP, as árvores com maiores diâmetros apresentam raízes superficiais menos visíveis, e em muitas das espécies florestais, nem aparecem e o tronco assume uma forma mais cilíndrica.

Para o processamento da madeira o ideal é que a seção transversal do caule de uma árvore tivesse uma forma quadrática. No entanto, naturalmente isso é difícil de acontecer e a tora de forma circular e de maiores diâmetros contribuem para o aumento dos rendimentos em madeira serrada.

Um confronto entre os dados de dispersão de escores e os dados de auto-vetores das componentes principais (Figura 24) mostrou que o grupo I constituído pela árvore 1 apresentou como características dendrométricas mais importante o DAP, rendimento em madeira serrada verde, rendimento em madeira serrada seca e relação cerne e alburno. Enquanto isso, o grupo II, constituído pelas árvores 2, 4, 5 e 6 tiveram como características mais importantes teor de casca (TC) e conicidade (C). Já no grupo III representado pela árvore 3, as características mais importantes foram achatamento médio (Am) e abertura do semi-bloco (AT).

A dispersão gráfica de escores dos dois primeiros componentes principais da análise em questão indica boa correspondência com o número de grupos formados pelo método de agrupamento Ward's.



**Figura 24.** Dispersão de escores das árvores de *Eucalyptus grandis* em relação aos dois primeiros componentes principais (fator 1 e fator 2).

### 3.2 Avaliação dos Defeitos após a Secagem da Madeira

Na Tabela 8 encontra-se demonstrado os valores médios dos defeitos contração volumétrica aparente ( $CV_{10\%}$ ), índice de rachaduras (IR), intensidade do arqueamento (IAT), intensidade do encurvamento (IET), encanoamento (ENCAN), nós (NOS), bolsa de resina (BR) colapso (COLAP) e rachas superficiais (RS) ocorridos nas tábuas após a secagem da madeira em estufa convencional, por região de retirada de madeira na tora.

**Tabela 8.** Valores médios dos defeitos ocorridos nas tábuas em função das três regiões delimitadas na tora (central, intermediária e externa).

REGIÃO	DEFEITOS									
	N	IR	$CV_{10\%}$	IET	IAT	ENCAN	NOS	BR	COLAP	RS
E	94	10,71	8,46	1,78	2,67	1,06	0,20	0,33	0,29	0,26
IE	100	9,40	7,79	1,69	2,78	0,80	1,20	0,57	0,41	0,31
CI	31	21,09	8,44	1,44	4,76	0,48	3,13	0,67	0,23	0,39
I	4	14,02	6,65	1,51	3,26	1,00	0,25	0,00	0,00	0,50
CIE	102	16,48	7,57	1,59	4,13	0,7	3,06	0,75	0,48	0,42
<b>Média Geral</b>		<b>13,11</b>	<b>7,96</b>	<b>1,66</b>	<b>3,36</b>	<b>0,84</b>	<b>1,66</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	<b>0,34</b>

N = nº de tábuas analisadas. Contração volumétrica aparente =  $CV_{10\%}$ , índice de rachaduras = IR, intensidade do arqueamento = IAT, intensidade do encurvamento = IET, encanoamento = ENCAN, nós = NOS, bolsa de resina = B, colapso = COLAP e rachas superficiais = RS. Externa (E), intermediária-externa (IE), Intermediária (I), central intermediária (CI) e central-intermediária-externa.

### 3.2.1 Análise de agrupamento

Para verificar se os defeitos ocorridos na madeira próxima à casca eram diferentes dos defeitos ocorridos na madeira próxima à medula foi realizada uma análise de agrupamento, onde os defeitos são as variáveis e as tábuas contendo madeira da região: externa (E), intermediária-externa (IE), intermediária (I), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE), o objeto do agrupamento.

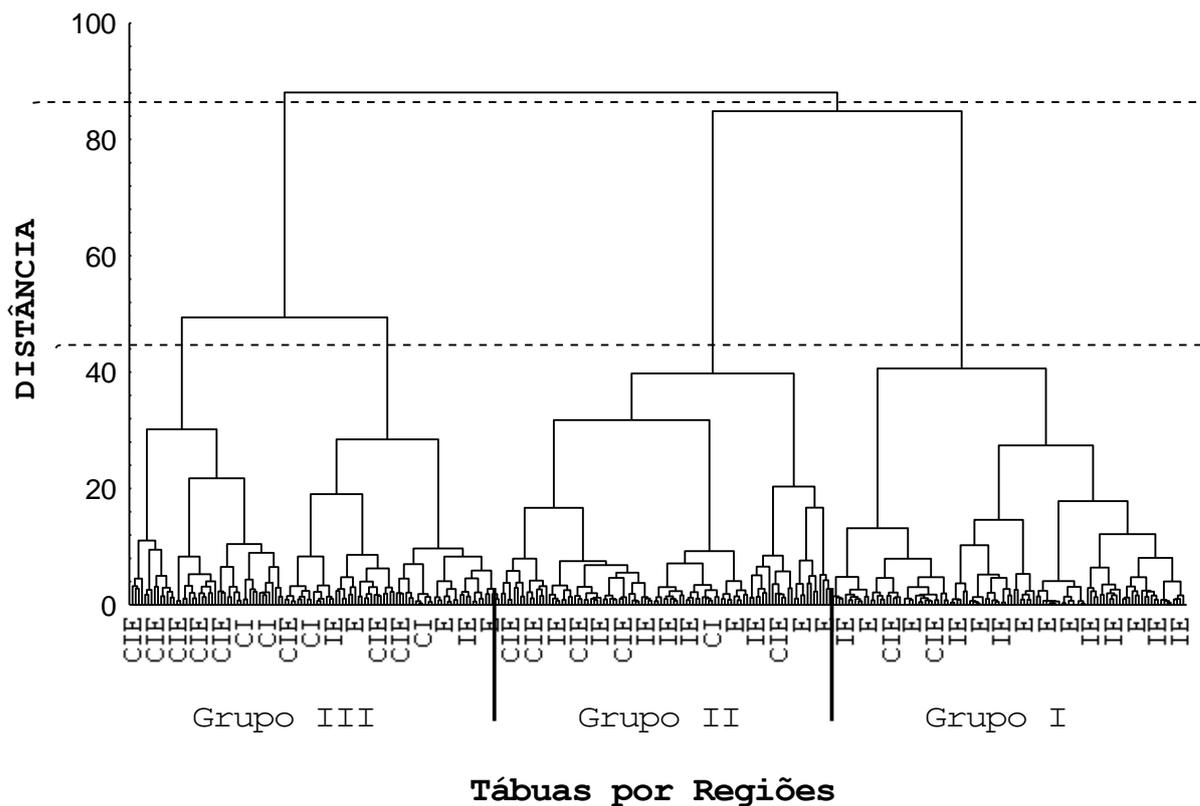
O agrupamento das tábuas foi realizado com base método de agrupamento Ward's, tendo como medida de dissimilaridade a distância euclidiana e executado pelo Software Statistic 6.0.

O processamento dos dados referente aos defeitos mensurados após secagem da madeira em estufa, por meio do software Statistic 6.0 resultou em um dendrograma em forma de “copa de árvore invertida” contendo várias ramificações com a posição de cada tábua em estudo (Figura 25). O dendrograma é a representação gráfica das distâncias normalizadas do quadrado médio dos desvios padrões das unidades analisadas e é através dele que se definem os grupos.

Embora as ramificações segregassem as tábuas até ao nível individual, procurou-se separá-las em forma de grupos. Para isso, adotou-se o critério mencionado por SOUZA et al. (1990); HUMPHREYS & CHIMELO (1992); ARAUJO (2002) que é o de traçar no eixo y uma linha de corte na distância média de ligação entre grupos formados. Neste estudo a linha traçada na distância 50 do eixo y proporcionou a formação de três grupos.

A partir de uma inspeção do dendrograma geral (Figura 25) formado com base nos defeitos ocorridos após a secagem da madeira em estufa, tais como: contração volumétrica parcial ( $CV_{10\%}$ ), índice de rachaduras (IR), intensidade do arqueamento (IAT), intensidade do encurvamento (IET), encanoamento (ENCAN), nós (NOS), bolsa de resina (BR) colapso (COLAP) e rachas superficiais (RS) verificou-se que a grande quantidade de tábuas (331 tábuas) prejudicou a perfeita visualização do eixo x (tábuas por região) do diagrama.

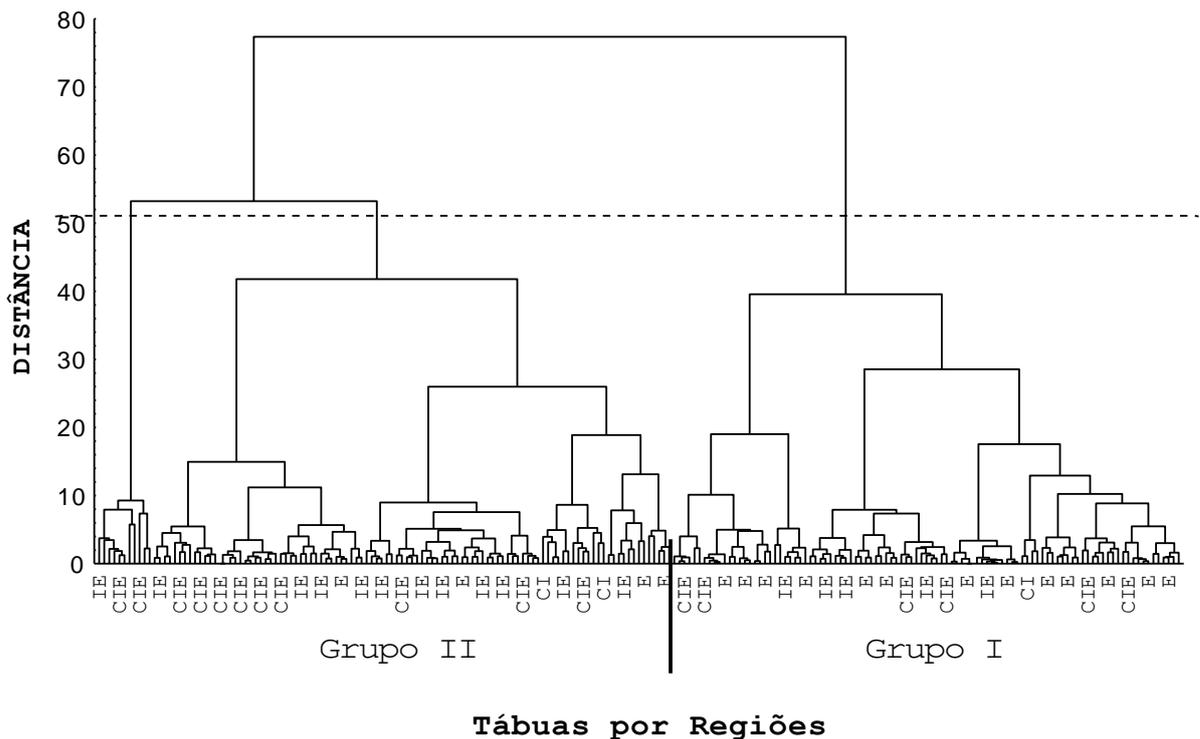
Desta forma, optou-se por analisar cada grupo separadamente, obtendo assim, uma melhor ampliação e visualização da distribuição das tábuas por região no eixo x.



**Figura 25.** Agrupamento das 331 tábuas, utilizando o método de Ward's e distância euclidiana, constituído por três grupos contendo tábuas das regiões: externa (E), intermediária-externa (IE), Intermediária (I), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

A princípio, o dendrograma constituído por 331 tábuas foi dividido por um corte realizado na distância de ligação  $y=85$ , ou seja, acima da distância média de ligação  $y=50$  e resultou em dois dendrogramas, sendo um constituído por 215 tábuas e outro por 116 (Figuras 26 e 29).

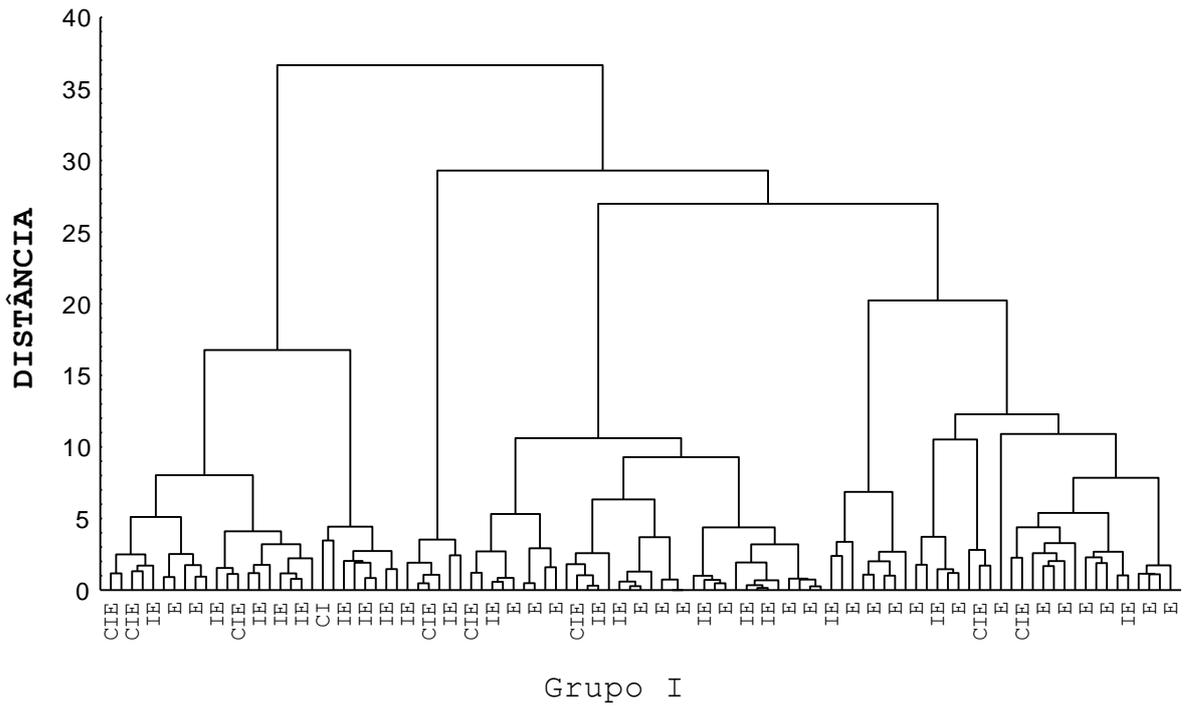
O dendrograma contendo 215 tábuas corresponde ao grupo anterior I e II e é constituído de tábuas com porções de madeira proveniente da região externa (E), intermediária-externa (IE), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE). Em virtude da grande quantidade de tábuas, muitas não puderam ser visualizadas no eixo x. Por isso, optou-se por realizar neste dendrograma um corte na distância de ligação  $y=55$  (um pouco acima da distância média de ligação). Este corte resultou em dois novos dendrogramas, sendo um constituído por 101 tábuas e o outro por 114, conforme mostram as Figuras 27 e 28.



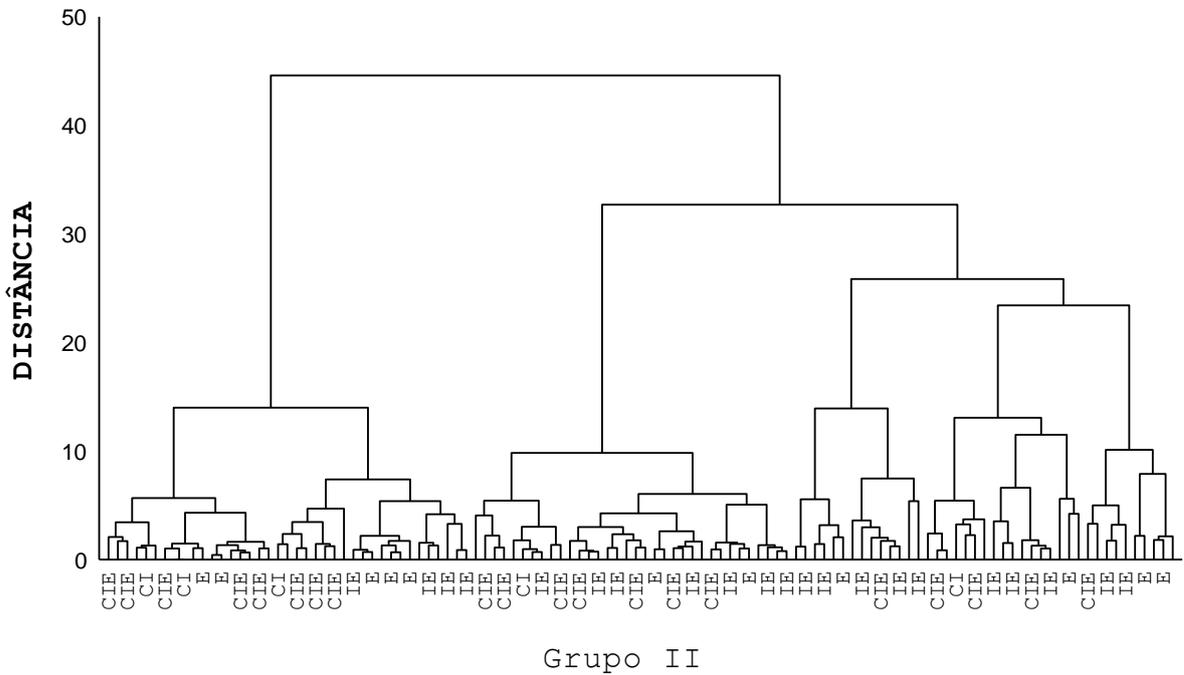
**Tábuas por Regiões**

**Figura 26.** Agrupamento das 215 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo I e II, constituído por tábuas contendo madeira retirada das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

O grupo constituído por 101 tábuas (Figura 27) é formado em sua maioria por tábuas que possuem madeira da região externa (E) e intermediária-externa (IE). Já o grupo constituído pelas 114 tábuas (Figura 28) é composto por uma mistura de tábuas provenientes das regiões (E), (IE), (CI) e (CIE). No entanto, apesar de haver uma mistura das tábuas externas e internas, esses grupos (I e II) quando comparado ao grupo III é formado em sua maioria por madeira considerada externa (E e IE).

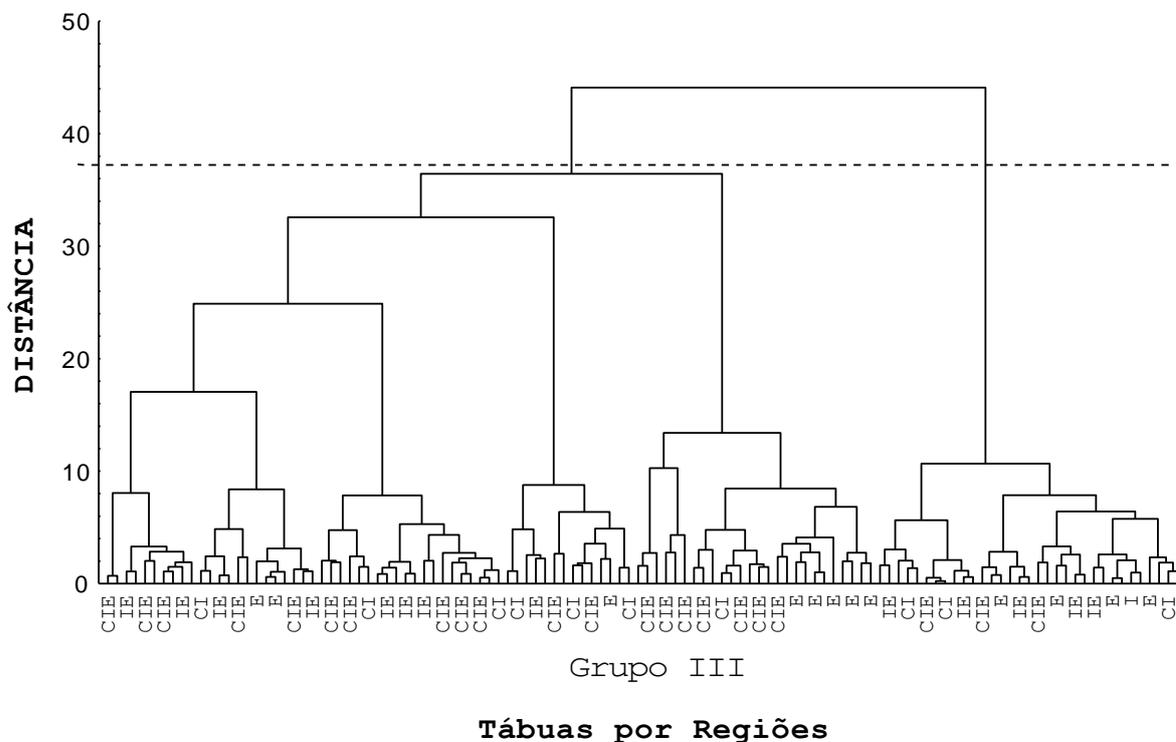


**Figura 27.** Agrupamento das 101 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo I, constituído em sua maioria por tábuas com madeira retirada das regiões externa (E), intermediária-externa (IE).



**Figura 28.** Agrupamento das 114 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo II, constituído por tábuas com madeira retirada das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

A Figura 29 mostra que o dendrograma formado pelas 116 tábuas, correspondente ao grupo III é constituído por tábuas que apresentam madeira proveniente das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), intermediária (I), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

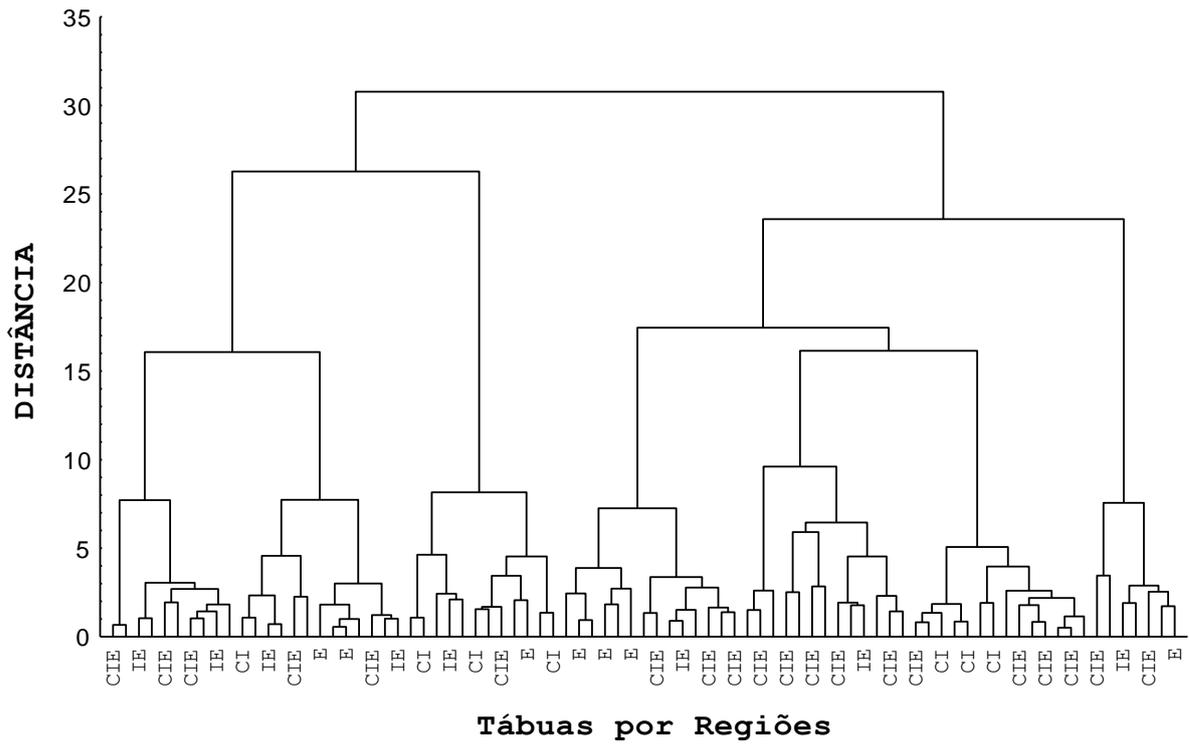


**Figura 29.** Agrupamento das 116 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo III, constituído por tábuas contendo madeira retirada das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), Intermediária (I), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

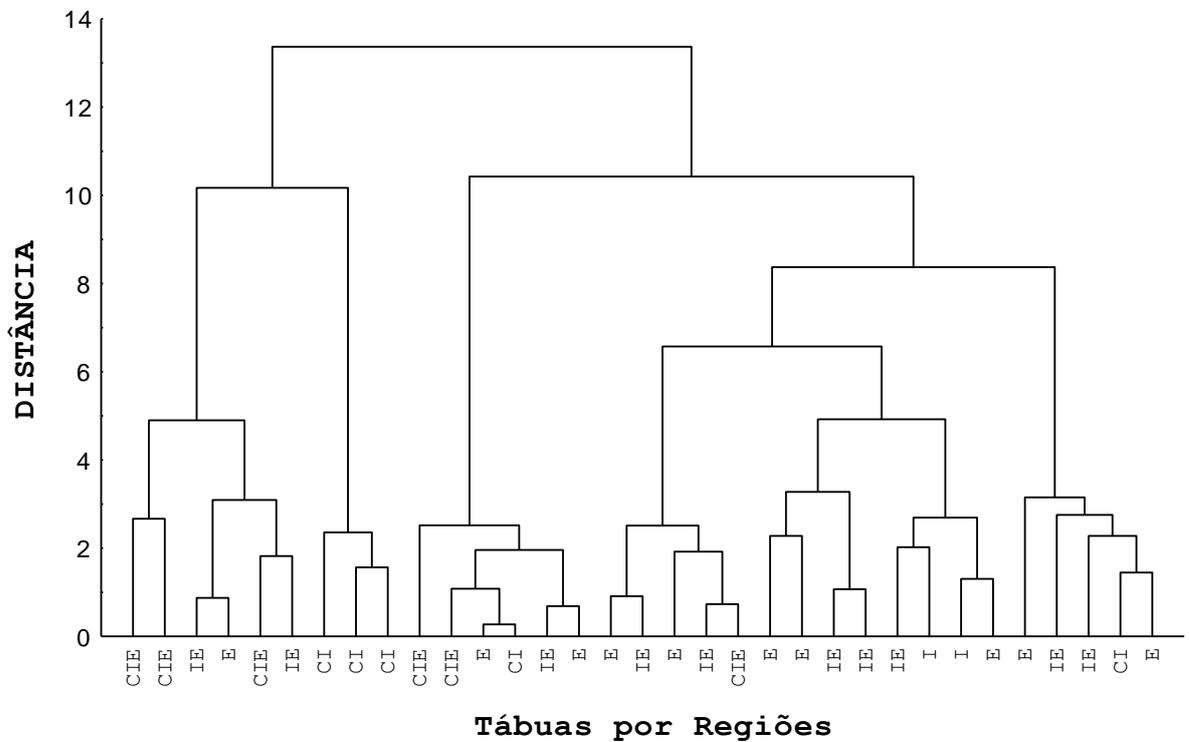
Para uma melhor visualização do eixo X optou-se fazer um corte na distância de ligação  $y=38$ . Este corte resultou em dois dendrogramas, sendo o maior constituído por 83 tábuas e o menor por 33, conforme mostram as Figuras 30 e 31.

O maior grupo, constituído por 83 tábuas apresenta em sua maioria tábuas com porções de madeira das regiões (CI) e (CIE). Já o menor grupo, constituído por 33 tábuas apresenta em sua maioria tábuas com porções de madeira da região E e IE.

De maneira geral, baseado nos dendrogramas formados verifica-se que apesar de algumas tábuas contendo porção de madeira da região (E) e (IE) serem semelhantes às (CI) e (CIE) existe uma tendência de segregação destes dois grupos, comprovando a existência de lenhos diferenciados para as regiões interna e externas.



**Figura 30.** Agrupamento das 83 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo III, constituído por tábuas contendo em sua maioria madeira retirada das regiões central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE).

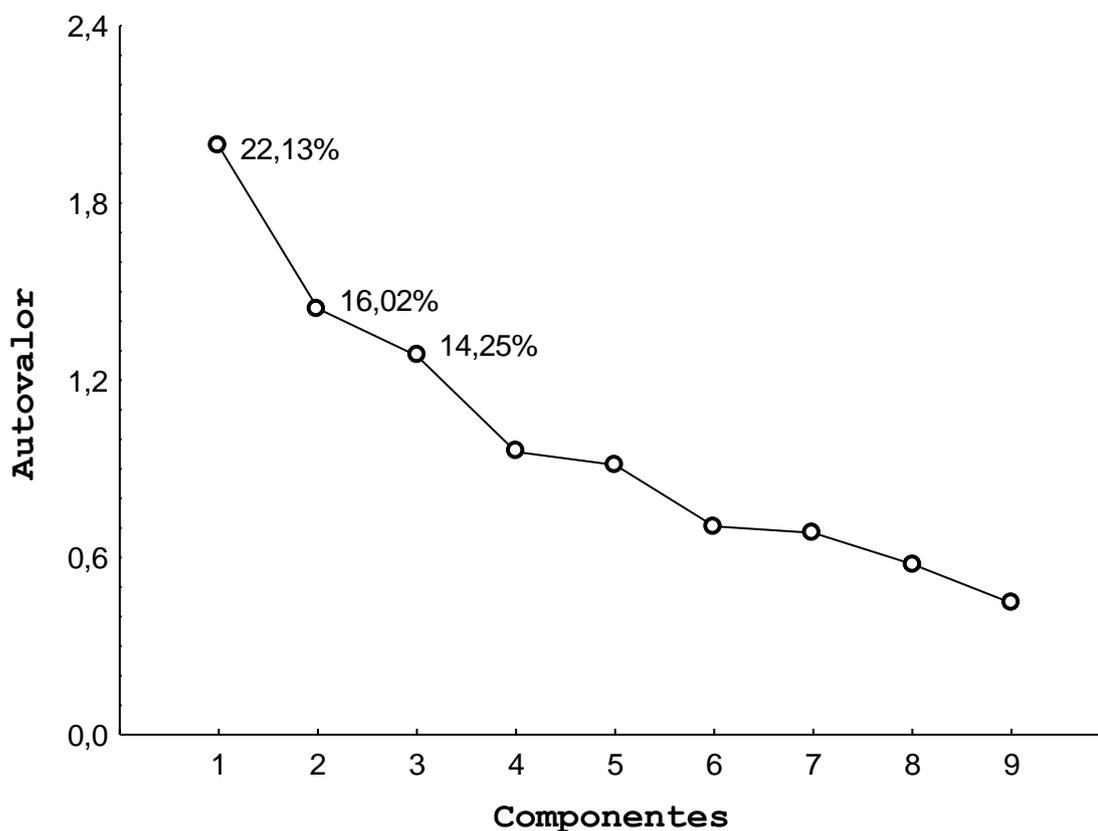


**Figura 31.** Agrupamento das 33 tábuas, pelo método de Ward's, com base na distância euclidiana, referente ao grupo III, constituído em sua maioria por tábuas contendo madeira retirada das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), Intermediária (I).

### 3.2.2 Análise das componentes principais

Com o intuito de esclarecer quais das variáveis (defeitos) contribuíram para que houvesse segregação entre as tábuas com porções de madeira das regiões que podem ser consideradas externas (E e IE) e internas (CI e CIE), decidiu-se fazer uma análise de componentes principais (PCA) com as 331 tábuas e adotou-se reter as componentes principais, cujos auto-valores fossem maiores do que 1 e explicasse 50% ou mais da variância total.

O gráfico da Figura 32 mostra que para as 331 tábuas analisadas os auto-valores variaram de zero a 2,2 e apenas as três primeiras componentes apresentaram valores maiores do que 1. Por meio da análise do gráfico constatou-se que a porcentagem da variabilidade acumulada nos primeiros eixos (auto-valores) não foi grande e justificam o resultado encontrado nos agrupamentos formados pela Análise de Cluster e explícitos nos dendrogramas anteriores, em que muitas tábuas consideradas externas (E e IE) se agruparam a outras consideradas internas (CI e CIE). Devido a esta baixa variabilidade adotou-se reter as três primeiras componentes principais, que explicam 52,41% da variação total.



**Figura 32.** Representação gráfica da variância explicada para cada auto-valor na análise de componentes principais para os defeitos mensurados após secagem em estufa da madeira de *Eucalyptus grandis*.

A análise das componentes principais (auto-vetores), obtidos através do método não rotacionado da matriz de correlação, permite observar a importância dos defeitos da madeira dentro de cada fator (Tabela 9). Foram consideradas significantes as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação igual ou acima de 0,7 destacadas em negrito.

**Tabela 9.** Fatores não rotacionados obtidos através da matriz de correlação dos defeitos encontrados na madeira de *Eucayptus grandis*.

Variável	Auto-Vetor Extração: Componente Principal Auto-vetor > 0,70		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
IR	0,326231	-0,513315	-0,196763
CV <sub>10%</sub>	-0,212317	<b>-0,734996</b>	0,262320
IET	0,446789	0,054492	0,642058
IAT	0,570537	0,053273	-0,289118
ENCAN	0,353143	-0,076076	<b>0,745290</b>
NOS	<b>0,768506</b>	-0,067725	-0,320812
BR	0,568382	-0,160892	-0,074545
COLAP	0,446786	0,593273	0,099046
RS	0,279081	-0,494621	-0,073662
<b>Expl.Var</b>	<b>1,992512</b>	<b>1,442403</b>	<b>1,282526</b>
<b>Prp.Totl</b>	<b>0,221390</b>	<b>0,160267</b>	<b>0,142503</b>

O fator 1 explica 22,13 % da variação total e está associado em ordem decrescente de importância aos defeitos da madeira, tais como: nós (NOS), intensidade de arqueamento (IAT) e bolsa de resina (BR). Dentre essas variáveis, nós (NOS) foi a que exerceu maior influência ou domínio sobre este primeiro fator. Sendo assim, pode-se denominá-lo de fator de aparência e ser utilizado como ferramenta para determinar a qualidade visual do produto.

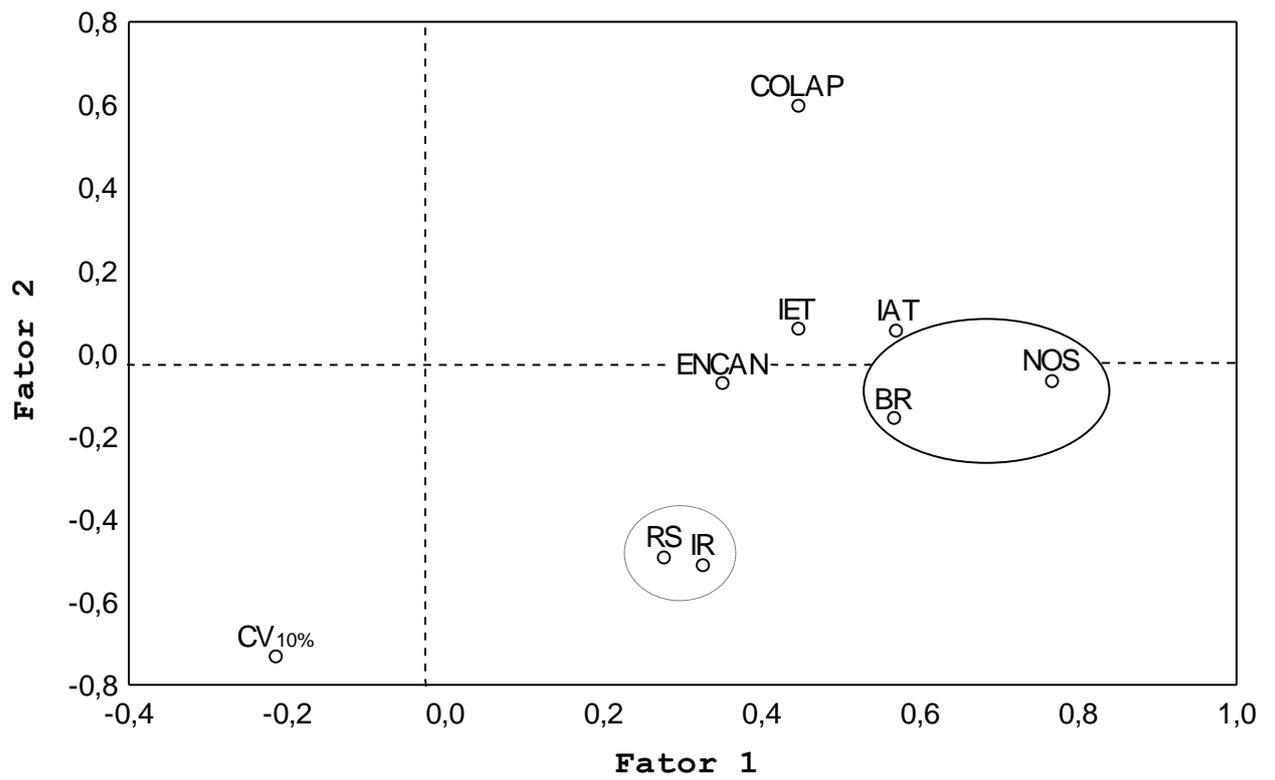
O fator 2, responsável por 16,02% da variação total, foi dominado pelos defeitos contração volumétrica parcial (CV<sub>10%</sub>), colapso (COLAP), índice de rachadura (IR) e rachas superficiais (RS). A contração volumétrica total apresentou o maior coeficiente de correlação (Tabela 9) comparado às outras três variáveis e foi considerada a mais importante dentro deste grupo. O terceiro fator, que compõe 14,25 % da variação total, é dominado pelo defeito de encanoamento (ENCAN) seguido pela intensidade de encurvamento (IET).

Em virtude dos fatores 2 e 3 estarem relacionados com o aspecto de secagem da madeira, estes podem ser denominados de fatores de deformação.

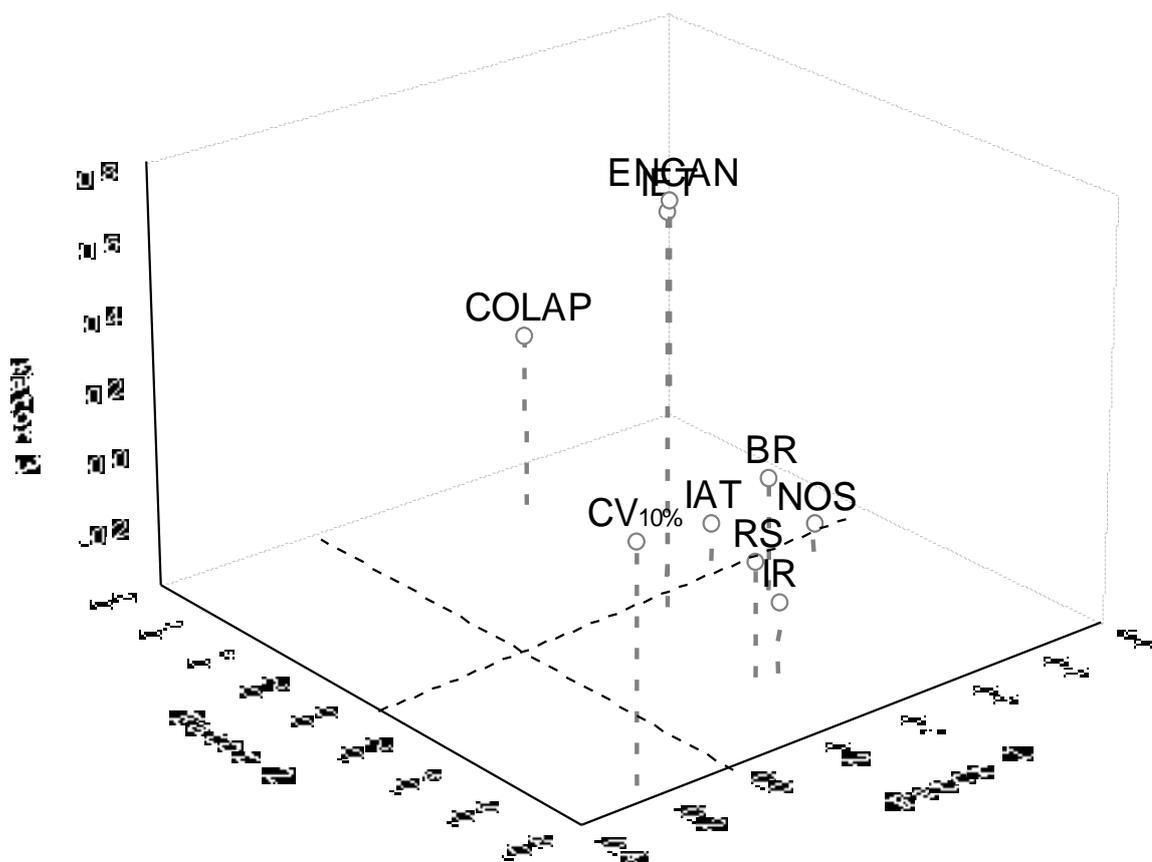
De maneira geral, os defeitos ocorridos pela secagem da madeira foram responsáveis por 30,27% da variação total, com destaque para contração volumétrica parcial (CV<sub>10%</sub>) e encanoamento (ENCAN) que foram dominantes nos dois últimos fatores.

Em análises multivariadas, se uma variável apresenta altas relações com outras, como é o caso da NOS, IAT e BR, todas estas variáveis são significativas, entretanto, apenas uma é indicada dentro de cada fator.

A projeção bidimensional e tridimensional dos defeitos em gráficos permitiu reforçar e visualizar as relações de dominância de cada fator (Figura 33 e 34). No gráfico, os defeitos mais distantes do eixo zero, são os que mais contribuem para a variação total, que no caso foi (CV<sub>10%</sub>) e COLAP, seguido de RS e IR.



**Figura 33.** Dispersão bidimensional dos defeitos da madeira ocorridos nas 331 tábuas em relação aos dois primeiros componentes principais (Fator I e II) e os grupos formados pelo agrupamento Ward's, com base nas distâncias euclidianas.



**Figura 34.** Dispersão tridimensional dos defeitos da madeira ocorridos nas 331 tábuas em relação aos três primeiros componentes principais (Fator I, II e III) e os grupos formados pelo agrupamento Ward's, com base nas distâncias euclidianas.

Outra informação que pode ser extraída do gráfico bidimensional ou tridimensional é que as variáveis quando próximas uma das outras, dentro de um mesmo quadrante, possuem relação entre si, como pode ser detectado para Bolsa de resina (BR) e nós (NOS); índice de rachaduras (IR) e rachas superficiais (RS).

Os defeitos, além de se relacionarem entre si, podem se correlacionar com as variáveis que compõem os eixos. Por exemplo, BR e NOS se correlacionam com os defeitos que compõem o eixo X (IAT), o eixo Y (IR, CV<sub>10%</sub>, COLAP e RS). Na Tabela 10 encontra-se disponibilizado o resultado das relações existentes entre os defeitos estudados, considerando que duas variáveis possuem associação entre si quando o coeficiente de correlação for significativo a 5 % de significância. As correlações significativas encontram-se destacadas em negrito.

Os resultados das análises de variância para regressão múltipla dos defeitos encontram-se demonstrados nos Anexos 4.6 a 4.13. Neles, verifica-se um coeficiente de determinação baixo, porém, significativo para alguns defeitos.

**Tabela 10.** Matriz de correlação entre os defeitos avaliados.

DEFEITOS	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS 331 TÁBUAS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	IR	CV <sub>10%</sub>	IET	IAT	ENCAN	NOS	BR	COLAP	RS
IR	1,00	<b>0,19</b>	0,02	0,13	0,03	<b>0,25</b>	0,11	-0,03	0,09
CVT	<b>0,19</b>	1,00	-0,04	-0,14	<b>0,11</b>	<b>-0,16</b>	0,01	<b>-0,29</b>	0,10
IET	0,02	-0,04	1,00	0,09	<b>0,34</b>	0,10	<b>0,17</b>	0,15	0,06
IAT	<b>0,13</b>	-0,14	0,09	1,00	0,05	<b>0,36</b>	0,10	0,15	0,13
ENCAN	0,03	<b>0,11</b>	<b>0,34</b>	0,05	1,00	0,08	0,06	<b>0,15</b>	0,07
NOS	<b>0,25</b>	<b>-0,16</b>	0,10	<b>0,36</b>	0,08	1,00	<b>0,39</b>	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>
BR	0,11	0,01	<b>0,17</b>	0,10	0,06	<b>0,39</b>	1,00	<b>0,10</b>	0,10
COLAP	-0,03	<b>-0,29</b>	0,15	0,15	<b>0,15</b>	<b>0,21</b>	<b>0,10</b>	1,00	<b>-0,13</b>
RS	0,09	0,10	0,06	0,13	0,07	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>	<b>-0,13</b>	1,00
<b>Média</b>	<b>13,11</b>	<b>7,96</b>	<b>1,66</b>	<b>3,36</b>	<b>0,84</b>	<b>1,66</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	<b>0,34</b>
Desvio Padrão	16,87	4,06	1,23	1,91	1,3	2,06	0,50	0,48	0,47
Nº casos	331								
Matriz	1								

Na tabela 10 observa-se que o valor médio da CV<sub>10%</sub> (7,96%) foi inferior ao encontrado por CRUZ (2000); XAVIER (2001); OLIVEIRA et al. (1997); CASTRO (2002) e COSTA (1996); para a espécie de *Eucalyptus grandis*, que foram em torno de 13,83%, 13,94%, 16,65%, 18,11% e 17,5%, respectivamente. Porém está próximo do valor encontrado por VITAL & TRUGILHO (1997), que foi em torno de 9,53%. O baixo valor obtido para a contração neste trabalho é devido à mesma ser parcial e não total.

Pelo exposto nas Figuras 35 e 36, a contração volumétrica parcial (CV<sub>10%</sub>) revelou-se um defeito isolado e possui correlação negativa com colapso e nós, ou seja, quando se diminui a contração volumétrica parcial aumenta-se a ocorrência de tábuas com colapso e nós, ou vice-versa.

A explicação para a correlação inversa entre contração e colapso encontra-se baseada na teoria do colapso, que defende que o mesmo ocorre na madeira devido a uma contração anormal da célula provocada por um alto gradiente de secagem, que ocasiona uma tensão irregular, principalmente naquelas madeiras que possuem parede celular delgada e com uma resistência mecânica menor do que as tensões que se formam nos meniscos dos capilares quando ocorre evaporação da água na superfície das peças. Desta forma, mesmo a madeira apresentando uma contração volumétrica baixa pode apresentar colapso.

CAVALCANTE (1991) explica que a retração considerada normal da madeira é baseada na combinação de contrações lineares manifestadas na direção tangencial, longitudinal e radial, não envolvendo a deformação das células e sempre ocorrendo abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). Enquanto que o colapso ocorre acima do PSF, quando a madeira ainda encontra-se com água livre, ou seja, as células encontram-se com água no lume. O colapso caracteriza-se por uma retração anormal da madeira, e ocorre mais em função das características físicas e anatômicas da própria madeira do que em função do processo de secagem. Segundo GRUPO ANDINO (1989) este tipo de defeito é muito comum em madeira do gênero *Eucalyptus sp.* e *Quercus sp.*

Apesar de apresentar correlação negativa com CVT, o colapso possui correlação positiva com ENCAN, BR e RS.

A contração volumétrica total apresentou correlação positiva com índice de rachadura e encanoamento. Esse resultado já era esperado, pois quanto maior a contração maior é a tendência da madeira em rachar e se deformar. A explicação pode ser dada com base no comportamento anisotrópico da madeira. Sabe-se que as rachaduras e o encanoamento aparecem na madeira como consequência da diferença entre a retração nas direções radial e

tangencial da madeira e de diferenças entre regiões contíguas da mesma peça, durante o processo de secagem (SANTOS, 2002). No caso das rachaduras, a diferença leva ao aparecimento de tensões superiores à resistência dos tecidos lenhosos provocando a ruptura da madeira, que ocorre geralmente nos raios lenhosos.

Uma explicação plausível para a diminuição da contração volumétrica total com o aumento da quantidade de nós baseia-se nas diferenças morfológicas do lenho nessa região. Segundo VANILDA (2005), o nó é constituído basicamente de fibras de madeira de compressão, as quais são morfológicamente diferentes das fibras de madeira normal.

De acordo com SAHLBERG (1995), os nós apresentam baixo teor de umidade, densidade básica duas vezes maior que àquela de madeira normal, alto teor de extrativos e por isso, faz com que a contração dos tecidos dos nós durante a secagem seja desigual em relação ao lenho circundante. Desta forma, é de se esperar que a contração da madeira seja menor com o aumento da quantidade de nós na madeira.

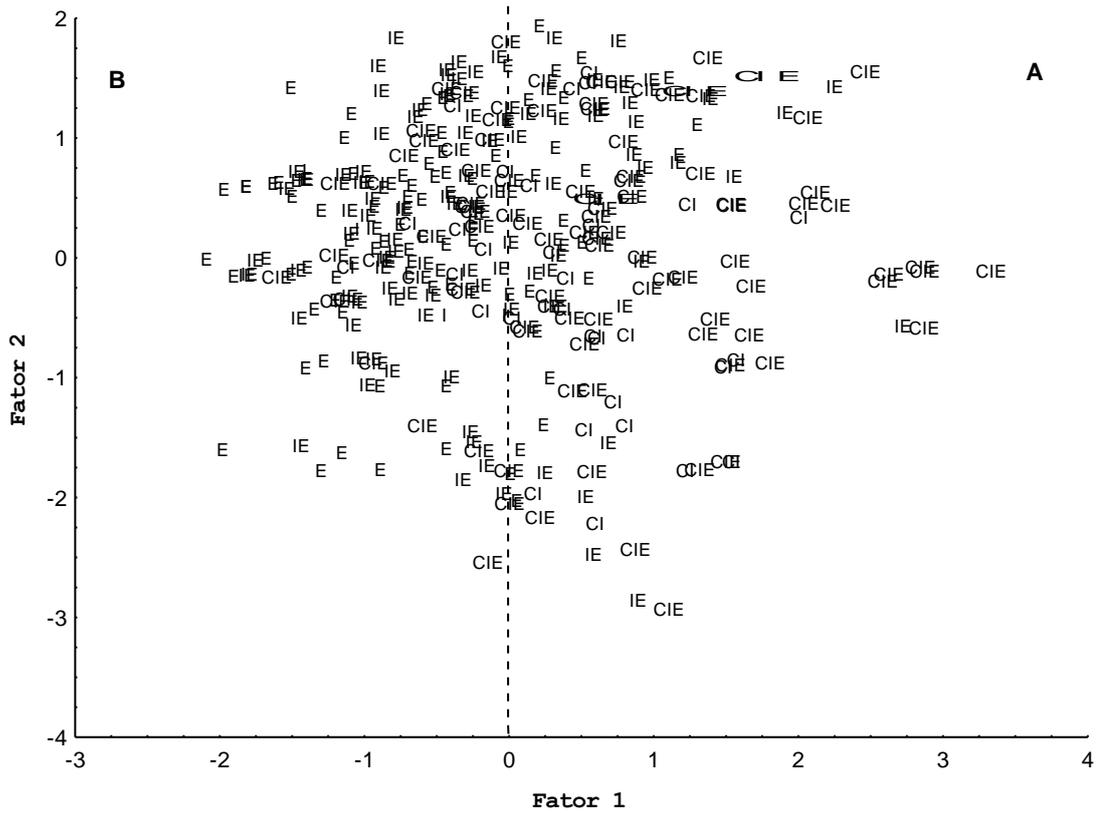
A correlação positiva de NOS com IR, IAT, BR, COLAP e RS já era esperada uma vez que a madeira que compreende a região de nós apresenta desvios acentuados de suas células, formando alto ângulo de grã, irregularidades nos anéis de crescimento, além de descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, podendo apresentar bolsas de resina se ramos secos não forem retirados da árvore quando ainda jovem. Em virtude dessas características a madeira apresenta menor resistência e conseqüentemente o aumento desses tipos de defeitos.

Para os demais defeitos (IR, IET, IAT, ENCAN, BR, e RS) observa-se uma sobreposição das correlações. Por exemplo, o índice de rachadura (IR) se correlaciona com CVT, IAT e NOS, e estes por sua vez se correlacionam com ENCAN, BR, RS, COLAP, já mencionados nos parágrafos anteriores.

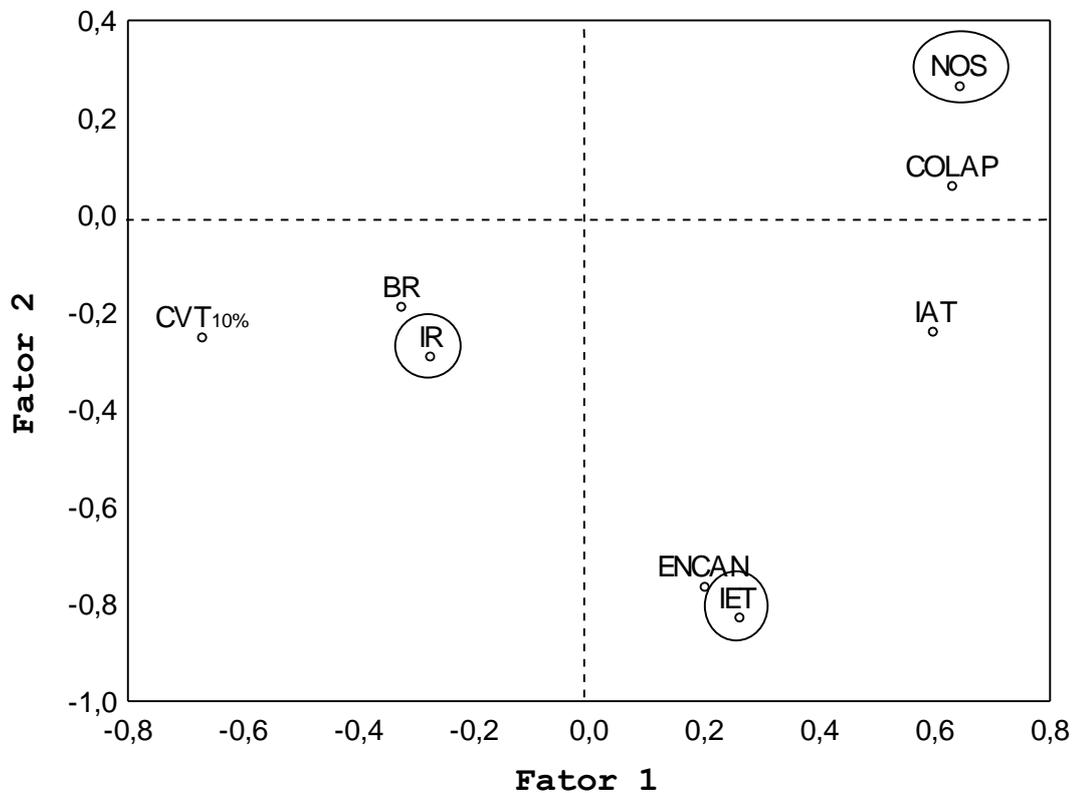
Apesar da baixa variabilidade entre as tábuas consideradas externas (E e IE) e internas (CI e CIE), a projeção das escores das componentes principais em gráfico bidimensional (Figura 35) permitiu representar toda a variabilidade dos defeitos existentes e separar, esses dois tipos de lenho. Enquanto a parte A do gráfico biplot evidencia as tábuas com porções de madeira retiradas da região interna (CI e CIE), a parte B evidencia as tábuas com porções de madeira retiradas da região externa (E e IE).

Os auto-vetores (defeitos) das componentes principais dos grupos I, II e III, demonstrados nas Figuras 36, 37 e 38 revelam que os defeitos que caracterizam cada grupo são:

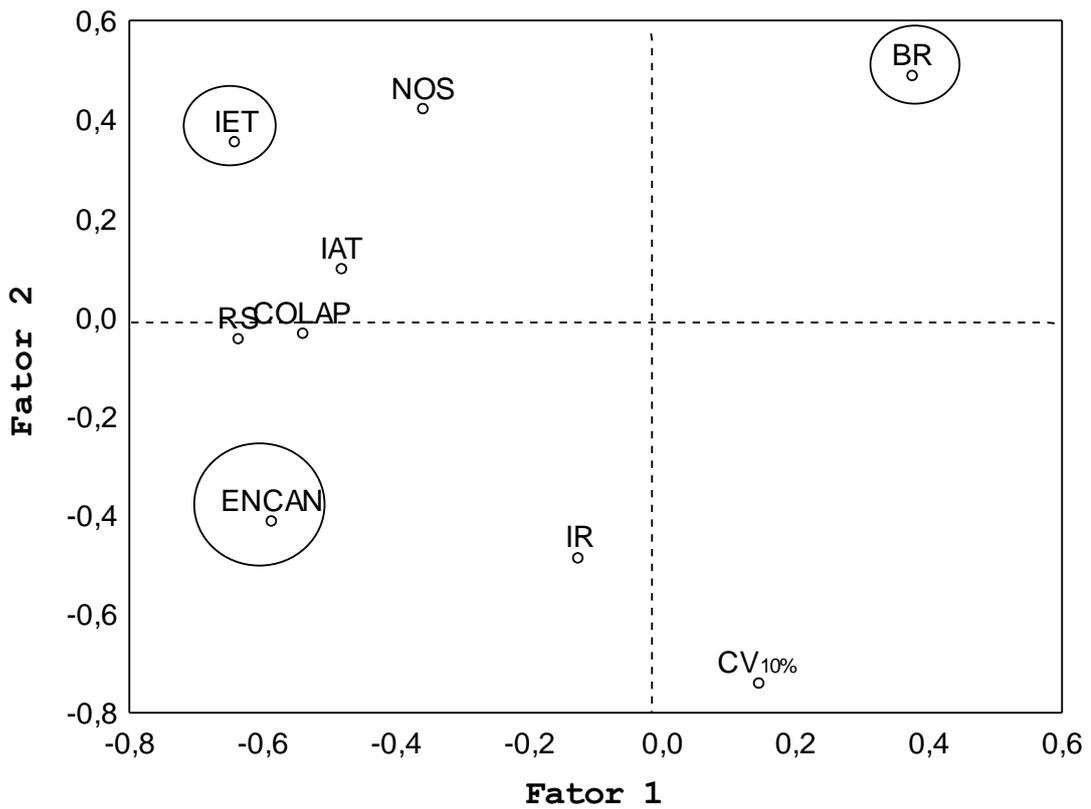
- 1) Grupo I – é constituído por 101 tábuas e os defeitos que o diferenciaram dos demais foram encurvamento (**IET**), índice de rachaduras (**IR**) e nós (**NOS**).
- 2) Grupo II – é constituído por 114 tábuas e os defeitos que o diferenciaram dos demais foram encanoamento (**ENCAN**), encurvamento (**IET**) seguido por bolsa de resina (**BR**).
- 3) Grupo III – é constituído por 116 tábuas e os defeitos que o diferenciaram dos demais foram arqueamento (**IAT**), nós (**NOS**), bolsa de resina (**BR**) e colapso (**COLAP**).



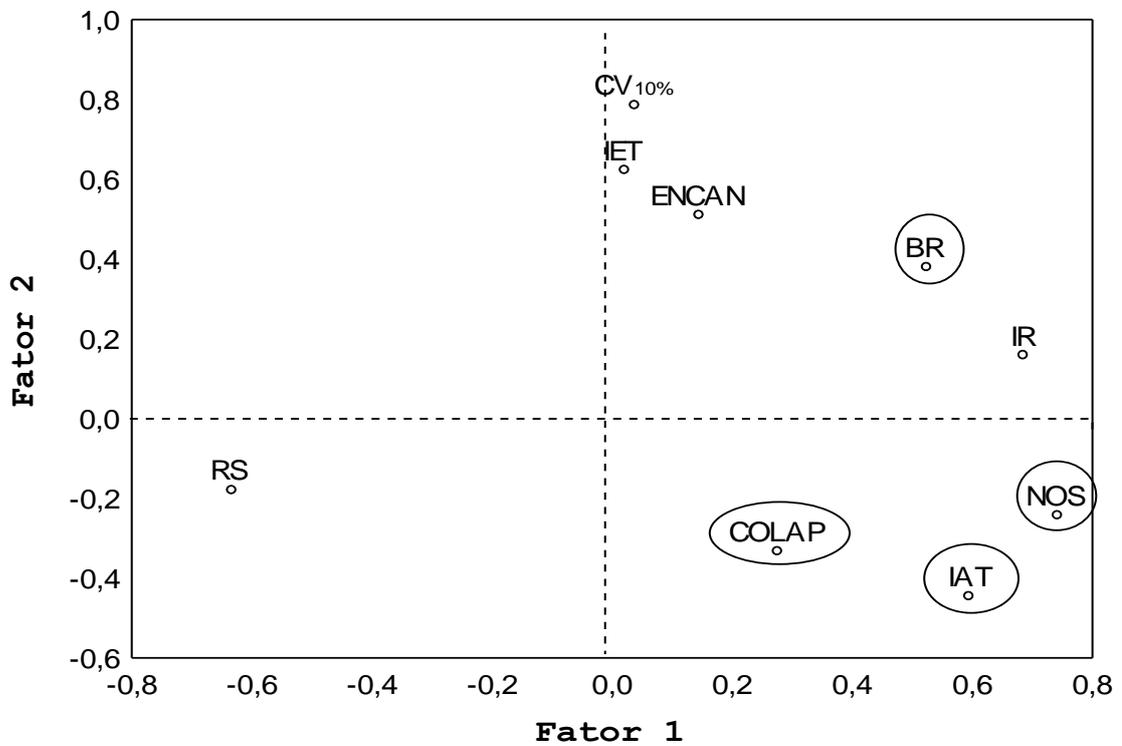
**Figura 35.** Dispersão gráfica das escores dos defeitos da madeira em relação aos dois primeiros componentes principais (Fator 1 e 2).



**Figura 36.** Dispersão bidimensional dos defeitos da madeira ocorridos nas 101 tábuas em relação aos dois primeiros componentes principais (Fator I e II) e os grupos formados pelo agrupamento Ward's, com base nas distâncias euclidianas.



**Figura 37.** Dispersão bidimensional dos defeitos da madeira ocorridos nas 114 tábuas em relação aos dois primeiros componentes principais (Fator I e II) e os grupos formados pelo agrupamento Ward's, com base nas distâncias euclidianas.



**Figura 38.** Dispersão bidimensional dos defeitos da madeira ocorridos nas 116 tábuas em relação aos dois primeiros componentes principais (Fator I e II) e os grupos formados pelo agrupamento Ward's, com base nas distâncias euclidianas.

As matrizes de correlação descritas nos Anexos 4.14 a 4.16 revelam que o grupo III (CI e CIE) quando comparado ao grupo I e II apresentou médias maiores para os defeitos rachaduras, nós, arqueamento e contração volumétrica total, e menores para colapso e bolsa de resina. No entanto, se fizer uma média do grupo I e II para bolsa de resina observa-se que a ocorrência desse defeito no grupo III é maior. Observa-se também, que juntos o grupo I e II (E e IE) apresentaram maior quantidade de tábuas com encurvamento, encanoamento e colapso.

Uma explicação para a maior ocorrência de rachaduras, arqueamento e contração volumétrica total nas tábuas que continham a medula e menor nas tábuas retiradas à periferia do tronco baseia-se na presença de lenho juvenil e adulto, presença de cerne, bem como no comportamento anisotrópico da madeira.

DEL MENEZZI et al. (2001); DEL MENEZI e NAHUZ (1998); ROCHA & TOMASELLI (2002); SCANAVACA JUNIOR & GARCIA (2003) e TOUZA (2001), ao estudarem, respectivamente, as rachaduras na madeira serrada de *Eucalyptus cloeziana*, de *Eucalyptus globulus*, de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* e de *Eucalyptus urophylla*, concluíram que há uma diminuição da intensidade desse defeito no sentido medula-câmbio.

O resultado de aumento da intensidade de arqueamento em direção a medula está de acordo com o encontrado por CALONEGO & SEVERO (2007); GARCIA (1995); SANTOS (2002); DEL MENEZI e NAHUZ (1998) e TOUZA (2001). Segundo TOUZA (2001), o arqueamento está associado às rachaduras de topo e, portanto seguem o mesmo padrão nas tábuas da medula à casca.

GARCIA (1995), TOUZA (2001) e SANTOS (2002) afirmaram que as toras de eucaliptos desdobradas pelo sistema de corte tangencial apresentam índices de arqueamento maior nas peças retiradas do centro do fuste e menor nas da periferia e que comportamento inverso ocorre para os índices de encurvamento.

Apesar de 68% das 331 tábuas não apresentarem colapso, sua maior ocorrência foi nas tábuas consideradas externas. Este resultado não está de acordo com os encontrados por BLUMHN & KAUMAN (1965); SANTOS (2002) e CAMPBELL & HARTLEY (1988). Segundo BLUMHM & KAUMAN (1965), o colapso se apresenta com maior intensidade no cerne, devido à obstrução dos vasos por tilose. Essa obstrução limita o fluxo capilar e as pequenas pontuações das fibras geram altas tensões capilares, capazes de vencer a resistência da parede celular, ocasionando o colapso na madeira. SANTOS (2002) em seu trabalho sobre otimização da secagem de *Eucalyptus grandis* observou colapso em 42 tábuas que continham medula (19,5% do total) e CAMPBELL & HARTLEY (1988) recomendam a exclusão de material próximo à medula, pois é uma região propensa ao colapso.

O resultado de aumento de colapso no sentido medula-câmbio pode ser explicado com base na proporção de madeira de cada região (externa, intermediária e interna) presentes nas tábuas. Conforme mostram as Figuras 26 a 32, 37 e 40, obtidos pela técnica de análise de agrupamento e análise das componentes principais, os grupos não foram formados apenas com tábuas externas ou internas, mas por uma mistura das mesmas (E, IE, I, CI e CIE) e muitas tábuas continham madeira das três regiões.

No caso dos nós sabe-se que o mesmo tem início na medula e cresce em direção à periferia. Com o crescimento em diâmetro há deposição de camadas de madeira, cobrindo os nós existentes, restringindo-os à região interna da árvore, ou seja, na madeira juvenil (COWN, 1992). Por isso, é de se esperar que o mesmo seja encontrado em maior proporção na região central do tronco.

As bolsas de resina ocorreram em maior proporção na madeira próxima à medula e podem estar associadas aos nós ou agentes externos como fogo, fertilização, entre outros. Como a área sofreu incêndio florestal, subtende-se que as bolsas de resina encontradas pode ser provenientes do mesmo.

Observa-se que o encanoamento ocorreu em maior proporção nas tábuas do grupo II (114 tábuas). Apesar de conter tábuas das regiões (E, IE, I, CI e CIE), esse grupo é caracterizado pela presença de tábuas das regiões E, IE e I. Os resultados estão de acordo com os encontrados por CALONEGO & SEVERO (2007); GARCIA (1995) e SANTOS (2002), pois registraram que as peças que contêm a medula apresentam encanoamento baixo, com um acréscimo máximo na região intermediária e posterior decréscimo na periferia. ROCHA & TOMASELLI (2002) explicam que o defeito está relacionado com a grande anisotropia de contração das peças que possuem concomitantemente, a face tangencial e radial.

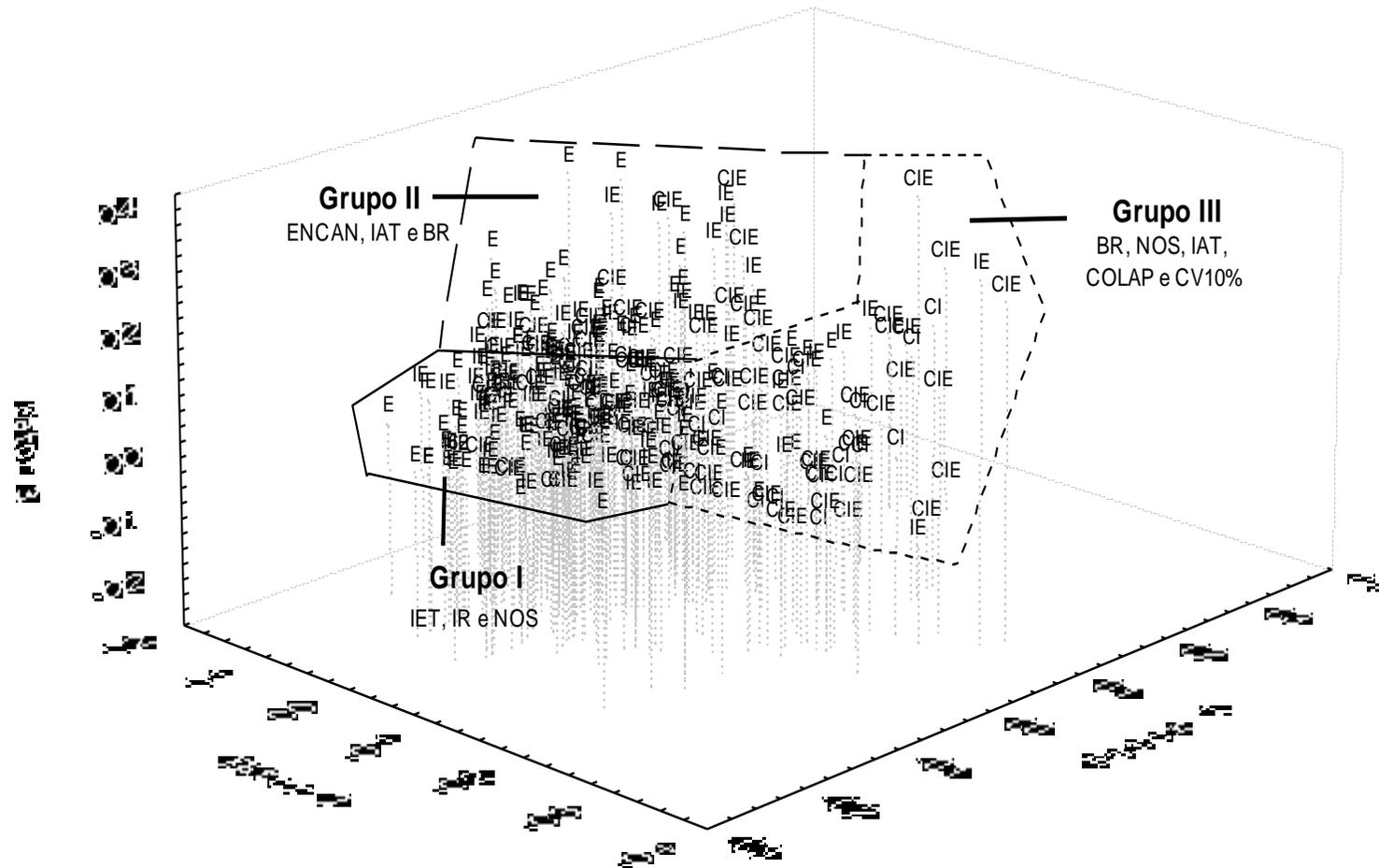
A contração volumétrica parcial ocorreu em maior proporção na madeira próximo à medula e diminuiu naquela próxima a periferia do tronco. Esse resultado é divergente do encontrado por SILVA (2002) e CASTRO SILVA (2002) que constataram que a maior contração volumétrica total de *E. grandis* ocorreu nas madeiras de maior idade e na região mais próxima da casca, com valores extremamente altos, indicando alta instabilidade dimensional.

SILVA (2002), através dos resultados médios obtidos para a contração volumétrica total da madeira de *E. grandis*, observou uma tendência crescente desta propriedade no sentido medula-casca. Para ele, esta tendência pode ser entendida pela variação da massa específica, que também é crescente na mesma direção, associada a maiores proporções de parede, que consequentemente conduziu a maiores contrações na região de maior massa específica.

No entanto SILVA (2001) declara com base em estudos feitos por alguns pesquisadores que não existe um perfil definido de variação da retratibilidade da madeira de eucalipto no sentido medula-casca. Há, entretanto, um consenso entre os pesquisadores de que existe uma tendência geral para a maioria das espécies apresentarem valores inferiores de contração na região do alburno periférico, indicando elevada estabilidade dimensional da madeira nessa região.

A projeção dos dados de dispersão das escores (331 tábuas) e dos auto-vetores das componentes principais (defeitos) em um gráfico tridimensional demonstrados na Figura 39 permitiu separar os grupos I, II e III e caracterizar os defeitos pertencentes a cada um.

Para saber onde se localizava no gráfico cada grupo foram necessários alguns recursos, como vincular as legendas de classificação E, IE, I, CI e CIE, alguns números que identificava a tábua e utilizar as planilhas geradas na análise de cluster, referentes às 114, 101 e 116 tábuas para identificar a que grupo pertencia.



**Figura 39.** Confronto entre a dispersão gráfica das escores das tábuas e os defeitos com relação aos três primeiros componentes principais (Fator 1, 2 e 3).

## 4 CONCLUSÕES

1. Existem diferenças significativas entre as árvores com relação às características dendrométricas DAP e rendimento de madeira serrada seca (RMSs).
2. A análise de cluster e PCA agrupou as árvores em três grupos distintos e permitiu visualizar quais delas apresentaram características dendrométricas desejáveis para serraria.
3. O DAP apresenta correlação positiva com o rendimento de madeira serrada verde (RMS), rendimento de madeira serrada seca (RMSs), conicidade (C), teor de casca (TC) e relação cerne/alburno (C/A) e negativa com a abertura do semi-bloco (AT) e achatamento da tábua (Am).
4. Apesar da baixa variabilidade entre tábuas a análise de cluster e PCA possibilitou separar a tora em duas regiões: externa (E, IE e I) e interna (CI e CIE);
5. Com base nos defeitos da madeira, as tábuas foram separadas em três grandes grupos, sendo o grupo I e II constituído em sua maioria por tábuas retiradas da região E, IE e I e o grupo III por tábuas retiradas da região CI e CIE.
6. Os principais defeitos ocorridos no grupo I e II, considerado externo foram intensidade de encurvamento, índice de rachadura e encanoamento.
7. Os principais defeitos ocorridos nas tábuas pertencentes ao grupo III, considerado interno foram intensidade de arqueamento, ocorrência de nós, bolsa de resina e colapso.
8. O colapso foi menor nas tábuas consideradas internas (CI e CIE) e maior naquelas consideradas externas (E e IE), sendo a principal causa desse comportamento a proporção diferenciada de madeira provenientes das regiões externa, intermediária e central em cada tábua.

## **CAPÍTULO II**

### **VARIAÇÃO DOS CARACTERES ANATÔMICOS E DA DENSIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN**

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi o de investigar variação radial e longitudinal das propriedades anatômicas e da densidade aparente da madeira a 12% de umidade, uma vez que o conhecimento desta variabilidade dá suporte para decidir em qual produto a madeira poderá ser melhor utilizada. Para isso, seis árvores de *E. grandis*, com vinte três anos de idade, provenientes de povoamentos florestais da QUINVALE Florestal Ltda foram selecionadas. Nestas árvores retirou-se discos de madeira de aproximadamente 20,0 cm de espessura na região do DAP, a 3,70 e a 6,10 metros do solo, que em seguida foram seccionados ao meio, resultando em dois discos de 10,0 cm de espessura, sendo um destinado para determinação da variação radial das propriedades anatômicas e o outro para determinação radial e longitudinal da densidade pela técnica de densitometria de raios-X. Para verificar as diferenças dessas propriedades no sentido radial dividiu-se hipoteticamente em três partes iguais o raio dos discos, dando origem a três regiões, que foram denominadas de região central, intermediária e externa. A região central correspondia à porção de madeira entre 0% e 33% do raio da amostra, região intermediária entre 33% a 66% e a região externa de 66% a 100%. Os resultados da variação radial das propriedades anatômicas mostraram que o comprimento das fibras, espessura da parede das fibras, índice de esbeltez, fração parede e diâmetro tangencial dos vasos apresentaram aumento significativo na direção radial; que o diâmetro externo e do lume das fibras diminuíram no sentido medula-câmbio; que os vasos apresentaram menores comprimentos próximo a medula, seguido de um ligeiro aumento na região intermediária e posterior diminuição na região externa; que a composição do tecido da madeira no lenho apresentou maior proporção de fibras, seguido de vasos, parênquima radial e parênquima axial; que a madeira considerada juvenil está confinada nos sete primeiros centímetros de distância em relação à medula para as árvores de 1 a 5 e nos oito primeiros centímetros de distância para a árvore 6 e que a idade de transição média correspondente a essas distâncias para as árvores estudadas foi de oito anos. Para a propriedade de densidade aparente os resultados mostraram que a mesma variou entre árvores, no sentido radial e no sentido longitudinal, sendo o modelo de crescimento significativo no sentido medula-câmbio e não significativo no sentido base-topo. A densidade no sentido radial foi menor na madeira próxima a medula e aumentou em direção ao câmbio. Já a densidade no sentido base-topo foram maiores no DAP, com diminuição a 3,70m e ligeiro aumento ou diminuição, dependendo da árvore a 6,10m de altura do caule principal.

**Palavras-chave:** Propriedade anatômica e física; lenho juvenil e adulto, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate longitudinal and radial variation of anatomical features and wood density at 12% moisture content, since the knowledge of this variability gives support to decide the best use of the. Therefore, six trees of *Eucalyptus grandis*, with twenty three years-old, were collected from QUINVALE Florestal, located in Rio Claro - RJ Ltda. Disks of approximately 20.0 cm thickness at the DBH, 3.70 and 6.10 meters from soil were obtained, they were then divided in two discs of 10.0 cm thickness and one disk was used to determine the radial variation of anatomical features and the other to determine the radial and longitudinal density by X-ray densitometry technique. To verify the radial variation of these properties, the ray of disks was hypothetically divided into three equal parts: central, intermediate and external. The central, intermediate and external regions correspond to the wood portion situated between 0 to 33%; 33 to 66% and 66 to 100% of the ray. The results obtained for anatomical features showed a significant increase of fiber length and wall thickness, slenderness ratio, vessel wall fraction and tangential diameter in the radial direction; a decrease of external and lumen diameters of the fibers in pith-cambium direction; a lower lengths the vessels near to the pith, followed by a slight increase in the intermediate region and subsequent decrease in the external region; that for wood tissue, the fibers had the highest proportion followed by vessels, radial and axial parenchym cells; that juvenile wood is situated in the first seven centimeters from pith in the trees 1-5 and in the first eight centimeters in the tree 6; and that the average transition age corresponds to eight years. For wood density, the results showed a variation between trees, in the radial and longitudinal directions, with a significant growth model in the pith-cambium direction and no significant growth model in base-top direction. For radial variation, the density was lower in the wood near to the pith with an increase in cambium direction, while for longitudinal variation, it was higher in the DAP, with a decrease at 3.70 m height and a slight increase or decrease, depending of the tree, at 6.10 m height .

**Key words:** anatomical and physical characteristics; juvenile and mature wood, *Eucalyptus grandis*.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material fibroso constituído por células que se diferem em forma, dimensão, orientação, distribuição, função e resistência. Por isso, ela é considerada um material heterogêneo e anisotrópico, diferindo entre espécies, dentro da mesma espécie e dentro de cada árvore da mesma espécie.

Um entendimento do comportamento da madeira, como um todo, demanda considerável conhecimento de sua estrutura microscópica e sub-microscópica. A complexidade anatômica da madeira exige que a mesma seja estudada mais detalhadamente, para que o conhecimento adquirido possa melhorar substancialmente o seu processo de utilização.

As dimensões, proporção e arranjo de vários tipos de formas dos elementos estruturais da madeira são responsáveis pela variação entre espécies e dentro da espécie e determinam a qualidade da madeira. HUGHES (1968), destaca três tipos de variação na estrutura da madeira que influenciam em sua qualidade. O primeiro é a variação existente entre espécies, gêneros e famílias. O segundo é a variação dentro da mesma espécie e o terceiro é a variação encontrada no sentido medula-casca e base-topo.

Segundo MALAN (1995), apesar das diferenças entre árvores ser uma importante fonte de variação, a maior variabilidade da madeira ocorre no sentido radial e longitudinal do caule, devido à presença de lenho juvenil e adulto.

O lenho juvenil presente na região próxima à medula se difere do lenho adulto em estrutura e propriedades. A madeira contendo esse tipo de lenho quando comparada ao lenho adulto apresenta menor densidade; fibras e vasos de menor comprimento; com maior ângulo fibrilar resultando em grande contração longitudinal; maiores proporções de fibras e menores proporções de vasos; as paredes das células são geralmente delgadas; a madeira apresenta textura grossa, com uma aparência opaca devido à baixa reflexibilidade da luz; maior susceptibilidade ao ataque de fungos, insetos e bactérias.

A passagem do lenho juvenil para o lenho adulto ocorre de forma gradual, não existindo uma demarcação bem definida de onde um termina e o outro começa. No entanto, existe um ponto em que as propriedades se estabilizam.

A maioria das pesquisas realizadas com intuito de se esclarecer o efeito da madeira juvenil sobre a qualidade da madeira utiliza como ferramenta para demarcação do ponto de transição entre o lenho juvenil e adulto, o comprimento das fibras, o ângulo microfibrilar e a densidade. Pesquisadores tais como PALERMO (2003); CALONEGO et al. (2005), LEONELLO et al. (2008), BENDTSEN & SENFT (1986), TAYLOR (1979), entre outros, já fizeram uso dessa ferramenta com intuito de obter este ponto.

Segundo ZOBEL & SPRAGUE (1998), a variabilidade das propriedades da madeira juvenil no sentido medula-casca e base-topo é evidente e pode apresentar padrões diferenciados entre espécie e dentro da mesma espécie. Por exemplo, em *E. grandis* enquanto em uma espécie apresentou um aumento da densidade no sentido base-topo, na outra a densidade da madeira é alta na base, decrescendo em seguida e voltando a crescer novamente próximo ao topo da árvore.

Segundo FOELKEL et al. (1983), a variação radial da densidade, geralmente é crescente no sentido medula-câmbio. Porém, em árvores antigas pode acontecer um ligeiro declínio da mesma na madeira próxima ao câmbio.

Dada a importância que o comprimento de fibras e a densidade apresenta nos estudos de qualidade da madeira, ZOBEL & KELLISON (1971), citado por BRASIL & FERREIRA (1979) sugerem sua inclusão num programa de melhoramento florestal.

Pelo o exposto, o presente trabalho tem como objetivo determinar a variação radial e longitudinal da densidade, bem como, a variação radial dos elementos anatômicos, utilizando o comprimento das fibras como ferramenta para determinar a idade de transição entre o lenho juvenil e adulto, contribuindo assim para melhor conhecimento do potencial que a espécie poderá ter como produtora de matéria-prima para produtos de maior valor agregado (PMVAs).

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Amostragem**

Em cada árvore foram retirados discos com 20,0 cm de espessura no DAP, a 3,70 metros e 6,10 metros do solo, totalizando dezoito discos, que foram transportados para o Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LAQM), localizado na UFRRJ. Esses discos foram seccionados ao meio, resultando em dois discos de 10,0 cm de espessura, que foram utilizados para determinação dos elementos anatômicos e densidade da madeira.

### **2.2 Propriedades Anatômicas**

#### **2.2.1 Preparo das Amostras para Mensuração dos Elementos Anatômicos**

Para determinação dos elementos anatômicos, apenas os discos do DAP foram utilizados. Conforme mostra a Figura 40, esses discos foram seccionados em três partes, com auxílio de uma serra de fita, para obtenção de uma bagueta de aproximadamente 3,0 cm de largura e comprimento igual ao diâmetro. Essa bagueta foi novamente seccionada em três sub-amostras, sendo a parte (a) destinada para as análises anatômicas. Posteriormente, essa sub-amostra (a) foi cortada ao meio, gerando duas sub-amostras identificadas como (aa) e (ab), de comprimento igual ao raio, partindo da medula até a casca.

Para determinar da variação dos elementos celulares (fibras, vasos, espessura de parede e porcentagem de elementos anatômicos) na sub-amostra (aa) foram feitos cortes de 1,0 em 1,0 cm, no sentido medula-câmbio para obtenção de pequenos blocos de madeira (aa1, aa2, aa3...). Esses blocos foram posteriormente seccionados em duas partes, sendo uma transformada em finos palitos (aa1.1, aa2.1, aa3.1...), usados na produção de macerado e a outra (aa1.2, aa2.2, aa3.2...) utilizada para obtenção dos cortes histológicos.

#### **2.2.2 Preparação de cortes histológicos e confecção de lâminas**

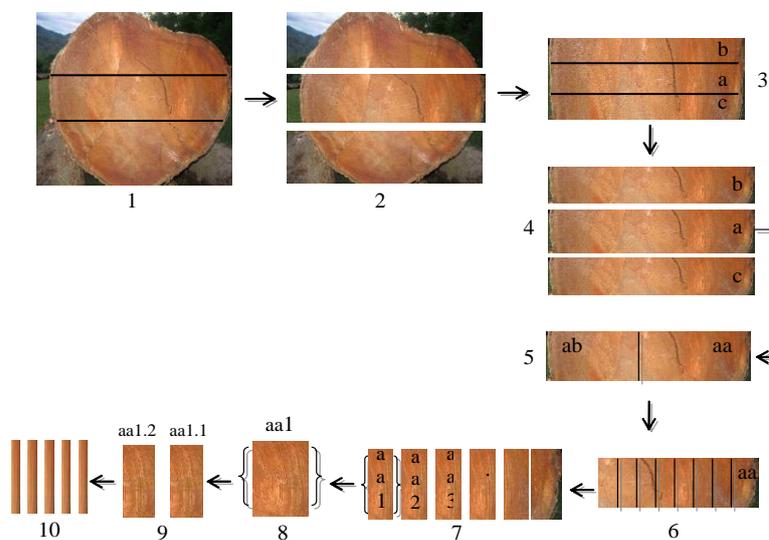
Os sub-blocos (aa1.2, aa2.2, aa2.3 e aa...) obtidos no sentido medula-câmbio da sub amostra (aa) foram orientados nos três planos de corte (transversal, longitudinal tangencial e radial). Em seguida foram colocados em um backer contendo uma mistura de água destilada e glicerina e cozidos por aproximadamente 20 minutos em auto-clave. Logo após, estes sub-blocos foram guardados em um mistura conservante, contendo glicerina, álcool 70%, água destilada e fenol.

Para obtenção de cortes histológicos, cada sub-bloco foi seccionado em um micrótomo de deslize, nos planos transversal e longitudinal tangencial, na espessura de 18 µm. Posteriormente, o melhor corte foi submetido a uma dupla coloração com uma mistura de safranina e azul de Astra, na proporção 1:1 e utilizado na confecção de lâminas provisórias.

A montagem das lâminas provisórias se deu por meio da transferência de um corte para uma lâmina de vidro, contendo glicerina. Essa lâmina foi coberta por uma lamínula e fixada em suas extremidades com auxílio de esmalte. Para cada bloco foi confeccionada uma lâmina contendo os dois planos (transversal e longitudinal tangencial). O total de lâminas por árvore variou de acordo com o raio da amostra.

A partir das lâminas obtidas, baseando-se no IAWA COMMITTEE (1989) executou-se o estudo microscópico das estruturas anatômicas, através das informações quantitativas do diâmetro dos vasos e percentuais da composição no tecido da madeira por tipo de constituinte,

a saber: fibras, vasos, parênquima radial e parênquima axial. Na tabela 11 encontram-se listados o número total destes parâmetros anatômicos por sub-bloco.



**Figura 40.** Esquema de preparação das amostras para análise anatômica. 1) Disco de madeira. 2) Disco seccionado, para obtenção da bagueta. 3 e 4) Bagueta subdividida em sub-amostra a, b e c. 5) Sub-amostra a, dividida em duas partes aa e ab. 6 e 7) Sub-amostra (aa) subdividida de 1,0 em 1,0 cm em pequenos blocos de madeira. 8 e 9) Blocos de madeira subdivididos ao meio, gerando dois sub-blocos (aa1.1 e aa1.2). 10) Finos palitos obtidos do Sub-bloco aa1.1.

### 2.2.3 Preparação de macerado e confecção de lâminas

Os sub-blocos (aa1.1, aa2.1, aa3.1...), que foram transformados em finos palitos (Fig 40:10) foram armazenados em frascos tipo de pinicilina, contendo ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (130 vol.), numa proporção (1:1). Posteriormente, foram fechados com tampa de borracha e lacrados com lacre de alumínio, através de um alicate recravador, para evitar evaporação da solução. Em seguida foram levados à estufa a 60°C por 48 horas, para completa dissociação dos elementos celulares. Terminado esse tempo, os frascos foram retirados da estufa e a solução existente dentro dos mesmos foi eliminada. O material deslignificado foi lavado em água corrente até a completa retirada da solução e guardados dentro de frasco contendo água destilada.

Posteriormente, uma porção de elementos celulares unidos entre si foi transferida para um tubo de ensaio contendo água destilada. Este tubo foi agitado, permitindo a total separação destes elementos. Depois, com auxílio de uma pipeta analítica, uma porção de fibras foi transferida para uma lâmina de vidro, a qual continha algumas gotas de glicerina e safranina (1%) e com auxílio de um pincel essa porção foi espalhada.

Foram confeccionadas cinco lâminas provisórias para cada sub-bloco. Como as árvores não tinham diâmetros semelhantes, o total de lâminas por árvore variou de acordo com o raio da sub-amostra (aa). Em cada lâmina mensurou-se o comprimento, os diâmetros externo e interno de cinco fibras e o comprimento de cinco vasos. Na tabela 11 encontram-se listados o número total desses elementos anatômicos por sub-bloco.

**Tabela 11.** Indicação dos parâmetros celulares, material utilizado para confecção das lâminas e número de repetição por sub-blocos.

Parâmetros	Unidade	Local de medição	Nº Repetições por sub-bloco
Comprimento da fibra	µm	Macerado	25
Diâmetro externo da fibra	µm	Macerado	25
Diâmetro interno da fibra	µm	Macerado	25
Espessura de parede da fibra	µm	Macerado	25
Comprimento dos vasos	µm	Macerado	25
Diâmetro tangencial dos vasos	µm	Plano transversal	25
Percentual de fibras	%	Plano transversal	1
Percentual de vasos	%	Plano transversal	1
Percentual de parênquima radial	%	Plano transversal	1
Percentual de parênquima axial	%	Plano transversal	1
Fração parede da fibra	ad	Macerado	25
Índice de esbeltez da fibra	ad	Macerado	25

#### 2.2.4 Determinação da Variação dos Caracteres Anatômicos

A partir das lâminas obtidas, foram capturadas imagens digitais pelo software ‘**Analysis Get It**’ e com auxílio do software ‘**Cell F**’ foram mensurados: o diâmetro tangencial dos vasos; comprimento dos vasos e fibras; diâmetro interno e diâmetro externo das fibras; as porcentagens de fibras, vasos, parênquima radial e parênquima axial. As espessuras das paredes, frações parede e dos índices de esbeltez foram obtidos conforme Equações 18, 19 e 20, respectivamente.

$$EP = \frac{D_{Ext} - D_{Int}}{2} \quad \text{Equação 18}$$

$$FP = \frac{(D_{Ext} - D_{Int})}{D_{Ext}} \quad \text{Equação 19}$$

$$IE = \frac{C}{D_{Ext}} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$EP$  = espessura da parede, em µm;

$FP$  = fração parede, adimensional;

$IE$  = índice de esbeltez, adimensional;

$C$  = comprimento da fibra, em µm;

$D_{Ext}$  = diâmetro externo ou largura da fibra, em µm;

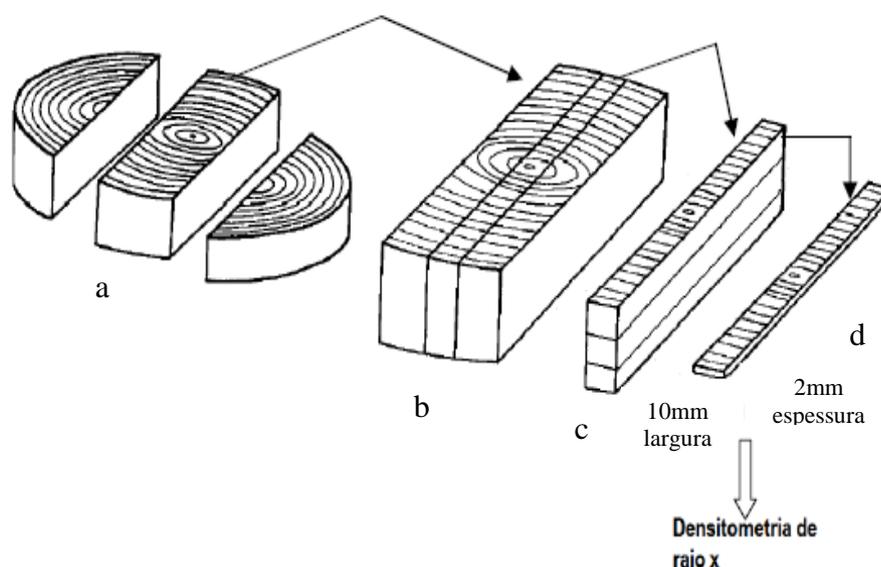
$D_{Int}$  = diâmetro interno ou lume da fibra, em µm.

Os resultados obtidos dessa mensuração foram utilizados para determinar a variação dos elementos anatômicos no sentido medula-câmbio nas porções de madeira correspondente entre 0 e 33% (medula), entre 33 e 66% (intermediária) e entre 66 a 100% (casca).

## 2.3 Propriedades Físicas

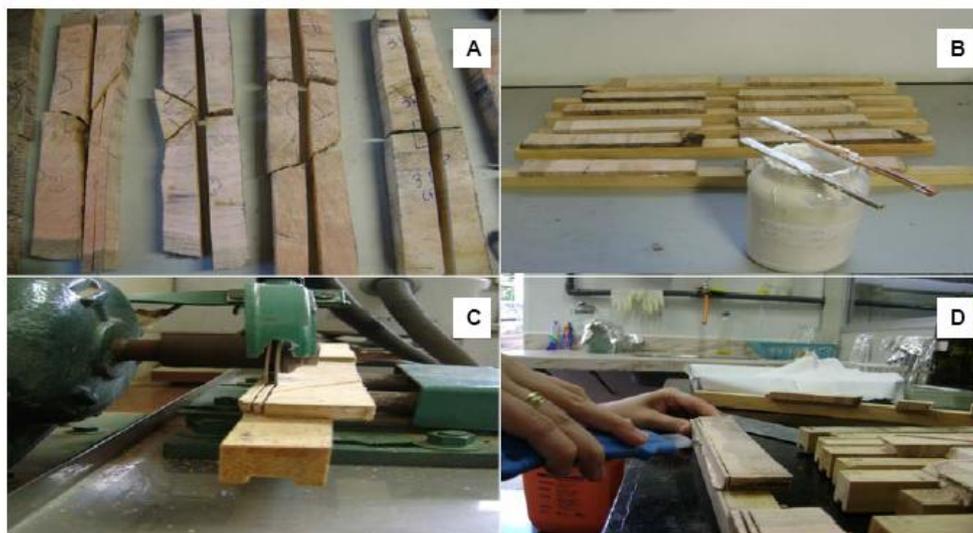
### 2.3.1 Preparo da amostra para determinação da densidade

Para determinação da densidade os discos retirados no DAP, a 3,70m e 6,10m de altura foram encaminhados à marcenaria do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas da UFRRJ para confecção de uma bagueta. Conforme mostra a Figura 41 (a), os discos foram primeiramente divididos em três partes. Na parte do meio onde se encontrava a medula, traçou-se uma linha e a partir dela delimitou-se uma largura de 5,0 mm para cada lado. Em seguida, as amostras foram novamente seccionadas, resultando numa bagueta de 10,0 mm de largura (Figura 41b e 41c).



**Figura 41.** Preparo das amostras do lenho de eucalipto para análise por densitometria de raios - X (adaptado de Roque, 2005).

Posteriormente, no Laboratório de Anéis de Crescimento e Densitometria de Raios X do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, as seções diamétricas de 10 mm de largura e 10 cm de altura (Figura 42A), foram coladas em suportes de madeira e deixadas por um período de 24 horas para a cura da cola (Figura 42B). Em seguida, as amostras foram cortadas no sentido transversal da madeira em 2 mm de espessura (altura) com um equipamento de dupla serra circular paralela (Figura 42C). Para a retirada das amostras dos suportes de madeira, foi utilizado um estilete (Figura 4D).

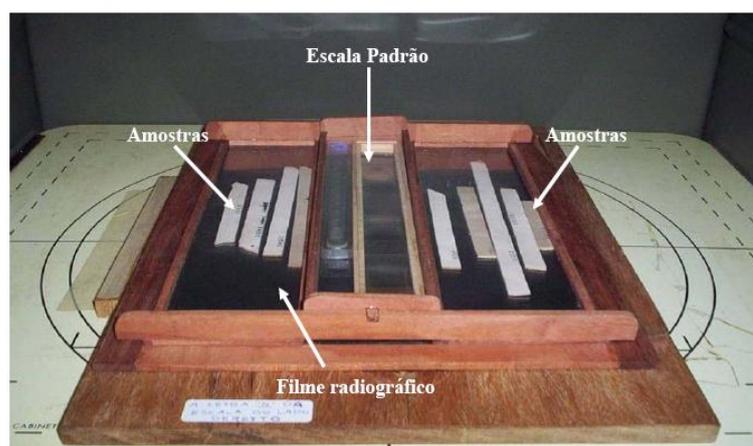


**Figura 42.** Esquema de obtenção das amostras para determinação da densidade pela densitometria de raios-X. (A) Amostras retiradas dos discos; (B) Amostras coladas em suportes de madeira; (C) Corte das amostras em equipamento de dupla serra circular paralela; (D) Retirada das amostras de 2 mm de espessura do suporte.

### 2.3.2 Obtenção dos filmes radiográficos

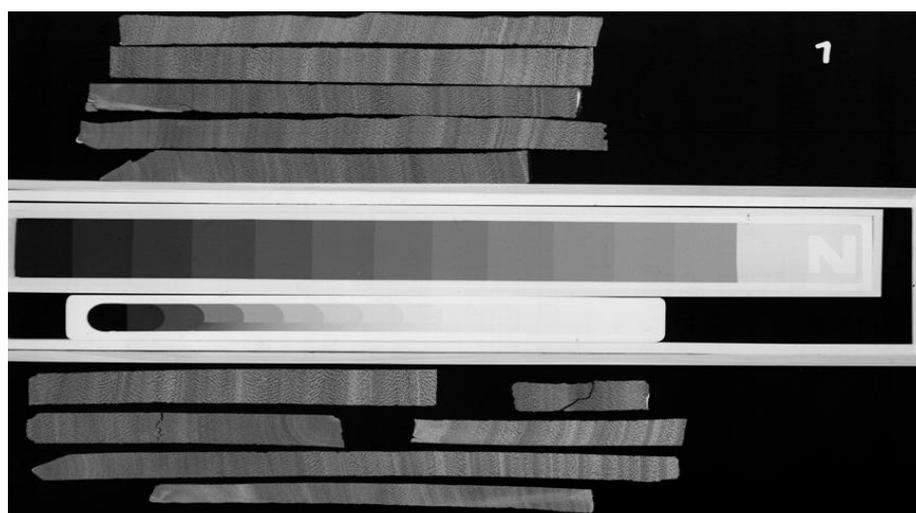
Antes da obtenção das radiografias de raios-X, as amostras de 2,0 mm retiradas dos suportes foram levadas para a sala de raios-X, sob condições de temperatura e umidade controlada (20°C, 65% UR) por um período de aproximadamente 12 horas até atingir um teor de umidade de equilíbrio de 12%.

Após isto, as amostras de madeira e uma cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48g/cm<sup>3</sup>) foram dispostas sobre um suporte de madeira contendo um filme de raios-X (Kodak, Diagnostic Film T- Mal, 240 x 180 mm), em condições de câmara escura (Figura 43). Em seguida, as amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose foram transferidas para o equipamento de raios-X (Hewlett Packard, modelo Faxitron 43805 N, a uma distância da fonte de raios X e o filme radiográfico de 120 cm) e radiografadas (5 min de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3mA de corrente de aquecimento do catodo). Os filmes radiográficos das amostras de madeira, mais a cunha de calibração foram revelados em aparelhos Macrotec Mx-2 (AMARAL & TOMAZELO, 1997).



**Figura 43.** Amostras de madeira sobre a mesa de acetato de celulose e o filme radiográfico sob a mesa de acetato de celulose.

Após esses os procedimentos descritos nos parágrafos acima os filmes radiográficos foram digitalizados em scanner Hewlett Packard ScanJet 6100C/T a uma resolução de 1000 dpi (pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus (Figura 44).



**Figura 44.** Filme radiografado e digitalizado contendo as amostras da madeira de *Eucalyptus grandis*.

### 2.3.3 Análise dos filmes radiográficos

Na imagem digitalizada foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a da curva padrão (com valores conhecidos de densidade:  $1,48\text{g/cm}^3$ ), sendo determinados os valores de densidade e convertidos para o arquivo tipo DEN, através do software CRAD 1.04. Na sequência, o arquivo DEN é lido com auxílio do software CERD 2.08, considerando  $500 \times 10$  (comprimento  $\times$  largura) determinações de densidade para os segmentos de 25% do comprimento das amostras do lenho.

Depois da obtenção da densidade, o arquivo gerado no software CERD com extensão do tipo CRD, contendo os dados de densidade foi transformado para a extensão do tipo PRZ para que pudesse ser executado numa planilha eletrônica do Excel.

### **2.3.4 Variação radial e longitudinal da densidade**

Através das planilhas eletrônicas contendo os valores pontuais de densidade foram obtidos os gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho das árvores de *Eucalyptus grandis*, no sentido medula-câmbio. A partir desses perfis radiais foram determinadas as densidades aparentes médias das porções de madeira no sentido radial, correspondente entre 0 e 33% (medula), entre 33 e 66% (intermediária) e entre 66 a 100% (casca).

As amostras de madeira foram medidas ao longo de sua largura com paquímetro eletrônico, para que correções fossem feitas caso, sua largura não apresentasse 2 mm de espessura, e podendo alterar os valores de densidade devido a maior ou menor espessura. As correções foram feitas usando a razão entre a espessura de 2 mm sobre a espessura real (2 mm/espessura real) e o valor encontrado foi multiplicado pela densidade correspondente na amostra.

A partir dos perfis radiais da densidade aparente do lenho referente às amostras retiradas na altura do DAP, a 3,70m e 6,10m foram determinadas as densidades aparente média, máxima e mínima do lenho no sentido longitudinal.

### **2.4 Determinação da Idade de Transição Entre o Lenho Juvenil e Adulto**

Para se determinar à idade de transição entre o lenho juvenil e adulto estudou-se a variação radial do comprimento das fibras.

Conforme descrito por BENDTSEN & SENFT (1986) devido a gradual variação das propriedades da madeira no sentido radial (medula-casca), o ponto em que uma árvore deixa de produzir madeira juvenil e passa a produzir madeira madura não é bem definido. No entanto, existe um ponto em que essas propriedades se estabilizam e decrescem, como no caso do comprimento das fibras.

Para se determinar esse ponto de estabilização ou decréscimo, foi utilizada a análise de regressão linear para obter um modelo estatístico que se ajustasse adequadamente aos dados do comprimento das fibras.

O ponto de inflexão da curva obtida no ajuste dos dados através do modelo selecionado foi utilizado para demarcar o momento em que o comprimento das fibras se estabilizavam. Esse ponto demarcou a transição entre madeira juvenil e adulta.

### **2.5 Análises Estatísticas**

Os dados referentes às características anatômicas e de densidade da madeira foram tabulados em uma planilha do Microsoft Excel e analisados através do programa estatístico STATISTICA 6.0.

Para verificar se as propriedades anatômicas e de densidade dos lenhos correspondente às porções de madeira entre 0 e 33% (região central), entre 33 e 66% (região intermediária) e entre 66 a 100% (região externa) se diferiam no sentido radial, bem como a densidade no sentido longitudinal aplicou-se a análise de variância e comparação entre as médias através do teste de Tukey.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades Anatômicas

##### 3.1.1 Caracterização anatômica

Os resultados das análises anatômicas, a partir dos cortes histológicos e material macerado (Figura 45), demonstraram que a madeira de *Eucalyptus grandis* possui:

a) Poros/Vasos: notados a olho nu; seção ovalada a circular, predominantemente ovalada; distribuição difusa; exclusivamente solitários; disposição diagonal; comprimento médio dos vasos variando de 467,43 a 507,25  $\mu\text{m}$ ; diâmetro tangencial dos vasos variando de 122,20 a 142,35  $\mu\text{m}$  e placa de perfuração simples.

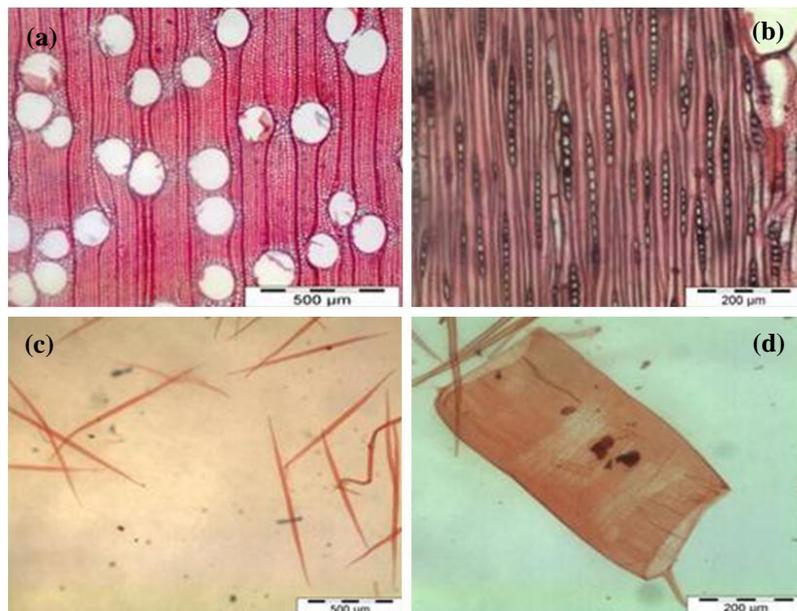
b) Parênquima axial: pouco abundante; paratraqueal vasicêntrico e escasso, com duas a quatro células de largura, formando confluências curtas e oblíquas; seriado com duas a seis células por série.

c) Raios: visíveis apenas sob lente; homogêneos e raramente heterogêneos do tipo 01 e 02 (classificação de Kribs, 1935); unisseriados, eventualmente bi e trisseriados em determinados trechos do raio e conteúdo presente.

d) Fibras: com comprimento variando de 938 a 1006,7  $\mu\text{m}$ ; diâmetro externo e interno variando de 19,18 a 20,11  $\mu\text{m}$  e 11,85 a 16,58  $\mu\text{m}$  de largura; espessura de paredes variando de 5,08 a 7,80  $\mu\text{m}$ .

e) Camada de crescimento: demarcada por zonas fibrosas, caracterizadas por um maior espessamento das paredes das fibras.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por SILVA (2002), TOMAZELLO (1985a e b), TOMAZELLO (1985), ROCHA et al. (2004) para a espécie de *E. grandis*.



**Figura 45.** *Eucalyptus grandis* – (a) seção transversal (4x), (b) seção tangencial (10x), (c) macerado (4x) e (d) macerado (10x). Escala: 4x = 500  $\mu\text{m}$  e 10x = 200  $\mu\text{m}$ .

### 3.1.2 Dimensão dos caracteres anatômicos

A Tabela 12 e Anexo 3.1, apresentam os valores médios das principais características anatômicas para as regiões central, intermediária e externa.

**Tabela 12.** Diferenças médias das principais características anatômicas para as regiões central, intermediária e externa e valores totais da variação medula-câmbio.

Caracteres Anatômicos	Região			Média Geral Teste F Probabilidade
	Central	Intermediária	Externa	
Comprimento fibras (mm)	0,938a	1,104b	1,067b	1,034 15,41623 <b>0,000001*</b>
Diâmetro externo fibras ( $\mu\text{m}$ )	20,11a	19,86a	19,18a	19,64 2,68530 0,072043
Diâmetro lume fibras ( $\mu\text{m}$ )	16,58a	15,39a	11,85a	14,20 0,26882 0,764711
Espessura parede ( $\mu\text{m}$ )	5,08a	5,37ab	7,80b	6,35 3,97333 <b>0,021176*</b>
Fração parede (adimensional)	0,328a	0,327a	0,380b	0,351 7,62009 <b>0,000747*</b>
Índice de esbeltez (%)	44,81a	50,32b	50,96b	48,83 6,58527 <b>0,001896*</b>
Comprimento vasos ( $\mu\text{m}$ )	467,43a	507,25a	491,76a	487,62 1,32407 0,269668
Diâmetro tangencial dos vasos ( $\mu\text{m}$ )	122,20a	138,98b	142,35b	135,09 8,76097 <b>0,000272*</b>
Porcentagem de fibras	55,23a	54,38a	52,56a	53,85 0,51347 0,599641
Porcentagem de parênquima axial	14,97a	14,57a	16,04a	15,35 0,55043 0,578060
Porcentagem de parênquima radial	13,03a	13,68a	15,61a	14,33 1,86231 0,159497
Porcentagem de vasos	16,75a	17,35a	15,77a	16,46 0,61950 0,539817

\* Significativo ao nível de 5% de significância. Letras iguais denotam igualdade estatística pelo teste de Tukey.

Observa-se que para todas as características anatômicas estudadas, os valores encontrados para a região central, intermediária e externa diferem entre si. Porém, apenas comprimento de fibras, espessura de parede, índice de esbeltez, fração parede e diâmetro

tangencial dos poros apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância em função da região central, intermediária e externa (Tabela 12 e Anexo 3.2).

Comparando os resultados encontrados neste trabalho com os de CECCANTINI (1996) e SILVA (2002) pode se observar que, para a maioria das características mensuradas, a região intermediária se assemelhou mais à região externa que central. Tal comportamento pode representar a tendência de transição da madeira juvenil para a adulta.

TOMAZELLO (1985) encontrou para *E. grandis* a 0%, 25 %, 50%, 75% e 100% no sentido medula-câmbio para o comprimento médio de fibras 0,68, 0,85, 1,07, 1,20 e 1,32 mm, respectivamente. O diâmetro externo das fibras foram 19,30, 18,60, 21,10, 23,0 e 24,10 ( $\mu\text{m}$ ). O diâmetro do lume foi 10,0, 9,5, 10,8, 12,2 e 12,0 ( $\mu\text{m}$ ). A espessura da parede foi 4,60, 4,50, 5,10, 5,40 e 6,0 ( $\mu\text{m}$ ).

ROCHA et al. (2004) encontrou para a mesma espécie comprimento das fibras de 800,50  $\mu\text{m}$ , 944,15  $\mu\text{m}$  e 1080,84  $\mu\text{m}$ , para a região central, intermediária e externa, respectivamente. O comprimento e diâmetro tangencial dos vasos para as mesmas regiões foram 500,59  $\mu\text{m}$ , 592,43  $\mu\text{m}$ , 676,78  $\mu\text{m}$  e 78,93  $\mu\text{m}$ , 105,34  $\mu\text{m}$ , 117,57  $\mu\text{m}$ .

As diferenças entre os valores dos constituintes anatômicos neste estudo e os encontrados por outros autores pode ser fundamentado nas condições de crescimento das árvores.

### 3.1.3 Variação radial do comprimento das fibras

Os valores médios obtidos para o comprimento das fibras na região central, intermediária e externa foram 0,938 mm, 1,104 mm, 1,067 mm, respectivamente. A análise de variância a 5% de significância detectou diferenças significativas. O comprimento das fibras em função da região é significativamente diferente (Tabela 12 e Anexo 3.2).

Observa-se que o comprimento das fibras aumentou da região central para a intermediária, com ligeira diminuição da região intermediária para a externa (Figura 46).

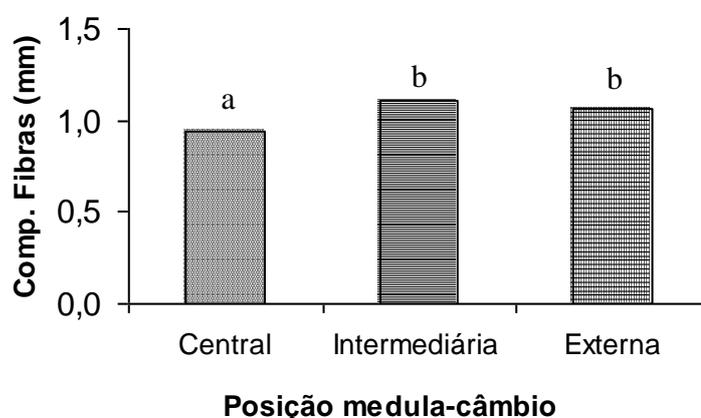
Os resultados obtidos neste estudo são idênticos aos encontrados em inúmeras investigações com respeito à variação do comprimento de fibras, onde o valor de comprimento celular próximo à medula é pequeno, aumentando linearmente nos primeiros anéis, depois a razão do aumento decresce quando um comprimento máximo é obtido.

CALONEGO et al. (2005) trabalhando com *Eucalyptus citriodora* concluiu que os comprimentos das fibras mostraram um aumento acentuado e praticamente linear até uma distância radial de 45 a 55mm em relação à medula. A partir dessa distância radial até a periferia do tronco, a taxa de aumento no comprimento das fibras diminuiu tendendo para um valor mais estável e quase constante.

O conhecimento sobre o comportamento dimensional das fibras no sentido medula-câmbio dá suporte para a melhor utilização da madeira, uma vez que a qualidade para uso final é determinada pela variabilidade de uma ou mais característica(s) que afeta (m) sua estrutura. Por exemplo, SILVA et al. (2002) mostraram que dependendo da operação de usinagem, a dimensão das fibras pode melhorar ou piorar o acabamento superficial da peça usinada. Para moldura no topo, esses autores encontram uma correlação negativa entre a qualidade da operação e o comprimento das fibras, indicando que quanto maior o comprimento de fibras, menor era a nota atribuída aos defeitos ocorridos durante a operação e consequentemente melhor a qualidade da peça usinada. A presença de fibras com maior comprimento possivelmente evita o seu brusco arrancamento, pois a zona de ataque da ferramenta age diretamente no topo, tendo o diâmetro ou sua extremidade (ponta afilada) como o ponto de corte.

Para a perfilagem axial os autores citados no parágrafo acima encontraram uma correlação positiva entre a operação e o comprimento das fibras, indicando que, quanto mais

longa a fibra, maior a nota atribuída e, conseqüentemente, pior a qualidade da superfície usinada. Nesta operação, o ponto inicial de contato da ferramenta é a ponta da fibra (diâmetro). Devido ao sentido de avanço axial do corpo-de-prova, o comprimento da fibra é que se apresenta ao corte ou arrancamento. Desta forma, as depressões formadas são mais longas quanto mais compridas forem essas fibras. Para a furação para cavilha os autores encontraram correlação positiva entre a operação e o comprimento das fibras. Este resultado está relacionado aos pequenos diâmetros das ferramentas e baixas frequências de rotação das furadeiras, que produziram baixíssimas velocidades de corte, de 0,8 a 1,5 m/s. Tais condições tornaram os arrepiamentos mais evidentes que as incisões das fibras. Desta forma é fácil compreensão que, quanto maior o comprimento da fibra, maior a possibilidade de levantamento após sua incisão, principalmente se as velocidades de corte forem baixas e a operação de furação for executada na face do corpo-de-prova.



**Figura 46.** Variação do comprimento das fibras, no sentido medula-câmbio. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 3.1.4 Variação radial do diâmetro externo e interno das fibras

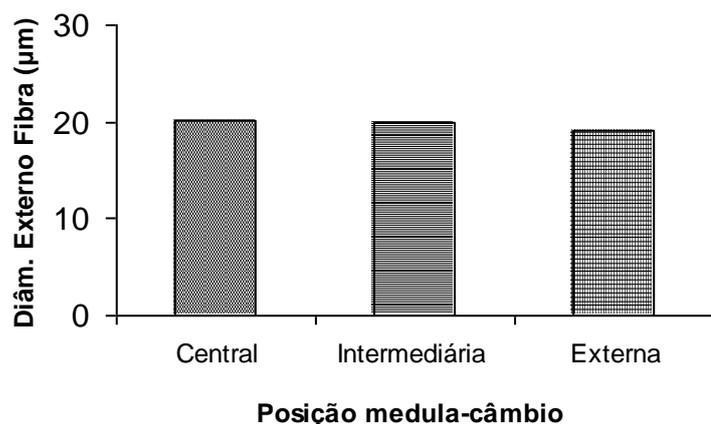
Os valores médios referentes à variação radial do diâmetro externo e interno das fibras encontram-se na Tabela 12. Na análise de variância a 5% de significância não foi detectada diferença significativa para essas variáveis no sentido medula-câmbio (Tabela 12 e anexo 3.2).

A variação do diâmetro externo da fibra em função da região central, intermediária e externa encontra-se ilustrada na Figura 47. Observa-se que o diâmetro externo da fibra apresentou uma tendência de diminuição no sentido medula-câmbio, porém não significativa.

Este resultado encontra-se de acordo com o trabalho de BRASIL & FERREIRA (1979); SETTE JUNIOR et al. (2009); VITAL & DELLA LUCIA (1987) e TOMAZELLO (1985a e 1985b), pois apesar de observarem tendências de aumento dessa característica da medula para o câmbio verificaram não existir diferenças significativas entre as três regiões analisadas.

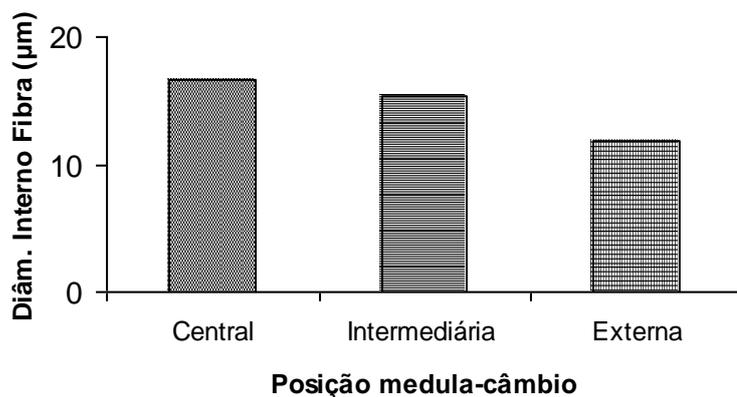
SILVA (2002) e BRASIL & FERREIRA (1972) ao analisarem a madeira de *E. grandis* verificaram um padrão de variação não definido para o diâmetro externo da fibra. Segundo os autores, os diâmetros externos das fibras foram alto na medula, diminuíram na região intermediária e aumentou novamente na madeira próxima a casca.

ALZATE (2004) trabalhando com *E. grandis* observou um aumento do diâmetro externo das fibras até 75% do raio das amostras e após essa distância houve uma redução do seu valor.



**Figura 47.** Variação do diâmetro externo das fibras, no sentido medula-câmbio.

A Figura 48 ilustra a tendência de variação do diâmetro interno das fibras em função da região central, intermediária e externa. Observa-se uma tendência decrescente do diâmetro interno da fibra em função da distância radial (medula-câmbio), que é apontada como um dos vários modelos de variação medula-câmbio para esta característica.



**Figura 48.** Variação do diâmetro interno das fibras, no sentido medula-câmbio.

BRASIL & FERREIRA (1972) não encontraram variação significativa para o diâmetro interno no sentido radial ao nível de 1%. Para eles essa redução indica um crescimento máximo em diâmetro no início do crescimento do vegetal, seguido da deposição de fora para dentro de material na parede celular.

ALZATE (2004) encontrou para *E. grandis* uma redução gradativa do diâmetro interno no sentido radial até 75% do raio das amostras. A partir desse valor à redução foi acentuada.

Segundo SILVA (2002) para comprovar o aumento da massa específica da medula para casca é esperado um decréscimo no diâmetro externo. Desta forma, a tendência de variação encontrada neste trabalho, ocorre inversamente à variação da densidade, ou seja, enquanto o diâmetro interno da fibra diminui a densidade da madeira aumenta.

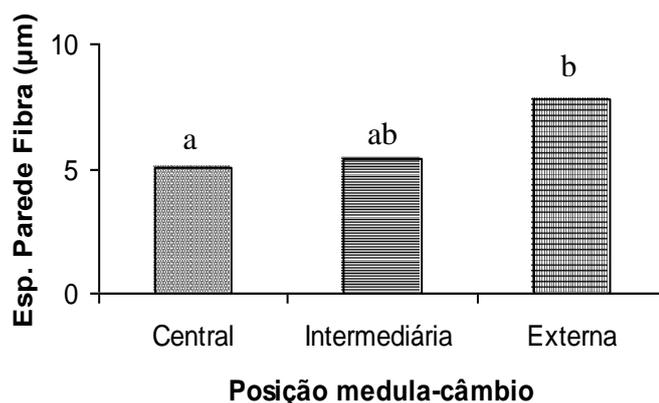
### 3.1.5 Variação radial da espessura da parede das fibras

Os valores médios da espessura das fibras na região central, intermediária e externa foram 5,08, 5,37 e 7,80  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Através da análise de variância ao nível de 5% de significância (Tabela 12 e Anexo 3.2) verificou-se que existem diferenças significativas para essa variável em função da região. A Figura 49 ilustra a tendência de variação e a comparação múltipla entre as médias em função da região. Observa-se que existe um aumento da espessura das fibras no sentido medula-câmbio.

Este resultado já era esperado uma vez que com o aumento da idade da árvore, as células cambiais passam a produzir elementos celulares de maiores dimensões.

Resultados semelhantes para a espécie foram encontrados por TOMAZELLO (1985), VITAL & DELLA LUCIA (1987); SETTE JUNIOR et al. (2009); BRASIL & FERREIRA (1972) e ROCHA et al. (2004).

ALZATE (2004) relacionou o aumento da espessura da parede da fibra com a formação de madeira juvenil e adulta e com base na variação dessa característica a autora concluiu que a madeira juvenil ocorria até aproximadamente 75% da seção radial (corresponde a  $\pm 7$  anos) e, a partir deste ponto, madeira de transição e adulta.

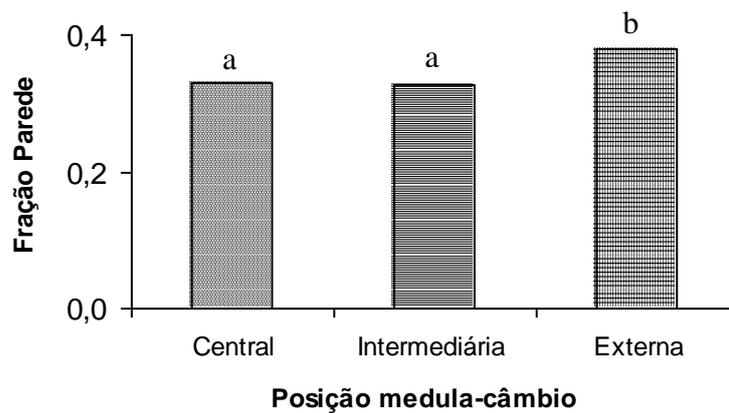


**Figura 49.** Variação da espessura da parede das fibras, no sentido medula-câmbio. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 3.1.6 Variação radial da fração parede e índice de esbeltez

Os valores encontrados da fração parede para a região central, intermediária e externa foram 0,329, 0,327 e 0,380, respectivamente. A análise de variância detectou diferenças significativas ao nível de 5% entre essas regiões (Tabela 12 e Anexo 3.2).

Conforme mostra a Figura 50 a fração parede que expressa o espaço ocupado pela parede da fibra em relação ao espaço total ocupado por cada célula foi menor nas regiões central e intermediária, aumentando na região externa. Este resultado está de acordo com os encontrados por SILVA (2002), SHIMOYAMA (1990) e TOMAZELLO (1987) para *E. grandis*.



**Figura 50.** Variação da fração parede das fibras, no sentido medula-câmbio. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

O aumento da fração parede próximo ao câmbio é bastante comum, pois tem correlação direta com a espessura das fibras e conforme resultado do item anterior estas foram maiores próximo ao câmbio.

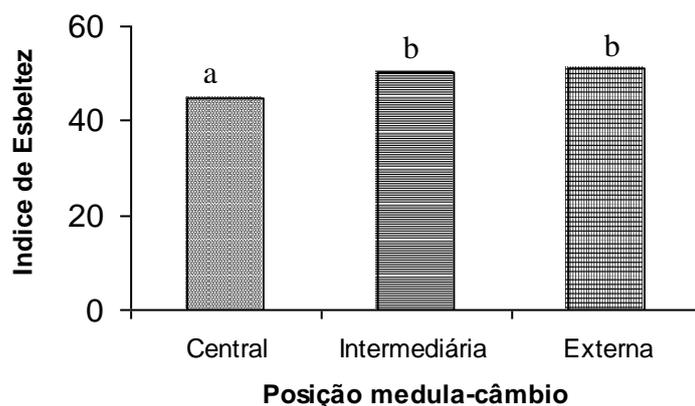
Segundo FOELKEL & BARRICHELO (1975) madeira que apresenta valores de fração parede superiores a 40% não produzem celulose de boa qualidade, uma vez que as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e com dificuldades em suas interligações. Porém, mantém proporcionalidade positiva com a resistência ao rasgo e negativa com a resistência a tração, ao arrebentamento.

O índice de esbeltez representa a relação entre o comprimento e o respectivo diâmetro externo da fibra isolada. Neste trabalho, os valores encontrados para o índice de esbeltez na região central, intermediária e externa foram 44,81, 50,32 e 50,96, respectivamente. A análise de variância detectou diferenças significativas ao nível de 5% entre as regiões analisadas (Tabela 12 e Anexo 3.2).

A Figura 51 ilustra a tendência de variação do índice de esbeltez no sentido medula-câmbio e a comparação múltipla entre as médias. Observa-se que houve um aumento dessa característica da medula para o câmbio.

O comportamento do índice de esbeltez no sentido medula-câmbio deste trabalho está de acordo com o encontrado por SILVA (2002) e TOMAZELLO (1985b), que para a madeira de *E. grandis* observaram uma variação crescente da medula para a casca.

Segundo TOMAZELLO (1985b) à medida que a árvore envelhece as células cambiais passam a produzir elementos com maiores dimensões e conseqüentemente a uma maior presença de material lenhoso na região externa, que representa madeira de melhor qualidade.



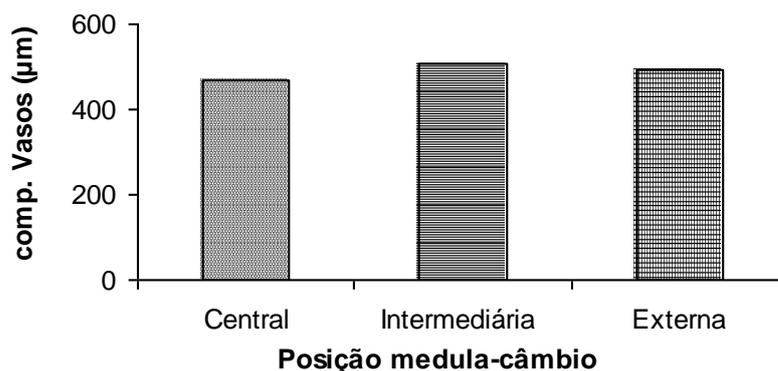
**Figura 51.** Variação do índice de esbelteza, no sentido medula-câmbio. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 3.1.7 Variação radial do comprimento e diâmetro tangencial dos vasos

Os valores médios para o comprimento dos vasos na região central, intermediária e externa foram 467,43  $\mu\text{m}$ , 507,25  $\mu\text{m}$  e 491,76  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O resultado da análise de variância a 5% de significância não mostrou diferenças estatísticas desse parâmetro em função da posição medula-câmbio (Tabela 12 e Anexo 3.2).

A Figura 52 mostra a tendência de variação medula-câmbio dos elementos de vasos. Observa-se que o comprimento médio dos elementos de vasos foi menor na região central, seguido de um aumento na região intermediária e decréscimo na região externa.

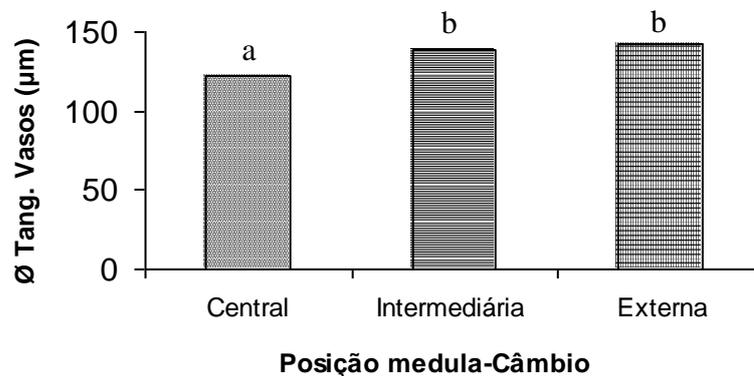
VITAL & DELLA LUCIA (1987) e ROCHA et al. (2004) detectaram para *E. grandis* um aumento no comprimento dos vasos no sentido medula-câmbio que pode ser atribuído a presença de lenho maduro.



**Figura 52.** Variação do comprimento médio dos vasos, no sentido medula-câmbio.

Os valores médios para o diâmetro tangencial dos vasos na região central, intermediária e externa foram 122,20  $\mu\text{m}$ , 138,98  $\mu\text{m}$  e 142,35  $\mu\text{m}$ , respectivamente. De acordo com a análise de variância ao nível de 5% existem diferenças significativas para essa variável no sentido radial (Tabela 12 e Anexo 3.2).

A Figura 53 ilustra a tendência de variação do diâmetro tangencial dos vasos no sentido medula-câmbio e a comparação múltipla entre as médias. Observa-se que o diâmetro tangencial dos vasos aumentou da medula para o câmbio.



**Figura 53.** Variação do diâmetro tangencial dos vasos, no sentido medula-câmbio. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Este modelo de variação foi descrito por diversos autores para inúmeras espécies de eucalipto e está de acordo com o encontrado por TOMAZELLO (1985); ROCHA et al. (2004); SETTE JÚNIOR et al. (2009); SILVA (2002).

O aumento do diâmetro tangencial está relacionado à presença do alburno próximo a casca e ao processo ascendente do fluxo da seiva (SETTE JÚNIOR et al., 2009a e 2009b).

### 3.1.8 Porcentagem dos elementos anatômicos

Os valores gerais e por região (central, intermediária e externa), referente à porcentagem de fibras, parênquima axial, parênquima radial e vasos encontram-se descritos na Tabela 12.

Com relação às fibras observa-se que as mesmas representam mais de 50% da composição total da madeira em estudo, sendo que a região central apresentou 55,23%, a região intermediária 54,38% e a região externa 52,54%.

Valores semelhantes para porcentagem de fibras foram encontrados por SILVA (2002) e NISGOSKI et al. (1998). Segundo NISGOSKI et al. (1998) a grande porcentagem de fibras encontradas no lenho de eucalipto é comum nas espécies da família Myrtaceae.

O parênquima axial representa 15,35% da composição total, sendo que a região central apresentou 14,97%, a região intermediária 14,57% e a região externa 16,04%.

O parênquima radial representa 14,33% da composição total, sendo que a região central apresentou 13,03%, a região intermediária 13,68% e a região externa 15,61%.

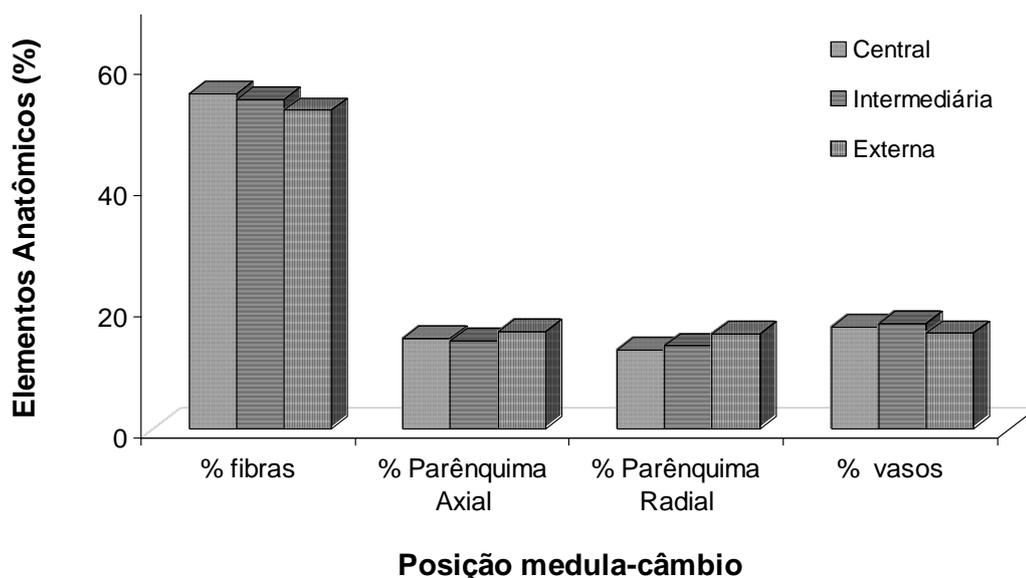
Os vasos representam 16,46% da composição total, sendo que a região central apresentou 16,75%, a região intermediária 17,35% e a região externa 15,77%.

OLIVEIRA (1990) citando GALVÃO (1974), FOELKEL & BARRICHELO (1975) e BARRICHELO & BRITO (1976) informou que a porcentagem de fibras no eucalipto é de 65%, a de vasos é de 17% e a de célula parenquimática é de 18%.

QUEIROZ (2002) analisando anatomicamente a madeira de baixa e alta densidade de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* verificou que a porcentagem de fibras para os dois tipos de lenho foram respectivamente 69,3% e 66,5%, de vasos foram 13,6% e 19,2% e de parênquima radial foram 17,1 e 14,3%.

Para melhor visualização da variação da porcentagem dos elementos anatômicos no sentido medula-câmbio foi construído um gráfico, como mostra a Figura 54. É importante ressaltar que essas variações expressam apenas tendências de comportamento destes elementos no sentido medula-câmbio e não são significativas ao nível de 5% de significância.

Para a porcentagem de fibras observa-se que existe uma tendência decrescente, deste elemento anatômico no sentido medula-câmbio (Figura 54). O decréscimo do seu valor mais próximo à periferia do tronco pode ser atribuído à presença do lenho maduro e a baixa exigência da árvore em termos de sustentação à medida que a mesma envelhece. Em árvores antigas, o crescimento em diâmetro e altura é bastante lento e nesta fase a árvore necessita muito mais de tecido de reserva para manter suas atividades funcionais do que de tecido de sustentação.



**Figura 54.** Variação da porcentagem dos tecidos da madeira no sentido medula-câmbio.

Para a porcentagem do parênquima axial observa-se que a proporção na composição do tecido da madeira foi maior na região central, seguida de um pequeno decréscimo na região intermediária, com posterior aumento na região externa (Figura 54).

No caso do parênquima radial a porcentagem desse elemento anatômico mostra uma tendência crescente no sentido medula-câmbio (Figura 54).

Quanto ao percentual de vasos observa-se um aumento da proporção desse elemento anatômico da região central para a intermediária, com um decréscimo da região intermediária para a externa (Figura 54).

SILVA (2002) detectou diferença significativa na direção radial para percentual de vasos, parênquima radial e parênquima axial. Para o percentual de vaso, o modelo na direção medula-câmbio foi crescente. Já o percentual de células de parênquima radial e axial não apresentou variação bem definida, sendo os maiores valores encontrados na região central, com decréscimo na região intermediária e aumento na região externa.

A composição do tecido da madeira por fibras, vasos, parênquimas radial e axial pode prever uma determinada propriedade (SILVA, 2002). Por exemplo, variações na densidade da madeira dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. Desta forma, o crescimento da densidade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na densidade (OLIVEIRA & SILVA, 2003). Segundo PANSIN & DE ZEEUW (1980), os efeitos são interativos e difíceis de ser avaliados isoladamente.

Segundo FOELKEL (1978), madeiras com alta porcentagem de elementos de vaso tendem a apresentar baixa densidade, o que foi confirmado por RUY (1998), que observou que o comprimento, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras, porcentagens de vasos e de parênquima, possuem alta correlação com a densidade básica da madeira, além de exercer influência nas propriedades e usos finais da madeira.

### 3.2 Densidade da Madeira

Os valores médios da densidade a 12% de umidade no sentido medula-câmbio e base-topo estão demonstrados na Tabela 13. Verifica-se que o valor médio aritmético da densidade referente às seis árvores foi de 0,578g/cm<sup>3</sup> e que o menor valor (0,530g/cm<sup>3</sup>) ocorreu na árvore três e os maiores valores nas árvores dois (0,616g/cm<sup>3</sup>) e cinco (0,618g/cm<sup>3</sup>). A análise de variância (Anexo 3.3) dos dados demonstra que essas diferenças estatísticas foram significativas ao nível de 5% de significância.

**Tabela 13.** Variação longitudinal e radial da densidade aparente da madeira (g/cm<sup>3</sup>).

Árvore	Discos	$\rho$ Medula	$\rho$ Intermediária	$\rho$ Casca	$\rho$ Média disco
1	1	0,471	0,556	0,660	0,562
1	2	0,470	0,509	0,628	0,536
1	3	0,471	0,533	0,644	0,549
<b>Média Árvore</b>		<b>0,471</b>	<b>0,533</b>	<b>0,644</b>	<b>0,549</b>
2	1	0,528	0,638	0,789	0,652
2	2	0,471	0,588	0,808	0,622
2	3	0,448	0,575	0,698	0,574
<b>Média Árvore</b>		<b>0,482</b>	<b>0,600</b>	<b>0,765</b>	<b>0,616</b>
3	1	0,422	0,544	0,570	0,512
3	2	0,463	0,501	0,680	0,548
3	3	0,442	0,523	0,625	0,530
<b>Média Árvore</b>		<b>0,442</b>	<b>0,523</b>	<b>0,625</b>	<b>0,530</b>
4	1	0,472	0,546	0,667	0,562
4	2	0,519	0,508	0,542	0,523
4	3	0,496	0,527	0,604	0,542
<b>Média Árvore</b>		<b>0,496</b>	<b>0,527</b>	<b>0,604</b>	<b>0,542</b>
5	1	0,587	0,627	0,807	0,674
5	2	0,504	0,622	0,663	0,596
5	3	0,489	0,570	0,691	0,583
<b>Média Árvore</b>		<b>0,527</b>	<b>0,607</b>	<b>0,720</b>	<b>0,618</b>
6	1	0,458	0,655	0,764	0,626
6	2	0,515	0,596	0,752	0,621
6	3	0,544	0,542	0,670	0,586
<b>Média Árvore</b>		<b>0,506</b>	<b>0,598</b>	<b>0,729</b>	<b>0,611</b>
<b>Média Geral</b>		<b>0,487</b>	<b>0,564</b>	<b>0,681</b>	<b>0,578</b>

$\rho$  = densidade

No estudo em questão, as diferenças de densidades entre árvores podem estar relacionadas a fatores genéticos e às condições de crescimento, uma vez que as árvores encontravam-se plantadas em área de encosta, com condições de sítio diferenciadas (disponibilidade de água, luz e fertilização).

Segundo AMARAL et al. (1971), apesar de cada espécie ser caracterizada por um modelo estrutural definido, sua densidade é variável em função de diversos fatores que afetam o crescimento da árvore: distribuição geográfica, potencialidade genética, local de retirada da amostra no caule, condições climáticas, entre outros fatores.

A variabilidade individual da densidade foi detectada por BRASIL & FERREIRA (1972) ao estudar a densidade básica de seções de discos retiradas ao nível do DAP de árvore de *Eucalyptus grandis*, que registrou uma variação de 0,423g/cm<sup>3</sup> a 0,558g/cm<sup>3</sup>.

REZENDE & FERRAZ (1985), FERREIRA (1970) e BRASIL & FERREIRA (1972) destacam que a alta variabilidade da densidade entre árvores é muito comum no gênero eucalipto.

FERREIRA & KAGEYAMA (1978), ao analisar a densidade madeira de povoamentos comerciais da mesma espécie, também encontraram resultados semelhantes, tendo registrado que a densidade da madeira aos 11, 12, 13, 14 e 16 anos foram 0,479g/cm<sup>3</sup>, 0,552g/cm<sup>3</sup>, 0,597g/cm<sup>3</sup> e 0,559g/cm<sup>3</sup>, respectivamente e que o *Eucalyptus grandis* apresenta uma tendência à estabilização da densidade aos 11 anos de idade. Para eles, a estabilização deve-se à provável formação de madeira adulta, que na espécie estudada ocorreu a partir dos doze anos.

ALZATE (2007) estudando clones de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade verificou que a densidade aparente variou entre árvores individuais, sendo a média dos referidos clones de 0,458g/cm<sup>3</sup> e que o índice de uniformidade da densidade da madeira variou dentro e entre clones indicando a possibilidade de uma pré-seleção de árvores com aplicações específicas (tanto como madeira sólida ou como madeira reconstituída).

### 3.2.1 Variação Radial da Densidade

Nos anexos 3.4 a 3.6 ilustram os perfis radiais de densidade obtidos pela técnica de densitometria de raios-X, a diferentes alturas do caule. Neles pode-se observar um aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio em todas as árvores e alturas (DAP, 3,70m e 6,10m).

Vários autores, como COUTINHO (1984); FERREIRA (1970); BRASIL & FERREIRA (1972); FOELKEL et al. (1983); OLIVEIRA et al. (2005); REZENDE & FERRAZ (1985); TOMAZELLO FILHO (1985, 2006) e VITAL et al (1987) encontraram para o gênero de *Eucalyptus*, resultados coerentes com essa tendência. Segundo RIBEIRO & ZANI FILHO (1993) destacam que o aumento da densidade da madeira de eucalipto irá variar com a idade e com tendência de estabilização após a formação da madeira adulta.

ALZATE (2007) estudando a variação da densidade medula-câmbio de clones de *E. grandis* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* concluiu que existem três modelos de variação radial e conseqüentemente a formação de três tipos lenho (lenho juvenil, lenho de transição e lenho adulto). As espécies com alta homogeneidade de densidade na direção radial apresentam melhores propriedades tecnológicas, principalmente no que diz respeito ao aparecimento de defeitos de secagem, variação dimensional e desfibramento. No entanto espécies com alta heterogeneidade da densidade tendem a apresentar menores rendimentos em madeira serrada.

Segundo TOMAZELLO FILHO et al. (2001), as árvores mostram uma reação as variáveis ambientais que afetam seus inúmeros processos fisiológicos, tais como respiração, fluxo de seiva, transpiração, taxa de divisões celulares e outros, refletindo na atividade cambial e, conseqüentemente, na anatomia do lenho. Desta forma, é bastante comum encontrar no caule no sentido radial, picos sucessivos de alta e baixa densidade. Os anexos 3.4 a 3.7 mostram claramente isto.

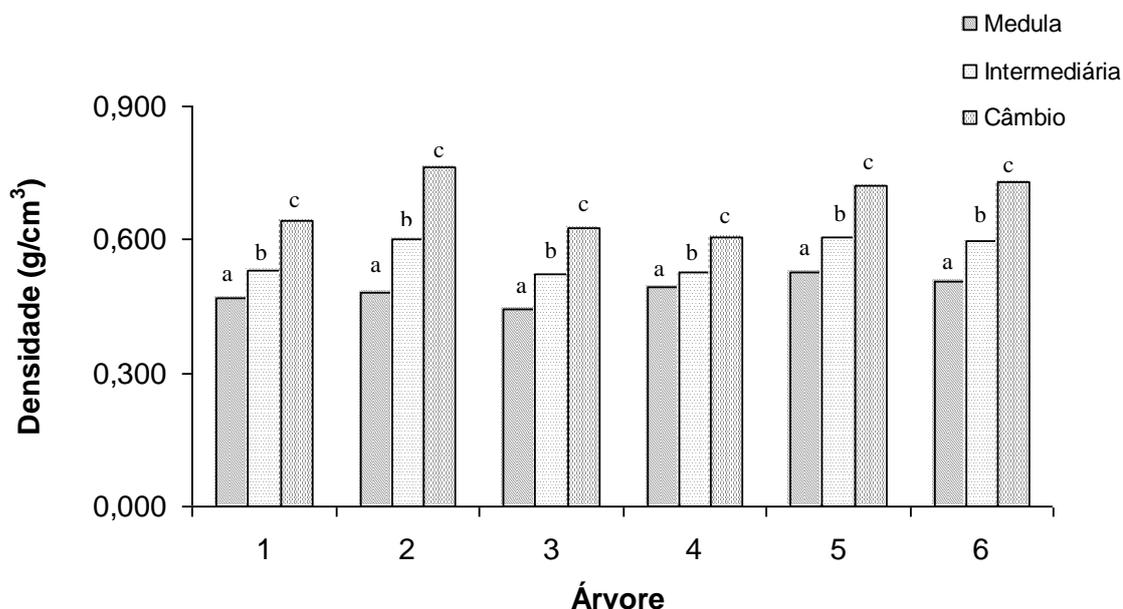
Os picos de alta e baixa densidade da madeira estão relacionados à formação estrutural do lenho. Madeira com fibras curtas, parede celular delgada e lumes grandes apresenta menor densidade quando comparada a madeira com fibras longas, parede celular espessa e lume menor. A presença de picos de alta densidade que se sobressai de forma anormal entre os demais, em alguns perfis de densidade, indica a presença de possível acúmulo de extrativos,

uma vez que a espécie em estudo apresentou bolsões de resina, sendo sua maior ocorrência na madeira próxima a medula.

UPRICHARD (1971), LIROYD (1978), citado por REZENDE et al. (2000) destacam que o aumento da densidade próximo à medula é devido à presença de altos teores de extrativos (bolsões de resina) encontrados nos primeiros anéis de crescimento e ao processo de enriquecimento com extrativos via canais resiníferos transversais.

Os valores médios da densidade aparente encontrados na região próxima a medula, na região intermediária e na região próxima ao câmbio foram  $0,487\text{g/cm}^3$ ,  $0,564\text{g/cm}^3$  e  $0,681\text{g/cm}^3$ , respectivamente. A análise de variância ao nível de 5% de significância (Anexo 3.7) verificou diferenças estatísticas da densidade entre as porções de madeira correspondente a 0 e 33% (medula), a 33 e 66% (intermediária) e a 66 e 100% (casca).

A Figura 55 ilustra a variação da densidade no sentido medula-câmbio e a comparação múltipla entre as médias. Observa-se que a densidade aumentou no sentido medula-câmbio. Esse modelo de variação no qual a densidade da madeira na região mais interna do tronco é menor e na região mais externa do tronco é maior tem sido comumente observado no lenho de eucaliptos e de outras espécies florestais e pode ser atribuído à presença de madeira juvenil (interna) e adulta (externa).



**Figura 55.** Densidade aparente média, obtida pela técnica de densitometria de raios-X, para as porções de madeira correspondente a região da medula, região intermediária e região do câmbio para as seis árvores de *E. grandis*. Letras iguais denotam igualdade estatística ao nível de 5% de significância dentro de cada região.

MALAN (1988), estudando a variação da densidade da madeira em quatro árvores de *E. grandis* procedentes da África do Sul encontrou na madeira próxima a medula um valor médio de densidade de  $0,470\text{g/cm}^3$  e na madeira próxima a casca um valor médio de  $0,524\text{g/cm}^3$  e destacou que a alta variabilidade que ocorre dentro da árvore pode ser explicada pela distância medula-câmbio e base-topo, porém, a diferença entre árvore é uma importante fonte de variação.

BRASIL & FERREIRA (1972) verificaram que a menor valor de densidade ( $0,435\text{g/cm}^3$ ) ocorreu próximo à medula, assim como descrito por HUGUES & ESAN (1969) e que os valores médios na região intermediária e externa (próximo à casca) foram  $0,427\text{g/cm}^3$  e  $0,574\text{g/cm}^3$ , respectivamente.

Com base nos resultados de variação da densidade do atual estudo verifica-se que a madeira próxima à medula pode ser destinada para produção de energia e polpa e papel. A da região intermediária para produção de esquadrias (portas, janelas, aduelas, etc.) e a madeira da região externa pode ser utilizada para usos mais nobres, tais como, construção civil, móveis (desde que tenha homogeneidade de cor), assoalhos e laminação.

### 3.2.2 Variação Longitudinal da Densidade

Os valores médios da densidade da madeira no sentido base-topo para as árvores estudadas foram 0,598, 0,574 e 0,561 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 13). De acordo com análise de variância ao nível de 5% de significância (Anexo 3.8) não existem diferenças entre os valores de densidade no sentido base-topo.

É importante ressaltar que os valores de densidades no sentido base-topo representa apenas a porção de madeira entre 1,30m a 6,10m da altura e é muito comum as árvores apresentarem densidades semelhantes nesta faixa.

O maior valor de densidade encontrado ao nível do DAP na maioria das árvores é bastante comum nas espécies produtoras de madeira, pois para poder suportar um maior peso, originado pelo crescimento em altura e diâmetro, a árvore aumenta o espessamento de suas células nesta região e conseqüentemente a sua densidade.

MALAN (1988) encontrou para a espécie de *E. grandis*, a mesma tendência de igualdade de densidade nos discos retirados entre 1,35 a 5,85 m de altura do solo para a região central e externa do tronco. Os valores médios encontrados pelo autor para as amostras de madeiras da região central retiradas a 1,35 e 5,85 m de altura do solo foram 390,4 kg/m<sup>3</sup> e 408,8 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para a região externa foram 519,7 kg/m<sup>3</sup> e 497,8 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

FERREIRA (1970, 1971 e 1972), estudando a densidade básica da madeira de *E. saligna*, *E. alba* e *E. grandis*, também encontrou o mesmo comportamento.

BRASIL et al. (1977), trabalhando com *E. propinqua*, concluíram que nas classes comerciais de 6 e 8m de altura para árvores procedentes de Itapeva-SP e 4 e 6m de altura para árvores procedentes de Mogi Guaçu – SP não houve variações significativas da densidade até a essas alturas.

O modelo de variação da densidade base-topo encontrado por GOMIDE et al. (2009), em clones de eucaliptos foi de decréscimo até 3,0m de altura, seguido de aumento até os 9,0m e decréscimo até a porção terminal do tronco.

### 3.3 Idade de transição entre o lenho juvenil e adulto

A partir dos valores de comprimento das fibras e da distância radial foram estabelecidas análises de regressão linear simples que permitiram a observação da variação desta característica em função da distância radial (medula-câmbio), bem como a determinação da zona de madeira juvenil, zona de madeira de transição e zona de madeira adulta.

Para a determinação da zona juvenil, onde as mudanças das propriedades são acentuadas, da zona de transição, onde as propriedades tendem a estabilização e da zona adulta, onde elas continuam constantes ou decrescem, utilizou-se a análise de regressão linear, para obter um modelo estatístico que fornecesse um ajuste adequado para os dados de comprimento de fibras.

Dentre os modelos testados, o que permitiu melhor ajuste para as árvores 1, 3, 4, 5 e 6 foram:

$$Y = \beta_0 + \beta_1\chi + \beta_2\chi^2$$

**Equação 21**

Onde:

Y = comprimento das fibras estimado;

$\chi$  = distância medula-câmbio,

$\beta_0$  = coeficiente angular;

$\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes lineares

Para a árvore 2, o modelo que apresentou melhor ajuste foi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1\chi + \beta_2/\chi + \beta_3 \exp-\chi$$

**Equação 22**

Onde:

Y = comprimento das fibras estimado;

$\chi$  = distância medula-câmbio,

$\beta_0$  = coeficiente angular;

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes lineares.

Em relação ao modelo escolhido, os resultados das análises de regressões lineares, apresentados nos Anexos 3.9 até 3.14 mostram que os coeficientes angulares e lineares foram significativos ao nível de 5% e que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram 0,66; 0,40; 0,76; 0,75; 0,84 e 0,64, para as árvores de 1 a 6, respectivamente.

O exame visual dos gráficos construídos a partir dos valores de comprimento de fibras, observados e os estimados pelos modelos de regressão linear permitiu demarcar em cada gráfico dois pontos de inflexão da curva, sendo um no início da curva, onde se observa um aumento acentuado e linear no comprimento das fibras e o outro no final da curva, onde o comprimento se estabiliza ou decresce.

Os gráficos da Figura 56 mostram que nas árvores um, dois, três e cinco a zona juvenil foi demarcada a 7,0 cm de distância em relação medula. Na árvore quatro a 5,0 cm e na árvore seis a 8,0 cm da medula (Tabela 14).

A zona de transição nas árvores um, três e cinco foi demarcada entre 7,0 cm e 12,5 cm de distância em relação à medula. Na árvore dois entre 7,0 cm e 10,0 cm, na árvore quatro entre 5,0 cm e 10,0 cm e na árvore seis entre 8,0 cm a 12,0 cm (Tabela 13).

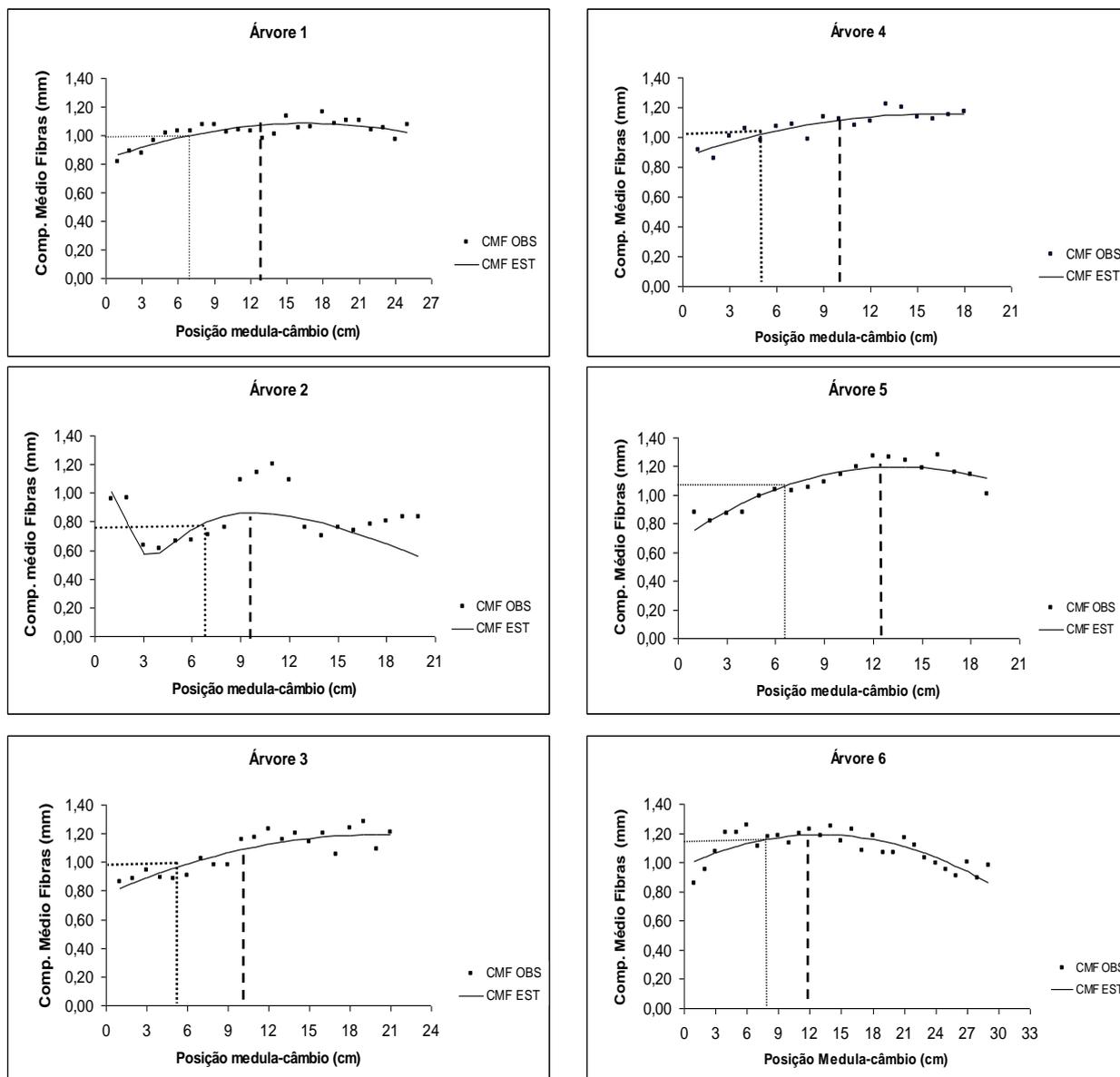
A zona adulta dependendo da árvore foi demarcada a partir dos 10,0 cm de distância da medula (Tabela 14).

Com intuito de transformar as distâncias em idade, tomaram-se como base os estudos realizados por OLIVEIRA (2008) e FERRAZ (1983) que consideraram como um ano de vida da árvore, o período decorrente a formação de dois picos consecutivos de alta densidade.

**Tabela 14.** Idades de transição do lenho juvenil e adulto.

Árvore	zona juvenil (cm)	Idade (Anos)	Zona transição (cm)	Idade (Anos)	Zona adulta (cm)	Idade (Anos)
1	0 - 7,0	8	7,0 - 12,5	8 - 12	12,5 - 25,0	12
2	0 - 7,0	6	7,0 - 10,0	6 - 12	10,0 - 20,0	12
3	0 - 7,0	8	7,0 - 12,5	8 - 16	12,5 - 21,0	16
4	0 - 5,0	7	5,0 - 10,0	7 - 14	10,0 - 18,0	14
5	0 - 7,0	8	7,0 - 12,5	8 - 16	12,5 - 18,0	16
6	0 - 8,0	10	8,0 - 12,0	10 - 15	12,0 - 29,0	15
<b>Média</b>		<b>8</b>				<b>14</b>

Dessa forma, a partir dos perfis de densidade do Anexo 6.1 a 6.3 foi possível determinar a idade correspondente à distância de transição das zonas juvenil e adulta. A Tabela 14 apresenta os valores dessa transformação.



**Figura 56.** Regressão linear a 5% de significância para a variável comprimento de fibras no sentido medula-câmbio.

A formação de madeira juvenil nos primeiros anos de vida da árvore também foi observada por diversos autores, tais como BENDTSEN (1978), DADSWELL (1958), MAEGLIN (1987), THOMAS (1985), PASHIM & DE ZEEUW (1980); SENFT et al. (1985) ZOBEL & VAN BUIJTENENN (1989) E ZOBEL E SPRAGUE (1998), LEONELLO et al. (2008).

CALONEGO et al. (2005) trabalhando com *E. citriodra* concluiu que a formação da madeira juvenil parece estar confinada nos primeiros 30 a 40 mm do raio. A região entre 30 e 55 mm foi considerada de transição e a partir do 55 mm até a periferia do tronco, madeira adulta.

LEONELLO et al. (2008) analisando o comportamento das fibras no sentido medula-câmbio para *E. grandis* concluiu que a região de madeira juvenil ficou definida desde o centro da árvore até os 15 cm do raio e a região de madeira adulta a partir de 16,0cm do raio até a casca.

TOMAZELLO (1985b) estudando algumas espécies de eucalipto, incluindo o *E. grandis* verificou que após o décimo ano existe uma tendência de aumento no comprimento das fibras.

#### 4 CONCLUSÕES

1. O comprimento de fibras foi menor na região próxima a medula, seguido de um aumento na região intermediária e ligeira queda na região externa.
2. A espessura da parede, índice de esbeltez, fração parede e diâmetro tangencial dos vasos aumentaram da medula em direção ao câmbio.
3. O lenho da madeira é composto por mais de 50% de fibras.
4. As fibras, o parênquima axial, parênquima radial e vasos estão igualmente distribuídos no sentido medula-câmbio.
5. A densidade aparente individual variou entre árvores, sendo os maiores valores encontrados nas árvores três, cinco e seis.
6. Os valores de densidade aparente da madeira a 12% de umidade foram significativos no sentido medula-câmbio, sendo os menores valores dessa característica tecnológica encontrados na região da medula, seguidos de acréscimo até a região próxima ao câmbio.
7. A densidade da madeira entre 1,30 m e 6,10m de altura do solo é semelhante.
8. Os dados de comprimento de fibras permitiram separar a zona de lenho juvenil, de transição e adulto, sendo que a madeira considerada juvenil está confinada nos sete primeiros centímetros de distância em relação à medula e a madeira de transição dos sete aos doze centímetros e a partir dessa distância encontra-se a madeira adulta.
9. Após transformação das distâncias em idade, a madeira considerada juvenil é aquela formada nos oito primeiros anos de crescimento, a madeira de transição aquela formada entre oito e quatorze anos e a adulta aquela formada a partir dos quatorze anos.
10. Visto que a madeira da parte mais interna do tronco apresenta característica anatômica diferente da madeira da parte externa e o termo qualidade depende do uso a que se destina a madeira, os resultados permitem sugerir usos múltiplos para mesma.

### **CAPÍTULO III**

#### **EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NA PERDA DE MASSA, DENSIDADE E DUREZA JANKA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W. HILL EX. MAIDEN**

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi examinar o efeito da termorretificação nas propriedades de perda de massa, densidade e dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Para isso, seis árvores de *Eucalyptus grandis*, provenientes de plantios comerciais pertencentes à empresa QUINVALE Florestal Ltda foram abatidas. De cada árvore foram retiradas três toras a partir do DAP, com 2,40 m de comprimento, as quais foram encaminhadas para a serraria Artefatos de Madeira e Serviços Ltda, localizada em Piraí-RJ, para medição e desdobro. Os topos das toras foram pintados com três diferentes cores para definir três regiões distintas, sendo uma central (C), uma intermediária (I) e uma externa (E). Posteriormente, as toras foram desdobradas em tábuas com o auxílio de uma serra de fita simples, das quais foram obtidas amostras de 12,5 x 2,5 x 60,0 cm, sendo estas classificadas em quatro grupos, de acordo com as três regiões das toras. As amostras do grupo I, II, III e IV possuíam madeira das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE) das toras, respectivamente. De cada grupo foram selecionadas vinte e seis amostras para determinação das propriedades de perda de massa, densidade aparente pela técnica de densitometria de raios-X e dureza Janka. O tratamento de termorretificação foi efetuado em um forno mufla elétrico laboratorial, equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. Adotou-se um programa de seis horas e 30 minutos de tratamento e temperatura final de 190°C. Os resultados mostraram diferenças significativas para perda de massa entre os grupos analisados. Os grupos I (E), II (IE) e III (CI) apresentaram uma menor porcentagem de perda de massa do que o grupo IV (CIE). A densidade aparente apresentou um decréscimo significativo após a termorretificação. Apesar da densidade não apresentar diferenças significativas entre os grupos I, II, III e IV, observou-se uma tendência ao aumento da densidade no sentido medula-câmbio, com valores mais altos para as amostras do grupo I (E) e II (IE) em relação aos grupos III (CI) e IV (CIE). Apesar das amostras tratadas termicamente, com exceção do grupo I (E) apresentarem valores superiores de dureza Janka quando comparadas as não tratadas, não houve diferenças significativas entre os tipos de madeira. A dureza Janka apresentou diferenças significativas entre os grupos para as amostras não termorretificadas, ou seja, os grupos I (E) e II (IE) apresentaram maiores valores de dureza quando comparados aos grupos III (CI) e IV (CIE).

**Palavras-chaves:** propriedades físico-mecânicas, termorretificação, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of heat treatment on the properties of weight loss, density, and Janka hardness of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood. For this, six trees of *Eucalyptus grandis* from commercial plantations of the QUINVALE Florestal Ltda were used. Each tree was cut into logs from the DAP, with 2.40 m length, which were measured and sawn to the Artefatos de Madeira e Serviços Ltda sawmill situated in Piraí-RJ. The tops of the logs were painted with three different colors to define three distinct regions: central (C), intermediate (I) and external (E). Subsequently, logs were processed into boards by using of a simple band saw of which were obtained samples of 12.5 x 2.5 x 60.0 cm, which were classified into four groups according to the three log's regions. The samples from group I, II, III and IV presented wood from external (E), intermediate-external (IE), central-intermediate (CI) and central-intermediate-external (CIE) regions of logs, respectively. From each group were selected twenty-six samples for determination of weight loss, density by X-ray densitometry technique and Janka hardness properties. The heat treatment was performed in a laboratorial electric muffle furnace equipped with a temperature and time control system. A program of six hours and 30 minutes of treatment and a final temperature of 190°C was adopted. The results showed significant differences between groups for weight loss. Groups I (E), II (IE) and III (CI) had a lower percentage of weight loss than group IV (CIE). The density showed a significant decrease after heat treatment. Despite the wood density does not show significant differences between groups I, II, III and IV, there was an increase of density from pith to cambium, with higher values for samples of I (E) and II (IE) groups than III (CI) and IV (CIE) groups. Even if heat-treated samples, except for group I (E), presented higher values of hardness than untreated samples, statistical analysis revealed no significant differences between heat-treated and untreated samples. Janka hardness presented significant differences between groups for heat-treated samples, i.e., groups I (E) and II (IE) showed higher values than groups III (CI) and IV (CIE).

**Key words:** physical-mechanical properties, *Eucalyptus grandis*, heat treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus grandis* foi introduzido no Brasil para servir como matéria-prima para a produção de papel, pasta celulósica e energia. Só apenas no final do século passado e início deste século, sua madeira começou ser utilizada na construção civil, para produção de móveis, pisos, esquadrias, estrutura de estofados e outros usos.

As altas taxas de crescimento dos eucaliptos sempre foram levadas em conta por muitos que utilizam sua madeira, principalmente, os produtores de polpa e papel, cavacos, carvão vegetal e embalagens. No entanto, a madeira de árvores de rápido crescimento pode apresentar certos problemas, tais como: empenamentos, rachaduras, baixa estabilidade dimensional, altas taxas de inchamento e dependendo da magnitude do problema pode muitas vezes inviabilizar o seu uso na confecção de produtos específicos (madeira serrada, móveis, madeira para construção civil, entre outros usos).

Desta forma, muitos buscam minimizar esses problemas com a seleção de espécies mais promissoras, técnicas corretas de abate, desdobro e secagem da madeira, modificação química da madeira, impregnação da madeira com resinas e aplicação de calor.

Apesar de existir a séculos, o tratamento térmico ou de termorretificação é uma metodologia que vem sendo bastante utilizada para melhorar algumas propriedades tecnológicas da madeira, tais como a estabilidade dimensional, a resistência biológica a fungos, a permeabilidade, a alteração da cor, na qualidade das superfícies e o teor de umidade de equilíbrio.

O tratamento de termorretificação é definido como um processo no qual o calor aplicado à madeira encontra-se em temperaturas entre 150°C a 250°C, ou seja, abaixo daquelas que provocam o início da degradação de alguns constituintes poliméricos, tais como celulose e lignina, e cujo produto final obtido é a madeira termorretificada (KAMDEM, et al. 2002).

Atualmente na Europa há disponível, em escala industrial, cinco tipos de tratamentos térmicos (processo Thermowood<sup>®</sup>, Plato<sup>®</sup> wood, Retification<sup>®</sup>, Bois Perdure<sup>®</sup> e OHT “Oil Heat Treatment”). Dentre as principais diferenças entre estes métodos destacam-se: a taxa de aquecimento, as condições de tratamento, as quais ocorrem entre temperaturas de 160 e 260°C, a presença ou ausência de óleos, a presença de atmosfera inerte ou não e o teor de umidade inicial da madeira (ESTEVES & PEREIRA, 2009).

Segundo BRITO (1992), a ação do calor na madeira pode acarretar diferentes níveis de transformação em sua estrutura, as quais estão associadas ao fenômeno de pirólise, cujas fases podem ser identificadas pela perda de massa, a qual ocorre devido à elevação da temperatura e reações químicas.

Em temperaturas abaixo de 100°C ocorrem modificações temporárias e reversíveis na madeira, ou seja, as propriedades podem retornar ao seu estado original. Entretanto, em temperaturas mais elevadas ocorrem modificações permanentes e irreversíveis, onde os constituintes químicos da madeira passam a se degradar, resultando em perda de massa e resistência. A perda de massa é dependente do teor de umidade, do tipo de equipamento utilizado, da temperatura, do período de exposição, da espécie e das dimensões da peça de madeira (WOOD HANDBOOK, 1987).

Segundo BROWN et al. (1952), a degradação térmica da madeira pode ser dividida em quatro fases. A primeira fase situa-se entre a temperatura ambiente e 100°C, na qual ocorre uma baixa liberação de gases, com produção de água e óleos voláteis, e uma pequena quantidade de ácido acético e traços de metanol. A segunda fase é caracterizada pela

formação de ácido pirolenhoso, ocorrendo entre 100°C e 175°C. Nesta fase ocorre a liberação de água higroscópica e de constituição, sendo que a última acarreta uma degradação irreversível da madeira. A terceira fase situa-se entre 175°C e 350°C, na qual ocorre, em geral, a destruição das hemiceluloses. Essa fase é caracterizada por reações exotérmicas e pela formação da maioria dos destilados (alcatrão) e liberação de gases inflamáveis. A quarta fase, com temperatura acima de 350°C, ocorre após a finalização das reações exotérmicas e início da formação do carvão vegetal. A destruição da celulose ocorre entre 330 e 370°C e o início da degradação da lignina em temperaturas acima de 370°C, quando o carvão vegetal é produzido.

DELL MENEZZI (2004) estudou o efeito da termorretificação sobre as propriedades dos painéis de partículas orientadas (OSB “Oriented Strandboard”) e concluiu que a degradação das hemiceluloses já ocorria a partir dos 150°C, enquanto que para a celulose esta se iniciou a 230°C. Segundo o autor, a lignina é o polímero mais estável frente ao tratamento de termorretificação, e sua degradação inicia-se a partir de 250°C. Assim, as condições do tratamento de termorretificação permitiram apenas a degradação das hemiceluloses enquanto que as proporções de celulose e lignina mantiveram-se relativamente constantes.

Inúmeros estudos mostram que a termorretificação acarreta na madeira mudanças desejadas e indesejadas (KORKUT et al., 2008; BRITO et al., 2006, 2008; SANTOS et al., 1998; OLEK & BONARSKI, 2008; ESTEVES et al., 2007, entre outros). Geralmente, o tratamento promove uma redução no teor de celulose e hemicelulose, bem como um aumento do teor de lignina. Ocorre perda de massa e a densidade diminui. Existem influências nas propriedades mecânicas e no comportamento da madeira com relação à umidade. O inchamento e a contração são reduzidos. Dependendo das condições do tratamento, a cor também é afetada.

BRITO et al. (2006), estudando o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorretificação concluíram que a madeira termorretificada apresentou uma retratibilidade 25% menor do que a da madeira original.

Segundo STAMM (1964), a diminuição da retratibilidade ocorre devido ao aumento do grau de cristalinidade da celulose. A celulose é um polímero constituído por um arranjo de microfibrilas, as quais possuem duas regiões distintas: uma cristalina e a outra amorfa. Acredita-se que a água entra livremente através da região amorfa, sendo adsorvida pelos grupos hidroxílicos. Entretanto, na região cristalina a água é adsorvida apenas em sua superfície, ficando evidente que qualquer tratamento que aumente o grau de cristalinidade provavelmente reduza o teor de umidade de equilíbrio e o inchamento da madeira.

ESTEVES et al. (2007) destacam que o tratamento de termorretificação aplicado à madeira de *Eucalyptus globulus* Labill. contribuiu para a redução do teor de umidade e da higroscopicidade melhorando substancialmente suas propriedades de teor de umidade de equilíbrio, de estabilidade dimensional e de anisotropia tangencial/radial. A madeira termorretificada a 190°C por cinco horas apresentou uma perda de massa de 4%, uma redução de 20% na resistência à flexão enquanto que o MOE apresentou uma alteração insignificante.

UNSAL & AYRILMIS (2005) verificaram uma redução na densidade básica, na resistência à compressão paralela a grã e na rugosidade superficial com o aumento da temperatura e do tempo de duração do tratamento de termorretificação para a madeira de *E. camaldulensis* Dehn. Eles sugerem que o tratamento deve ser aplicado sem atingir as propriedades de resistência da madeira, principalmente em usos onde propriedades de trabalhabilidade, estabilidade e maciez da superfície, sejam fatores importantes.

PONCSÁK et al. (2006) estudando o efeito da temperatura, tempo de aquecimento, taxa de aquecimento e teor de umidade sobre as propriedades mecânicas da madeira de *Betula papyrifera* Marsh. concluíram que quando a taxa de aquecimento é baixa; os períodos de secagem e a transformação térmica (perda de peso) podem ser identificados claramente. No

entanto, embora a perda de peso inicia-se em torno de 150-160°C, ela é acelerada significativamente acima de 200°C e influencia no decréscimo de algumas propriedades de resistência mecânica da madeira.

Partindo do pressuposto que a madeira de eucalipto apresenta alguns problemas tais como: elevada retratibilidade; baixa estabilidade dimensional; acentuado desvio de grã, o qual acarreta durante o processo de usinagem o defeito de arrancamento das fibras, inviabilizando muitas vezes sua utilização na produção de certos produtos específicos, tais como móveis, pisos, esquadrias, entre outros, o tratamento de termorreificação pode ser uma alternativa para minimizar tais questões.

Baseado no que foi exposto nos parágrafos acima, este estudo teve como objetivo verificar o efeito do tratamento de termorreificação na perda de massa, na densidade aparente e na dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Amostragem

Após o processo de identificação e secagem das tábuas em estufa descrita no Capítulo I, realizou-se a classificação da madeira com base na norma ASTM D-1666/87, excluindo as tábuas que apresentassem: nós, bolsas de resina, colapso, esmoado acentuado, rachaduras superficiais e de topo que comprometessem o aproveitamento da tábua, largura inferior a 12,5cm e espessura inferior a 2,5cm.

As tábuas que se adequaram à norma foram utilizadas para:

- ❖ Determinação da perda de massa após o tratamento de termorretificação;
- ❖ Determinação da densidade aparente da madeira antes e após a termorretificação através do método de densitometria de raios X;
- ❖ Determinação da dureza Janka das amostras termorretificadas e não termorretificadas.

Em seguida, as tábuas de 2,0 metros de comprimento foram encaminhadas para o Laboratório de usinagem do DPF/IF/UFRRJ e tiveram suas dimensões (largura e comprimento) reduzidas para 12,5 e 60,0 cm, respectivamente. Nesta operação foram utilizados uma serra circular e uma plaina desempenadeira. É importante salientar que algumas tábuas resultaram em duas amostras com as dimensões descritas acima e outras não, as quais foram numeradas com o mesmo número da tábua que lhe deu origem.

Posteriormente, as amostras foram deixadas em câmara climática sob condições de umidade e temperatura controladas (65% UR e  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ) até atingirem um teor de umidade de equilíbrio de 12%.

Após classificação, redimensionamento e climatização, as amostras foram separadas em quatro grupos, a saber:

- ❖ Grupo I: tábuas contendo madeira da região externa (E);
- ❖ Grupo II: tábuas contendo madeira da região externa-intermediária (IE);
- ❖ Grupo III: tábuas contendo madeira da região central-intermediária (CI);
- ❖ Grupo IV: tábuas contendo madeira da região central-intermediária-externa (CIE).

### 2.2 Tratamento de Termorretificação da Madeira

Para avaliar o efeito do tratamento de termorretificação sobre a perda de massa, densidade e dureza Janka da madeira foram selecionadas vinte seis amostras por grupo com dimensões de 2,5 x 12,5 x 60,0 cm (espessura x largura x comprimento), das quais treze foram termorretificadas e treze não termorretificadas.

A termorretificação das amostras foi realizada no laboratório de secagem da madeira do DPF/ IF/UFRRJ, em um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com largura, profundidade e altura de 61,0 x 61,0 x 73,0 cm, equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. Para monitorar as diferentes condições de temperatura no interior da peça de madeira durante o tratamento de termorretificação foi utilizado um aparelho de aquisição automática de sinais, com placa de conversão A/D. Neste aparelho acoplaram-se cinco cabos termopares tipo J, os quais foram introduzidos dentro da mufla através de uma abertura na sua parte superior. Em seguida, três termopares foram instalados em peças de madeira pré-selecionadas, e posicionadas na parte inferior, mediana e superior da

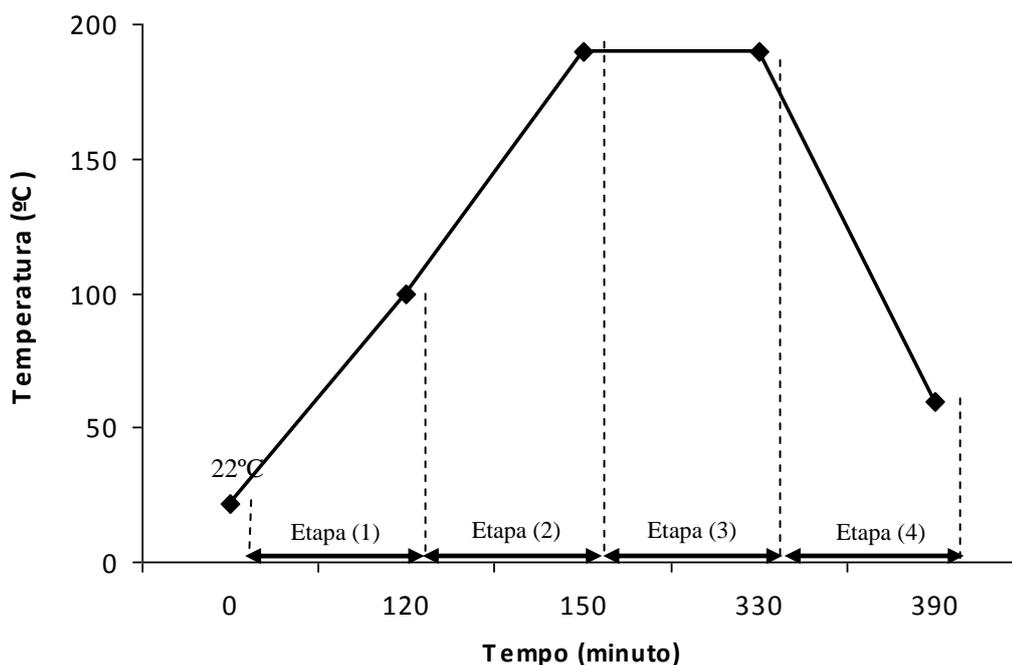
mufla. Os termopares foram posicionados no centro das peças através de orifícios que em seguida foram vedados com massa de calafetar para fixação dos cabos de termopares.

Para o tratamento de termorreificação, foi adotado um programa de 6 horas e 30 minutos com quatro etapas: (1) elevação da temperatura até 100°C com 2 horas de duração; (2) elevação da temperatura de 100 à 190°C com 30 minutos de duração; (3) tratamento de termorreificação à 190°C durante 3 horas; e (4) decréscimo da temperatura até 60°C por 30 minutos (Figura 57).

O aumento da temperatura de 22°C até 190°C antes do tratamento termorreificação, por duas horas e trinta minutos, buscou reduzir o teor de umidade a 0% e minimizar o aparecimento de rachaduras e empenamentos, caso a temperatura de 190°C fosse aplicada logo de imediato.

A escolha do programa utilizado neste estudo baseou-se nos trabalhos desenvolvidos por KORKUT et al. (2008), KORKUT & GULLER (2008), KORKUT (2008) e KORKUT et al. (2009) no qual usaram temperaturas entre de 120°C e 180°C e tempo de duração de 2h, 6h e 10h e verificaram que a temperatura de 180°C foi a que apresentou efeito significativo sobre a rugosidade superficial da madeira.

DE MOURA & BRITO (2008) estudando o efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de usinagem da madeira de *E. grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* utilizaram temperaturas de 140°C a 200°C, com aplicação de oxigênio e nitrogênio, por períodos que variaram de 0 a 90 horas, com uma taxa de aquecimento de 0,033°C/min.



**Figura 57.** Programa de temperatura aplicado no tratamento de termorreificação da madeira de *Eucalyptus grandis*. Laboratório de Secagem da Madeira, 2010.

### 2.3 Determinação da Perda de Massa

Antes e após o tratamento de termorreificação, cada peça de madeira foi pesada em uma balança digital com precisão de 0,01g. O peso obtido foi utilizado para o cálculo da perda de massa através da Equação 23:

$$R = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_1} \right) \times 100$$

**Equação 23**

Onde:

R = Perda de massa da madeira após o tratamento de termorreificação, %;

M<sub>1</sub> = Peso da madeira antes do tratamento de termorreificação, em grama;

M<sub>2</sub> = Massa da madeira após o tratamento de termorreificação, em grama.

### 2.4 Determinação da Densidade Aparente da Madeira

Para determinação da densidade aparente da madeira antes e após o tratamento de termorreificação foi retirada uma amostra de 1,0 cm de largura de uma das extremidades de cada peça de madeira. Essas amostras foram levadas para o Laboratório de Anéis de Crescimento e Densitometria de Raios X do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP (Piracicaba-SP), onde foi realizada a determinação da densidade aparente da madeira utilizando à mesma metodologia descrita no Capítulo II para determinação da densidade aparente a 12% dos discos das árvores.

### 2.5 Determinação da Dureza Janka

A dureza Janka da madeira foi determinada pela tensão atuante em uma das faces dos corpos-de-prova ocasionada pela penetração de uma semi-esfera de aço de área diametral de 1 cm<sup>2</sup>. A dureza superficial é utilizada para avaliar a capacidade da madeira em resistir à penetração localizada, ao desgaste e a abrasão. A obtenção do seu valor é de grande importância para avaliar a potencialidade da madeira em utilizações estruturais, pavimentos e mobiliários.

Para tal ensaio, das amostras de madeira termorreificadas e não termorreificadas com 2,5 x 12,5 x 60,0 cm foram obtidos corpos-de-prova 2,5 x 12,5 x 9,8 cm (espessura x largura x comprimento).

A preparação dos corpos-de-prova e os respectivos procedimentos basearam-se na norma ASTM D 143-1999 utilizada para determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Para determinação da dureza Janka, uma célula de carga de 10 toneladas e um dispositivo de medição de dureza foi acoplado a uma máquina universal de ensaio, modelo UMC 300 da marca Contenco, disponível no Laboratório de Ensaio Físicos e Mecânicos (DPF/IF/UFRRJ). Um sensor acoplado ao dispositivo permitiu a medição automática da tensão de penetração da esfera de aço nos corpos-de-prova por um período pré-determinado.

A aplicação da carga foi realizada em dois pontos a uma distância de 4,0 cm das extremidades dos corpos-de-prova, na direção normal às fibras. Os dados foram obtidos através do software Pavitest Madeira, interligado à máquina de ensaio.

É importante destacar que a finalidade do ensaio de dureza foi verificar a diferença no comportamento da madeira termorretificada e não termorretificada e não a caracterização desta propriedade para madeira de *Eucalyptus grandis*.

## **2.6 Análises Estatísticas**

Os dados obtidos foram analisados por meio de um pacote estatístico STATISTICA 6.0. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, compreendendo quatro grupos (I, II, III e IV), dois tipos de madeira (termorretificadas e não termorretificadas) e treze repetições por grupo.

Para verificar se as diferenças entre os tratamentos para perda de massa, densidade aparente e dureza eram significativas ao nível de 5% de significância, efetuou-se a análise de variância e comparação entre médias pelo teste de Tukey.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Perda de Massa

A Tabela 15 apresenta os valores médios e os coeficientes de variação dos resultados obtidos para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* após o tratamento de termorretificação. Observa-se que a média de perda de massa do grupo I, II e III e IV foram 13,59%, 13,79%, 13,61% e 14,62%, respectivamente. Os coeficientes de variação foram baixos, o que demonstra pouca variabilidade para a perda de massa entre as amostras do mesmo grupo.

**Tabela 15.** Valores médios para perda de massa, densidade aparente e dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* termoretificada e não termoretificada.

Grupos	Perda de Massa (%)		Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )				Dureza Janka (Kgf/cm <sup>2</sup> )			
			NTR		TR		NTR		TR	
	m	CV	m	CV	m	CV	m	CV	m	CV
Grupo I (E)	13,59	7,35	0,606	17,51	0,557	14,81	281,80	29,7	261,70	23,3
Grupo II (IE)	13,79	8,22	0,594	16,22	0,548	29,48	242,04	23,1	281,31	22,0
Grupo III (CI)	13,61	7,82	0,552	16,68	0,512	15,25	202,71	19,1	233,58	23,7
Grupo IV (CIE)	14,62	6,33	0,546	12,65	0,518	20,0	219,50	22,1	247,42	23,0
<b>Média Geral</b>	<b>13,90</b>		<b>0,574</b>		<b>0,534</b>		<b>236,51</b>		<b>256,00</b>	

**NTR** = madeira não termoretificada. **TR**= madeira termoretificada. m: média de 13 repetições. CV: coeficiente de variação (%). E = externo, IE = intermediária-externa, CI = central-intermediária e CIE = central-intermediária-externa.

A Tabela 16 e Anexo 4.1 apresentam os resultados obtidos para as análises estatísticas para perda de massa. Observa-se que houve diferenças significativas de perda de massa entre os grupos.

**Tabela 16.** Resultados obtidos para análise de variância (valor F) da perda de massa, densidade e dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis*.

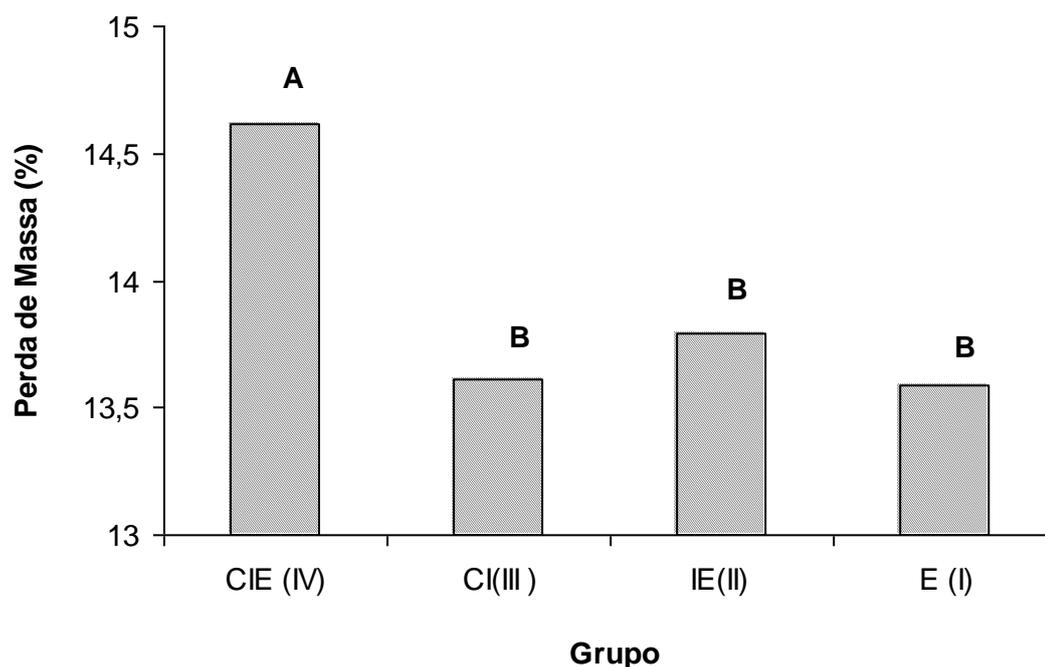
Fonte de Variação	Propriedades		
	Perda de massa	Densidade aparente	Dureza Janka
<b>Tipo de madeira (NTR x TR)</b>			
Teste F	2,852418	4,302059	2,547725
Probabilidade	0,046957*	0,040585*	0,113547 <sup>ns</sup>
<b>Grupo NTR</b>			
Teste F	-	1,307265	4,359546
Probabilidade		0,282901 <sup>ns</sup>	0,008551*
<b>Grupo TR</b>			
Teste F	-	0,509708	1,562920
Probabilidade		0,677484 <sup>ns</sup>	0,210558 <sup>ns</sup>

ns: não significativo. \* significativo a 5% de significância.

A variação da perda de massa em função dos grupos e a comparação média entre as amostras encontram-se ilustrada na Figura 58. Observa-se que a perda de massa foi maior nas amostras do grupo IV com porções de madeira da região central-intermediária-externa (CIE).

Neste trabalho, a média geral de 13,90% para perda de massa após a termorretificação foi superior aos valores de 5,19% e 9,6% encontrados por BRITO et al. (2006 e 2008) para a madeira de *Eucalyptus grandis*. O maior valor deve-se ao fato da massa (peso em gramas) das amostras ter sido obtida logo após o tratamento, antes que as amostras atingissem a umidade de equilíbrio.

ESTEVES et al. (2007) encontraram uma perda de massa de 3% para a madeira de *E. globulus* termorretificada em temperaturas de 170 a 200 °C por períodos de 6 a 8 horas.



**Figura 58.** Perda de massa para a madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância.

Após a observação visual das contra-provas que haviam sido retiradas das extremidades das tábuas, contendo as proporções de madeira de cada região, verificou-se que as amostras do grupo IV (CIE) apresentavam maior proporção de madeira da região central. Conforme visto no Capítulo II, a madeira juvenil dependendo da árvore está confinada dos 0 aos 7,0 cm de distância da medula, a madeira de transição dos 7,0 aos 12,0 cm e a partir daí encontra-se a madeira adulta. Desta forma é de se esperar que o grupo IV (CIE) apresente maior perda de massa, visto que a madeira desse grupo apresenta maior proporção de madeira juvenil.

A madeira juvenil quando comparada à madeira adulta apresenta menor densidade, menor resistência, maior teor de umidade, maior quantidade de xilanas e lignina, menor quantidade de celulose e glucomanas, menores comprimento e espessura das paredes das fibras. MOORE & EFFLAND (1974), trabalhando com *Platanus* sp. e *Populus* sp. verificaram que o conteúdo de carboidratos e xilose foram maiores no lenho juvenil e o de glucose menores. Sabe-se que as xiloses são precursoras das hemiceluloses e as glucoses precursoras da celulose e segundo uma escala de classificação da degradação térmica dos

constituintes poliméricos da madeira, a celulose é a mais estável com relação à degradação química, seguida pela lignina e por fim pelas hemiceluloses, que são as mais susceptíveis.

Desta forma, devido ao grupo IV (CIE) apresentar maior proporção de madeira juvenil é bem provável que a maior perda de massa encontrada tenha sido influenciada pela maior perda de água, pela degradação térmica das hemiceluloses e carboidratos, bem como, pela presença de elementos anatômicos com paredes finas, maior diâmetro externo e do lume, os quais contribuem para a maior passagem dos gases, refletindo em melhor eficiência da pirólise dos constituintes químicos. No entanto, estudos sobre a proporção dos constituintes químicos destes polímeros no lenho juvenil e adulto devem ser efetuados.

Uma explicação para a perda de massa é que a água da madeira evapora em temperaturas mais baixas, porém, temperaturas acima de 100 °C favorecem a quebra das ligações existentes entre a água e os grupos hidroxílicos e assim a água se desprende com mais facilidade. No entanto, a quantidade de água na madeira é limitada e sua perda máxima na faixa de 150°C faz com que a madeira perca peso. Se o processo continua (acima de 175°C) os constituintes poliméricos da madeira começam a se degradar, principalmente as hemiceluloses e a perda de peso é acelerada.

ZAMAN et al. (2000), estudando as alterações na massa e na composição química de *Pinus sylvestris* e *Betula pendula* na faixa de 200 a 230°C, verificaram que à medida que se aumenta a temperatura e o tempo de exposição ocorre um aumento na porcentagem de lignina e na perda de massa, bem como, uma redução na porcentagem de carboidratos. Eles também verificaram um aumento na porcentagem de extrativos com o tempo de exposição.

HSU et al. (1988) verificando a influência da temperatura e do tempo de vaporização nos constituintes químicos da madeira de *Populus tremuloides* Michx e *Pinus contorta* Dougl. concluíram que o tempo de vaporização não diminuiu as porcentagem de hemiceluloses enquanto que as porcentagens de lignina e celulose não foram afetadas.

A perda de massa deve ser vista com cuidado, pois afeta as propriedades de resistência da madeira e dependendo da proporção à madeira pode até ser excluída para um uso específico. Por exemplo, em aplicações estruturais onde a aptidão para suportar o peso é importante, a perda de massa pode tornar uma armação ou uma viga estrutural mais frágil. Na produção de papel e celulose a perda de massa diminui o rendimento da polpa celulósica enquanto que na produção de pisos, as peças tornam-se mais sensíveis ao impacto.

### 3.2 Densidade Aparente da Madeira

A Tabela 15 apresenta os valores médios e os coeficientes de variação para a densidade aparente da madeira de *Eucalyptus grandis* antes e após o tratamento de termorretificação. Observa-se que a média geral para a densidade aparente das amostras não termorretificadas foi 0,574 g/cm<sup>3</sup> e das termorretificadas 0,534 g/cm<sup>3</sup>.

Os coeficientes de variação foram altos, demonstrando alta variabilidade entre os valores de densidade dentro do mesmo grupo. Observa-se que os grupos II (IE) e IV (CIE) da madeira termorretificada apresentaram os maiores coeficientes de variação, o qual pode ser atribuído ao efeito diferenciado do tratamento sobre determinadas amostras de madeira e a variabilidade da densidade, que comumente acontece entre as espécies do gênero eucalipto.

Observa-se ainda que as médias da densidade aparente dos grupos I, II, III e IV para a madeira não termorretificada foram 0,606 g/cm<sup>3</sup>, 0,594 g/cm<sup>3</sup>, 0,552 g/cm<sup>3</sup> e 0,546 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Para a madeira termorretificada os valores foram 0,557 g/cm<sup>3</sup>, 0,548 g/cm<sup>3</sup>, 0,512 g/cm<sup>3</sup>, 0,518 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 15).

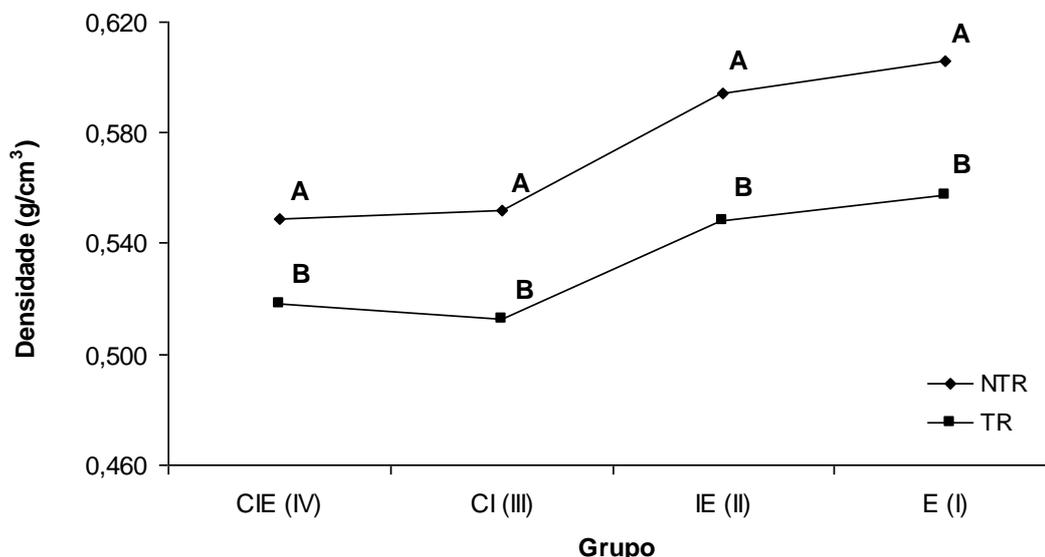
De acordo com a análise de variância ao nível de 5% de significância não houve diferenças entre os valores de densidade aparente da madeira não termorretificada e termorretificada em função dos grupos (Tabela 16 e Anexos 4.2 e 4.3).

Com relação à diferença de densidade, em função do tratamento aplicado à madeira a análise de variância ao nível de 5% de significância mostrou que existem diferenças significativas entre as densidades das amostras termorretificadas e não termorretificadas (Tabela 15 e Anexo 4.4).

A Figura 59 ilustra a variação da densidade aparente em função dos grupos e do tratamento de termorretificação. Observa-se que o tratamento de termorretificação influenciou na redução da densidade aparente da madeira e que esta redução se deve a perda de massa e de volume ocorrido devido à ação do calor.

Este resultado está de acordo com inúmeros estudos realizados sobre a densidade da madeira de amostras termorretificadas. Os trabalhos de KORKUT & GULLER (2008), BRUNETTI et al. (2007), UNSAL & AYRILMIS (2005) e GUNDUZ et al. (2009) mostram que a densidade da madeira e a resistência mecânica (exceto o módulo de elasticidade) decrescem após o tratamento de termorretificação.

GARCIAL et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes para a madeira de *E. grandis* e atribuiu o decréscimo da densidade a perda parcial da água e de possíveis compostos como hemiceluloses (pentoses e hexoses) e extrativos.



**Figura 59.** Densidade aparente da madeira termorretificada (TR) e não termorretificada (NTR) de *Eucalyptus grandis* em função dos grupos I, II, III e IV. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

MOHEBBY & SANAEI (2005) estudando a influência do tratamento hidro-térmico sobre as propriedades físicas de *Fagus orientalis* verificaram que a densidade decresceu com o aumento da temperatura e do tempo de exposição, sendo que o decréscimo está relacionado a pirólise leve e a degradação dos polímeros da parede celular, especialmente das hemiceluloses que acarretam uma perda de massa na madeira. No tratamento hidro-térmico (ciclo de saturação completa da madeira e secagem) além da perda da hemicelulose, forma-se uma lixívia contendo extrativos que contribui ainda mais para a perda de massa. MAYES & OKSANEN (2002) relataram que o tratamento hidro-térmico da madeira de *Pinus taeda* diminuiu sua massa após ciclos de saturação-secagem, sugerindo ser a lixívia de extrativos formados durante o tratamento a principal razão para esta diminuição.

### 3.3 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka perpendicular obtidos para os grupos I (E), II (IE), III (CI) e IV (CIE) da madeira não termorretificada foram 281,80, 242,04, 202,71 e 219,5 Kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Para a madeira termorretificada os valores foram 261,70, 281,31, 233,58 e 247,42 Kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. A média geral para a madeira não termorretificada e termorretificada foram 236,51 kgf/cm<sup>2</sup> e 256,0 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 15).

Os valores de dureza Janka obtidos neste estudo são inferiores aos encontrados por GONÇALES et al. (2006) para madeira não termorretificada de *E. grandis* (331 kgf/cm<sup>2</sup>) e por UNSAL et al. (2003) para *E. camaldulensis* não termorretificado (369,13 kgf/cm<sup>2</sup> e 431,33 kgf/cm<sup>2</sup>) e termorretificado a 180°C (315,09 kgf/cm<sup>2</sup> e 377,0 kgf/cm<sup>2</sup>), na face radial e tangencial, respectivamente.

Com relação aos grupos, verificou-se que ocorrem para a madeira não termorretificada diferenças significativas da dureza Janka entre os grupos (Tabela 15 e Anexo 4.5). O teste de Tukey para comparação entre médias mostrou que os grupos III (CI) e IV (CIE) diferenciam estatisticamente do grupo I (E) e II (IE). Já a madeira termorretificada não apresentou diferença estatística de dureza Janka entre os grupos (Tabela 16 e Anexo 4.6).

Com relação ao tipo de madeira verificou-se que o tratamento de termorretificação não interferiu na dureza Janka da madeira (Tabela 16 e Anexo 4.7).

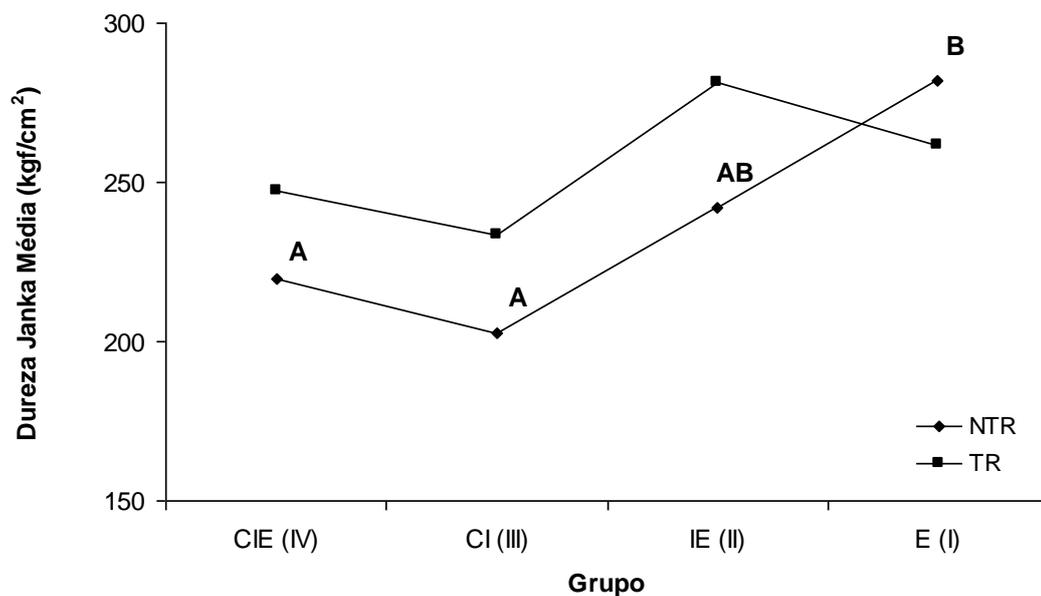
A Figura 60 ilustra a variação da dureza Janka da madeira termorretificada e não termorretificada em função dos grupos e do tratamento de termorretificação.

Os estudos sobre dureza Janka descritos na literatura apresentam resultados divergentes. Por exemplo, UNSAL et al. (2003), KORKUT et al. (2008), KOCAEFE et al. (2008), KORKUT et al. (2008), KORKUT & HIZIROGLU (2008), KORKUT et al. (2009) e GUNDUZ et al. (2009) para as madeiras de *E. camaldulensis*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremuloides*, *Acer trautvetteri*, *Corylus colurna*, *Ostrya carpinifolia* e *Carpinus betulus*, respectivamente, observaram uma redução da dureza da madeira à medida que a temperatura e o tempo de exposição aumentaram. Entretanto, BRUNETTI et al. (2007), KOCAEFE et al. (2008), ASSOCIATION THERMOWOOD (2003), PAVLO & NIEMZ (2003) e PONCSÁK et al. (2006) ao analisarem a dureza de duas espécies de folhosas provenientes de plantios localizados na Itália central, de *Pinus banksianai*, de *Pinus* sp., de *Picea abies* e de *Betula papyrifera*, respectivamente, observaram um aumento da dureza na madeira termorretificada.

UNSALE et al. (2003) verificaram para a madeira de *E. camaldulensis* uma diminuição significativa da dureza Janka na direção longitudinal, transversal tangencial e radial em função do aumento da temperatura e tempo de exposição.

CALONEGO (2009), ao estudar o efeito do tratamento de termorretificação, sob diferentes condições de temperatura (140, 160, 180, 200 e 220°C), na dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis*, observou uma redução significativa da dureza somente para a madeira termorretificada a temperaturas acima de 180°C.

Segundo BODIG & JANE (1993) de modo geral, as propriedades mecânicas decrescem com o aumento da temperatura e tempo de tratamento, com poucas exceções, suas propriedades elásticas e de resistência não são afetadas.



**Figura 60.** Dureza Janka da madeira termorretificada (TR) e não termorretificada (NTR) de *Eucalyptus grandis* em função dos grupos I, II, III e IV. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O aumento não significativo da dureza nas amostras termorretificadas pode ser ter sido influenciado pela contração da madeira ocasionada pela perda de água livre e de adesão no lume e na parede das células durante o tratamento. Sabe-se que a perda de água acarreta maior união das microfibrilas, tornando a madeira mais seca e rígida.

Outra explicação é que apesar da perda de água e de alguns constituintes químicos da parede celular da madeira, o tratamento térmico aplicado não foi suficiente para afetar a degradação de polímeros como a celulose, que é responsável pelas propriedades de resistência da madeira. No entanto, estas explicações são apenas hipotéticas e investigações futuras sobre a estrutura celular e outras propriedades mecânicas da madeira termorretificada devem ser efetuadas.

GRIOUT et al. (2007), estudando o efeito da temperatura sob a porosidade da madeira de espécie de oliveira (*Olea europaea*), verificaram que amostras carbonizadas entre 199° C e 349°C não apresentaram mudanças na sua estrutura anatômica quando a perda de massa foi ao redor de 54%. Porém foi observado que as amostras contraíram 15,21% na direção tangencial e 9% na direção radial.

BOONSTRA et al. (2006), ao estudarem os aspectos físicos e microestruturais da madeira de *Fagus sylvatica* e *Populus sp* termorretificadas verificaram que os elementos de vasos e de parênquima radial sofreram colapso. Porém, para a madeira de *Simaruba amara* o tratamento não afetou sua estrutura, apenas algumas células dos raios sofreram danos. Segundo eles a presença de água livre no lume das células, bem como a maior plasticidade da parede celular ocasionada durante o tratamento hidrotérmico possibilitou o aumento de colapso, especialmente dos elementos de vasos, e o aparecimento de fendas e deformações.

Apesar dos resultados indicarem um aumento da dureza após a termorretificação, as análises estatísticas não revelaram diferenças significativas. Os valores aqui obtidos permitem incluir a madeira termorretificada na classe de dureza média a baixa, indicando que a madeira possui maior facilidade ao corte, porém, apresenta menor capacidade para suportar cargas pontuais e por isso não deve ser empregada como tábuas e tacos para assoalhos, tampas para

mesas, entre outros. No entanto, pode ser empregada na confecção de lambris, molduras e tábuas de forro, entre outras finalidades.

## 4 CONCLUSÕES

1. O tratamento de termorretificação a 180°C ocasionou na madeira de *Eucalyptus grandis* perda de massa média de 13,90%.
2. A densidade aparente da madeira termorretificada e não termorretificada são semelhantes no sentido medula-câmbio.
3. A densidade aparente da madeira diminuiu em função do tratamento de termorretificação, sendo este decréscimo atribuído principalmente à perda de massa, a qual ocorre principalmente devido à perda de água durante o tratamento.
4. Os menores valores de perda de massa e os maiores valores de densidade encontrados nas amostras dos grupos I (externa) e II (intermediária-externa) estão relacionados à presença de madeira adulta.
5. Nas amostras não termorretificadas houve diferenças significativas de dureza Janka em função dos grupos, sendo os menores valores encontrados nos grupos III (central-intermediária) e IV (central-intermediária-externa) e maiores nos grupos I (externa) e II (intermediária-externa).
6. A termorretificação não alterou a propriedade de dureza da madeira.

## CAPITULO IV

### **AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA USINADA DE *Eucalyptus grandis* HILL Ex MAIDEN ANTES E APÓS TRATAMENTO DE TERMORRETIFICAÇÃO**

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar de modo qualitativo e quantitativo a superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* após operações de desempenho, desengrosso, rasgo na furadeira horizontal, furação, furação para dobradiça e lixamento com lixas de granulometria 80 e 100. Para isso, seis árvores provenientes de plantios comerciais pertencentes à empresa QUINVALE Florestal Ltda foram abatidas. De cada árvore foram retiradas três toras a partir do DAP, com 2,40 m de comprimento, as quais foram encaminhadas para a serraria LPZ Artefatos de Madeira e Serviços Ltda, localizada em Pirai-RJ, para medição e desdobro. Em seguida, os topos das toras foram pintados com três diferentes cores para definir regiões distintas: uma central (C), uma intermediária (I) e uma externa (E). Posteriormente as toras foram desdobradas em tábuas com o auxílio de uma serra de fita simples. Essas tábuas tiveram suas dimensões reduzidas, gerando amostras de 125 x 25 x 500 mm, as quais foram classificadas em quatro grupos, de acordo com as três regiões. As amostras do grupo I, II, III e IV possuíam madeira das regiões externa (E), intermediária-externa (IE), central-intermediária (CI) e central-intermediária-externa (CIE) das toras, respectivamente. De cada grupo foram selecionadas vinte e seis amostras, sendo treze não termorretificadas e treze termorretificadas. Para o tratamento de termorretificação adotou-se um programa de seis horas e trinta minutos e temperatura máxima de 190°C. Na avaliação qualitativa dos defeitos, a análise de variância mostrou diferenças entre os grupos, ao nível de 5% de significância, para o teste de furação para dobradiça da madeira não termorretificada, lixamento da madeira não termorretificada e termorretificada com lixa de granulometria 80 e lixamento da madeira termorretificada com lixa de granulometria 100. Os resultados mostraram que a madeira apresentou um bom comportamento durante os teste de usinagem, obtendo notas 1 e 2 (excelente e bom), exceto para os testes de furação para a dobradiça no furo passante e furação com broca de 12, 8 e 6 mm, pois alcançaram notas entre 2 e 4 (bom, regular e ruim). Em geral as amostras contendo madeira da região externa (grupos I e II), apresentaram menos defeitos do que as amostras contendo madeira da região interna (grupos III e IV); houve maior incidência de defeitos nas amostras não termorretificadas; o tratamento de termorretificação aumentou o defeito grã arrancada e minimizou o problema de grã felpulda e grã levantada. Na avaliação da rugosidade houve diferenças significativas de rugosidade em função do sentido de usinagem, granulometria da lixa e tratamento de termorretificação.

**Palavras-chaves:** usinagem da madeira, avaliação da superfície, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate qualitatively and quantitatively the wood surface of *Eucalyptus grandis* after operations of jointing, planing, tear in horizontal drilling, drilling, drilling hinges and sanding with sandpaper sizes of 80 and 100. Therefore, six trees of *Eucalyptus grandis* were killed from commercial plantations of the QUINVALE Florestal Ltda. From each tree, were removed three logs of 2.40 m length from DBH, which were sent to Artefatos de Madeira e Serviços Ltda sawmill, located in Piraí - RJ, for their measurements and processing. Then, the tops of the logs were painted with three different colors to define three distinct regions: central (C), intermediate (I) and external (E) and the logs were processed into boards by using of a simple band saw. From these boards were obtained samples of 125 x 25 x 500 mm, which were classified into four groups according to the three regions. Samples of groups I, II, III and IV had wood from external (E), intermediate-external (IE), central-intermediate (CI) and central-internal-external (CIE) regions of logs, respectively. From each group were selected twenty-six samples, with thirteen heat-treated and thirteen untreated. For the heat-treatment was used a program of six hours and thirty minutes at a maximum temperature of 190°C. In the qualitative evaluation, the analysis of variance showed differences between groups, at 5% probability level, for drilling hinge tests of untreated wood, sanding with sandpaper size 80 of heat-treated and untreated wood and sandpaper size 100 for heat-treated wood. The results showed a good behavior of wood during the machining tests, getting notes 1 and 2 (excellent and good), except for drilling hinge test in the bolt hole and drilling with 12, 8, 6 mm, achieving grades between 2 and 4 (good, regular and bad). In general, samples from external region (groups I and II) had fewer defects than samples from internal region (groups III and IV) with higher incidence of defects in the untreated wood; the heat treatment increased the defect torn grain and minimized the problems of fuzzy and raised grains. For the quantitative evaluation, the analysis of variance showed a significant difference, at 5% probability level, at roughness as a function of the machining direction, depending on the sandpaper size and heat-treatment.

Keywords: wood machining, surface roughness, *Eucalyptus grandis*.

## INTRODUÇÃO

O termo trabalhabilidade pode ser definido como o grau de facilidade em se processar a madeira com ferramentas manuais e/ou mecânicas. Como a madeira apresenta propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas diferentes entre espécies, entre árvores e dentro de árvores da mesma espécie, na hora de se avaliar a trabalhabilidade da madeira devemos considerar que a madeira pode apresentar comportamento diferente durante as operações de aplainamento, furação, lixamento, molduramento e torneamento.

A utilização da madeira de eucalipto por serrarias, movelarias, marcenaria e laminadoras têm sido pequena devido à falta de conhecimento sobre o seu comportamento durante as operações usinagem.

CASTRO SILVA (2001) destaca que existe uma crença arraigada de que a madeira de eucalipto não oferece condições para ser aproveitada como madeira serrada, produção de lâminas e produtos acabados. Acreditam que as peças acabadas sofrem rachaduras e empenamentos. No entanto, a maioria das espécies nativas também apresenta os mesmos problemas durante seu processamento e usinabilidade.

Para usar uma madeira é preciso saber se a mesma apresenta características apropriadas para aquele uso. Por exemplo, uma madeira utilizada na produção de móveis precisa ter boa aparência, resistência e estabilidade dimensional, ser de fácil trabalhabilidade e de fácil adaptação aos processos de colagem e acabamento superficial.

De acordo com SERRANO (2000), o entendimento das características de trabalhabilidade da madeira permitirá conhecer a qualidade superficial que se obterá no final das operações de usinagem.

O interesse daqueles que trabalham a madeira é otimizar a produção e diminuir custos e desperdícios durante o seu processo de beneficiamento. Pode-se considerar que na preparação preliminar do material, o uso de ferramentas aperfeiçoadas, velocidades de corte adequadas são apenas exemplos do grande número de parâmetros que devem ser considerados para obtenção de uma boa qualidade da superfície usinada.

SILVA (2002) destaca que a qualidade final de uma superfície usinada depende de um grande número de variáveis que podem ser inerentes à madeira, como: dureza, abrasividade, orientação da grã, resistência mecânicas, entre outros, inerentes aos parâmetros de corte, como: altura de corte, profundidade de corte, espessura do cavaco, planos de corte, velocidade de corte e velocidade de alimentação e inerentes às ferramentas de corte, tais como: ângulo de ataque, ângulo de cunha, ângulo de incidência ou ângulo livre e qualidade do fio da ferramenta. Também é importante considerar a idade da árvore, procedências e local de crescimento (MONTEIRO & LIZANO, 2008).

Com base neste contexto, inúmeras estratégias tem sido utilizadas, como por exemplo, aquelas focalizadas na ferramenta de corte, no sentido de usinagem, nas velocidades de alimentação, nas velocidades de corte, entre outros parâmetros de usinagem. No entanto, outras variáveis podem ser estudadas, principalmente aquelas relacionadas à estrutura da madeira, ao tipo de tratamento dispensado a madeira, já que muitas falhas ocorridas nas superfícies são geradas por diferentes dimensões, formas, orientação, distribuição e resistência dos elementos celulares.

Quanto à estratégia focalizada no sentido de usinagem MADEIRA & CIA (1995) destacam que a usinagem feita a favor das fibras oferece algumas vantagens, pois diminui as forças de corte e velocidades de avanço e produz superfícies mais lisas. No corte longitudinal

contra a fibra ocorre o pré-rachamento diante do fio da ferramenta de corte. O beneficiamento é dificultado devido ao perigo do lascamento.

Quanto ao tratamento dispensado a madeira, o trabalho realizado por DE MOURA (2008) mostra que o tratamento de termorretificação melhorou a qualidade das superfícies usinadas de *Eucalyptus grandis*.

Em relação à estrutura madeira, sabe-se que em qualquer operação de usinagem da madeira as fibras são geralmente arrancadas e raramente cortadas e, portanto, este efeito pode ser explicado pela grande dimensão dos gumes das ferramentas de corte em relação às dimensões das fibras, fazendo com que as fibras sejam raspadas ou arrancadas e não cortadas; que a presença de sílica, isto é, cristais de óxido de silício conferem certa resistência à madeira, mas possui efeito negativo quanto ao desgaste das ferramentas de corte e que madeiras de grã irregular tendem a apresentar superfícies ásperas nas regiões nas quais a ferramenta corta em sentido contrário à direção normal dos tecidos (SILVA, 2002).

SILVA (2007), ao estudar o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* durante as operações de desempenho, desengrosso, fresamento axial e transversal, moldura axial parada e de topo, perfilagem axial sinuosa, rasgo na furadeira horizontal, furação para cavilha e furação para dobradiça concluiu que não existe um padrão único de variação medula-casca para a qualidade da das superfícies. No entanto, em algumas operações, a região externa apresentou melhor qualidade da superfície.

É sabido que quando se executa um trabalho de usinagem da madeira, isto é, aplainamento, furação, lixamento, molduramento, entre outras operações, o material que está sendo processado pode apresentar falhas em sua superfície. Essas falhas são observadas e mensuradas por meio de notas atribuídas pelo avaliador ou por meio de medição direta feita por dispositivos acoplados às máquinas para avaliação da rugosidade, como por exemplo: por meio de raio laser, rugosímetro de contato, entre outros equipamentos capazes de captar os dados e confeccionar perfis de rugosidade da superfície.

A avaliação qualitativa da superfície usinada é realizada a partir dos defeitos que surgem na madeira após cada operação de usinagem e tem como base a norma padrão desenvolvida pela American Society for Testing and Materials conhecida como ASTM D – 1666/87. Essa norma inclui procedimentos para condução dos testes de aplainamento, furação, molduramento, torneamento e lixamento, bem como, os métodos de avaliação e interpretação dos resultados após as operações de usinagem. Neste método a avaliação é feita através de notas dadas aos defeitos visualizados na superfície da peça de madeira após execução de cada teste.

No entanto, outros métodos de avaliação qualitativa, tais como os descritos por GOLI et al. (2004) e PETROCHI (1987) podem ser utilizados, visto que acrescentam melhorias e adaptações feitas à norma ASTM D-1666/87. Inúmeros trabalhos tais como os realizados por NEGRI & GOLI (2001), GOLI et al. (2001), GOLI et al (1997), SILVA (2002), CASTRO SILVA (2002), SOUZA (2007), LOPES (2007), MONTERO & LIZANO (2008), entre outros utilizaram essa norma para avaliar a qualidade das superfícies usinadas de diferentes espécies de madeira.

Para uma avaliação mais precisa do estado da superfície usinada, várias metodologias tem sido empregadas. Dentre elas pode-se destacar aquelas baseadas em rugosímetros. Os primeiros estudos relativos à medição de superfície iniciaram entre as décadas de 20 e 30 (SHAFFER, 1998; STOUT, 1997 citado por BET, 1999). A partir daí se desenvolveram diversos equipamentos e métodos de medição de estado de superfície (GUIMARÃES NETO & BONDUELLE, 2003).

Os primeiramente rugosímetros foram construídos para medição do estado da superfície de metais, que são materiais homogêneos tanto em constituição, quanto em organização molecular. Posteriormente, foram adaptados para serem utilizados em madeira,

visto que a rugosidade da superfície da madeira é dependente não apenas do processamento, mas também da estrutura celular, que é bastante complexa e varia de espécie para espécie e dentro da espécie.

KILIC et al. (2006) destacam que a rugosidade da superfície é afetada por diversos fatores, tais como, variação na largura dos anéis de crescimento, densidade da madeira, estrutura celular, porcentagem de lenho inicial e tardio, o tipo de equipamento e matéria-prima utilizada ou por uma combinação de todos esses parâmetros.

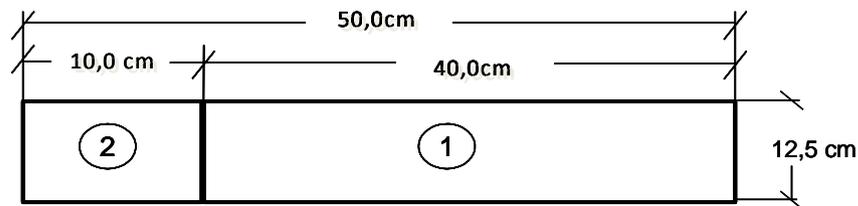
Considerando a viabilidade de utilização do *Eucalyptus grandis* para produção de móveis, portas, janelas, aduelas, pisos e forros este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das superfícies usinadas após operações de desempenho, desengrosso, rasgo na furadeira horizontal, furação, furação para dobradiça e lixamento com lixa de granulometria 80 e 100, por meio da avaliação qualitativa e quantitativa.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Preparo das Amostras

Após o tratamento térmico (190 °C por 6 horas e 30 minutos) e retirada dos corpos-de-prova utilizados na determinação da perda de massa, dureza Janka e densidade da aparente da madeira de *E. grandis*, as amostras resultantes, pertencentes ao grupo I, II, III e IV foram encaminhadas à marcenaria do DPF/IF/UFRRJ para desempenho dos cantos e faces e ajuste de seu comprimento em serra circular. Cabe salientar que o desempenho realizado nesta fase representou apenas o preparo das peças.

A quantidade e dimensão dos corpos-de-prova adotada neste trabalho basearam-se nos estudos feitos por CANDELARIA & CASTILLO (1997), ASTM D 1666/87 e IBAMA (1997). Assim foram usados vinte seis corpos-de-prova por grupo, com dimensões de 125 x 500 x 25 mm (Figura 61), sendo, treze não termorretificados e treze termorretificados.



**Figura 61.** Dimensionamento dos corpos-de-prova utilizados nos testes de usinagem. 1) Amostra para teste de aplainamento e furação. 2) Amostra para teste de lixamento.

Baseando-se na norma ASTM D 1666/87 foram adaptados e executados os testes de usinagem, englobando-se as operações de desempenho, desengrosso, lixamento, rasgo na furadeira horizontal, furação com broca de 12, 8 e 6 mm e furação para dobradiça, visando utilizar a madeira, para confecção de produtos de maior valor agregado (PMVAs).

Para evitar grandes variações causadas pela ação do operador foram executados testes preliminares antes de cada operação. Esta ação objetivou estabelecer velocidades de avanço padronizadas para todas as peças. Para a confirmação dessa similaridade foram cronometrados os tempos durante os deslocamentos de cada operação de usinagem, por peça. Posteriormente, foram verificadas as rotações dos eixos do motor e por meio de um paquímetro digital mediram-se os diâmetros da polia do motor e da polia do eixo porta-ferramenta. Os valores obtidos foram utilizados no cálculo da frequência de rotação do eixo porta-ferramenta para cada operação (Equações 24 e 25).

$$RPM_1 \times \varnothing Polia_1 = RPM_2 \times \varnothing Polia_2$$

**Equação 24**

$$RPM_2 = \frac{RPM_1 \times \varnothing Polia_1}{\varnothing Polia_2}$$

**Equação 25**

Onde:

$RPM_1$  = frequência da rotação do motor n ( $\text{min}^{-1}$ );

$\varnothing Polia_1$  = Diâmetro da polia do motor (cm);

RPM<sub>2</sub> = frequência da rotação do eixo porta-ferramenta n (min<sup>-1</sup>);  
 Ø Polia<sub>2</sub> = Diâmetro da polia da ferramenta (cm);

Na Tabela 17 podem ser observados esses parâmetros de usinagem e também as respectivas velocidades de corte, calculadas através da Equação 26.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times RPM_2}{60000}$$

**Equação 26**

Onde:

V<sub>c</sub> = velocidade de corte (m/seg);

D = diâmetro da ferramenta (mm);

RPM<sub>2</sub> = frequência da rotação do eixo porta-ferramenta n (min<sup>-1</sup>);

A partir dos tempos cronometrados, dos deslocamentos de usinagem da peça por operação e dos dados da Tabela 17 foram calculados os valores médios das velocidades de avanço e avanço por dente, através das equações 27 e 28, respectivamente.

$$V_f = \frac{D_u}{t}$$

**Equação 27**

$$f_z = \frac{V_f \times 1000}{n \times z}$$

**Equação 28**

Onde:

V<sub>f</sub> = velocidade de avanço da peça, em m/min;

f<sub>z</sub> = avanço por dente, em mm;

D<sub>u</sub> = deslocamento de usinagem, em m;

t = tempo necessário para executar o deslocamento de usinagem, em min;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min<sup>-1</sup>;

z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

**Tabela 17.** Parâmetros utilizados na execução dos testes de usinagem, por operação.

Operação	Z (nº)	RPM n (min <sup>-1</sup> )	D (mm)	V <sub>c</sub> (m/s)	V <sub>f</sub> (m/min)	F <sub>z</sub>
Desempeno	2	3400	100	18,0	15	2,2
Desengrosso	2	2600	120	17,0	8	1,5
Rasgo	2	3500	8	1,4	Manual	-
Furação normal	2	3100	6; 8 e 12	0,9; 1,2 e 1,95	Manual	-
Furação dobradiça	2	3100	26	4,2	Manual	-
Lixamento	-	600	250	7,8		

Z = Número de gumes da ferramenta de corte, RPM = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, D= Diâmetro da ferramenta, V<sub>c</sub> = velocidade de corte, V<sub>f</sub> = velocidade de avanço e f<sub>z</sub> = avanço por dente.

As ferramentas de corte utilizadas nas operações foram fresas, brocas e lixas, todas novas e para evitar a influência do desgaste dos gumes das ferramentas na qualidade da usinagem misturaram-se as cento e quatro amostras de madeira antes da execução de cada teste.

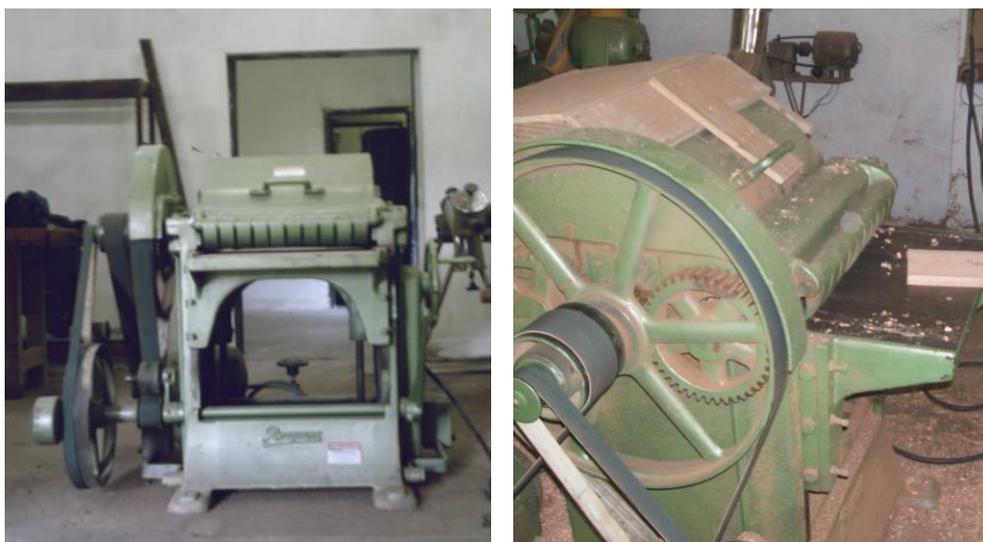
### 2.1.1 Aplainamento (Desempeno e Desengrosso)

O teste de desempeno foi executado na parte superior da amostra de madeira, com auxílio de uma plaina desempenadeira INVICTA de um eixo, com duas facas e de rotação igual a 3400 rpm (Figura 62). Para este teste adotaram-se profundidade de corte de 1,6 mm, velocidade de avanço de 15 m/min, Isto é, aproximadamente 10 marcas por polegada, ângulo de ataque da faca de 15° e ângulo de folga de 16°. O desempeno foi realizado nos dois sentidos: a favor e contra a grã.



**Figura 62.** Equipamento de desempeno.

O desengrosso foi executado na parte inferior da amostra de madeira, com auxílio de uma plaina desengrossadeira RAIMANN, equipada de um eixo porta-ferramenta, duas facas planas e com rotação igual a 2600 rpm (Figura 63). Os parâmetros de usinagem utilizados foram velocidade de avanço de 8 m/min, profundidade de corte de 1,6 mm e ângulo de ataque da ferramenta de 25°.



**Figura 63.** Equipamento de desengrosso.

Para diferenciar a face do desempeno do desengrosso utilizou-se dos sentidos de usinagem nos corpos-de-prova. No desempeno os sentidos a favor e contra foram marcados

com pilot vermelho e no de desengrosso o sentido único de usinagem foi marcado com pilot verde.

### 2.1.2 Rasgo na furadeira horizontal

Para este teste utilizou-se uma furadeira horizontal RAIMANN de movimentos manuais (Figura 64), equipada com broca helicoidal de aço rápido (HSS), possuindo diâmetro de 8,0 mm e corte à direita. Os rasgos foram executados na extremidade lateral do corpo-de-prova e de acordo com os parâmetros descritos na Tabela 17.



**Figura 64.** Furadeira horizontal utilizada na execução dos rasgos.

### 2.1.3 Furação

Para a operação em questão foi utilizada uma furadeira vertical de coluna SCHULZ PRÁTICA, modelo FSB 16P (Figura 65), equipada com brocas de ácido rápido (HSS), de canais helicoidais à direita, com diâmetros de 6 e 8 mm e broca de ácido carbono (HSS), com canais helicoidais, corte à direita e diâmetro de 12mm. Foram realizados dois furos por broca conforme parâmetros de usinagem listados na Tabela 17 a uma distância mínima igual ou maior a 25 mm das bordas e entre furos.



**Figura 65.** Furadeira vertical de coluna equipada com broca helicoidal.

### 2.1.4 Furação para dobradiça

Para este teste utilizou-se a mesma furadeira vertical, equipada com broca chata de aço rápido (HSS), de 26,0 mm de diâmetro (Figura 66). Foram confeccionados dois furos, sendo um passante e outro não passante, conforme parâmetros de usinagem descritos na Tabela 17.

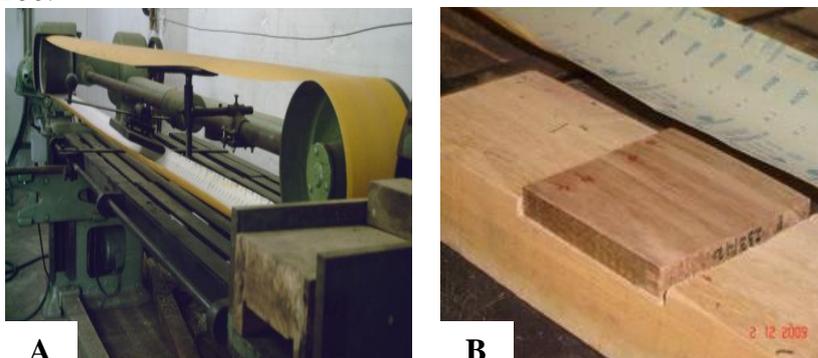


**Figura 66.** Furadeira vertical de coluna equipada com broca chata.

### 2.1.5 Lixamento

Para esta operação utilizou-se uma lixadeira RAIMANN, modelo SUJ, possuindo 3,5m entre a rodas motriz e a roda guia, sobre as quais montou-se uma lixa de cinta de pano da CARBORUNDUM - CARBAMAPAN 34, de 15,0 cm de largura e 6,80 m de comprimento, (Figura 67). Para que o lixamento não interferisse nas análises das superfícies anteriormente desempenadas, desgrossadas e furadas optou-se por cortar uma das extremidades das amostras usadas. Essa operação deu origem a corpos-de-prova de 10,0 x 12,5 x 2,5 cm que foram usados no teste de lixamento. Para facilitar o lixamento dos corpos-de-prova foi produzido um gabarito conforme mostra a Figura 67 B.

O lixamento foi executado paralelo ao eixo longitudinal, nas faces que haviam sido anteriormente desempenadas e desgrossadas, aplicando-se um programa de lixamento no qual se utilizou primeiramente uma lixa de granulometria 80 e em seguida uma de granulometria 100.



**Figura 67.** A) Lixadeira utilizada no teste. B) Gabarito com a amostra de madeira.

## 2.2 Avaliação das Operações de Usinagem

Para avaliar a superfície das amostras de madeira usinadas utilizou-se critérios subjetivo e objetivo. O critério subjetivo baseou-se na sensibilidade humana e no ponto de

vista particular do observador. Nesta avaliação fez-se uma inspeção visual da superfície da peça e verificaram-se os tipos de defeitos ocorridos durante a operação de desempenho, desengrosso, lixamento, rasgo na furadeira horizontal, furação com broca de 12, 8 e 6 mm e furação para dobradiça. As peças inspecionadas foram classificadas em função da presença ou ausência de arrancamento das fibras, superfície felpuda, isto é arrepimento das fibras, levantamento das fibras e grã comprimida.

O critério objetivo avalia o estado da superfície, a partir da grandeza física, textura ou ondulações. Neste trabalho, utilizou-se para medição da superfície topográfica da madeira um rugosímetro portátil de contato (Figura 68), onde as superfícies foram avaliadas nos sentidos: paralelo e perpendicular à grã da madeira.

Na avaliação qualitativa, o delineamento experimental utilizado seguiu o modelo inteiramente casualizado, considerando uma leitura por amostra. Desta forma, para cada tipo de madeira, isto é, termorretificada e não termorretificada, totalizou-se treze repetições por grupo, sendo o grupo IV composto por madeira provenientes das regiões central-intermediária-externa (CIE), o grupo III por madeira da regiões central-intermediária (CI/I), o grupo II por madeira das regiões intermediária-externa (IE) e o grupo I por madeira da região externa (E).

Na avaliação quantitativa da superfície da madeira consideraram-se duas leituras por amostra. Desta forma, para cada tipo de madeira, isto é, termorretificada e não termorretificada totalizou-se vinte seis repetições por grupo CIE, CI/I, IE e E.

### 2.2.1 Avaliação qualitativa

A avaliação qualitativa baseou-se na norma ASTM D-1666/87 e nos estudos de GOLI et al (1997), para determinar a quantidade de peças com defeitos, a intensidade e os tipos de defeitos ocorridos nas operações de aplainamento, lixamento e furação. A Tabela 18 mostra o sistema de classificação empregado para a avaliação qualitativa da superfície usinada.

**Tabela 18.** Sistema de avaliação da qualidade da superfície (ASTM D-1666/87).

<b>Nota</b>	<b>Grau</b>	<b>Significado</b>
1	Ausência de defeitos	Excelente
2	Superfície da peça usinada afetada em menos de 50% pelo defeito	Bom
3	Superfície da peça usinada afetada em 50% pelo defeito	Regular
4	Superfície da peça usinada afetada em mais de 50% pelo defeito	Ruim
5	Superfície da peça usinada afetada em 100% pelo defeito	Muito ruim

#### a) Aplainamento

As amostras de madeira aplainadas foram classificadas quanto aos defeitos de grã arrancada, grã felpuda ou peluciosa e grã comprimida. Foram atribuídas notas de 1 a 5, em função da rugosidade da superfície aplainada, sendo:

1. Superfície isenta de quaisquer defeitos;
2. Presença de arrepimento leve a médio;
3. Presença de arrepimento forte, arrancamento leve;
4. Presença de arrepimento forte e arrancamento leve a médio;
5. Presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepimento.

### b) Rasgo na furadeira horizontal

Para avaliação qualitativa da superfície dos rasgos, em madeira de *E. grandis* foram atribuídas notas de 1 a 5 em função do levantamento e arrancamento das fibras nas bordas do rasgo, sendo:

1. Ausência de levantamento e arrancamento de fibras em qualquer das quatro bordas e no fundo;
2. Presença de levantamento e arrancamento leve em uma ou duas faces quaisquer;
3. Presença de levantamento e arrancamento forte em uma face e leve em outra;
4. Presença de levantamento e arrancamento forte em duas a quatro faces quaisquer, porém, o fundo isento de levantamento e arrancamento;
5. Presença de levantamento e arrancamento forte nas quatro faces e no fundo.

### c) Furação

A qualificação da furação foi diferente das anteriores, pois após observação do furo na face de saída da broca, avaliaram-se os levantamentos e arrancamentos das fibras. Então, no caso do defeito arrancamento das fibras foram medidos os comprimentos máximos e para os fatores isolados profundidade máxima e volume total foi atribuído pesos 1, se leve; 2, se médio ou 3, se forte e os valores obtidos foram utilizado para o cálculo do índice de arrancamentos, em milímetros, conforme Equação 29, ponderando-se em relação aos pesos obtidos. No caso do levantamento das fibras foram atribuídas notas de 1 a 5 em função de seu levantamento nas bordas do furo.

$$Ia = \frac{C * (Pa + Pv + Pp)}{9}$$

**Equação 29**

Onde:

Ia = índice de arrancamento das fibras, em mm;

C = comprimento máximo do arrancamento de fibras, em mm;

Pa = peso atribuído a área de arrancamento das fibras, adimensional;

Pv = peso atribuído ao volume de arrancamento das fibras, adimensional;

Pp = peso atribuído à profundidade do arrancamento das fibras, adimensional.

Posteriormente, os valores obtidos para o índice de arrancamento foram ordenados em classes, atribuindo-se notas de 1 a 5, de acordo com os critérios de classificação descritos na Tabela 19.

**Tabela 19.** Critério de classificação dos índices de arrancamento.

Índice de Arrancamento	NOTA
0	1
0,1 – 0,4	2
0,5 – 0,7	3
0,8 – 1,0	4
> 1,0	5

Para a classificação qualitativa dos arrancamentos e levantamento das fibras nas bordas dos furos, utilizou-se o seguinte critério de avaliação, notas:

1. Ausência de quaisquer defeitos e arestas com contorno perfeito em qualquer dos dois furos;
2. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento leve de fibras, ou seja, 25% do furo comprometido pelo defeito;
3. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento médio em dois furos, ou seja, 50% do furo comprometido pelo defeito;
4. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento médio a forte, ou seja, 75% do furo comprometido pelo defeito;
5. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento forte nos dois furos, ou seja, mais de 100% do furo comprometido pelo defeito.

#### **d) Furação para dobradiça**

Na furação para dobradiça, a superfície dos furos passante e não passante foram avaliadas qualitativamente, sendo atribuídas notas de 1 a 5, para os defeitos de grã felpuda, levantamento e arrancamento das fibras nas bordas e no interior do furo. Para os defeitos arrancamento das fibras, após observação visual da face de saída da broca no furo passante, mediu-se na direção axial, os comprimentos máximos dos arrancamentos, sendo atribuídos pesos de 1, se leve; 2, se médio ou 3, se forte, para os fatores isolados, volume total e profundidade máxima. Cada amostra recebeu, portanto, três pesos, que podiam ser iguais ou diferentes. Finalmente, os valores de comprimento, volume e profundidade foram utilizados para o cálculo do índice de arrancamentos, em milímetros, conforme Equação 29.

Os critérios de classificação das notas para os índices de arrancamentos, grã felpuda e levantamento das fibras são os mesmos utilizados no item anterior, sendo por nota:

1. Ausência de quaisquer defeitos e arestas com contorno perfeito;
2. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento leve de fibras em apenas um dos furos;
3. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento leve em dois furos;
4. Presença de arrancamento, arpejamento e levantamento forte em apenas um furo;
5. Presença de arrancamento e levantamento forte nos dois furos.

#### **e) Lixamento**

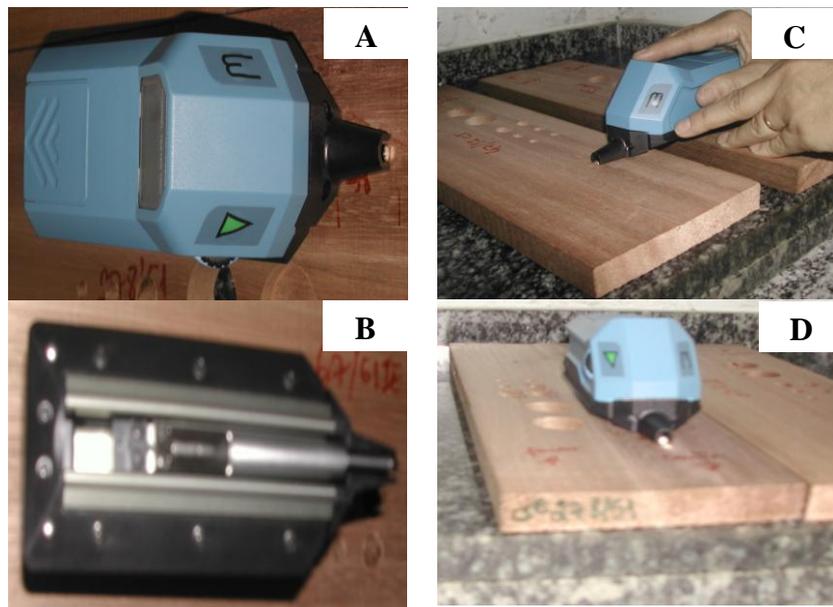
O lixamento foi avaliado qualitativamente na superfície lixada com lixa de granulometria 80 e 100, para os defeitos grã felpuda e grã comprimida, por meio de notas de 1 a 5, sendo:

1. Ausência de quaisquer defeitos;
2. Presença de arpejamento e esmagamento leve das fibras;
3. Presença de arpejamento e esmagamento médio das fibras;
4. Presença de arpejamento e esmagamento médio a forte;
5. Presença de arpejamento e esmagamento forte das fibras.

### **2.2.2 Avaliação quantitativa**

A avaliação quantitativa foi realizada através de teste de rugosidade das superfícies, feito com auxílio de um rugosímetro portátil de contato (Figura 68), marca Hommel T 500. Nesta avaliação à rugosidade média ( $R_a$ ) foi medida de acordo com a norma ISO 4287-1 (1984), paralelamente e perpendicularmente a grã nas amostras que haviam sido desempenadas (a favor e contra a grã) e paralelamente a grã nas amostras que haviam sido

sucessivamente, desempenadas e lixadas com lixa de granulometria 80 e 100 (a favor da grã e contra a grã).



**Figura 68.** A) Parte superior do rugosímetro portátil. B) Parte inferior do rugosímetro portátil. C) Mensuração perpendicular da rugosidade. D) Mensuração paralela da rugosidade.

### 2.3 Análises Estatísticas

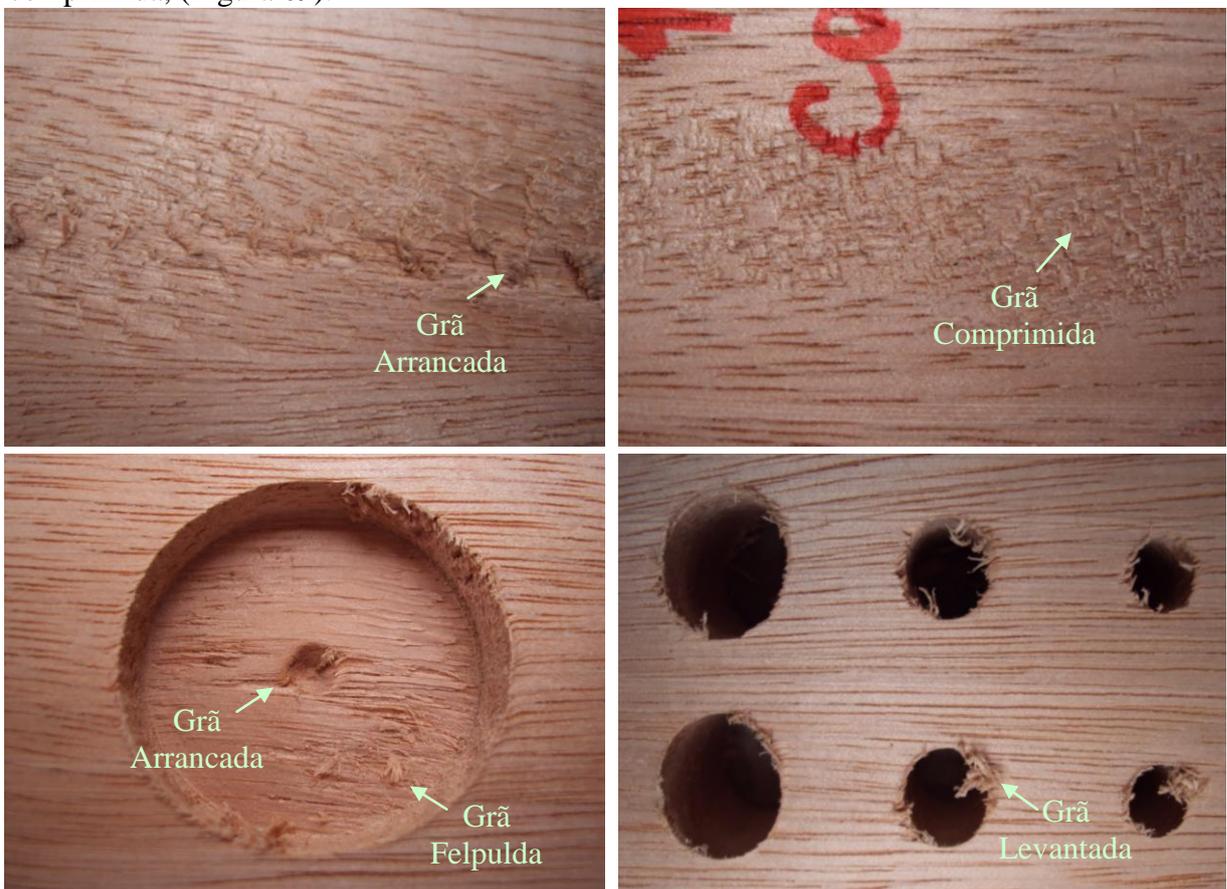
Para a análise dos dados foi utilizado o software “Statistic 6.0”, sendo utilizado para comparação entre as médias dos tratamentos, a análise de variância, a 5% de significância. Nas avaliações onde hipótese nula foi rejeitada, as médias foram comparadas também a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação Qualitativa

Os defeitos ocorridos durante os testes de desempenho, desengrosso, rasgo, furação e lixamento, bem como, o quantitativo, a porcentagem das peças por nota, o somatório das peças que obtiveram nota 1 e 2, o somatório das peças que obtiveram notas 3, 4 e 5, o grupo aos quais pertencem às amostras de madeira (I, II, III e IV), a submissão ou não submissão da madeira ao tratamento de termorreificação e o sentido de usinagem, isto é, a favor ou contra a grã, encontram-se descritos nos anexos 8.1 a 8.10.

Os defeitos mais observados durante as operações de aplainamento, furação e lixamento foram: grã arrancada, grã felpuda ou lanosa, levantamento das fibras e grã comprimida, (Figura 69).



**Figura 69.** Defeitos encontrados após o término das operações de usinagem. Laboratório de usinagem da madeira. UFRRJ.

Na avaliação da qualidade da superfície foram consideradas aprovadas para serem utilizadas em produtos onde a qualidade da superfície é primordial, como móveis, pisos, portas, janelas, batentes, entre outros, as peças que obtiverem notas 1 – ausência de defeitos e 2 – peças com menos de 50% da superfície com defeitos, recebendo conceitos excelente e bom, respectivamente. As peças que receberam notas de 3 a 5 foram consideradas aprovadas para serem utilizadas em produtos, que não exigem uma textura muito fina, como por

exemplo, caibros, tábuas e portões (CASTRO SILVA, 2002, SILVA, et al., 2009 e SOUZA, 2007).

Como os defeitos nem sempre se assemelhavam em todas as operações, optou-se por avaliar cada operação separadamente.

### 3.1.1 Aplainamento

#### a) Desempeno

A Tabela 20 fornece as médias das notas dos defeitos ocorridos nas peças desempenadas por grupo, pela submissão ou não da madeira ao tratamento de termorreificação e sentido de usinagem. Observa-se que as notas atribuídas para o defeito de grã arrancada, grã felpulda e grã comprimida, para a madeira não termorreificada e termorreificada, a favor ou contra a grã receberam notas inferiores a 2, ou seja, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta bom desempenho frente a essa operação.

Nas amostras de madeira não termorreificada, a média geral das notas para os defeitos ocorridos durante a operação de desempenho a favor da grã foi menor do que aquelas obtidas no desempenho contra a grã, demonstrando que a usinagem a favor da grã acarreta menos defeitos. Na madeira termorreificada, o resultado foi semelhante para o defeito grã arrancada.

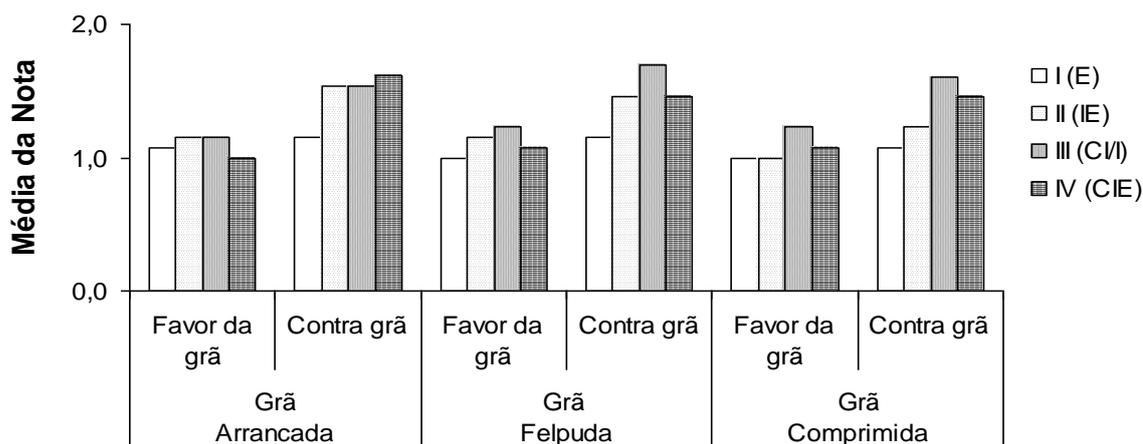
**Tabela 20.** Valores médios das notas para a operação de desempenho. UFRRJ, 2009.

DESEMPENO												
Grupo	Grã Arrancada				Grã Felpulda				Grã Comprimida			
	NTR	TR	NTR	TR	NTR	TR	NTR	TR	NTR	TR	NTR	TR
	FG	FG	CG	CG	FG	FG	CG	CG	FG	FG	CG	CG
I (E)	1,1	1,0	1,2	1,5	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0
II (IE)	1,2	1,1	1,5	1,7	1,2	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0
III (CI/I)	1,2	1,1	1,5	1,8	1,2	1,0	1,7	1,0	1,2	1,0	1,6	1,4
IV (CIE)	1,0	1,1	1,6	1,7	1,1	1,0	1,5	1,0	1,1	1,0	1,5	1,0
<b>Média Geral</b>	<b>1,09</b>	<b>1,06</b>	<b>1,46</b>	<b>1,69</b>	<b>1,12</b>	<b>1,0</b>	<b>1,44</b>	<b>1,0</b>	<b>1,07</b>	<b>1,0</b>	<b>1,34</b>	<b>1,1</b>

NTR = não termorreificada, TR= termorreificada, FG = favor da grã, CG = Contra a grã.

Para a madeira não termorreificada não houve diferenças significativas entre os grupos, para os defeitos ocorridos durante a operação de desempenho, indicando que as amostras dos grupos I (E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE) apresentaram comportamento semelhantes frente a essa operação (Anexo 5.1).

Na Figura 70 observa-se a tendência de variação dos defeitos entre os grupos para a madeira não termorreificada. Observa-se ainda que a posição de retirada das amostras de madeira, não interferiu na incidência de defeitos entre os grupos, sendo o grupo I, contendo madeira da região externa (E), o grupo II, contendo madeira das regiões intermediária-externa (IE), o grupo III, contendo madeira das regiões central-intermediária (CI/I) e o grupo IV, contendo madeira das regiões central-intermediária-externa (CIE) semelhantes entre si.

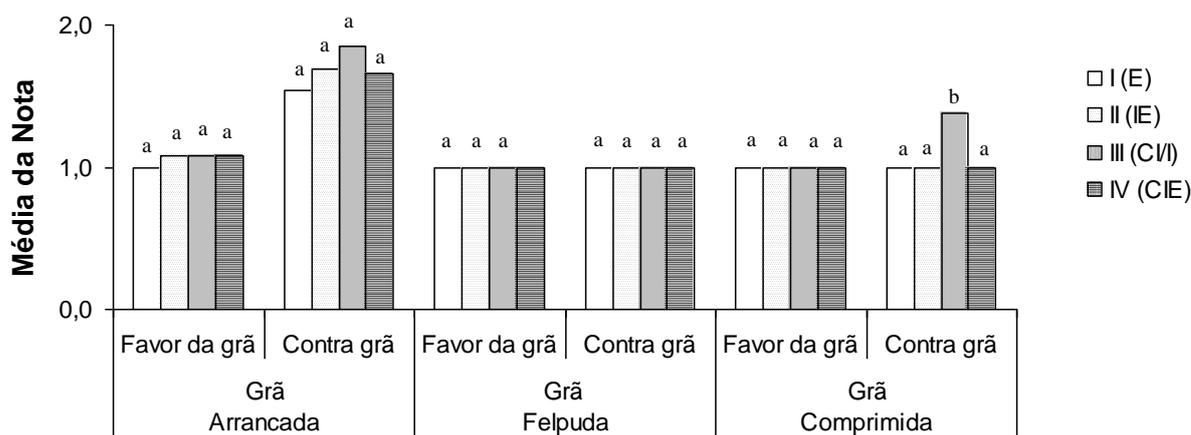


### Desempeno Madeira não termorretificada (NTR)

**Figura 70.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de desempenho para a madeira não termorretificada em função dos grupos.

Para a madeira termorretificada houve diferenças significativas entre os grupos, apenas para o defeito grã comprimida no desempenho realizado contra as fibras (Anexo 5.2).

Na Figura 71 ilustra o comportamento da madeira termorretificada durante a operação de desempenho e a comparação múltipla entre os grupos. De modo geral, observa-se que no desempenho a favor da grã, as amostras dos grupos I (E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE) receberam na avaliação da qualidade da superfície nota 1, excelente, ou seja, ausência de defeitos. Já no desempenho contra a grã, para os defeitos grã arrancada e comprimida, os grupos receberam nota inferior a 2, isto é, a superfície das peças usinadas é afetada em menos de 50% pelo defeito.



### Desempeno Madeira termorretificada (TR)

**Figura 71.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de desempenho para a madeira termorretificada em função da região de retirada das amostras na tora. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Observa-se também na avaliação da qualidade da superfície, que o defeito grã arrancada foi maior que os demais durante a operação de desempenho contra a grã. De MOURA (2006) salienta que o aumento da incidência de grã arrancada está associado a ângulos de ataque

elevados, grandes espessuras de corte, acabamento da madeira demasiadamente seca ou demasiadamente úmida e usinagem contra a grã.

As amostras de madeira termorretrificada e não termorretrificada de *E. grandis* ao serem submetidas ao desempenho apresentaram defeitos significativos (Anexo 5. 3), para grã felpuda e comprimida. No entanto, para o defeito grã arrancada, as notas recebidas pela madeira termorretrificada e não termorretrificada foram semelhantes.

Na Figura 72 mostra a tendência de variação dos defeitos e a comparação entre as médias das notas recebidas pela madeira não termorretrificada e termorretrificada ao ser submetida ao desempenho. Observa-se que a madeira não termorretrificada apresentou maior incidência de defeitos grã comprimida e grã felpuda quando comparada a termorretrificada. Para o defeito grã arrancada, observa-se que não existe variação significativa entre os dois tipos de madeira, isto é, termorretrificada e não termorretrificada.

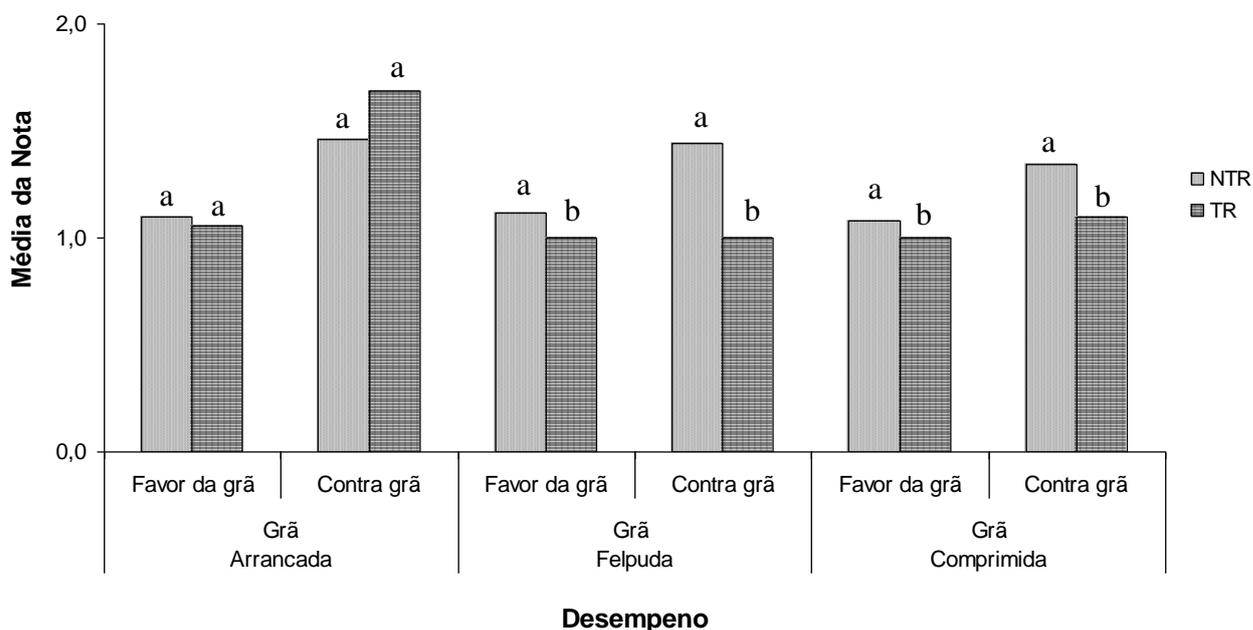
Em geral, após a operação de desempenho, as notas alcançadas pelas superfícies das amostras de madeira aqui analisadas são inferiores as encontradas por CASTRO SILVA (2002) e SILVA (2002) para *Eucalyptus grandis* e SOUZA (2007) para *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*. No entanto, assim como nas outras pesquisas, a madeira de *E. grandis* apresentou um bom desempenho frente a essa operação.

SILVA (2002) verificou que em *E. grandis* as notas médias obtidas durante desempenho para as regiões central, intermediária e externa foram 2,3, 2,3 e 1,8, respectivamente. A média geral foi 2,1, valor este classificado como ótimo para a operação de desempenho.

CASTRO SILVA (2002) verificou que a madeira de *E. grandis* apresentou um bom desempenho no teste de aplainamento (88,3 a 68,3 % de aprovação) e a porcentagem de peças aprovadas aumentou nas árvores com maiores idades.

SOUZA (2007) durante teste de aplainamento da madeira de clones de eucalipto verificou que 100% das amostras obtiveram notas 1 e 2, o que indica um bom desempenho da madeira ao teste e boa adequação do maquinário e ferramentas. Em relação aos defeitos observados verificou-se com maior frequência queima da superfície e arrancamento de fibras e em menor frequência, arrepiamento das fibras e aspereza de superfície.

A menor ocorrência de defeitos nas amostras contendo madeira da região externa (grupo I), pode estar relacionada à maior densidade da madeira. Segundo SILVA (2002) e MONTERO & LIZANO (2008) madeiras com maior densidade apresentam melhor qualidade quando usinada, pois possui maior resistência ao atrito durante o corte ou desbaste da superfície.



**Figura 72.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante a operação de desempenho da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### b) Desengrosso

A Tabela 21 fornece as médias das notas dos defeitos ocorridos nas peças submetidas ao desengrosso. Observa-se que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou um bom desempenho frente a essa operação, pois a média geral das notas atribuídas para os defeitos, independentemente do grupo variou de 1,3 a 2,2.

**Tabela 21.** Valores médios das notas para a operação de desengrosso. UFRRJ, 2009.

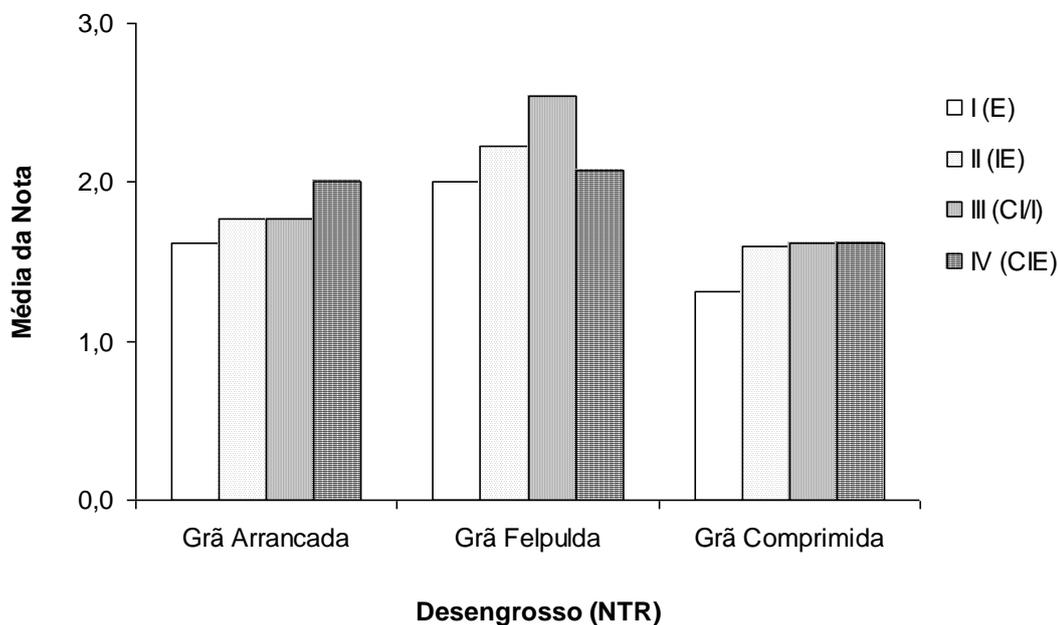
Grupo	DESENGROSSO					
	Grã Arrancada		Grã Felpuda		Grã Comprimida	
	NTR	TR	NTR	TR	NTR	TR
I (E)	1,6	2,0	2,0	1,6	1,3	1,2
II (IE)	1,8	2,0	2,2	1,6	1,6	1,2
III (CI/I)	1,8	2,2	2,5	2,3	1,6	1,8
IV (CIE)	2,0	2,0	2,1	2,1	1,6	1,2
<b>Média Geral</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>

NTR = não termorretificada, TR= termorretificada

Na madeira não termorretificada não existem diferenças significativas entre os grupos para cada defeito analisado (Anexo 5.4).

A Figura 73 mostra que os defeitos ocorridos durante a operação de desengrosso são semelhantes entres os grupos: I – contendo madeira retirada da região externa (E), II – contendo madeira retirada da região intermediária-externa (IE), III – contendo madeira

retirada da região central-intermediária (CI/I) e IV – contendo madeira retirada da região central-intermediária-externa (CIE).



**Figura 73.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de desengrosso para a madeira não termorretificada em função dos grupos.

A madeira termorretificada ao ser submetida ao desengrosso apresentou defeitos significativamente superiores nas amostras contendo madeira da região central-intermediária e central-intermediária-externa, para o defeito grã felpulda (Anexo 5.5 e Figura 74). Já para os defeitos grã arrancada e grã comprimida, a nota alcançada foi idêntica entre os grupos.

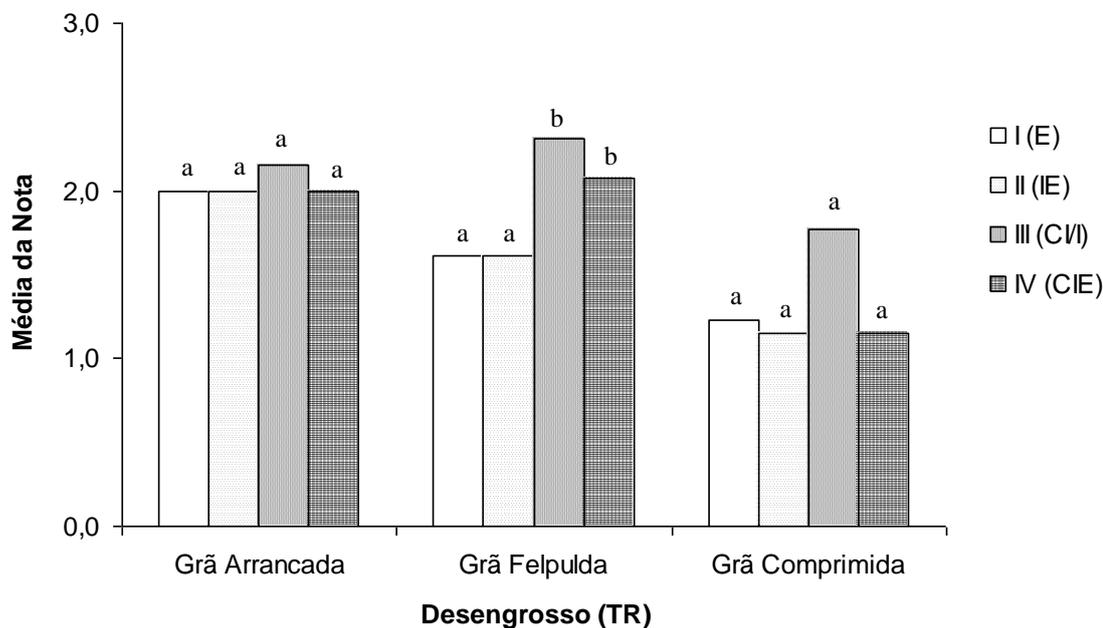
A madeira não termorretificada, quando comparada a termorretificada apresentou diferenças significativas entre si, para os defeitos grã arrancada e grã felpulda. Para o defeito grã comprimida, a média das notas alcançadas por esses dois tipos de madeira foram semelhantes (Anexo 5.6).

A Figura 75 mostra a variação dos defeitos ocorridos durante a operação de desengrosso e a comparação múltipla em função do tipo de madeira. Observa-se que a madeira termorretificada apresentou maior incidência de defeitos grã arrancada quando comparada a não termorretificada. Observa-se também que o tratamento térmico diminuiu a ocorrência do defeito grã felpulda.

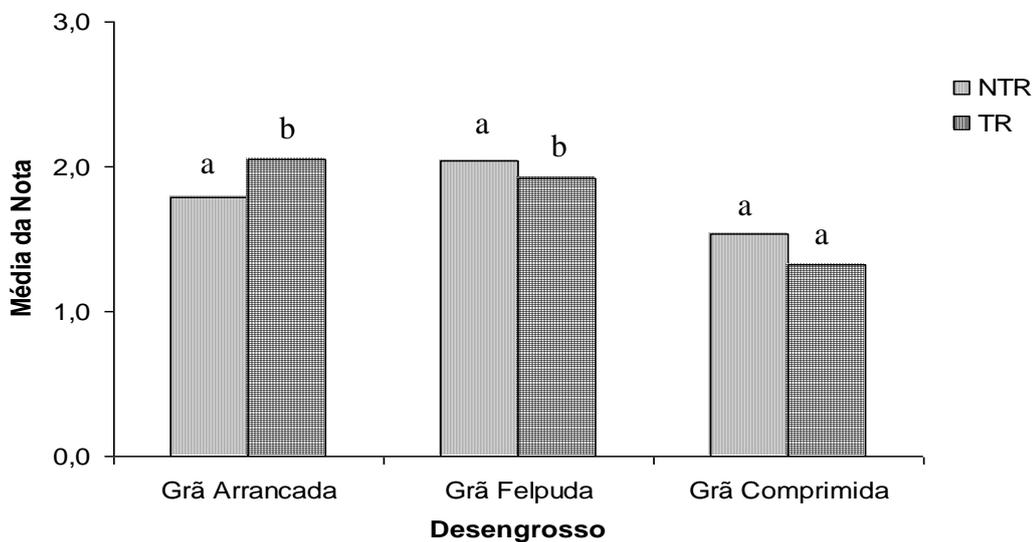
O maior arrancamento das fibras na madeira termorretificada pode ser explicado com base na maior fragilidade que esse tipo de madeira apresenta frente à ação da ferramenta cortante, visto que o tratamento de termorretificação torna a madeira mais seca e diminui a sua densidade, acarretando assim, a quebra do cavaco antes que o percurso da ferramenta de corte complete.

Confrontando as notas obtidas neste trabalho, para os defeitos grã arrancada e grã felpulda da madeira não termorretificada, com os resultados encontrados por CASTRO SILVA (2002) e SILVA (2002) para *Eucalyptus grandis* verifica-se que são semelhantes, pois estão entre as classes 1 e 2 (excelente e bom). Por exemplo, SILVA (2002) registrou nas amostras de madeira não termorretificadas de *E. grandis*, para os defeitos grã arrancada e grã felpulda, notas médias de 1,6, 1,6 e 1,3, para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente.

Segundo DE MOURA et al. (2008) a termorretificação proporcionou redução da ocorrência de defeitos nas superfícies aplainadas de eucaliptos e pinus, visto que quanto maior a temperatura de termorretificação maior foi à qualidade das superfícies aplainadas.



**Figura 74.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de desengrosso para a madeira termorretificada em função dos grupos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.



**Figura 75.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante a operação de desengrosso da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.1.2 Rasgo na furadeira horizontal

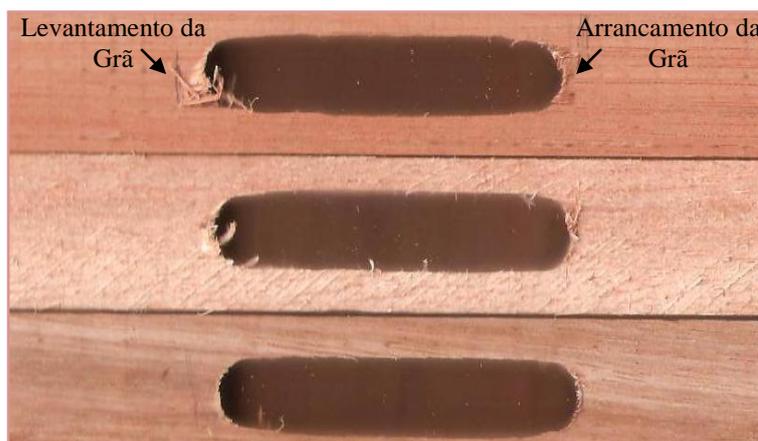
Na Tabela 22 consta-se às notas atribuídas a cada defeito ocorrido durante o teste. Observa-se que para o defeito grã levantada, os valores médios para a madeira não termorretrificada e termorretrificada foram 1,94 e 1,06, respectivamente. Para grã arrancada os valores encontrados foram 1,83 e 1,23, permitindo classificar a madeira nas classes: excelente e bom.

**Tabela 22.** Valores médios das notas para a operação de rasgo na furadeira horizontal. UFRRJ, 2009.

Grupo	Grã Levantada		Grã Arrancada	
	NTR	TR	NTR	TR
I (E)	1,77	1,08	2,00	1,08
II (IE)	2,08	1,00	1,69	1,31
III (CI/I)	1,92	1,08	1,80	1,31
IV (CIE)	2,00	1,08	1,92	1,23
<b>Média Geral</b>	<b>1,94</b>	<b>1,06</b>	<b>1,85</b>	<b>1,23</b>

NTR = não termorretrificada, TR= termorretrificada

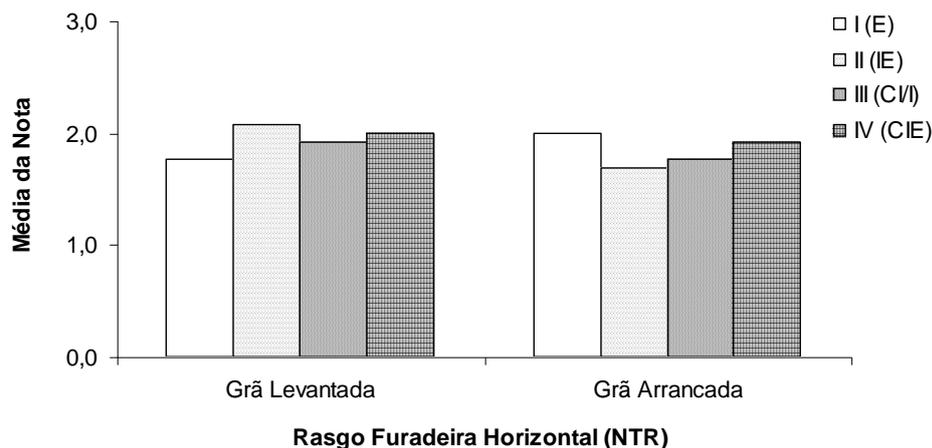
A Figura 76 mostra os defeitos grã levantada e grã arrancada na borda do rasgo realizado pela furadeira horizontal.



**Figura 76.** Rasgo realizado por uma furadeira horizontal.

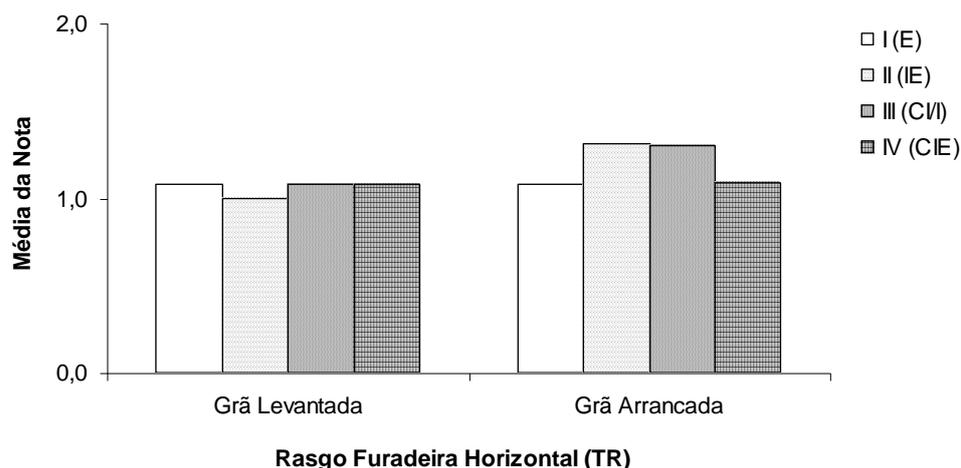
A madeira não termorretrificada e termorretrificada não apresentaram diferenças significativas para os defeitos grã levantada e grã arrancada em função dos grupos, após análise da variância dos dados (Anexos 5.7 e 5.8).

A variação dos defeitos grã levantada e grã felpuda, ocorridos na madeira não termorretrificada durante a operação de rasgo com a furadeira horizontal são semelhantes entre os grupos (Figura 77).



**Figura 77.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal para a madeira não termorretificada em função dos grupos.

Para a madeira termorretificada (Figura 78) as notas recebidas pelos defeitos grã levantada e grã arrancada foram semelhantes entre os grupos I (E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE).



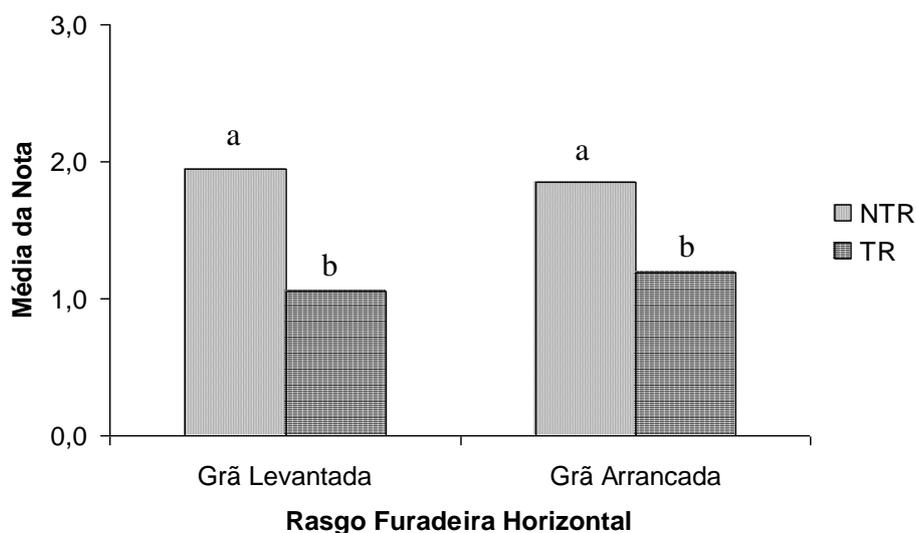
**Figura 78.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal para a madeira termorretificada em função dos grupos.

A termorretificação da madeira de *E. grandis* promoveu uma redução na quantidade de defeitos grã levantada e grã arrancada, na operação de rasgo com a furadeira horizontal (Anexo 5.9 e Figura 79).

Para esta operação o resultado obtido é semelhante ao encontrado por CASTRO SILVA (2002), que verificou que quase 100% das amostras de *Eucalyptus grandis* com quatorze, vinte e vinte e cinco anos de idade foram classificadas dentro da classe excelente. Apenas as amostras de eucalipto de 10 anos obtiveram notas 2 e 3 (bom e regular).

Para a variação dos defeitos no sentido radial (medula-câmbio), o resultado obtido para neste estudo é diferente do encontrado SILVA (2002), que registrou menor nota média para a da região central, apresentado, desta forma, melhor qualidade.

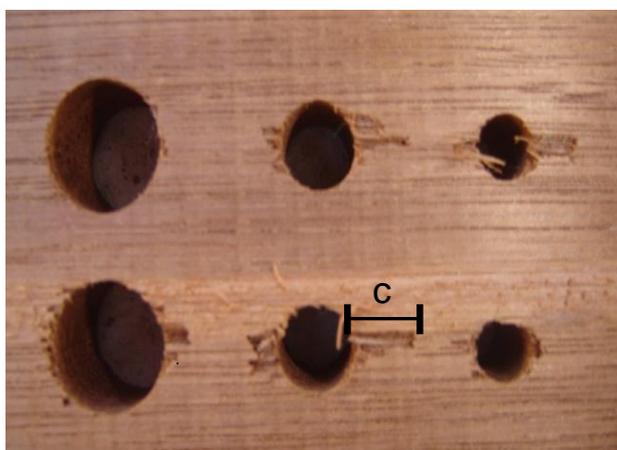
SOUZA (2007) verificou que independente do clone a madeira de eucalipto apresentou um bom desempenho, visto que todas as peças foram aprovadas, pois obtiveram notas 1 e 2.



**Figura 79.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.1.3 Furação

Os defeitos ocorridos após a madeira ser submetida à furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro foram grã levantada e grã arrancada. Na Figura 80 observa-se o defeito de grã arrancada, ocorrido na face de saída da broca da madeira, sendo C, o comprimento máximo utilizado no cálculo do índice de arrancamento.



**Figura 80.** Medição do arrancamento das fibras, após a operação de furo com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro, onde C = comprimento máximo do arrancamento de fibras.

Na Tabela 23 encontra-se descritos os resultados médios, para os defeitos grã arrancada e grã levantada ocorridos nas amostras de madeira termorretificada e não termorretificadas, após serem submetidas à furação com broca de 12, 8 e 6mm de diâmetro. Observa-se que a média geral das notas alcançadas pelas amostras de madeira variou de 1,3 a 3,6 permitindo enquadrar a madeira de eucalipto nas classes: bom e regular. Para o defeito grã arrancada, a madeira termorretificada apresentou pior desempenho, pois obteve nota média entre 2,0 e 4,1.

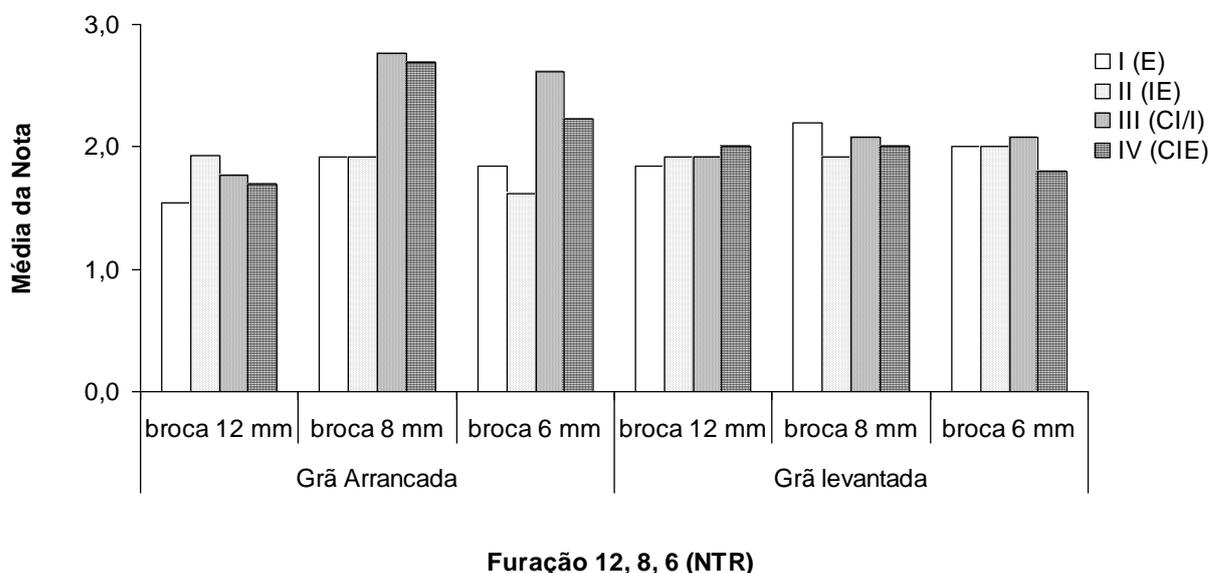
**Tabela 23.** Valores médios das notas para a operação de furação. UFRRJ, 2009.

Grupo	Grã Arrancada (Ia)						Grã Levantada					
	12* (NTR)	12* (TR)	8* (NTR)	8* (TR)	6* (NTR)	6* (TR)	12 (NTR)	12* (TR)	8* (NTR)	8* (TR)	6* (NTR)	6* (TR)
I (E)	1,5	2,8	1,9	3,3	1,8	3,9	1,8	1,0	2,2	1,2	2,0	1,2
II (IE)	1,9	2,0	1,9	3,5	1,6	3,1	1,9	1,5	1,9	1,4	2,0	1,5
III (CI/I)	1,8	2,1	2,8	3,4	2,6	2,6	1,9	1,3	2,1	1,6	2,1	1,6
IV (CIE)	1,7	3,3	2,7	4,1	2,2	2,8	2,0	1,4	2,0	1,5	1,8	1,5
<b>Média Geral</b>	<b>1,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	<b>3,6</b>	<b>2,1</b>	<b>3,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>

NTR = não termorreteficada, TR= termorreteficada. \* Broca de 12, 8 e 6 mm.

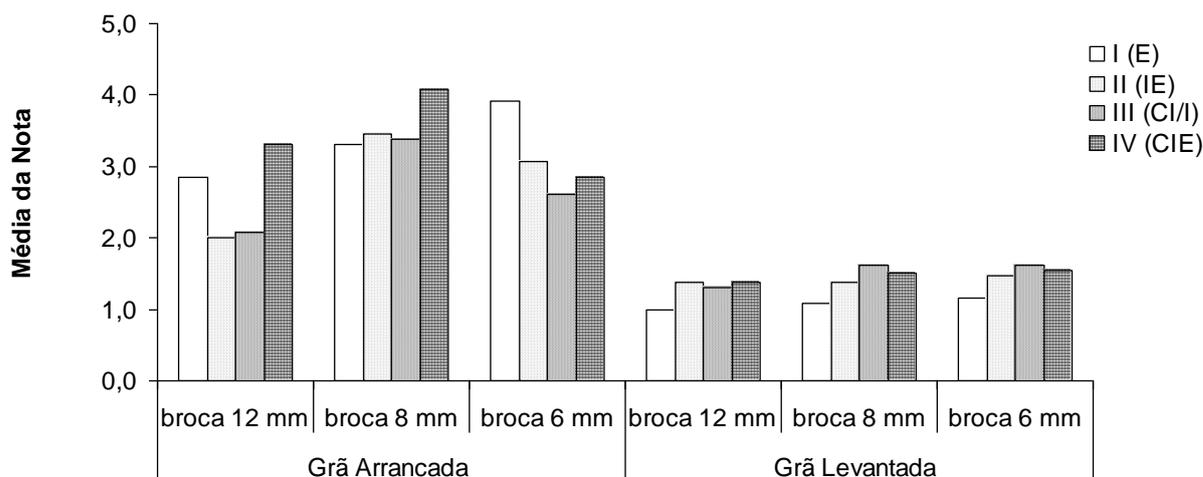
A termorreteficação ou não da madeira de *E. grandis* não influenciou na operação de furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro, pois os defeitos de grã arrancada e grã levantada não foram estatisticamente diferentes em função da região de retirada das amostras de madeira na tora (Anexo 5.10 e 5.11).

A Figura 81 ilustra a tendência dos defeitos ocorridos na madeira não termorreteficada, após submissão das amostras a furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro. Observa-se que a região de retirada das amostras na tora de madeira não influenciou na quantidade de defeitos ocorridos entre os grupos, sendo, portanto, os grupos I (E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE) semelhantes entre si.



**Figura 81.** Médias das notas atribuídas aos defeitos ocorridos durante a furação com broca de 12, 8 e 6 cm de diâmetro em função dos grupos para a madeira não termorreteficada.

A Figura 82 ilustra a tendência dos defeitos ocorridos na madeira termorreteficada, após submissão das amostras a furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro. Observa-se que a região de retirada das amostras na tora de madeira não influenciou na quantidade de defeitos ocorridos entre os grupos, sendo, portanto, os grupos I (E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE) semelhantes entre si. Observa-se também que o defeito que apresentou uma porcentagem maior de ocorrência foi grã arrancada.

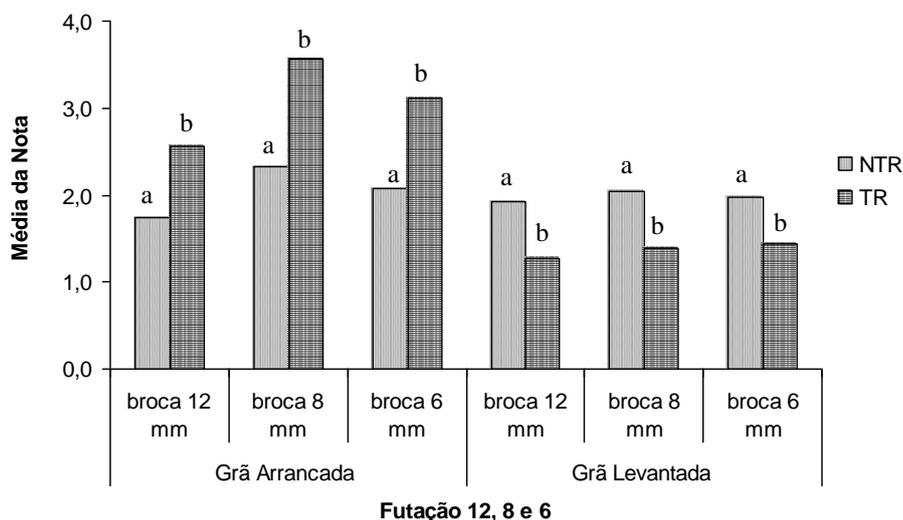


### Furação 12, 8, 6 (TR)

**Figura 82.** Médias das notas atribuídas aos defeitos ocorridos durante a furação com broca de 12, 8 e 6 cm de diâmetro em função dos grupos para a madeira termorretificada.

Para os defeitos grã arrancada e grã levantada verificou-se que houve diferenças significativas entre os dois tipos de madeira, isto é, submetida ou não ao tratamento de termorretificação (Anexo 5.12).

A Figura 83 mostra a variação e a comparação múltipla dos defeitos entre os dois tipos de madeira. Percebe-se um aumento do defeito, grã arrancada, em função do tratamento de termorretificação. Para o defeito grã levantada o comportamento foi inverso, ou seja, houve uma redução do mesmo nas amostras termorretificadas.



**Figura 83.** Médias das notas atribuídas para os defeitos ocorridos durante a furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As notas obtidas neste estudo para o teste de furação da madeira não termorretificada foram superiores as encontradas por CASTRO & SILVA (2002) para a mesma espécie, tendo

registrado em 90% das amostras de madeira, provenientes de plantios com 25 anos de idade nota 1 (excelente).

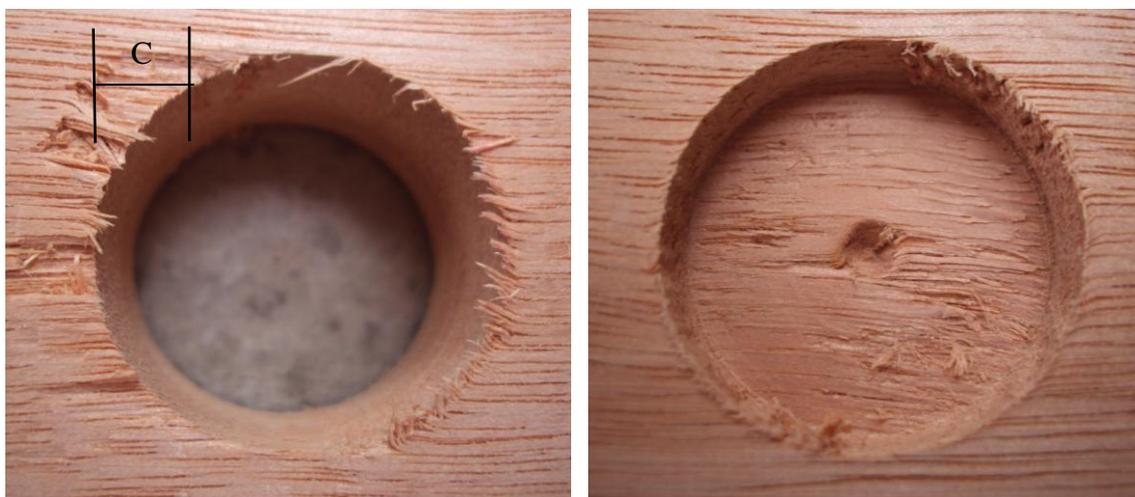
SOUZA (2007), ao estudar o comportamento da madeira de *E. urophylla* durante o teste de furação, verificou que 96% das amostras de madeira de árvores com 29 anos de idade foram enquadradas na classe 1 (excelente). Em madeira, oriunda de árvores com 10 e 8 anos, 64% e 53% das amostras foram enquadradas na classe 2 (bom) e 3 (regular), respectivamente. CARVALHO (2006) para a mesma espécie verificou que 80% das amostras testadas receberam notas 2 (bom) e 3 (regular).

Segundo CASTILHO & CUETO (1996) a qualidade da superfície furada depende do tipo de madeira, da ponta da broca, da densidade e da velocidade de avanço da broca. Segundo o autor as madeiras de maior densidade tendem a apresentar menos defeitos de grã arrancada e grã levantada durante a operação de furação. No entanto, existem algumas madeiras que fogem a regra, pois elas possuem alto conteúdo de extrativos e sílica que interferem no fio da ferramenta de corte, gerando defeitos de usinagem.

Partindo do pré-suposto que o padrão de variação da densidade é crescente no sentido medula-câmbio e diminui após tratamento de termorreificação, torna-se possível explicar porque as amostras contendo madeira da região externa (E), apresentaram menor incidência de defeitos e porque o defeito grã arrancada foi maior nas amostras termorreificadas.

### 3.1.4 Furação para dobradiça

O teste de furação para dobradiça foi executado por uma furadeira vertical, com auxílio de uma broca de 26 mm de diâmetro. Nesta operação foram realizados dois furos, sendo um passante e o outro não passante (Figura 84). Para o defeito grã arrancada no furo passante a avaliação foi semelhante à utilizada na operação anterior, onde se determinaram os maiores comprimentos dos arrancamentos, profundidade e volume.



**Figura 84.** Medição do arrancamento das fibras no furo passante e presença de grã felpuda no furo não passante para a operação de furação para dobradiça. C = comprimento máximo do arrancamento de fibras.

Na Tabela 24 consta os valores médios por grupo e a média geral dos defeitos, grã arrancada, grã felpuda e grã levantada, ocorridos durante a operação de furação para dobradiça.

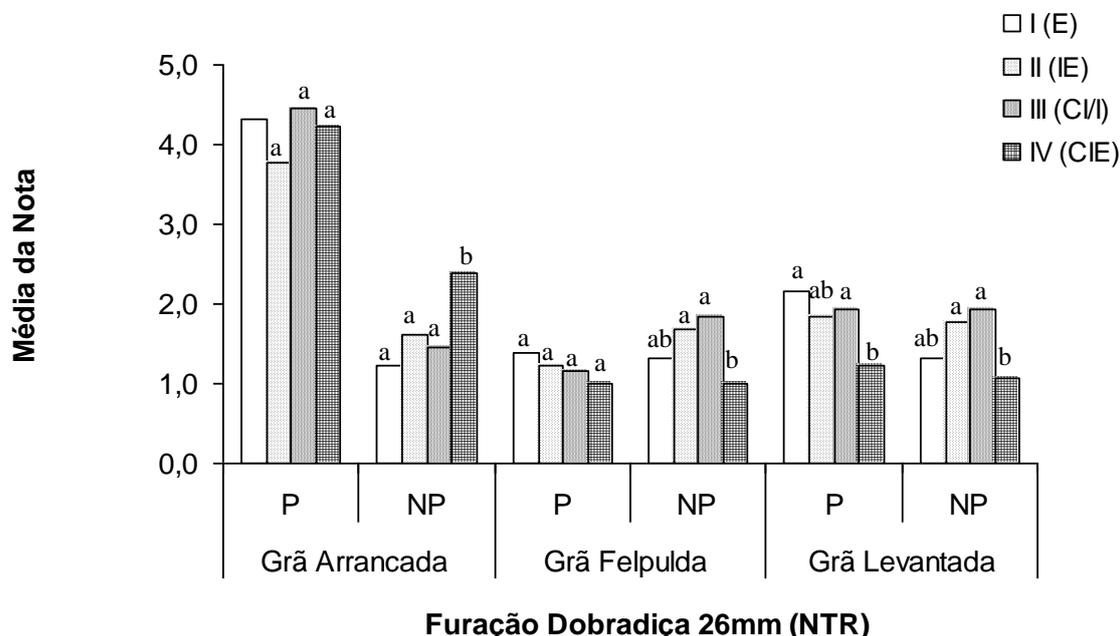
**Tabela 24.** Valores médios das notas para a operação de furação para dobradiça. UFRRJ, 2009.

Grupo	Grã Arrancada		Grã Felpulda		Grã Levantada		Grã Arrancada		Grã Felpulda		Grã Levantada	
	Ia P (NTR)	Ia P (TR)	P (NTR)	P (TR)	P (NTR)	P (TR)	NP (NTR)	NP (TR)	NP (NTR)	NP (TR)	NP (NTR)	NP (TR)
<b>I (E)</b>	4,3	3,7	1,3	1,0	2,1	1,1	1,5	1,8	1,3	1,0	1,3	1,0
<b>II (IE)</b>	3,7	3,7	1,2	1,0	1,8	1,1	1,6	1,9	1,7	1,0	1,8	1,0
<b>III (CI/I)</b>	4,4	4,3	1,1	1,0	1,9	1,0	1,4	1,8	1,8	1,0	1,9	1,0
<b>IV (CIE)</b>	4,3	4,2	1,0	1,0	1,2	1,0	2,4	2,2	1,0	1,0	1,1	1,0
<b>Média Geral</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>

NTR = não termorretificada, TR= termorretificada. Ia = índice de arrancamento, P = passante e NP = Não passante.

A madeira não termorretificada, quando submetida à furação com broca de 26mm de diâmetro, apresentou diferenças estatísticas entre os grupos, para os defeitos grã arrancada, grã felpuda e grã levantada no furo não passante e grã levantada no furo passante (Anexo 5.13).

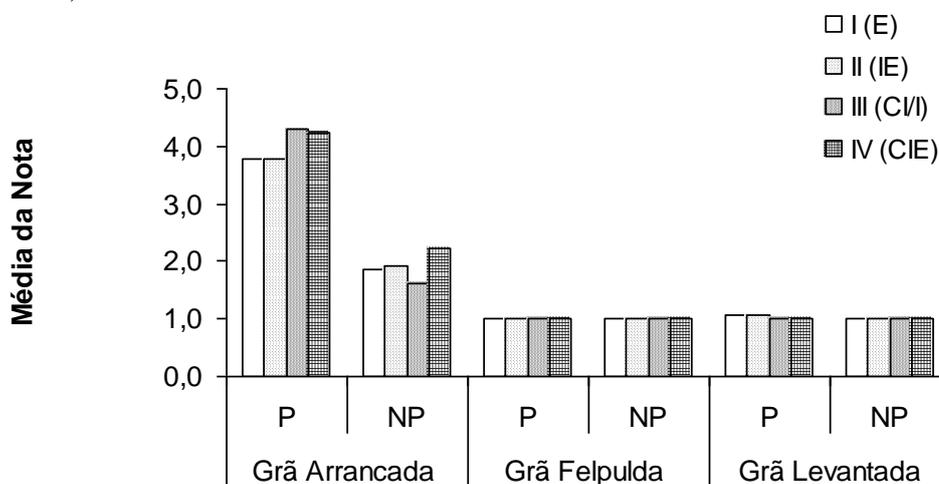
A Figura 85 mostra a variação entre os grupos para os defeitos, grã arrancada, grã felpuda e grã levantada, da madeira não termorretificada. Observa-se que para grã arrancada, no furo não passante a superfície das amostras do grupo IV (CIE) alcançou pior qualidade. Para grã felpuda, no furo passante, as amostras do grupo IV (CIE) alcançaram melhor qualidade. Para os defeitos, grã felpuda e grã levantada no furo não passante, as amostras do grupo I (E) e IV (CIE), em termos de qualidade da superfície são semelhantes entre si.



**Figura 85.** Médias das notas atribuídas aos defeitos ocorridos durante a furação para dobradiça em função dos grupos para a madeira não termorretificada. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A madeira termorretificada não apresenta diferenças significativas para os defeitos, grã arrancada, grã felpuda e grã levantada em função da região de retirada das amostras de madeira na tora, sendo os grupos: I(E), II (IE), III (CI/I) e IV (CIE) semelhantes entre si (Anexo 5.14).

As amostras de madeira termorretificada, para os defeitos grã felpulda e grã levantada em todos os grupos analisados apresentaram um excelente comportamento ao serem submetidas a operação de furação com broca de 26 mm de diâmetro, pois receberam nota 1 (Figura 86).



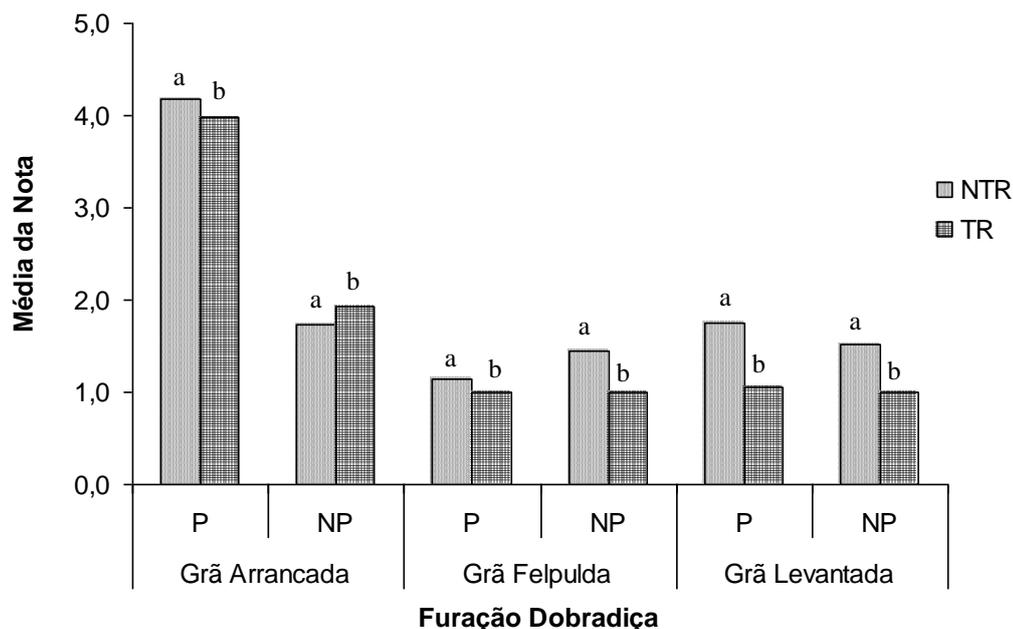
#### Furação Dobradiça 26mm (TR)

**Figura 86.** Médias das notas atribuídas aos defeitos ocorridos durante a furação para dobradiça em função dos grupos para a madeira termorretificada.

Verifica-se que existem diferenças estatísticas entre madeira não termorretificada e termorretificada, em função do grau de incidência de defeitos ocorridos durante a operação de furo para dobradiça (Anexo 5.15).

A Figura 87 mostra que o tratamento de termorretificação reduziu a ocorrência de defeitos na madeira, exceto para o defeito grã arrancada no furo não passante.

As notas médias atribuídas a madeira de *E. grandis* para o defeito grã arrancada são superiores aos valores encontrados por SILVA (2002), que registrou valores médios de 0,51, 0,38 e 0,32, para os índices de arrancamento, em mm, referente à madeira de *Eucalyptus grandis*, para as regiões central, intermediária e externa, respectivamente. A obtenção superfícies de baixa qualidade foi devido à utilização de altas velocidades de avanço e retirada brusca da broca no término da furação para dobradiça.



**Figura 87.** Médias das notas atribuídas aos defeitos ocorridos durante a furação para dobradiça em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.1.5 Lixamento

Na Tabela 25 consta o valor médio da nota recebida por cada grupo, o tipo de defeito ocorrido após as amostras serem submetidas ao lixamento com lixa de granulometria 80 e a face onde foi realizada a operação (desempenada ou desengrossada). Observa-se que a média geral das notas dos defeitos grã felpuda e comprimida, para madeira não termorretificada e termorretificada obtidos durante o lixamento das faces que haviam sido anteriormente desempenadas ou desengrossadas variaram de 1,1 a 1,9. Este resultado confere à madeira de *E. grandis* conceito excelente e bom frente à operação de lixamento.

A madeira não termorretificada apresentou diferenças estatísticas em função da região de retirada de amostras de madeira nas toras, exceto, para o defeito grã comprimida na face que havia sido anteriormente desempenada (Anexo 5.16).

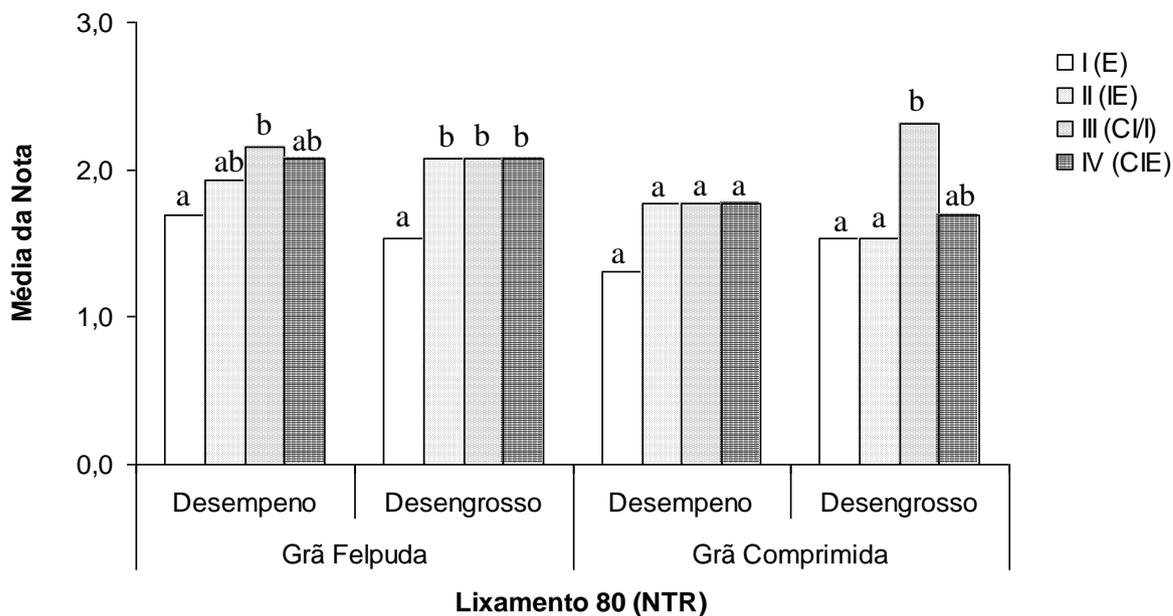
**Tabela 25.** Valores médios das notas para a operação de lixamento com lixa de granulometria 80.

Grupo	Lixa 80							
	Grã Felpuda		Grã Comprimida		Grã Felpuda		Grã Comprimida	
	Des NTR	Des TR	Des NTR	Des TR	Desg NTR	Desg TR	Desg NTR	Desg TR
I (E)	1,7	1,3	1,3	1,2	1,5	1,5	1,5	1,0
II (IE)	1,9	1,2	1,8	1,0	2,1	1,5	1,5	1,1
III (CI/I)	2,2	1,8	1,8	1,1	2,1	1,8	2,3	1,3
IV (CIE)	2,0	1,5	1,8	1,1	2,1	1,7	1,7	1,1
<b>Média Geral</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>

Des = Desempeno, Desg = Desengrosso, NTR = não termorretificada e TR = termorretificada.

A Figura 88 mostra a tendência dos defeitos para a madeira não termorretificada e comparação múltipla entre os grupos. Observa-se que os grupos I (E) e II (IE) apresentaram menor quantidade de defeitos quando comparados aos grupos III (CI/I) e IV (CIE). O teste de Tukey permitiu verificar que para o defeito grã felpuda na face do desempenho, o grupo I (E)

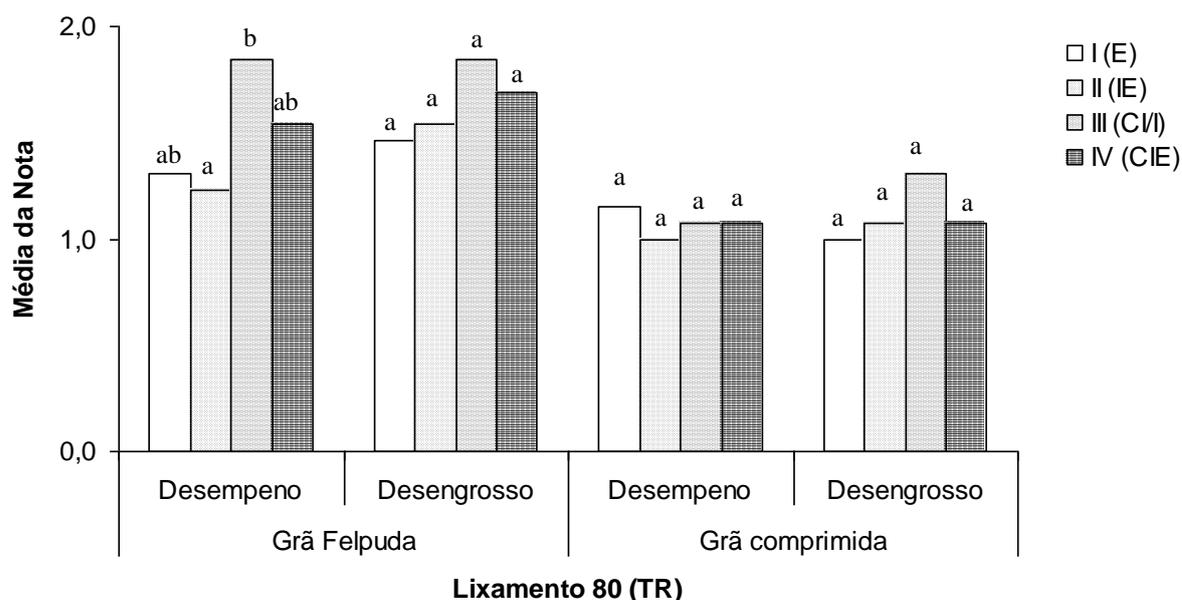
se diferiu do grupo III (CI/I). Para o defeito grã felpuda na face do desengrosso, o grupo I (E) se diferiu dos três outros grupos. Para o defeito grã comprimida na face do desengrosso os grupos I (E) e II (IE) se diferiram do grupo III (CI/I).



**Figura 88.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante o lixamento (80 grana) para a madeira não termorretificada em função dos grupos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para a madeira termorretificada, apenas o defeito grã felpuda apresentou diferenças significativas entre os grupos, durante o lixamento da face que havia sido desengrossada (Anexo 5.17).

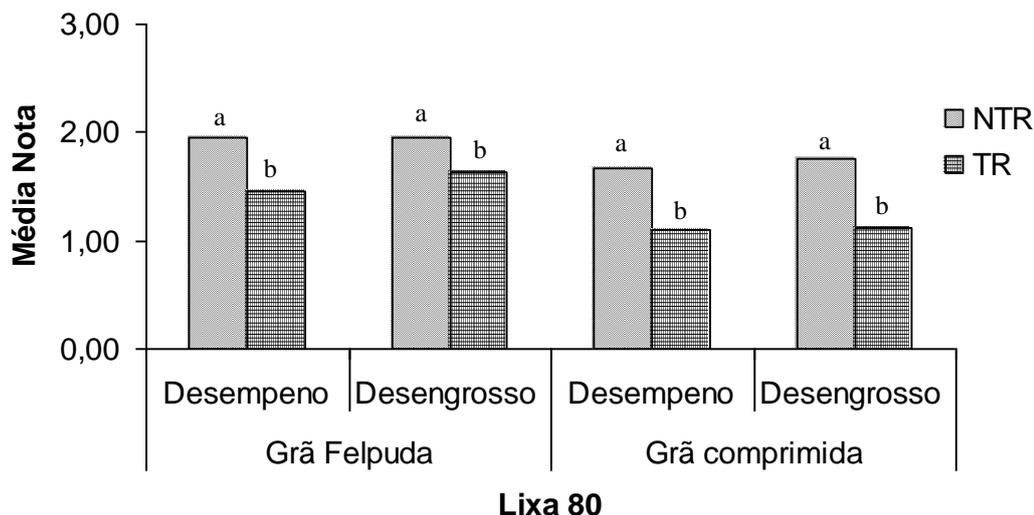
A Figura 89 mostra a tendência de variação dos defeitos ocorridos na madeira termorretificada, durante ao lixamento com lixa de granulometria 80. Observa-se que para o defeito grã felpuda, na face que anteriormente havia sido desempenada, as notas atribuídas ao grupo III (CI/I) foram superiores aquelas atribuídas ao grupo II (IE).



**Figura 89.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante o lixamento (80 grana) para a madeira termorretificada em função dos grupos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na madeira termorretificada verificou-se que após o lixamento das amostras de madeira com lixa de granulometria 80, a quantidade de defeitos ocorridos na face desempenada e desengrossada, se diferiu estatisticamente da madeira não termorretificada (Anexo 5.18).

A termorretificação da madeira de *E. grandis* submetidas ao lixamento reduziu a ocorrência dos defeitos grã felpuda e grã comprimida (Figura 90).



**Figura 90.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante o lixamento (80 grana) em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 26 consta a média geral das notas atribuídas aos defeitos, grã felpuda e comprimida, ocorrido durante o lixamento da madeira com lixa de granulometria 100, nas

faces desempenadas e desengrossadas. Observa-se que a média geral das notas variou de 1,1 a 1,60 e foram inferiores aos valores obtidos para a lixa de granulometria de 80.

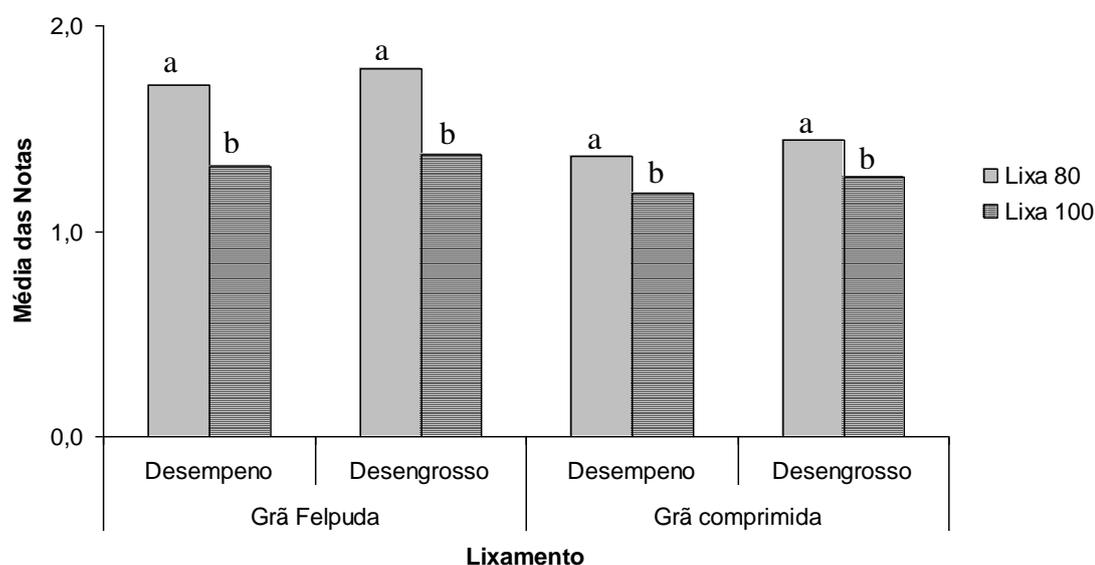
**Tabela 26.** Valores médios das notas para a operação de lixamento com lixa de granulometria 100 em peças anteriormente submetidas ao desempenho e desengrosso.

Grupo	Lixa 100							
	Grã Felpuda		Grã Felpuda		Grã comprimida		Grã comprimida	
	Des NTR	Des TR	Desg NTR	Desg TR	Des NTR	Des TR	Desg NTR	Desg TR
I (E)	1,4	1,0	1,5	1,1	1,2	1,0	1,4	1,0
II (IE)	1,7	1,1	1,5	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2
III (CI/I)	1,5	1,2	1,8	1,3	1,2	1,5	1,2	1,5
IV (CIE)	1,5	1,2	1,6	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
<b>Media Geral</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>

Des = Desempeno, Desg = Desengrosso, NTR = não termorretificada e TR = termorretificada.

As amostras de madeira termorretificada e não termorretificada, submetidas ao lixamento com lixas de granulometria 80 apresentaram diferenças estatísticas daquelas lixadas com lixa de granulometria 100, para os defeitos grã felpuda e grã comprimida (Anexo 5.19).

A Figura 91 mostra que houve uma redução na quantidade de defeitos grã felpuda e grã comprimida, após as amostras serem lixadas com lixa de granulometria 100.

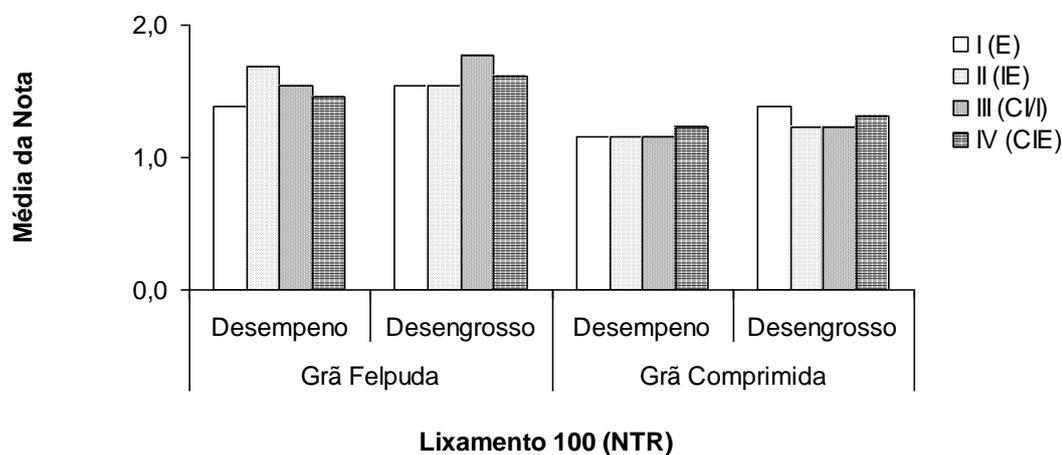


**Figura 91.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante o lixamento com lixa de granulometria 80 e 100. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

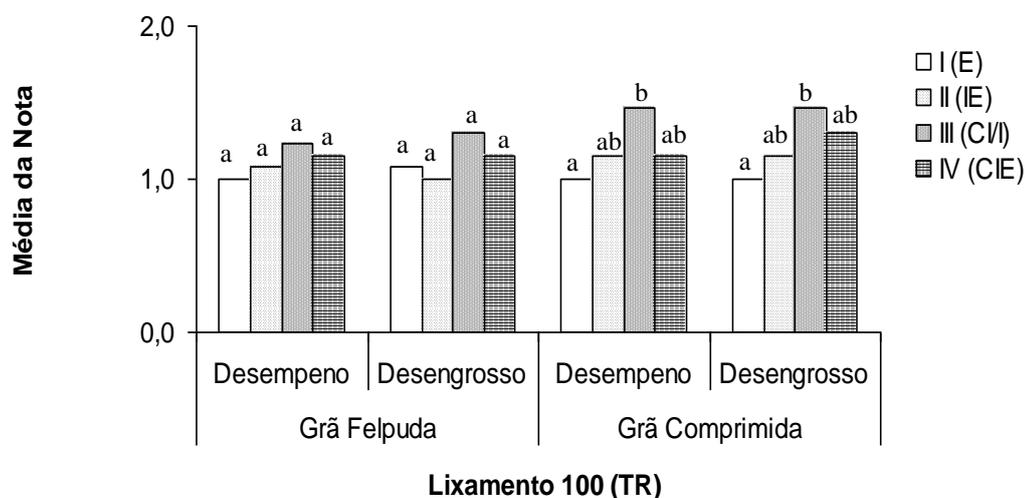
Para a madeira não termorretificada não existem diferenças estatísticas entre as regiões de retirada de madeira na tora, após as amostras de madeira, na face desempena e desengrossada, serem submetidas à operação de lixamento com lixa de granulometria 100 (Anexo 5.20).

Para a madeira termorretificada, o defeito grã comprimida apresentou diferenças estatísticas entre as regiões de retirada de madeira na tora, após as amostras de madeira, na face desempena e desengrossada, serem submetidas à operação de lixamento com lixa de granulometria 100 (Anexo 5.21).

As Figuras 92 e 93 mostram a variação dos defeitos ocorridos nas superfícies das amostras não termorretificada e termorretificada lixadas com lixa de granulometria 100. Observa-se que as notas atribuídas ao defeito grã comprimida ocorrido nas amostras de madeira termorretificada do grupo III (CI/I) foram superiores a dos grupos I (E), II (IE) e IV (CIE).



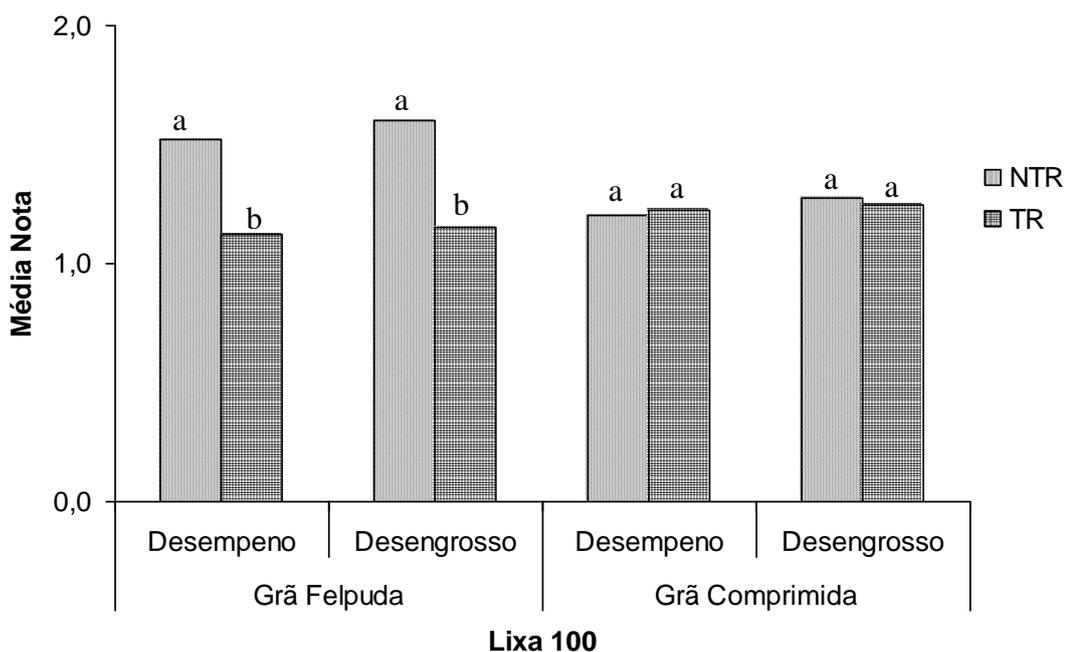
**Figura 92.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante o lixamento (100 grana) para a madeira não termorretificada em função dos grupos.



**Figura 93.** Médias das notas atribuídas aos defeitos obtidos durante o lixamento (100 grana) para a madeira termorretificada em função dos grupos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O defeito grã felpuda foi superior nas amostras de madeira não termorretificadas. Porém, para o defeito grã comprimida estas diferenças não foram detectadas (Anexo 5.22).

A variação dos defeitos ocorridos em função do tipo de madeira, isto é, não termorretificada e termorretificada são mostrados na Figura 94. Observa-se que o tratamento da madeira por termorretificação reduziu a quantidade de grã felpuda, no lixamento com lixa de 100 grana na face anteriormente desempenada e desengrossada. O defeito grã comprimida não sofreu influência do tratamento de termorretificação.



**Figura 94.** Médias das notas atribuídas para os defeitos obtidos durante o lixamento (100 grana) em função do tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Segundo TAYLOR et al. (1999) os mais importantes parâmetros do processo de lixamento são: características da madeira por espécie, a pressão exercida, o tipo de mineral abrasivo, a orientação do movimento da lixa e a dimensão dos grãos abrasivos.

Informações sobre as superfícies lixadas de eucaliptos são escassas. No entanto, comparando os resultados deste trabalho com os obtidos por MALKOÇOĞLU & OZDEMIR (2006) para a espécie de *Fagus orientalis*, *Castanea sativa*, *Alnus glutinosa*, *Pinus sylvestris* e *Picea orientalis*, verifica-se que o *Eucalyptus grandis* apresentou alta performance durante o teste, pois recebeu nota 1 (excelente) e 2 (bom).

CARVALHO (2006) destaca que 95% das peças de *Eucalyptus urophylla* lixadas com lixa de granulometria 60 não apresentou defeitos em sua superfície, mostrando que a espécie apresentou bom comportamento para este teste.

A diminuição da ocorrência de defeitos na madeira de *E. grandis*, após o lixamento com lixa de granulometria 100 está de acordo com resultados obtidos por (HALL & HEARD, 1982, LIHRA & GANEV, 1999), que destacam que as irregularidades deixadas por uma lixa mais grosseiras diminuem quando a madeira é submetida a uma nova operação de lixamento com lixa de granulometria mais fina.

## 3.2 Avaliação Quantitativa

### 3.2.1 Rugosidade das superfícies aplainadas

Os valores médios da rugosidade perpendicular e paralela à grã, das amostras de madeira não termorretrificada e termorretrificada de *E. grandis* aplainadas a favor e contra a grã encontram-se na Tabela 27.

**Tabela 27.** Valores médios de rugosidade, em  $\mu\text{m}$ , para as amostras não termorretrificada e termorretrificada aplainadas a favor e contra a grã.

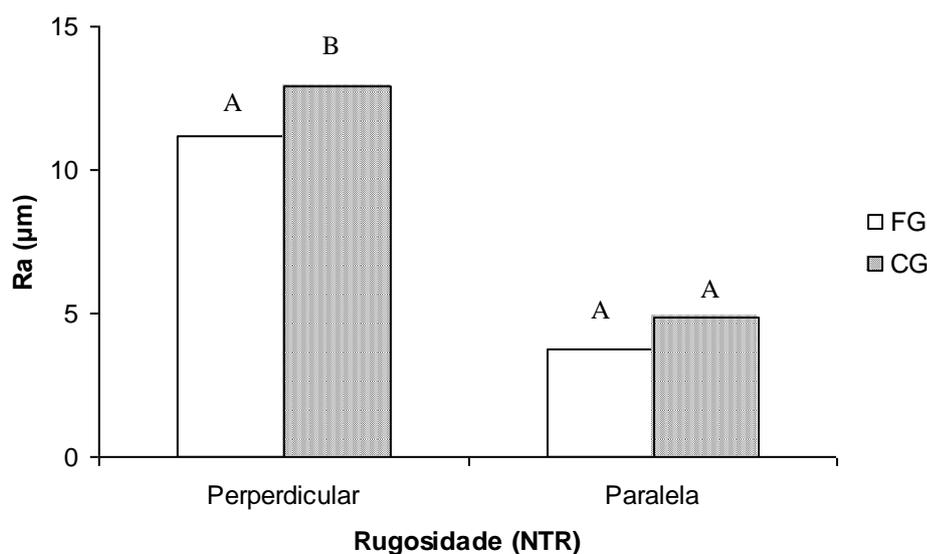
Grupo	Ra $\perp$ ( $\mu\text{m}$ ) (FG)	Ra $\perp$ ( $\mu\text{m}$ ) (CG)	Ra $\parallel$ ( $\mu\text{m}$ ) (FG)	Ra $\parallel$ ( $\mu\text{m}$ ) (CG)	Tipo de Madeira
IV (CIE)	10,71	12,37	4,01	4,73	NTR
III (CI/I)	11,77	14,43	3,28	5,87	
II (IE)	11,01	12,03	3,94	4,40	
I (E)	11,28	12,93	3,70	4,49	
<b>Média</b>	<b>11,19</b>	<b>12,94</b>	<b>3,73</b>	<b>4,87</b>	
<b>Média (FG/CG)</b>	<b>12,06</b>		<b>4,30</b>		TR
IV (CIE)	12,06	12,47	3,92	3,86	
III (CI/I)	12,30	13,85	4,16	5,82	
II (IE)	12,13	12,59	4,71	4,62	
I (E)	13,19	12,95	4,79	5,17	
<b>Média</b>	<b>12,42</b>	<b>12,97</b>	<b>4,40</b>	<b>4,87</b>	
<b>Média (FG/CG)</b>	<b>12,69</b>		<b>4,63</b>		
<b>Média Geral</b>	<b>12,38</b>		<b>4,47</b>		

Ra  $\perp$  = rugosidade perpendicular, Ra  $\parallel$  = rugosidade paralela, FG= favor da grã, CG = contra a grã, NTR= não termorretrificada e TR = termorretrificada.

Com relação aos grupos verifica-se que as amostras não termorretrificada e termorretrificada apresentaram diferentes valores de rugosidade (Tabela 27). No entanto, não houve diferenças estatísticas entre rugosidade da madeira de *E. grandis*, aplainadas a favor e contra a grã, em função da região de retirada das amostras de madeira na tora (Anexos 5.23 e 5.24).

Com relação ao sentido de aplainamento (a favor e contra a grã) a rugosidade perpendicular e paralela da madeira de *E. grandis* não termorretrificada e termorretrificada foram menores nas amostras aplainadas a favor da grã (Tabela 27). Verificou-se que existem diferenças significativas de rugosidade devido ao sentido de aplainamento, apenas para as amostras de madeira não termorretrificada (Anexo 5.26).

A Figura 95 mostra a variação da rugosidade em função do sentido de aplainamento. Observa-se, na madeira não termorretrificada, um aumento da rugosidade perpendicular quando se aplaina a madeira no sentido contra a grã.



**Figura 95.** Rugosidade das superfícies da madeira não termorretificada em função do sentido de aplainamento da madeira. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Com relação ao tipo de madeira verificou-se que o tratamento de termorretificação não interfere na rugosidade das superfícies aplainadas a favor e contra a grã das amostras de madeira de *E. grandis* (Anexo 5.27).

Informações sobre a rugosidade perpendicular e paralela das superfícies aplainadas da madeira de eucaliptos é bastante escassa. LOPES (2007) ao estudar a rugosidade paralela de *Eucalyptus grandis* em função da velocidade de avanço verificou que quanto menor a velocidade de avanço, menor é o valor da rugosidade média (Ra) e maior é a qualidade da superfície aplainada. Para uma velocidade de avanço de 15 m/min, encontrou uma Ra média de 3,76  $\mu\text{m}$ .

UNSAL & AYRILMIS (2005), ao aplainar a madeira de *Eucalyptus camaldulensis* com uma velocidade de 1,6 m/min e ângulo de ataque da faca de 45°, verificaram que a rugosidade média perpendicular à grã diminuiu quando as madeiras foram submetidas ao tratamento térmico com aumento de temperatura e tempo de exposição. Para uma temperatura de 120°C e tempo de 2, 6 e 10 horas, os valores de Ra foram 9,27, 9,16 e 8,90  $\mu\text{m}$ . Para uma temperatura de 150°C e tempo 2, 6 e 10 horas, os valores de Ra foram 8,39, 8,13 e 7,98  $\mu\text{m}$  e para temperatura de 180°C e tempo semelhante os valores de Ra foram 7,46, 7,39 e 7,21  $\mu\text{m}$ . O valor da rugosidade média das amostras controle foi de 10,0  $\mu\text{m}$ .

Os valores de rugosidade paralela e perpendicular obtidos neste trabalho são praticamente similares aos encontrados por LOPES (2007) e UNSAL & AYRILMIS (2005), com exceção dos valores de rugosidade perpendicular para a madeira termorretificada, que apresentou uma tendência de aumento, porém, não significativa.

Segundo De MOURA (2006), os valores de rugosidade perpendicular (Ra  $\perp$ ) são sempre maiores do que os valores de rugosidade paralela (Ra  $\parallel$ ) e aumentam com o aumento da velocidade de alimentação. Enquanto a Ra  $\perp$  é sensível a velocidade de alimentação e vibração durante o corte, a Ra  $\parallel$  é sensível às mudanças de velocidade de alimentação e entrada e saída da ferramenta de corte na peça de madeira. A superfície é menos rugosa na área onde a ferramenta sai da peça, do que na área onde a mesma se insere.

Quanto aos maiores valores de Ra  $\perp$  e Ra  $\parallel$  encontrados na madeira de *E. grandis* aplainada contra a grã, os resultados estão de acordo os descritos pelo SENAI (1996), MADEIRA & CIA (1995) e De MOURA (2006), que afirmam que ao se efetuar a usinagem a

favor das fibras, consegue-se um melhor acabamento, principalmente na face tangencial da madeira, sem consumo muito alto de energia quanto ao corte da ferramenta e do avanço da peça de madeira. O corte efetuado contra as fibras gera uma série de imperfeições quanto ao acabamento, maior arrancamento do material e aspereza devido ao pré-fendilhamento em sentido oblíquo à face da madeira antes da saída do gume da ferramenta de corte.

### 3.2.2 Rugosidade das superfícies lixadas

Os valores médios da rugosidade perpendicular à grã, das amostras de madeira não termorretificadas e termorretificadas lixadas a favor e contra a grã com lixas de granulometria 80 e 100 encontram-se, respectivamente, na Tabela 28.

Após a análise estatística dos dados verificou-se não existir diferenças de rugosidade entre os grupos, ou seja, a posição de retirada de madeira na tora, não interferiu na qualidade da superfície lixadas com lixas de granulometria 80 e 100 (Anexo 5.29 e 5.30).

**Tabela 28.** Valores médios de Rugosidade perpendicular, em  $\mu\text{m}$ , para as amostras não termorretificadas e termorretificadas lixadas a favor e contra a grã com lixa de granulometria 80 e 100.

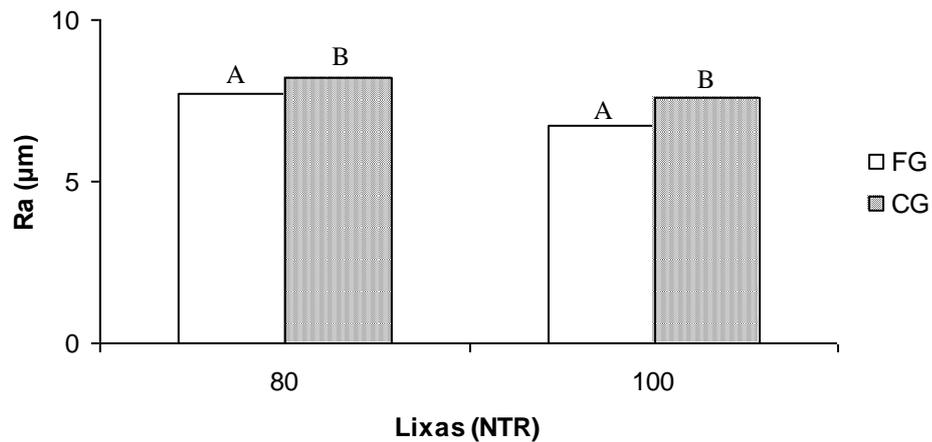
Grupo	Ra 80 (FG)	Ra 80 (CG)	Ra 100 (FG)	Ra 100 (CG)	Tipo de Madeira
IV (CIE)	7,94	8,32	6,71	7,65	NTR
III (CI/I)	7,95	8,07	6,68	7,80	
II (IE)	7,55	7,95	6,80	7,72	
I (E)	7,53	8,41	6,69	7,31	
<b>Média</b>	<b>7,74</b>	<b>8,19</b>	<b>6,72</b>	<b>7,62</b>	
<b>Média geral (FG/CG)</b>	<b>7,97</b>		<b>7,17</b>		
IV (CIE)	8,58	9,26	7,20	8,05	TR
III (CI/I)	9,09	9,05	6,94	8,17	
II (IE)	8,78	9,30	7,43	8,02	
I (E)	9,20	9,92	7,29	7,75	
<b>Média</b>	<b>8,91</b>	<b>9,38</b>	<b>7,21</b>	<b>8,00</b>	
<b>Média Geral (FG/CG)</b>	<b>9,15</b>		<b>7,61</b>		
<b>Média Geral (NTR/TR)</b>	<b>8,56</b>		<b>7,39</b>		NTR/TR

Ra 80 = rugosidade perpendicular com lixa de 80, Ra 100 = rugosidade perpendicular com lixa de 100, FG= favor da grã, CG = contra a grã, NTR= não termorretificada e TR = termorretificada

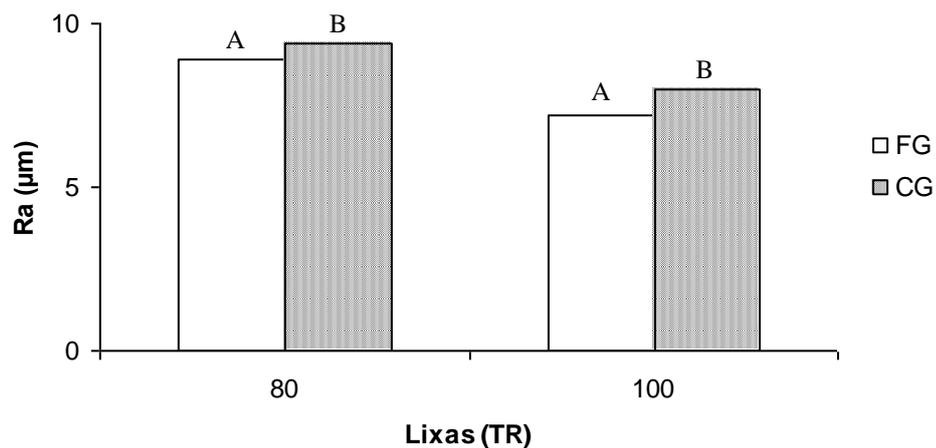
Em relação ao sentido de lixamento, a favor e contra a grã, as amostras de madeira apresentaram valores da rugosidade maiores quando lixadas contra a grã, tanto para lixas de granulometrias 80 e quanto para lixas de granulometria 100 (Tabela 28).

As amostras não termorretificada e termorretificada, lixadas com lixas de granulometrias 80 e 100 apresentaram diferenças estatísticas em função do sentido de lixamento (Anexos 5.31 e 5.32).

As Figuras 96 e 97 ilustram a variação da rugosidade em função do sentido de lixamento e comparação múltipla entre as médias. Observa-se um aumento da rugosidade nas amostras lixadas contra a grã.



**Figura 96.** Rugosidade das superfícies da madeira não termorretificada em função do sentido de lixamento (a favor e contra a grã). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

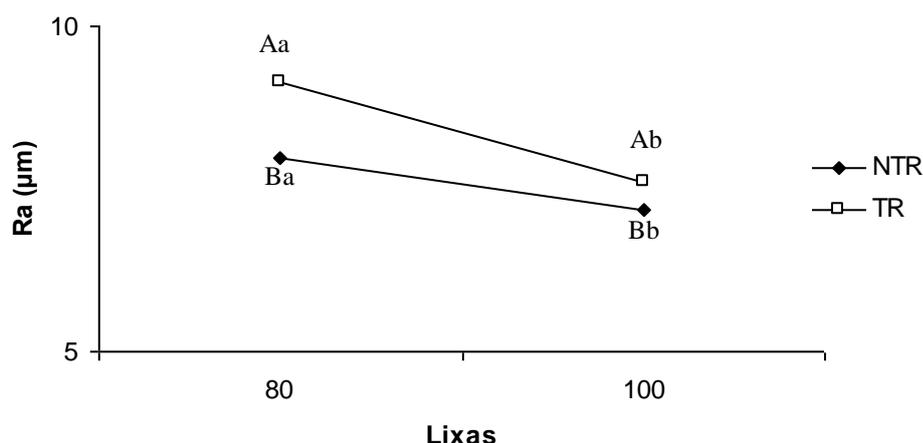


**Figura 97.** Rugosidade das superfícies da madeira termorretificada em função do sentido de lixamento (a favor e contra a grã). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Com relação à variação da rugosidade em função tipo de madeira (não termorretificada e termorretificada) e granulometria da lixa, os valores gerais da rugosidade das amostras não termorretificadas lixadas favor e contra a grã com lixas de 80 e 100 foram 7,97 e 7,17, respectivamente. Para as amostras termorretificadas os valores obtidos foram 9,15 e 7,61 (Tabela 28).

Através da análise de variância (Anexos 5.28 e 5.33) ao nível de 5% de significância verificou-se que houve diferenças significativas da rugosidade em função da granulometria da lixa e do tratamento de termorretificação aplicado na madeira.

A Figura 98 ilustra a tendência de variação da rugosidade em função da aplicação da termorretificação e granulometria da lixa, bem como, a comparação múltipla entre as médias. Observa-se que a rugosidade aumentou em função do tratamento de termorretificação e diminuiu após lixamento com lixa de granulometria 100.



**Figura 98.** Rugosidade das superfícies lixadas em função do tipo de madeira e granulometria da lixa. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas representam a comparação entre os tipos de madeira (NTR ou TR). As letras minúsculas representam a comparação entre os tipos de lixas (80 e 100) para um mesmo tipo de madeira.

Os valores de rugosidade das superfícies lixadas aqui obtidos são similares aos valores encontrados por De MOURA (2008) para a madeira de *Eucalyptus grandis*, que constatou que a rugosidade da superfície aumentou em função da temperatura de termorretificação e que esse aumento foi devido a uma maior penetração dos grãos abrasivos na madeira termorretificada.

Com relação ao resultado de diminuição da rugosidade com o aumento da granulometria da lixa, De MOURA (2008) também constatou que a lixa de granulometria 100 reduziu de forma significativa a rugosidade de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribae* var. *hondurensis*, não havendo, no entanto, redução de rugosidade com o uso de lixa de 120.

TAYLOR et al. (1999) ao quantificar os parâmetros envolvidos na operação de lixamento de *Acer saccharum*, *Quercus alba*, *Prunus serotina* e *Pinus strobus*, verificaram que a rugosidade diminuiu à medida que se aumentou a granulometria da lixa.

KILIC et al. (2006) verificaram que houve uma diminuição gradativa da rugosidade da madeira de *Fagus orientalis* e *Populus tremula* após cada sucessiva operação de usinagem, isto é, corte em serra de fita ou circular, aplainamento e lixamento com lixa de granulometria 60 e 80.

## 4 CONCLUSÕES

1. Na análise qualitativa da madeira termorretificada e não termorretificada de *E. grandis*, as superfícies das amostras submetidas ao teste de desempenho, desengrosso, rasgo na furadeira horizontal, lixamento com lixa de granulometria 80 e 100 obtiveram notas 1 e 2 (excelente e bom).
2. Nos teste de furação para a dobradiça no furo passante e furação com broca de 12, 8 e 6 mm, a madeira apresentou para o defeito grã arrancada, comportamento de regular a ruim.
3. Na madeira não termorretificada a posição de retirada das tábuas (região central, intermediária ou externa) não interferiu nos defeitos ocorridos durante as operações de desempenho, desengrosso, rasgo e furação com broca de 12, 8 e 6 mm de diâmetro.
4. Na madeira não termorretificada a posição de retirada das tábuas, interferiu na intensidade dos defeitos grã arrancada e grã felpuda, no furo não passante e grã levantada no furo passante e não passante durante a operação de furação para dobradiça.
5. Na madeira não termorretificada a posição de retirada das tábuas interferiu na intensidade dos defeitos grã felpuda na face anteriormente desempenada e desengrossada e grã comprimida na face desengrossada, durante a operação de lixamento com lixa de granulometria 80. Na madeira termorretificada, as diferenças entre os grupos foram detectadas apenas para o defeito grã felpuda na face desempenada.
6. A madeira termorretificada, durante a operação de lixamento com lixa de granulometria 100, apresentou diferenças estatísticas entre os grupos para o defeito grã comprimida, nas faces desempenada e desengrossada;
7. No teste de desempenho da madeira não termorretificada, a usinagem a favor da grã acarretou menos defeitos;
8. O defeito grã arrancada aumentou após o tratamento de termorretificação nas amostras submetidas ao desempenho contra a grã, furação com broca de 8 e 6 mm e furação para dobradiça.
9. Em geral, houve maior incidência de defeitos nas amostras de madeira não termorretificada, submetidas às operações desempenho, desengrosso, rasgo, furação para dobradiça, furação com broca de 12, 8 e 6 mm e lixamento com lixa de granulometria 80 e 100.
10. A rugosidade perpendicular ( $Ra \perp$ ) é maior que a rugosidade paralela ( $Ra \parallel$ );
11. Há um aumento da rugosidade nas amostras não termorretificada aplainadas e lixadas contra a grã e nas amostras termorretificada lixadas contra a grã.
12. Há um aumento da rugosidade em função do tratamento de termorretificação, nas amostras lixadas com lixas de granulometria 80 e 100;
13. A granulometria da lixa diminuiu a rugosidade da superfície da madeira de *E. grandis*.

### 3 CONCLUSÕES GERAIS

1. A análise de cluster e PCA agrupou as árvores em três grupos distintos e permitiu visualizar quais delas apresentam características dendrométricas desejáveis para serraria.
2. A região de retirada das tábuas: central, intermediária e externa interferiu nos defeitos ocorridos após a secagem da madeira em estufa, sendo a tora separada em duas regiões: externa (constituída por tábuas contendo madeira retirada da região externa, intermediária-externa e intermediária) e interna (constituída por tábuas contendo madeira retirada das regiões central-intermediária e central-intermediária-externa).
3. O comprimento e espessura das fibras, Índice de esbeltez e fração parede apresentaram um aumento significativo na direção radial.
4. O caractere anatômico comprimento de fibras permitiu delimitar a idade de transição entre o lenho juvenil e adulto.
5. A densidade aparente da madeira aumentou no sentido medula-câmbio.
6. O tratamento de termorretificação influenciou na perda de massa, sendo esta maior nas amostras contendo madeira da região central-intermediária-externa.
7. A densidade aparente diminuiu em função do tratamento de termorretificação.
8. De maneira geral, a madeira de eucalipto apresentou bom comportamento durante as operações de usinagem.
9. O desempenho a favor da grã acarretou menos defeitos.
10. O tratamento de termorretificação aumentou o defeito de grã arrancada nas amostras submetidas ao desempenho contra a grã, furação com broca de 8 e 6 mm e furação para dobradiça.
11. A rugosidade aumentou nas amostras desempenadas e lixadas contra a grã com lixas de granulometria 80 e 100, e
12. A rugosidade diminuiu após lixamento com lixa de granulometria 100.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2008**. Brasília, 2009, 120p.
- AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *fagus silvatica* L. And *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughnes. **Holz als Roh. Werkstoff**, Berlin, v. 59, n. 6, p. 483-488, 2001.
- ALMEIDA, M.L. **Desrama artificial em clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* com diferentes arquiteturas de copa**. 2003. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.
- ALZATE, B. A. X-rays densitometry and uniformity index of Eucalyptus. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON HARDWOOD PROCESSING – ISCHP 07. **Conference...** Quebec City, Canadá, p. 24-26, 2007.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004, 130p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), ESALQ – USP, Piracicaba, 2004.
- AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios-X em madeira**. Piracicaba, 1994. 109 p.
- AMARAL, A. C. B.; FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M. **Influência da densidade nas propriedades da madeira**. Seminário na disciplina de Preservação de Madeira do curso de pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ- USP, Piracicaba, 1971, 10p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-87 standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (reapproved 1994). Philaladelphia, p. 226 – 245, 1995.
- ARANGO, S. B. A. **Caracterizacao da madeira de arvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004, 153p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), ESALQ, Piracicaba-SP, 2004.
- ARAUJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 168p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), ESALQ – USP, Piracicaba, 2002.
- ASSIS, T. F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP SOBRE TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, **Anais...**, UFV, Viçosa, p. 61-72, 1999.
- ASSOCIATION FINISH THERMAL WOOD. **Thermowood Handbook**. Chaper 4: Thermalwood properties, p. 9-4, 2003.

BAMBER, R. K.; CURTIN, R. A. Some properties of wood in black butt trees of two ages. **Australian Forestry**, canberra, v. 36, n. 3, p. 226-234, 1974.

BARCHET, V. G. **Potencialidade de espécie de *Eucalyptus* para produção de madeira serrada**. 2001, 166p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ, 2001.

BARRICHELO, L. E. G., BRITO, J. O.; MIGLORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**. São Paulo-SP, v.8, n.28, p. 726-731, 1983.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J.O; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: 4º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...**, São Paulo-SP, v.8, n.28, p. 726-731, 1983.

BARROSO, L. P. **Análise Multivariada**. In: 48ª Reunião da RBRAS e 10º SEAGRO, **Anais...**, Lavras – MG. Departamento de Ciências Exatas. Universidade Federal de Lavras, 2003.

BAUER, K.; BUX, M.; RODRIGUEZ, A. V. Secagem solar de madeira de eucalipto em escala industrial. In: Workshop Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto, **Anais...**, p.34-38, Viçosa, 1999.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, n. 10, p. 61-72, 1978.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n. 11, p. 23-38, 1986.

BENJAMIN, C.A. **Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos**. 2002. 131p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BERENGUT, G.; PONCE, E.H.; FREITAS, A. R. Ensaio de desdobro de *Eucalyptus saligna* Smith. **Silvicultura**, v. 8, p. 81-98, 1973.

BERTOLANI, F. As experiências com pinus no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE REFLORESTADORES, **Anais...**, Campo Grande, São Paulo. UNIPRESS, p. 34-36, 1978.

BET, L. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), UFSC, Florianópolis, SC, 1999.

BHUIYAN, M. T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of cristallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. **Journal of Wood Science**, Toquio, v.46, n.6, p.431-436, 2000.

BHUIYAN, M. T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose. **Journal of Wood Science**, Toquio, v.47, n.5, p.336-416, 2001.

BHUIYAN, T. R.; HIRAI, N. Study of crystalline behavior of heat-treated wood cellulose during treatments in water. **Journal of Wood Science**, n. 51, p. 42-47, 2005.

BODIG, J. e JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Nostrand Reinhold, 1982. 712 p.

BOONSTRA, M. **A two-stage thermal modification of wood**. 2008, 197p. Ph.D. Dissertation in (Cosupervision Ghent University and Université), Henry Poincaré – Nancy 1, 2008.

BOONSTRA, M. J.; RIJSDIJK, J. F.; SANDER, C.; KEGEL, E.; TJEERDSMA, B.; MILITZ, H.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 2. Hardwoods. **Maderas Ciencia y Tecnologia**. v. 8, n. 3, p. 209-217, 2006.

BOOTLE, K. R. **Wood in Austrália: types, properties and uses**. Sidney: McGraw-Hill, 1983, 443p.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. **Características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, aos 3 anos de idade**. IPEF, n. 19, p. 80-97, 1979.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden ao nível do DAP**. IPEF, n. 5, p. 81-90, 1972.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto**. IPEF, n. 15, p. 73-82, 1977.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto**. IPEF, n. 15, p. 73-82, 1977.

BRITO J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termoretificação. **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, abr./jun., p. 182-188, 2006.

BRITO, J. O. **Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise**. 1992, 81p. Tese (Livre Docência), ESALQ, Piracicaba, 1992.

BRITO, J. O.; SILVA, F. G.; ALMEIDA, M. M. L. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8545-8548, 2008.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. Vol. 2: The physical, mechanical and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York: McGraw-Hill, 1952, 783 p.

BRUNETI, M.; CREMONINI, C.; CRIVELLARO, A.; FECI, E.; POLANTI, S.; PIZZO, B.; SANTONI, I.; ZANUTTINI, R. Thermal treatment of hardwood species from Italian plantations: preliminary studies on some effects on technological properties of wood. In:

PRODUCT DEVELOPMENT, PERFORMANCE ASSESSMENT AND TESTING, **Anais...**, Quebec City, September, 24-26, p. 325-332, 2007.

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

CALIL, L. F. P. **Estudo de caso para avaliação do tratamento dado a tecnologia de superfície no meio fabril**. 2001, 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito do diâmetro de toras na magnitude das tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 53-65, 2005.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Influência da posição diametral das tábuas e da vaporização nos defeitos de secagem de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 10-18, jan./mar. 2007.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 113-121, ago. 2005.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D; CONEGLIAN, A.; BARREIROS, R. M. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toras e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 2, p. 169-180, 2006.

CAMPBELL, G. S.; HARTLEY, J. Drying and dried wood. In: HILLIS, W. E. & BROWN. AG. - **Eucalyptus for wood production**. Academic Press, cap. 16, 1988, p. 328-336.

CANDELARIA, V. R. O.; CASTILHO, J. L. M. Maquinado y susceptibilidad a la impregnación de la madera Del hule (*Hevea brasiliensis*). **Madera y Bosques**, v. 3, n. 2, p. 63-71, 1997.

CARPINELLI, S. M. 2002. **Rendimento no desdobro e produtividade em madeira serrada de uma floresta de E. grandis**. 2002, 76p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz - ESALQ, Piraciba, 2002.

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*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 2, p. 323-331, 2010.

CARVALHO, D. F.; SANTANA, A. C.; NOGUEIRA, A. K. M.; MENDES, F. A. T.; CARVALHO, A. C. Análise do desempenho competitivo da indústria de móveis de madeira do Estado do Pará. **Amazônia: Cia & Desenvolvimento**, Belém, v. 2, n. 4, jan./jun. 2007.

CASTRO SILVA, J. A Madeira de eucalipto na indústria moveleira. **Revista da Madeira**. Edição Especial, p. 106-107, Setembro de 2001.

CASTRO SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002, 160p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), na área de Tecnologia da Madeira, pela Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2002.

CASTRO SILVA, J. Qualidade da madeira de eucalipto. **Revista da Madeira, edição especial: Eucalipto, a madeira do futuro**, Curitiba, PR, p.32-34, set. 2001.

CASTRO SILVA, J. Qualidade da madeira serrada de eucalipto. **Revista da Madeira, edição especial: Eucalipto, Pesquisa amplia usos**, Curitiba, PR, p.32-36, agosto. 2003.

CASTRO, E. M. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento**. 2000, 122p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP, 2002.

CECCANTINI, G. **Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw. e *machaerium villosum* Vog**. 1996, 117p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo-USP, 1996.

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

CHAGAS, M. P.; ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. **Manual de aplicação densitometria de raios-X em amostras de madeira, Crad e Cerd**. Departamento de Ciências Florestais, ESALQ – USP. Piracicaba-SP, 2005, 32 p.

CHAVES NETO, A. **Análise multivariada aplicada à pesquisa: notas de aula**. Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

CHOW, S. Z.; PICKLES, K. J. Thermal softening and degradation of wood and bark. **Wood and Fiber**, Madison, v.3, n.3, p.166-178, 1971.

CORREIA, E. Uso múltiplo vai revolucionar a visão do eucalipto. **O Papel**, p. 23-26, julho. 1995.

COSTA, E. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, **Anais...**, Curitiba: ABPM/ SBS p. 75-89, 1996.

COUTINHO, A. P. **Qualidade do carvão vegetal correlacionada com as características da madeira de *Eucalyptus saligna* e temperatura de carbonização**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1984. 79 p.

COWN, D. J. Corewood (juvenile wood) in *Pinus radiata* should be concerned? **Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 22, n. 1, p. 87-95, 1992.

CRUZ, C. R. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira**. 2000, 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

DADSWELL, H.E. Wood structure variations occurring during tree growth and their influence on properties. **Wood Science**, Madison, v. 1, p. 11-32, 1958.

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

DE MOURA, L. F. **Étude de trois procédés de finition des surfaces du bois d'érable à sucre pour fins de vernissage**. 2006, 158p. Tese (Doutorado), Faculté de Foresterie et de Géomatique. Université Laval, 2006.

DE MOURA, L. F.; BRITO, J. O., NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. Efeito da termorreificação sobre as propriedades de usinagem de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribae* var. *hondurensis*. In: I Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do Rio de Janeiro, **Anais...**, UFRRJ/RJ. Dez. 2008.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R. Comportamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden no desdobro. **Revista Árvore**, v. 22, n. 4, p. 563-571, 1998.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R.; SOUZA, M. R. Aspectos tecnológicos da produção de madeira serrada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, n. 70, p. 75-81, 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**. 1999, 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências), ESALQ, Piracicaba, 1999.

DELL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias - UFPR, Curitiba, Paraná. 2004.

DONI, M. V. **Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento**. Trabalho apresentado à disciplina de Graduação Interdisciplinar II, como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação pela Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2004, 91p.

DUTRA, R. M. O.; SPERANDIO, M.; COELHO, J. O método ward de agrupamento de dados e sua aplicação em associação com os mapas auto-organizáveis de kohonen. LabPlan, UFSC, **Redes Neurais**, 2003.

EGAS, A. F. **Noções sobre a produção de madeira serrada**. Maputo: UEM. 2000. 98p.

EL COSTA, M L. M.; WELLWOOD, R. W. Short-term creep as related to cellulose crystallinity. **Wood and Fiber**, Madison, v.4, n.3, p.201-211, 1972.

ESTEVEES, B.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C. **Forest Products Journal**, v. 57, n. ½, p. 47-52, 2007.

ESTEVEES, B; PEREIRA, H. Wood modification by heat treatment: a review. **Bio Res.**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

EVANS, J. 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**, USA, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FERRAZ, E. S. B. Anéis de crescimento e clima em *Eucalyptus*. **Silvicultura**, v. 8, n. 32, p. 821-822, 1983.

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, ESALQ/USP. 1970, 62 p.

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade em função do local e do espaçamento – IPEF. **Rev. Div. Cient.**, n. 2/3, p. 130-149, 1971.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 - IPEF, **Rev. Div. Cient.**, n. 4, p. 65-89, 1972.

FERREIRA, M; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: I CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE A QUALIDADE DA MADEIRA, **Anais...**, IPEF, v.6, n. 20, p. 1-12, 1978.

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

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; MONTEIRO, T. C. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 335-340, 2008.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Estimativa do Percentual de Casca e do Fator de Forma em Povoamentos Jovens de Teca (*Tectona grandis* L.f.). **Comunicado Técnico, 165**. Embrapa Acre, ISSN 0100-8668, Julho, Rio Branco, AC, 2005. 5p.

FIGUEROA, M. J. M. **Influência da temperatura sobre a resistência mecânica do Paricá**. 2008. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Florianópolis-SC, 2008.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **Thermowood® Handbook**. Helsinki, Finland. Chapter: 5 e 6, 2003.

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SILVA, R. M. R.; SCHMIDT, C.; FESZ, J. B. V. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**. São Paulo, v. 8, p. 782-791. 1983.

FOELKEL, C. E. B; BARRICHELO, L. E. G. Avaliação das madeiras pra produção de celulose através de suas características estruturais: uma referência especial para o gênero *Eucalyptus*. In: SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO FLORESTA-INDÚSTRIA, **Anais...**, Piracicaba – SP, IPEF, P. 5-33, 1975.

FUKAZAWA, K. Juvenile wood of hardwoods judged by density variation. **IAWA Bull.**, v.5, p.65-73, 1984.

GALVÃO. A. P. M. Utilização do eucalipto. **Revista da madeira**, p. 29-32, agosto de 1976.

GALVÃO. A. P. M; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985, 111p.

GARCIA, J. N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, **Anais ...**, IPF / IPT, p. 59-67, 1995.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science Technology**, DOI 10.1007/s00226-010-0387-6. Publicado on line em: outubro, 2010.

GOLI, G. ; MARCHAL, R.; UZIELLI, L. Classificazione qualitativa dei difetti con metodo visuale. **Xylon**, p. 44-48, marzo 2004.

GOLI, G., NEGRI, M.; MARCHAL, R.; LARRICQ, P. The machining process of the european douglas fir: The surface quality. In: Proceedings Belgrado (Serbia), vol. II, p. 473, Set/ott., 1997.

GOLI G.; MARCHAL R.; NEGRI M. Industrial machining of Douglas fir with various tools and materials. IWMS. In: 15 Proceedings, Los Angeles (USA), p. 173, 30/07 – 01/08, 2001.

GOMIDE, J. L. **Secagem de madeira**. UFV, Viçosa, 1973, 76p.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n.1, p. 129-137, 2005.

GONÇALEZ, J. C.; BREDÁ, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e E. cloeziana F. Muell visando ao aproveitamento na indústria moveleira. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p. 329-341. 2006.

GRIOUT, N.; HALOUANT, K.; ZOULALIAN, A.; HALOUANT, F. Experimental study of thermal effect on olive wood porous structure during carbonization. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v.9, p. 15-28, 2007.

GROSSER, D. Defeitos da madeira. FUPEF: **Série Técnica**, n.2, 63p., Curitiba, 1979.

GUEDIRA, F. **Pyrolyse lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d olives, de la bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime)**. 1998, 122p. Thèse (Docteur) - Université Mohamed, Maroc, 1998.

GUIMARÃES NETO, A. B.; BONDUELLE, A. Principais metodologias de medição de estado de superfícies. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 2, p. 203-210, 2003.

GUNDUZ, G.; AYDEMIR, D.; KARAKAS, G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. **Materials and Design**, v. 30, p. 4391-4395, 2009.

GUNDUZ, G.; KORKUT, S.; AYDEMIR, D.; BEKAR, I. The density, compression strength and surface hardness of the treated hornbeam (*Carpinus betulus*) wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v. 11, p. 61-70, 2009.

HILLIS, W. E. **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 268 p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978, 434p.

HOCHHEIM, N.; MARTIN, P. Influência da qualidade de toras no processo de fabricação, rendimento, custo e rentabilidade da madeira. Floresta para o desenvolvimento: Política, Ambiente, Tecnologia e Mercado. In: 1º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, v. 2, 1993.

HSU, W. E.; SCHWALD, W.; SCHWALD, J.; SHIELDS, J. A. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part 1: Steam pretreatment. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 22, n. 3, p. 281-289, 1988.

HUGHES, J. F. Variation in wood structure in relation to wood quality. In: PROCEEDINGS OF THE LINNEAN SOCIETY OF LONDON, **Proceedings**, v. 179, n. 2, p. 275-278, 1968.

HUGHES, J. F.; ESAN, D. Variation in some structural feature and properties of *Gmelina arborea*. **Tropical Science**, v. XI, n.1, p.23-37, 1969.

IAWA. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. Leiden: v.10, n.3, p.219-312, 1989.

IBAMA. **Madeiras da Amazônia: Características e Utilização**. MARQUES, M. H. B. – Coordenadora, MELO et al. IBAMA/DIRPED/LPF, 1997, 141p.

IBDF. **Norma para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas**, 42 p., 1984.

ISHIGURI, F.; MASUBUSHI, N.; MARUYAMA, S. ANDOH, M.; TOKOTA, S.; YOSHIKAWA, N. Changes of wood quality in conifer woods by smoke heating. IN: INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 7, 2001. **Proceedings**, Tsukuba: FFPR, p. 398-401.

IWAKIRI, S. A Rendimento e condições de desdobro de 20 espécies de madeiras da Amazônia. **Acta Amazônica**, n. 20, p. 271-281, 1980.

JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998, 816 p.

JOIA, H. A; FONSECA, T.; SILVA, M. E.; MARQUES, C. P. Avaliação por métodos não destrutivos do diâmetro de cerne à altura do peito em eucalipto e em choupo. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 309-313, out./dez. 2006.

JUNIOR, L.S; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestales**, n. 63, p.32-43, 2003.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz Roh. Werkstoff**. 60(1):1-6, 2002.

KAUMAN, W. G.; GERARD, J.; JIQING, H.; HUAIJUN, W. Processinf of Eucalyptus. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 74, n. 2, p. 147-154, 1995.

KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; CALORI, J. V. Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, **Anais...**, Curitiba: ABPM/SBS, p. 53-58, 1996.

KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; CALORI, J. V. Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, **Anais...**, ABPM/ SBS, p. 53-58, 1996.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S. BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Enviroment**, v.41, p. 1074-1078, 2006.

KOCAEFE, D.; SHI, J. L.; YANG, D. O.; BOUAZARA, M. Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen. **Forest Products Journal**, v.56, n.6, p.88-93, 2008.

KOLLMAN, F. F. P., CÔTÉ Jr., R. W. A. **Principles of wood science and technology**. v. 1: Solid Wood, New York: Springer -Verlag, 1968, 592p.

KORKUT, D. S.; GULLER, B. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2846–2851, 2008.

KORKUT, D. S.; KORKUT, S.; DILK, T. Effect of heat treatment on some mechanical properties of laminated window profiles manufactured using two types of adhesives. **International Journal of Molecular Sciences**, n.9, p.454-463, 2008.

KORKUT, S.; AKGÜL, M.; DÜNDAR, T. The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Bioresource Technology**, v. 99, p.1861-1868, 2008.

KORKUT, S.; ALMA, M. H.; ELYILDIRIM, Y. K. The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) wood. **African Journal of Biotechnology**, v.8(20), p.5316-5327, 2009.

KORKUT, S.; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). **Materials and Design**, p.1-6, 2008.

KORKUT, S.; SAMIL KOK, M.; KORKUT, D. S.; GÜRLEYEN, T. The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. **Bioresource Technology**, v. 99 p. 1538–1543, 2008.

KORKUT, S; HAKKI ALMA, M.; ELYILDIRIM, K.; The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of European Hophornbeam (*ostrya carpinifolia* Scop.) wood. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 20, p. 5316-5327, October, 2009.

KRAMER, P. R. **Tracheid length variation in loblolly pine**. Texas Forest. Serv. Tech. Rept. v. 10, 1957, p. 1-22.

KRETSCHMANN, D. E. **Properties of juvenile wood**. Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture, USA, v. 1-7, p. 9, 1998.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Oxford, v.10, n.3, p. 61-119, Mar. 1987.

LARSON. P. R. The physiological basis for wood specific gravity in conifers. In: IUFRO **Proceedings**, Meeting 22. Sep-12 oct, 1973, South Africa, v.2. p. 672-680, 1973.

LATORRACA, J. V. F. **Curso de especialização em administração e processamento madeireiro**. Sub-módulo: Processamento mecânico da madeira em serrarias. Rio de Janeiro, 193p., 1998.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. 2003, 166 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LEBOW, S.; MORRELL, J. **Heat treatments for wood preservation**. Disponível em: <<http://www.forestprod.org/Smallwood08lebow.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2010.

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* spp., nas fases de desdobro e secagem. **Informe Agropecuário**, v.18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LENZ, O. The use of radiography in the examination of annual rings. **Forest Research Int. Swiss**, v.33, n.5, 1957.

LEONELLO, E. C.; PALMA, H. A., L.; BALLARIN, A. W. Delimitação da madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis* em São Paulo, Brasil. **Revista Forestal Venezolana**, v. 52, n. 1, p. 93-98, 2008.

LI SHI, J.; KOCAEFE, D.; ZHANG, J. Mechanical behaviour of Quebec Wood species heat-treated using thermo Wood process. **Holz als Roh and Werkstoff**, n. 65, p. 255-259, 2007.

LIMA JUNIOR L. M. **Utilização de técnicas multivariadas na classificação de fases de crescimento da leucena**. 2006, 78 p. Dissertação (Mestrado em Biometria), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2006.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L.; PIEDADE, S. M. S. Efeito do desbaste e da fertilização nas tensões de crescimento em *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 171-183, 2006.

LIMA, J. D. **A análise econômico-financeira de empresas sob a ótica da estatística multivariada**. 2002, 192p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

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. **Revista Árvore**, v. 28, n.1, p. 107-116, 2004.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E., 1973. **Forest inventory**. München: BLV. Verlagsgesellschaft, v2, 469p.

LOPES, C. M. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM – RS), 2003.

LOPES, C. M.; HASELEIN C. R.; SANTINI, E. J.; LONGHI, J. ; FERNANDES, D. L. G. ; MENEZES, F. F. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p.133-144, 2004.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. 2007, 88p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), ESALQ – USP, Piracicaba, São Paulo, 2007.

LUCHESA, C. J. **Estudo da adequação dos índices da análise econômico financeira às empresas florestais, utilizando métodos estatísticos multivariados**. 2004, 195p. Tese (Doutorado em Economia e Política Florestal), Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MADERIA & CIA. A madeira como matéria-prima. **Madeira & Cia**. Ano IV, n. 19, p.18-21, 1995.

MAEGLIN, R. R. Juvenile wood, tension wood, and growth stresses effects on processing hardwoods. In: ANNUAL HARDWOOD SYMPOSIUM OF THE HARDWOOD RESEARCH COUNCIL. Memphis: Hardwood Research Council, **Proceedings...**, p.100-108, 1987.

- MAGALHÃES, J. G. R. Produção de sementes de eucalipto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, 12 (141), p. 5-7, 1986.
- MAGOSS, E. General regularities of Wood surface roughness. **Acta Silv. Lign. Hung.**, Sopron-Hungary, v.4, p.81-93, 2008.
- MALAN, F. S. The control and-splitting in saw logs: A short literature review. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 109, p. 14-18, 1979.
- MALAN, F. S. Wood density variation in four trees of south African grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). **South African Forestry Journal**. N. 144, p. 36-42, march, 1988.
- MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, **Anais...**, São Paulo, IPEF / IPT, p. 1-19, 1995.
- MARTINS I. S.; PIRES I. E.; OLIVEIRA M. C. Divergência genética em progênies de uma população de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. **Floresta e Ambiente** , v. 9, n. 1, p. 81-89, jan./dez. 2002.
- MARTINS I. S.; PIRES I. E.; OLIVEIRA M. C. Divergência genética em progênies de uma população de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. **Floresta e Ambiente** , v. 9, n. 1, p. 81-89, jan./dez. 2002.
- MARTINS, V. A. **Secagem da madeira serrada**. IBD, 1988, 56p.
- 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 *E. dunnii*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 128-135, dez. 2003.
- 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 *E. dunnii*. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 128-135, 2003.
- MAYES, D.; OKSANEN, O. **Thermowood handbook**. Version 1.0. Thermalwood, Finnforest, Storaenso, 52p. 2002.
- MILITZ, H.; TJEERDSMA, B. Heat treatment of wood by the PLATO-process. Review heat treatments of wood. In: PROCEEDINGS OF THE SPECIAL SEMINAR OF COST ACTION E22, **Proceedings...**, Antibes, France, 2001.
- MOHEBBY, B.; SANAEI, I. Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). The International Research Group on Wood Protection. Section 4: Processes and Properties. 36<sup>th</sup> Annual Meeting, Bangalore, India, 24-28 April, 2005.
- MONTAGNA, R. G.; PONCE, R. H.; FERNANDES, P. S.; RIBAS, C. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 181-190, 1991.

MONTAGNA, R. G.; PONCE, R. H.; FERNANDES, P. S.; RIBAS, C. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 181-190, 1991.

MONTAGU, K.D.; KEARNEY, 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.

MONTERO, J. R. S.; LIZANO, R. E. R. Ensayos de trabajabilidad de *Tectona grandis* L. f. de 11 años de edad proveniente de dos sitios de crecimiento en plantaciones del Atlántico y el pacífico de Costa Rica. **Kurú: Revista Florestal**. Costa Rica, v. 5, n. 14, p. 1-14, 2008.

MOORE, W. E.; EFFLAND, M. J. Chemical composition of fast-grown juvenile wood and slow-grown mature sycamore and cottonwood. **Tappi**, v. 57, n. 8, p. 96-98, 1974.

MUNIZ, G. I. B. **Anatomia da madeira**. Curso de Tecnologia da madeira, transformação da madeira. Dezembro, Curitiba-PR, 1994. 85p.

NEGRI M.; GOLI G. Qualità delle superfici lavorate del legno di *Abete rosso* e di *Douglasia valutata* con una opportuna classificazione visuale. **Legno Cellulosa Carta**, v. 6, n. 1, p. 10-21, 2001.

NERI, A. C.; GONÇALVES, R. Mecanismo da formação de cavacos na usinagem da madeira de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, **Anais ....**, 8, Uberlândia. São Carlos: EBRAMEN, 2002.

NERI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDE, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.

NETO, F. P. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v. 1, n. 1, 1977.

NICHOLSON, J.E. Effect os storage on growth stress in a mountain ash logs tress. **Australian Forestry**, v. 36, n. 2, p. 115-124, 1973.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

OKUYAMA, T.; SASAKI, Y; KIKATA, Y; KAWAI, N. The seasonal change stresses in the tree trunk. **Journal of the japan wood research society**, v. 5, n. 27, p. 350-355, 1981.

OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; KOBAYASHI, I. Quality improvement in small logs of sugi by direct heating method (2). **Wood Industry**, n. 45, v. 2, p. 63-67, 1990.

OLEK, W.; BONARSKI, J. T. Texture changes in thermally modified Wood. Scopus, **Archives of Metallurgy and Materials**, v. 53, n.1, p.207-211, 2008.

OLIVEIRA B. R.U. **Correlações dendroclimatológicas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden da região de Rio Claro, RJ.** 2008, 20p. Monografia (Curso de Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2008.

OLIVEIRA, A. D. et al. Determinação da variação dimensional da madeira em clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 90 meses de idade. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTO, **Anais...**, Salvador. Colombo: Embrapa, v.3, p.118- 124, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W., TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para construção civil: Avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, v. 56, p. 113-124, dez. 1999.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J.C.; TOMAZELLO Fo, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PALERMO, G. P. M. **Parâmetros de Qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. De diferentes idades.** 2003, 138p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), área de Tecnologia da Madeira, Seropédica - RJ, 2003.

PANDEY, C. N.; GAUR, B. K.; KANNOJI, H. C.; CHANDRA, A. A new approach to seasoning of eucalypts hybrid (*Eucalyptus tereticornis*). **Indian Forester**, Dehra, v. 110, n. 3, 1984, p. 117-121.

PANSHIN A. J.; ZEEVW, C. **Text book of Wood Technology.** Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the U. S. and Canadá, 1980. 722p.

PAULA, F.; LEITE, H.G.; NUNES, J.R.S.; CAMPOS, J.C.C. Variação da porcentagem de casca ao longo do tronco e entre árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 16, n. 3, p. 309-318, 1992.

PAULA, F.; NUNES, J. R. S.; VITAL, B. R.; SOUZA, A. L. Equações de volume de casca de *Eucalyptus* em diferentes idades e condições de local, espécie e método de regeneração. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p.157-169, 1992.

PAVLO B.; NIEMZ P. Effect of temperature on color and strength of spruce wood. **Holzforschung**, v. 57, p. 539–546, 2003.

PEREIRA, H. Heartwood in eucalypts and its impact on pulping: a review. In: IUFRO CONFERENCE EUCALYPTUS IN A CHANGING WORLD, **Proceedings ...**, Aveiro, IUFRO, p. 667, 2004.

PETROCCHI, S. **Prove di lavorabilità e di abrasione degli utensili su alcune specie legnose.** 1987. Tesi di láurea, Università degli studi di Firenze, Facoltà di Agraria, corso di laurea in Scienze Forestali, 1987.

PIRES, B. M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria e fabricação de móveis.** 2000, 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PLUMPTRE, R. A. *Pinus caribaea*, Vol. II: Wood properties. **Trop For Pap 17, Commonw For Inst.**, Oxford University, 1983, 145p.

POLGE, H. Densitometric analysis of radiographs. **Ann. Ecole Nat. Elaux et Forets**, v. 20, n. 4, 1963.

PONCE, R. H. Eucalipto: uso alternativo da madeira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p.52-57. 1997.

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, **Anais...**, IPEF, Piracicaba, p. 50-58, 1995.

PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, v. 40, p. 647–663, 2006.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. Department of the environment Building Research Establishment, p. 152, 1974.

PULROLNIK, K. **Crescimento, dinâmica de copa e qualidade da madeira para serraria de clone de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden] submetido a desrama artificial**. 2002, 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

REZENDE, M. A., QUINTANA, I. R.; TAYLOR, E. Utilização da radiação gama do Am<sup>241</sup> no estudo dos anéis de crescimento de árvores como parâmetro de qualidade e fonte de informações ambientais. **Revista Floresta**, v. 29, n. 1, p. 67-83, 2000.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 30, p. 37-41, 1985.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus spp*. **IPEF**, v.46, p.76-85, 1993.

RICHARDSON, S. D. The effect of night temperature on tracheid size and wood density in conifers. **Int. Ass. Wood Anatomists. News Bull.** V.2, 1959.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex- Maiden aos sete anos. **Revista Instituto Florestal**, v. 16, n. 1, p.43-55, jan. 2004.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**. 2000, 185p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, 2000.

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

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 94-103, 2001.

ROQUE, R. M. **Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* (Roxb.), em diferentes condições de clima e manejo na Costa Rica**. 2005, 202p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), ESALQ/USP, Piracicaba, 2005.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. 1993, 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 1993.

SAHLBERG, U. Influence of knot fibers on TMP properties. **Tappi Journal**, v. 78, n. 5, p. 162-168, 1995.

SANT'ANA, C. M.; MALINOVSKI, J. R. Uso da análise multivariada no estudo de fatores humanos em operadores de motosserra, **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 98-104, 2002.

SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; LEITE, H. G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n. 5, p. 737-747, 2006.

SANTOS, P. E. T. **Avaliação de característica tecnológica de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético**. 2002, 153p. Tese (Doutorado em Agronomia), na área de genética e melhoramento de plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, N.J.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 142-

SAUTER, U. H.; MUTZ, R.; MUNRO, B. D. Determining juvenile mature wood transition in scots pine using latewood density. **Wood and Fiber Science**, v. 31, n. 4, p. 416-425, 1999.

SCANAVACA JUNIOR, L. 2001. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE e de seu potencial para utilização em serraria**. 2001, 108 p. Dissertação n (Mestrado em Ciências), na área de Ciências Florestais. ESALQ. Piracicaba.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 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, dez. 1998.

SCHAFFER, E. L. Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strenght of dry

SCHÖNAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypts plantations. **Forestry Ecology and Management**, v. 29, p. 245-66, 1989.

SENAI/CETMAN. **Processamento mecânico do eucalipto** (Secagem, usinagem e acabamento de superfície). Trabalho elaborado pela equipe: NAT/NET e IP do CETMAN, 1996.

SENFT, J.F.; BENDTSEN, B.A.; GALLIGAN, W.L. Weak wood. **Journal of Forestry**, Bethesda, n.83, p.476-485, 1985.

SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.27, n: 5, p. 723-733, 2003.

SERRANO, R. **Trabajabilidad de la madera**. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería forestal, Instituto Nacional de Aprendizaje, Núcleo de Tecnología de los Materiales, Industria de la madera y afines. 2000, 49p.

SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C, T. S.; CHAGAS, M. P.; LACLAU, J. P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 24 meses de idade. **Floresta**, v.39, n.3, p.535-546, 2009.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 1998, 200p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 1998.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii* de duas procedências. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 29-32, 2000.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus sp.*** 1990, 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 1990.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 2005, 151p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002, 160p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), na área de Tecnologia da Madeira, pela Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2002.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *eucalyptus grandis* hill ex. Maiden**. 2002, 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. R. M., LIMA J. T., TRUGILHO, P. F. Usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes regiões da medula à casca. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2007.

SILVA, J. C. Eucalipto a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, p. 32-34, setembro de 2001.

SILVA, J.C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, n.75, p. 1-10, 2003.

SILVA, J.C. Pesquisa amplia aplicações do eucalipto. Desdobro da madeira de eucalipto na serraria. **Revista da Madeira**, p. 92-96, agosto de 2003.

SILVA, L. M. **Classificação de áreas de reflorestamentos mistos usando análise multivariada, em Cotriguaçu-MT**. 2008, 88p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá, 2008.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004, 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFPR, 2004.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSO, A. R. G.; NETO, A. B. G.; BONDUELLE, A. Principais metodologias de mediacao de estado de superfícies. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.2, p.203-210, 2003.

SKOLMEN, R. Heating logs – to relieve growth stress. **Forest Products Journal**, n.17, v. 7, p. 41-41, 1967.

SNEATH, P. H. & SOKAL, R. R. **Numerical Taxonomy**. The principles and practice of numerical classification. Freeman, san Francisco, 573 p., 1973.

SOUZA, A. L.; FERREIRA, R. L. C.; XAVIER, A. **Análise de agrupamento aplicada à ciência florestal**, Viçosa, MG: SIF, 109p., 1997. (Documento SIF, 16).

SOUZA, A. N; OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; CARVALHO, L. M. T. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 222-238, 2007.

SOUZA, A. N; OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; CARVALHO, L. M. T. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal. **Cerne**, Lavras, v.13, p.222-238, 2007.

SOUZA, M. O. A. **Madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake Visando seu uso na indústria moveleira**. 2007, 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), UFV – Viçosa, 2007.

SPURR, S. H. ; HYVARINEN, M. J. Wood fiber length as related to position in tree and growth. **Bot. Rev.** v. 20, p. 561-575, 1954.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

STANDFEST, G.; ZIMMER, B. **The surface hardness of thermally treated woods. FachhochschuleSelzburg.** Disponível em: <[http://www.fhs.forschung.at/.../publikation/.../2008-06\\_Poster\\_St\\_Louis\\_Standfest.pdf](http://www.fhs.forschung.at/.../publikation/.../2008-06_Poster_St_Louis_Standfest.pdf)>. Acesso em: 10 jan.2010.

TAYLOR, F. W. Variation in the anatomical properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. **Appita journal**, Australian, v. 27, n. 3, p. 171-178, 1973.

TAYLOR, F. W. Property variation within stems of selected hardwoods growing in the mid-south. **Wood Science**, v.11, p. 193-199, 1979;

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in wood sanding operation. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 5, p. 41-46, 1999.

TEJADA, A.; OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; YOSHIDA, M. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, n. 47, v. 9, p. 86-93, 1997.

THOMAS, R.J. The characteristics of juvenile wood. In: SYMPOSIUM ON UTILIZATION CHANGES ON WOOD RESEARCH SOUTH US, **Anais...**, Raleigh, North Carolina State University, p. 1-18, 1985.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*.** 2006. 146p. Tese para concurso de Livre Docência em Ciência e Tecnologia de Madeira. Piracicaba-SP. 2006.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF**, Piracicaba, v.29, p.25-36, 1985a.

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

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia.** Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, p. 117-143. 2001.

TOUZA, M. C. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* contensiones de crecimiento. **Revista Del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia**, Orense, n. 6, p. 8-37, 2001.

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, jan./dez. 2002.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influências da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**,v. 2, n. 1, p. 1-12, 1996.

TUSET, R.; DURAN, F. **Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilizacion**. Montivideo: Hemisfério Sur, 1986, 688p.

UNSAI, O. AYRILMIS, N. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. **J. Wood Science**. v. 51, p. 405-409, 2005.

UNSAI, O.; KORKUT, S.; ATIK, C. The effect of heat treatment on some properties and colour in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* DEHN.) wood. **Maderas, Ciencia y Tecnologia**, v.5, n.2, p.145-152, 2003.

UNSAI, O.; KORKUT, S.; ATIK, C. The effect of heat treatment on some properties and color in (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v. 5, n. 2, 2003.

VALE, R. S. et al. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 285-297, 2002.

VALGAS, R. A. **Análise multivariada aplicada no mapeamento da divergência genética de subpopulações de *Araucaria angustifolia* por marcadores isoenzimáticos**. 2008, 139p. Dissertação (Mestre em Ciências), Área de Concentração em Programação Matemática, Departamentos de Construção Civil e de Matemática, setores de Tecnologia e de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

VERMAAS, H. F. Drying eucalypts for quality: material characteristics, pré-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. **Suid-Afrikaanse Bosbouydskrif**, South Africa, n. 174, p. 41-49, 1995.

VIANNA NETO, J. A. Considerações básicas sobre desdobro de *Pinus spp.* Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento - SEMADER, **Silvicultura**, São Paulo, v. 9, n. 34, p.15-19, 1984.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico-SIF**, n. 1, 21p. 1984.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Procedência de Sementes e Qualidade da Madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

VOVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. 1982. **Energy from biomass**. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.), 2. ed. London: Applied Sciences, p. 925-929.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. New York: John Wiley & Sons, 1950, 376 p.

WILKINS, A. P. Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. **Wood Science and Technology**, Sydney, v. 25, n. 6, p. 415-423, Sept. 1991.

WOOD HANDBOOK. **Wood as an engineering material**. Forest Products Laboratory. U. S. Department of Agriculture. Chapter : Structure of Wood. 1987, p. 2-5.

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

ZAMAN, A.; ALEN, R.; KOTILAINEN, R. Thermal behavior of scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) at 200-230°C. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 32, n. 2, p. 138-143, 2000.

ZECCHINO, M. Characterizing Surface Quality: Why Average Roughness is Not Enough. **Veeco Instruments Inc.** Tucson-USA, 2006. 4p.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of Wood Production**. Syracuse: Springer-Verlag, U.S.A., 1995.

ZOBEL, B. J., KELLISON, R. C. Should wood be included in a pine tree improvement program. In: IUFRO Meeting Section 22. Gainesville, 1971, 11p.

ZOBEL, B. J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest trees**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998, 300p.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation its causes and control**. Springer Series in Wood Science, ed. Timell, T.E., Springer – Verlag, 1989, 363 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA, MATRIZ DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE  
DE REGRESSÃO PARA OS DADOS DENDROMÉTRICOS**

**Anexo 1 1.** Análise de variância dos dados dendrométricos.

Variável	Efeitos em marcados em negrito são significativos para: $p < 0,0500$							
	SQ efeito	GL efeito	QM efeito	SQ erro	GL erro	QM erro	F	Probab.
DAP	<b>223,998</b>	<b>5</b>	<b>44,80</b>	<b>8,167</b>	<b>12</b>	<b>0,68056</b>	<b>65,830</b>	<b>0,000000</b>
Abertura da tora (AT)	1,5307	5	0,306	1,558	12	0,12986	2,3574	0,103810
Rend. madeira serrada verde (RMS)	585,6347	5	117,1	624,1	12	52,0102	2,2520	0,115730
Rend. madeira serrada seca (RMS <sub>s</sub> )	<b>505,914</b>	<b>5</b>	<b>101,2</b>	<b>276,7</b>	<b>12</b>	<b>23,060</b>	<b>4,3878</b>	<b>0,016693</b>
Teor de casca (TC)	7,1435	5	1,429	11,71	12	0,97613	1,4636	0,271977
Achat. médio (Am)	7,2451	5	1,449	49,64	12	4,13667	0,3503	0,872395
Conicidade (C)	0,7507	5	0,150	2,019	12	0,16828	0,8922	0,516223
Cerne/alburno (C/A)	0,1925	5	0,039	0,261	12	0,02172	1,7731	0,192947

**Anexo 1 2.** Resultado do Teste de Tukey para a variável DAP.

Árvore	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1		<b>0,002579</b>	<b>0,000168</b>	<b>0,000159</b>	<b>0,000159</b>	<b>0,026334</b>
2	<b>0,002579</b>		<b>0,041984</b>	<b>0,000159</b>	<b>0,000276</b>	0,712865
3	<b>0,000168</b>	<b>0,041984</b>		<b>0,000307</b>	<b>0,032433</b>	<b>0,003958</b>
4	<b>0,000159</b>	<b>0,000159</b>	<b>0,000307</b>		0,054291	<b>0,000159</b>
5	<b>0,000159</b>	<b>0,000276</b>	<b>0,032433</b>	0,054291		<b>0,000170</b>
6	<b>0,026334</b>	0,712865	<b>0,003958</b>	<b>0,000159</b>	<b>0,000170</b>	

**Anexo 1 3.** Resultado do Teste de Tukey para a variável RMSs.

Árvore	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1		<b>0,012714</b>	0,070241	<b>0,023856</b>	0,074732	0,087125
2	<b>0,012714</b>		0,902695	0,998799	0,889090	0,851137
3	0,070241	0,902695		0,984993	1,000000	0,999993
4	<b>0,023856</b>	0,998799	0,984993		0,980760	0,966737
5	0,074732	0,889090	1,000000	0,980760		0,999999

**Anexo 1 4.** Matriz de correlação para os dados dendrométricos.

Variável	DAP	AT	RMS	RMS s	TC	Am	C	C/A
DAP	1,0000	-0,5882	0,5108	0,4670	-0,2673	-0,1201	0,2145	0,4252
AT	-0,5882	1,0000	-0,1804	-0,2515	0,3355	-0,0204	-0,1129	-0,3305
RMS	0,5108	-0,1804	1,0000	<b>0,8240</b>	-0,2565	-0,0218	-0,0467	0,6662
RMS s	0,4670	-0,2515	<b>0,8240</b>	1,0000	-0,4831	0,0929	<b>-0,3886</b>	0,3635
TC	-0,2673	0,3355	-0,2565	-0,4831	1,0000	-0,3871	0,2564	-0,0044
Am	-0,1201	-0,0204	-0,0218	0,0929	-0,3871	1,0000	-0,4126	-0,1171
C	0,2145	-0,1129	-0,0467	<b>-0,3886</b>	0,2564	-0,4126	1,0000	0,1373
C/A	0,4252	-0,3305	<b>0,6662</b>	0,3635	-0,0044	-0,1171	0,1373	1,0000
Média	<b>45,5194</b>	<b>2,2139</b>	<b>35,0751</b>	<b>31,9858</b>	<b>4,3856</b>	<b>96,3794</b>	<b>0,6331</b>	<b>0,7476</b>
Desvio padrão	<b>3,6955</b>	<b>0,4263</b>	<b>8,4358</b>	<b>6,7851</b>	<b>1,0532</b>	<b>1,8293</b>	<b>0,4037</b>	<b>0,1633</b>
Número de casos	18,0000							
Matriz	1,0000							

Coefficientes de correlação destacados em negrito são significativos para  $p\text{-valor} \leq 5\%$ .

**Anexo 1 5.** Análise de regressão para a variável dependente rendimento de madeira serrada verde.

Análise de regressão para a variável dependente: RMS (%)  
R= 0,948876; R<sup>2</sup>= 0,900366; R<sup>2</sup> ajustado = 0,830621  
Variável F(7,10) = 12,910 p<,00028; Erro padrão da estimativa: 3,4718

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			-68,8340	59,78790	-1,15130	0,276391
<b>DAP (cm)</b>	0,041887	0,151199	0,0956	0,34514	0,27703	0,787400
<b>AT (cm)</b>	0,190358	0,130825	3,7671	2,58898	1,45506	0,176314
<b>RMS s (%)</b>	<b>0,835642</b>	<b>0,158622</b>	<b>1,0389</b>	<b>0,19721</b>	<b>5,26813</b>	<b>0,000364</b>
<b>TC (%)</b>	0,063121	0,133812	0,5056	1,07178	0,47172	0,647253
<b>Am (%)</b>	0,084590	0,119808	0,3901	0,55250	0,70604	0,496281
<b>C (%)</b>	0,256773	0,136317	5,3660	2,84873	1,88365	0,088988
<b>A/C (%)</b>	<b>0,382467</b>	<b>0,120733</b>	<b>19,7610</b>	<b>6,23792</b>	<b>3,16788</b>	<b>0,010024</b>

**Anexo 1 6.** Análise de regressão para a variável dependente rendimento de madeira serrada seca.

Análise de regressão para a variável dependente: RMS s (%)  
R= 0,946103; R<sup>2</sup> = 0,895111; R<sup>2</sup> ajustado = 0,821689  
Variável F(7,10)=12,191 p<,00036; Erro padrão da estimativa: 2,8651

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			62,5333	48,64283	1,28556	0,227569
<b>DAP (cm)</b>	0,076288	0,153849	0,1401	0,28247	0,49586	0,630708
<b>AT (cm)</b>	-0,126252	0,142262	-2,0096	2,26442	-0,88746	0,395673
<b>RMS (%)</b>	<b>0,879709</b>	<b>0,166987</b>	<b>0,7076</b>	<b>0,13431</b>	<b>5,26813</b>	<b>0,000364</b>
<b>TC (%)</b>	-0,150427	0,130409	-0,9691	0,84013	-1,15350	0,275528
<b>Am (%)</b>	-0,115098	0,120580	-0,4269	0,44725	-0,95454	0,362316
<b>C (%)</b>	<b>-0,351018</b>	<b>0,119087</b>	<b>-5,9001</b>	<b>2,00169</b>	<b>-2,94758</b>	<b>0,014595</b>
<b>A/C (%)</b>	-0,262651	0,154422	-10,9150	6,41731	-1,70087	0,119802

**Anexo 1 7.** Análise de regressão para a variável dependente conicidade.

Análise de regressão para a variável dependente: c (%)  
R= 0,777329; R<sup>2</sup>= 0,604240; R<sup>2</sup> ajustado = 0,327208  
Variável F(7,10)=2,1811 p<,12729; Erro padrão da estimativa: 0,33110

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			7,962897	5,520936	1,44231	0,179794
<b>DAP (cm)</b>	0,25622	0,291445	0,027987	0,031835	0,87913	0,399964
<b>AT (cm)</b>	-0,16285	0,282356	-0,154216	0,267382	-0,57676	0,576852
<b>RMS (%)</b>	1,01993	0,541467	0,048805	0,025910	1,88365	0,088988
<b>RMS s (%)</b>	<b>-1,32444</b>	<b>0,449333</b>	<b>-0,078795</b>	<b>0,026732</b>	<b>-2,94758</b>	<b>0,014595</b>
<b>TC (%)</b>	-0,12299	0,266820	-0,047141	0,102265	-0,46096	0,654687
<b>Am (%)</b>	-0,31804	0,223031	-0,070183	0,049217	-1,42599	0,184333
<b>A/C (%)</b>	-0,26127	0,330421	-0,645958	0,816919	-0,79072	0,447452

**Anexo 18.** Análise de regressão para a variável dependente relação cerne/alburno.

Resumo da análise de regressão para a variável dependente: C/A (%)						
R = 0,811689; R <sup>2</sup> = 0,658840; R <sup>2</sup> ajustado = 0,420027						
F(7,10)=2,7588 p<,07108; Erro padrão da estimativa: 0,12434						
Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			1,562043	2,224597	0,70217	0,498591
<b>DAP (cm)</b>	-0,000067	0,280857	-0,000003	0,012409	-0,00024	0,999815
<b>AT (cm)</b>	-0,357736	0,241277	-0,137021	0,092414	-1,48268	0,168974
<b>RMS (%)</b>	<b>1,309615</b>	<b>0,413404</b>	<b>0,025347</b>	<b>0,008001</b>	<b>3,16788</b>	<b>0,010024</b>
<b>RMS s (%)</b>	-0,854300	0,502272	-0,020557	0,012086	-1,70087	0,119802
<b>TC (%)</b>	0,063795	0,249536	0,009890	0,038684	0,25565	0,803400
<b>Am ( %)</b>	-0,084643	0,225574	-0,007555	0,020134	-0,37523	0,715323
<b>C (%)</b>	-0,225226	0,284835	-0,091098	0,115208	-0,79072	0,447452

**ANEXO 2 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO E ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA OS  
DEFEITOS DA MADEIRA**

**Anexo 2 1.** Análise de regressão para a variável dependente índice de rachadura.

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **IR**  
 $R = 0,352675$ ;  $R^2 = 0,124380$ ;  $R^2$  ajustado =  $0,102625$   
**Variável**  $F(8,322)=5,7174$   $p<,00000$ ; Erro padrão da estimativa: 15,980

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			-0,332055	3,074996	-0,107986	0,914074
<b>CVT<sub>10%</sub></b>	<b>0,240047</b>	<b>0,056205</b>	<b>0,997932</b>	<b>0,233659</b>	<b>4,270888</b>	<b>0,000026</b>
<b>IET</b>	0,011269	0,056734	0,155057	0,780606	0,198636	0,842673
<b>IAT</b>	0,075543	0,056499	0,667828	0,499477	1,337056	0,182148
<b>ENCAN</b>	-0,028684	0,056958	-0,372180	0,739051	-0,503592	0,614893
<b>NOS</b>	<b>0,272400</b>	<b>0,062383</b>	<b>2,235752</b>	<b>0,512012</b>	<b>4,366599</b>	<b>0,000017</b>
<b>BR</b>	-0,005215	0,057693	-0,177075	1,958844	-0,090398	0,928027
<b>COLAP</b>	-0,023954	0,057264	-0,833665	1,992957	-0,418305	0,676003
<b>RS</b>	0,000547	0,054592	0,019474	1,943636	0,010020	0,992012

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 2.** Análise de regressão para a variável dependente contração volumétrica aparente

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **CVT<sub>10%</sub>**  
 $R = 0,430517$   $R^2 = 0,185345$   $R^2$  ajustado =  $0,165105$   
**Variável**  $F(8,322)=9,1574$   $p<,00000$ ; Erro padrão da estimativa: 3,7078

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			<b>8,52639</b>	<b>0,532228</b>	<b>16,02018</b>	<b>0,000000</b>
<b>IR</b>	<b>0,223334</b>	<b>0,052292</b>	<b>0,05372</b>	<b>0,012579</b>	<b>4,27089</b>	<b>0,000026</b>
<b>IET</b>	-0,066761	0,054600	-0,22095	0,180708	-1,22272	0,222330
<b>IAT</b>	-0,087079	0,054432	-0,18517	0,115750	-1,59977	0,110630
<b>ENCAN</b>	<b>0,178527</b>	<b>0,054053</b>	<b>0,55721</b>	<b>0,168708</b>	<b>3,30281</b>	<b>0,001065</b>
<b>NOS</b>	<b>-0,188803</b>	<b>0,061027</b>	<b>-0,37275</b>	<b>0,120486</b>	<b>-3,09375</b>	<b>0,002150</b>
<b>BR</b>	0,088689	0,055430	0,72434	0,452699	1,60004	0,110570
<b>COLAP</b>	<b>-0,242918</b>	<b>0,053565</b>	<b>-2,03364</b>	<b>0,448431</b>	<b>-4,53501</b>	<b>0,000008</b>
<b>RS</b>	0,076379	0,052485	0,65411	0,449486	1,45525	0,146576

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 3.** Análise de regressão para a variável dependente intensidade de encurvamento.

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **IET**  
 $R = 0,389009$ ;  $R^2 = 0,151328$ ;  $R^2$  ajustado =  $0,135612$   
**Variável**  $F(6,324)=9,6288$   $p<,00000$ ; Erro padrão da estimativa: 1,1399

	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			<b>1,011915</b>	<b>0,149990</b>	<b>6,746562</b>	<b>0,000000</b>
<b>IAT</b>	0,051628	0,055226	0,033172	0,035483	0,934853	0,350560
<b>ENCAN</b>	<b>0,320928</b>	<b>0,052024</b>	<b>0,302648</b>	<b>0,049060</b>	<b>6,168897</b>	<b>0,000000</b>
<b>NOS</b>	-0,026846	0,060751	-0,016014	0,036240	-0,441898	0,658858
<b>BR</b>	<b>0,141722</b>	<b>0,055840</b>	<b>0,349723</b>	<b>0,137796</b>	<b>2,537986</b>	<b>0,011617</b>
<b>COLAP</b>	0,086544	0,054093	0,218910	0,136828	1,599898	0,110596
<b>RS</b>	0,034651	0,053359	0,089663	0,138071	0,649398	0,516541

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 4. Análise de regressão para a variável dependente intensidade de arqueamento.**

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **IAT**  
 $R = 0,375708$ ;  $R^2 = 0,141156$ ;  $R^2$  ajustado = 0,127943  
 $F(5,325)=10,683$   $p<,00000$ ; Erro padrão da estimativa: 1,7820

Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			<b>2,683815</b>	<b>0,181151</b>	<b>14,81536</b>	<b>0,000000</b>
ENCAN	0,006275	0,052253	0,009210	0,076693	0,12009	0,904483
<b>NOS</b>	<b>0,339563</b>	<b>0,058040</b>	<b>0,315257</b>	<b>0,053886</b>	<b>5,85048</b>	<b>0,000000</b>
BR	-0,053536	0,056009	-0,205612	0,215110	-0,95585	0,339860
COLAP	0,098610	0,054057	0,388210	0,212812	1,82419	0,069041
RS	0,081268	0,053405	0,327290	0,215078	1,52173	0,129050

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 5. Análise de regressão para a variável dependente encanoamento.**

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **ENCAN**  
 $R = 0,179263$ ;  $R^2 = 0,032135$ ;  $R^2$  ajustado = 0,020260  
 $F(4,326)=2,7060$   $p<,03040$ ; Erro padrão da estimativa: 1,2869

Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			<b>0,553209</b>	<b>0,127182</b>	<b>4,349732</b>	<b>0,000018</b>
NOS	0,027115	0,061501	0,017152	0,038903	0,440886	0,659588
BR	0,022267	0,059354	0,058265	0,155311	0,375151	0,707792
COLAP	<b>0,153795</b>	<b>0,056660</b>	<b>0,412517</b>	<b>0,151977</b>	<b>2,714330</b>	<b>0,006994</b>
RS	0,079625	0,056435	0,218481	0,154850	1,410925	0,159220

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 6. Análise de regressão para a variável dependente nós.**

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **NOS**  
 $R = 0,463752$   $R^2 = 0,215066$ ;  $R^2$  ajustado = 0,207865  
 $F(3,327)=29,865$   $p<,00000$ ; Erro padrão da estimativa: 1,8293

Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,262315	0,180206	1,455639	0,146452
<b>BR</b>	<b>0,355412</b>	<b>0,049618</b>	<b>1,470246</b>	<b>0,205258</b>	<b>7,162922</b>	<b>0,000000</b>
<b>COLAP</b>	<b>0,195948</b>	<b>0,049782</b>	<b>0,830890</b>	<b>0,211093</b>	<b>3,936140</b>	<b>0,000101</b>
<b>RS</b>	<b>0,178324</b>	<b>0,049777</b>	<b>0,773531</b>	<b>0,215922</b>	<b>3,582457</b>	<b>0,000392</b>

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 7. Análise de regressão para a variável dependente bolsa de resina.**

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: **BR**  
 $R = 0,158145$ ;  $R^2 = 0,025010$ ;  $R^2$  ajustado = 0,019065  
 $F(2,328)=4,2068$   $p<,01571$ ; Erro padrão da estimativa: 0,49209

Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			<b>0,473305</b>	<b>0,040829</b>	<b>11,59236</b>	<b>0,000000</b>
COLAP	<b>0,120380</b>	<b>0,054997</b>	<b>0,123395</b>	<b>0,056375</b>	<b>2,18882</b>	<b>0,029314</b>
RS	<b>0,119584</b>	<b>0,054997</b>	<b>0,125396</b>	<b>0,057670</b>	<b>2,17436</b>	<b>0,030393</b>

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 8.** Análise de regressão para a variável dependente colapso.

Resumo da Análise de Regressão para a variável dependente: COLAP						
R = 0,131359; R <sup>2</sup> = 0,017255; R <sup>2</sup> ajustado = 0,014268						
F(1,329)=5,7766 p<,01679; Erro padrão da estimativa: 0,48124						
Variável	Beta	Erro Padrão de Beta	B	Erro Padrão de B	t(10)	Probabilidade
Intercepto			<b>0,420163</b>	<b>0,032522</b>	<b>12,91919</b>	<b>0,000000</b>
<b>RS</b>	<b>-0,131359</b>	<b>0,054654</b>	<b>-0,134377</b>	<b>0,055910</b>	<b>-2,40346</b>	<b>0,016793</b>

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

**Anexo 2 9.** Matriz de correlação dos defeitos da madeira para as 116 tábuas.

Variável	IR 1	CVT <sub>10%</sub> 2	IET 3	IAT 4	ENCAN 5	NOS 6	BR 7	COLAP 8	RS 9
IR	1,00	0,10	0,04	0,21	0,05	0,30	0,21	0,03	-0,51
CVT <sub>10%</sub>	0,10	1,00	0,26	-0,20	0,27	-0,16	0,27	-0,25	-0,14
IET	0,04	0,26	1,00	-0,18	0,33	-0,07	0,18	0,05	0,02
IAT	0,21	-0,20	-0,18	1,00	-0,03	0,44	0,05	0,22	-0,23
ENCAN	0,05	0,27	0,33	-0,03	1,00	0,09	0,10	0,09	0,01
NOS	0,30	-0,16	-0,07	0,44	0,09	1,00	0,32	0,28	-0,22
BR	0,21	0,27	0,18	0,05	0,10	0,32	1,00	0,09	-0,23
COLAP	0,03	-0,25	0,05	0,22	0,09	0,28	0,09	1,00	0,15
RS	-0,51	-0,14	0,02	-0,23	0,01	-0,22	-0,23	0,15	1,00
<b>Média</b>	<b>19,83</b>	<b>9,03</b>	<b>1,53</b>	<b>3,73</b>	<b>0,76</b>	<b>2,41</b>	<b>0,66</b>	<b>0,22</b>	<b>0,87</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>20,62</b>	<b>4,57</b>	<b>1,01</b>	<b>1,93</b>	<b>1,21</b>	<b>2,53</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	<b>0,34</b>
<b>Número de casos</b>	116,0								
<b>Matriz</b>	1,00								

**Anexo 2 10.** Matriz de de correlação dos defeitos da madeira para as 101 tábuas.

Variável	IR 1	CVT <sub>10%</sub> 2	IET 3	IAT 4	ENCAN 5	NOS 6	BR 7	COLAP 8
IR	1,00	0,25	0,04	-0,02	0,09	-0,13	-0,18	-0,11
CVT <sub>10%</sub>	0,25	1,00	-0,02	-0,20	0,00	-0,23	0,32	-0,26
IET	0,04	-0,02	1,00	0,32	0,49	-0,11	0,04	0,06
IAT	-0,02	-0,20	0,32	1,00	0,06	0,27	-0,14	0,15
ENCAN	0,09	0,00	0,49	0,06	1,00	0,01	0,07	0,10
NOS	-0,13	-0,23	-0,11	0,27	0,01	1,00	-0,10	0,37
BR	-0,18	0,32	0,04	-0,14	0,07	-0,10	1,00	-0,01
COLAP	-0,11	-0,26	0,06	0,15	0,10	0,37	-0,01	1,00
<b>Média</b>	<b>8,11</b>	<b>8,74</b>	<b>1,42</b>	<b>2,84</b>	<b>0,69</b>	<b>0,42</b>	<b>0,07</b>	<b>0,31</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>12,59</b>	<b>4,24</b>	<b>1,04</b>	<b>1,81</b>	<b>1,14</b>	<b>0,77</b>	<b>0,26</b>	<b>0,46</b>
<b>Número de casos</b>	101,0							
<b>Matriz</b>	1,00							

**Anexo 2 11.** Matriz de correlação dos defeitos da madeira para as 114 tábuas.

<b>Variável</b>	<b>IR</b> <b>1</b>	<b>CVT<sub>10%</sub></b> <b>2</b>	<b>IET</b> <b>3</b>	<b>IAT</b> <b>4</b>	<b>ENCAN</b> <b>5</b>	<b>NOS</b> <b>6</b>	<b>BR</b> <b>7</b>	<b>COLAP</b> <b>8</b>	<b>RS</b> <b>9</b>
<b>IR</b>	1,00	0,25	0,03	0,00	-0,01	0,06	-0,20	0,13	-0,03
<b>CVT<sub>10%</sub></b>	0,25	1,00	-0,29	0,00	0,21	-0,16	-0,00	-0,07	-0,04
<b>IET</b>	0,03	-0,29	1,00	0,13	0,20	0,22	-0,04	0,21	0,32
<b>IAT</b>	0,00	0,00	0,13	1,00	0,10	0,19	-0,04	0,15	0,27
<b>ENCAN</b>	-0,01	0,21	0,20	0,10	1,00	0,04	-0,27	0,19	0,35
<b>NOS</b>	0,06	-0,16	0,22	0,19	0,04	1,00	0,10	0,21	0,00
<b>BR</b>	-0,20	-0,00	-0,04	-0,04	-0,27	0,10	1,00	-0,20	-0,12
<b>COLAP</b>	0,13	-0,07	0,21	0,15	0,19	0,21	-0,20	1,00	0,07
<b>RS</b>	-0,03	-0,04	0,32	0,27	0,35	0,00	-0,12	0,07	1,00
<b>Média</b>	<b>10,61</b>	<b>6,18</b>	<b>1,94</b>	<b>3,45</b>	<b>1,04</b>	<b>1,98</b>	<b>0,91</b>	<b>0,59</b>	<b>0,09</b>
<b>Desvio padrão</b>	13,61	2,46	1,34	1,89	1,48	1,79	0,29	0,49	0,29
<b>Número de casos</b>	112,0								
<b>Matriz</b>	1,00								

**ANEXO 3 – VALORES MÉDIOS DOS CARACTERES ANATÔMICOS, ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR**

**Anexo 3 1.** Valores médios dos caracteres anatômicos no sentido radial.

Arvore	Distância (cm)	Idade	Posição Medula-Câmbio	Comp Fibras (mm)	Diam Lume	Diam. Externo	Esp Parede (µm)	Índice de Esbeltez	Fração Parede	Comp Vasos (µm)	Diâmetro Tangencial Vasos (µm)	% fibras	% Parênquima Axial	% Parênquima Radial	% vasos
1	1	2	1	0,812	14,89	21,54	3,34	37,68	0,309	432,80	146,06	51,79	14,29	14,29	19,64
1	2	3	1	0,892	13,68	20,64	3,48	43,22	0,337	425,29	130,32	41,07	32,14	7,14	19,64
1	3	4	1	0,871	14,37	21,67	3,65	40,21	0,337	387,21	138,87	53,57	30,36	5,36	10,71
1	4	5	1	0,961	16,38	24,13	3,86	39,83	0,321	465,32	146,23	46,43	19,64	12,50	21,43
1	5	6	1	1,012	13,08	20,99	3,95	48,23	0,377	468,35	140,20	50,00	19,64	10,71	19,64
1	6	7	1	1,030	14,82	22,46	3,82	45,86	0,340	430,09	140,34	55,36	5,36	12,50	26,79
1	7	8	1	1,027	13,86	21,87	4,01	46,95	0,366	507,85	140,34	67,86	10,71	3,57	17,86
1	8	9	2	1,072	16,36	23,85	3,74	44,96	0,314	461,42	154,10	51,79	16,07	5,36	26,79
1	9	10	2	1,073	13,38	20,97	3,79	51,19	0,362	531,31	159,80	64,29	14,29	5,36	16,07
1	10	10	2	1,023	18,34	25,54	3,25	40,06	0,282	410,36	160,30	41,07	21,43	12,50	25,00
1	11	11	2	1,037	14,03	22,29	4,13	46,51	0,370	444,35	160,30	46,43	14,29	17,86	21,43
1	12	11	2	1,033	15,64	22,47	3,41	45,96	0,304	522,96	185,59	58,93	12,50	12,50	16,07
1	13	12	3	0,981	15,07	22,23	3,58	44,13	0,322	443,55	143,72	50,00	16,07	12,50	21,43
1	14	13	3	1,008	12,73	20,54	3,90	49,07	0,380	431,99	137,52	58,93	16,07	10,71	14,29
1	15	14	3	1,131	17,05	25,06	4,00	45,12	0,319	411,42	151,42	60,71	5,36	17,86	16,07
1	16	15	3	1,055	12,25	20,93	4,21	50,41	0,414	485,83	149,08	51,79	17,86	12,50	17,86
1	17	16	3	1,057	14,95	21,41	3,23	49,37	0,302	470,20	173,20	42,86	25,00	14,29	17,86
1	18	17	3	1,166	13,34	20,89	3,78	55,83	0,361	470,54	153,60	53,57	17,86	12,50	16,07
1	19	18	3	1,084	10,90	19,28	4,19	56,20	0,435	390,00	157,95	69,64	10,71	12,50	7,14
1	20	19	3	1,105	13,55	20,92	3,69	52,82	0,352	458,49	159,80	44,64	10,71	16,07	28,57
1	21	20	3	1,106	14,6	21,7	3,48	51,04	0,325	428,94	155,27	62,50	10,71	10,71	16,07
1	22	21	3	1,037	14,13	21,85	3,77	47,45	0,354	462,37	171,02	42,86	19,64	16,07	21,43

... Continuação

1	23	22	3	1,048	11,57	19,77	4,10	53,03	0,415	393,96	137,85	57,14	16,07	17,86	8,93
1	24	23	3	0,971	13,43	21,27	3,92	45,63	0,369	389,23	153,60	44,64	19,64	16,07	19,64
1	25	24	3	1,073	5,74	17,36	5,81	61,78	0,670	338,30	164,34	51,79	19,64	7,14	21,43
2	1	1	1	0,956	21,09	14,80	3,14	45,35	0,298	541,67	147,20	57,14	7,14	14,29	21,43
2	2	1	1	0,965	22,45	17,27	2,59	42,98	0,231	557,63	139,76	46,43	8,93	17,86	26,79
2	3	1	1	0,630	13,99	9,63	2,18	45,06	0,312	388,51	134,34	44,64	23,21	10,71	21,43
2	4	1	1	0,611	15,05	10,92	2,07	40,62	0,274	375,34	103,52	53,57	10,71	14,29	21,43
2	5	2	1	0,660	13,63	9,95	1,84	48,40	0,270	365,74	138,96	69,64	12,50	5,36	12,50
2	6	4	1	0,668	13,71	9,87	1,92	48,69	0,281	387,32	141,84	53,57	10,71	17,86	17,86
2	7	6	1	0,709	15,01	9,80	2,61	47,20	0,348	421,32	137,95	67,86	12,50	8,93	10,71
2	8	8	2	0,759	14,49	9,50	2,49	52,37	0,344	415,55	124,22	57,14	19,64	8,93	14,29
2	9	10	2	1,092	23,32	15,59	3,87	46,84	0,331	750,12	165,49	42,86	16,07	14,29	26,79
2	10	12	2	1,141	23,58	15,15	4,21	48,38	0,357	701,82	130,25	57,14	10,71	10,71	21,43
2	11	13	2	1,203	23,05	15,18	3,93	52,19	0,341	733,66	163,75	57,14	7,14	10,71	25,00
2	12	15	2	1,087	23,64	15,04	4,30	45,97	0,364	656,81	143,31	64,29	8,93	7,14	19,64
2	13	16	3	0,760	15,45	9,13	3,16	49,20	0,409	433,47	157,32	64,29	12,50	12,50	10,71
2	14	18	3	0,699	15,45	9,13	3,77	45,27	0,409	406,49	148,74	57,14	16,07	8,93	17,86
2	15	20	3	0,756	14,74	7,19	3,12	51,31	0,512	440,17	141,71	58,93	14,29	7,14	19,64
2	16	21	3	0,739	15,93	9,69	3,29	46,38	0,392	461,11	152,63	60,71	21,43	7,14	10,71
2	17	22	3	0,779	15,10	8,52	3,68	51,55	0,436	430,97	157,52	48,21	25,00	14,29	12,50
2	18	24	3	0,804	14,07	6,70	3,9	57,16	0,524	421,69	159,59	60,71	14,29	5,36	19,64
2	19	24	3	0,836	13,53	5,74	4,12	61,79	0,576	400,05	164,69	58,93	16,07	10,71	14,29
2	20	24	3	0,830	12,73	4,49	3,81	65,18	0,648	404,53	182,37	50,00	8,93	12,50	28,57
3	1	1	1	0,86	24,49	15,44	4,52	35,26	0,370	588,51	93,47	41,07	23,21	14,29	21,43
3	2	2	1	0,89	106,91	67,83	3,62	8,29	0,366	585,66	87,64	53,57	23,21	8,93	14,29
3	3	3	1	0,94	28,07	19,07	4,50	33,47	0,321	659,72	107,40	64,29	16,07	7,14	12,50

... Continuação

3	4	4	1	0,89	28,03	16,20	5,91	31,88	0,422	650,32	110,95	58,93	14,29	14,29	12,50
3	5	5	1	0,88	27,21	20,48	3,37	32,50	0,247	624,95	96,15	71,43	14,29	10,71	3,57
3	6	7	1	0,90	28,22	22,48	2,87	32,06	0,203	646,38	117,79	50,00	17,86	7,14	25,00
3	7	8	1	1,02	27,08	20,69	3,19	37,80	0,236	672,79	121,87	44,64	25,00	21,43	8,93
3	8	10	2	0,98	23,04	17,21	2,92	42,65	0,253	600,23	132,59	41,07	21,43	16,07	21,43
3	9	11	2	0,98	20,15	14,02	3,06	48,52	0,304	553,94	67,27	53,57	7,14	8,93	30,36
3	10	12	2	1,15	23,66	16,56	3,55	48,77	0,300	698,57	127,57	53,57	21,43	8,93	16,07
3	11	14	2	1,17	23,90	17,21	3,34	48,94	0,280	587,30	140,16	35,71	30,36	14,29	19,64
3	12	15	2	1,23	26,57	19,91	3,33	46,23	0,251	652,18	151,76	46,43	30,36	14,29	8,93
3	13	17	3	1,16	26,00	18,99	3,51	44,50	0,270	590,08	140,30	42,86	23,21	21,43	12,50
3	14	18	3	1,20	28,26	21,46	3,40	42,57	0,241	695,60	157,25	48,21	23,21	10,71	17,86
3	15	20	3	1,14	22,13	15,13	3,50	51,67	0,316	601,19	133,46	53,57	8,93	19,64	17,86
3	16	21	3	1,20	25,47	18,96	3,26	47,07	0,256	555,03	141,24	50,00	14,29	16,07	19,64
3	17	22	3	1,05	15,09	8,17	3,46	69,87	0,458	526,07	141,71	67,86	16,07	5,36	10,71
3	18	23	3	1,23	27,19	19,02	4,09	45,40	0,300	600,53	149,95	44,64	26,79	16,07	12,50
3	19	24	3	1,28	22,31	12,98	4,67	57,39	0,418	680,86	124,49	46,43	17,86	17,86	17,86
3	20	24	3	1,09	22,14	12,33	4,91	49,22	0,443	597,52	155,51	53,57	12,50	16,07	17,86
3	21	24	3	1,21	24,66	15,41	4,63	48,96	0,375	595,76	131,19	51,79	14,29	23,21	10,71
4	1	3	1	0,920	15,83	20,88	2,78	44,05	0,242	446,77	116,25	66,67	12,50	14,58	6,25
4	2	4	1	0,860	15,23	20,63	2,70	41,69	0,261	365,67	117,92	66,67	8,33	8,33	16,67
4	3	5	1	1,010	16,48	22,31	2,91	45,28	0,261	420,39	134,84	68,75	10,42	12,50	8,33
4	4	6	1	1,060	14,81	21,11	3,15	50,20	0,299	450,19	129,31	75,00	6,25	6,25	12,50
4	5	7	1	0,980	15,25	20,54	2,65	47,71	0,258	368,24	129,48	77,08	6,25	10,42	6,25
4	6	9	1	1,070	17,29	22,51	2,61	47,54	0,232	493,14	137,69	66,67	4,17	18,75	10,42
4	7	10	2	1,090	17,40	23,31	2,96	46,77	0,254	436,21	124,80	62,50	8,33	16,67	12,50
4	8	12	2	0,990	15,02	20,67	2,91	47,89	0,273	393,63	129,81	81,25	0,00	6,25	12,50

... Continuação

4	9	13	2	1,130	15,23	22,34	3,56	50,57	0,318	452,30	138,52	68,75	10,42	10,42	10,42
4	10	14	2	1,120	14,91	22,12	3,61	50,63	0,326	416,86	138,36	70,83	6,25	12,50	10,42
4	11	16	2	1,080	15,48	22,24	3,38	48,57	0,304	419,00	110,72	68,75	6,25	12,50	12,50
4	12	18	2	1,110	10,77	17,88	3,56	62,06	0,398	400,66	121,95	54,17	6,25	22,92	16,67
4	13	19	3	1,220	11,13	20,08	4,48	60,75	0,446	445,73	133,00	68,75	10,42	10,42	10,42
4	14	21	3	1,200	13,53	21,29	3,88	56,38	0,365	406,01	117,42	77,08	4,17	6,25	12,50
4	15	22	3	1,140	9,37	18,76	4,69	60,78	0,500	399,18	139,53	54,17	8,33	22,92	14,58
4	16	23	3	1,120	9,76	18,60	4,42	60,20	0,475	403,33	123,28	66,67	8,33	10,42	14,58
4	17	23	3	1,150	10,21	20,27	5,03	56,74	0,496	378,66	127,30	75,00	12,50	6,25	6,25
4	18	23	3	1,170	9,67	19,61	4,97	59,67	0,507	342,76	126,74	72,92	6,25	12,50	8,33
5	1	2	1	0,876	11,38	17,26	2,94	50,77	0,340	360,51	69,61	62,50	14,58	12,50	10,42
5	2	3	1	0,814	12,80	18,23	2,72	44,64	0,298	318,35	72,35	77,08	6,25	10,42	6,25
5	3	4	1	0,868	9,95	16,21	3,13	53,54	0,386	237,77	73,18	60,42	10,42	16,67	12,50
5	4	5	1	0,880	10,85	16,38	2,76	53,71	0,338	266,84	88,30	45,83	14,58	20,83	18,75
5	5	6	1	0,989	12,04	18,10	3,03	54,64	0,335	319,52	70,54	66,67	8,33	8,33	16,67
5	6	7	1	1,035	11,57	17,25	2,84	59,97	0,329	334,05	62,18	77,08	14,58	4,17	4,17
5	7	8	1	1,032	10,90	17,20	3,15	60,00	0,366	357,12	94,07	64,58	12,50	10,42	12,50
5	8	10	2	1,053	14,11	20,28	3,08	51,93	0,304	357,18	121,34	64,58	12,50	12,50	10,42
5	9	11	2	1,092	13,00	19,26	3,13	56,70	0,325	345,60	106,46	70,83	6,25	12,50	10,42
5	10	12	2	1,145	12,08	19,62	3,77	58,36	0,384	329,08	108,47	68,75	12,50	4,17	14,58
5	11	14	2	1,194	11,55	18,32	3,38	65,16	0,370	394,87	118,86	64,58	10,42	6,25	18,75
5	12	15	2	1,273	13,98	21,69	3,86	58,71	0,356	464,69	117,79	72,92	6,25	12,50	8,33
5	13	17	3	1,266	12,61	20,73	4,06	61,06	0,392	431,21	125,16	70,83	12,50	12,50	4,17
5	14	17	3	1,240	12,00	19,78	3,86	62,69	0,393	455,60	133,60	66,67	14,58	8,33	10,42
5	15	18	3	1,188	13,55	21,56	3,38	55,12	0,371	396,91	116,98	68,75	12,50	8,33	10,42
5	16	20	3	1,279	9,87	18,27	4,20	70,02	0,460	378,99	129,11	68,75	10,42	8,33	12,50

... Continuação

5	17	22	3	1,159	8,67	17,85	4,59	64,96	0,514	373,56	115,98	56,25	12,50	14,58	16,67
5	18	24	3	1,142	9,50	19,37	4,94	58,96	0,510	381,73	113,77	72,92	6,25	10,42	10,42
6	1	2	1	0,858	3,33	22,02	15,37	38,96	0,302	487,88	105,26	45,83	16,67	16,67	20,83
6	2	3	1	0,950	3,95	23,72	15,82	40,07	0,333	575,44	132,73	50,00	20,83	12,50	16,67
6	3	3	1	1,071	3,83	23,16	14,57	46,25	0,371	525,72	124,82	20,83	16,67	12,50	50,00
6	4	5	1	1,207	4,64	22,59	13,32	53,43	0,410	525,04	112,43	47,92	22,92	16,67	12,50
6	5	6	1	1,207	4,98	23,50	13,54	51,37	0,424	603,36	167,84	29,17	20,83	25,00	25,00
6	6	7	1	1,255	4,96	21,88	11,96	57,36	0,453	537,85	174,33	39,58	16,67	27,08	16,67
6	7	9	1	1,108	5,59	20,34	9,16	54,48	0,549	568,87	178,29	33,33	12,50	20,83	33,33
6	8	10	1	1,178	4,80	21,45	11,84	54,93	0,448	486,59	180,03	35,42	20,83	22,92	20,83
6	9	11	2	1,183	3,90	22,53	14,73	52,51	0,347	545,08	159,19	35,42	22,92	25,00	16,67
6	10	12	2	1,128	4,36	22,70	13,98	49,70	0,384	489,07	144,36	41,67	18,75	20,83	18,75
6	11	13	2	1,194	3,77	26,00	18,45	45,93	0,290	444,31	157,58	37,50	20,83	25,00	16,67
6	12	15	2	1,227	4,58	21,58	12,43	56,86	0,424	517,43	178,22	33,33	29,17	14,58	22,92
6	13	16	2	1,186	4,03	24,69	16,64	48,03	0,326	598,23	165,62	18,75	22,92	41,67	16,67
6	14	18	3	1,249	4,31	23,41	14,79	53,34	0,368	640,00	155,44	47,92	25,00	10,42	16,67
6	15	19	3	1,146	3,12	25,17	18,94	45,53	0,248	595,51	172,79	31,25	22,92	16,67	29,17
6	16	20	3	1,228	3,58	25,59	18,43	47,99	0,280	655,19	168,84	52,08	14,58	18,75	14,58
6	17	22	3	1,080	4,33	25,96	17,31	41,60	0,333	547,01	161,74	33,33	29,17	22,92	14,58
6	18	23	3	1,184	4,30	26,50	17,90	44,66	0,325	612,16	153,70	37,50	10,42	35,42	16,67
6	19	24	3	1,063	3,81	24,53	16,91	43,36	0,311	548,46	177,95	29,17	31,25	22,92	16,67
6	20	24	3	1,068	3,96	26,03	18,11	41,04	0,304	600,75	154,23	27,08	12,50	33,33	27,08
6	21	24	3	1,165	4,77	26,54	17,00	43,89	0,359	590,25	125,96	31,25	22,92	29,17	16,67
6	22	24	3	1,114	3,80	25,50	17,91	43,69	0,298	545,40	133,00	39,58	18,75	25,00	16,67
6	23	24	3	1,028	3,95	26,51	18,60	38,78	0,298	543,09	124,01	43,75	16,67	22,92	16,67
6	24	24	3	0,997	4,22	27,10	18,65	36,77	0,312	579,08	107,54	56,25	8,33	27,08	8,33

... Continuação

6	25	24	3	0,952	3,49	26,01	19,03	36,61	0,269	579,08	116,98	35,42	14,58	37,50	12,50
6	26	24	3	0,904	2,42	24,50	19,66	36,90	0,197	587,6	119,13	47,92	14,58	12,50	25,00
6	27	24	3	0,999	2,60	22,63	17,43	44,13	0,230	592,6	86,50	33,33	27,08	12,50	27,08
6	28	24	3	0,893	2,72	22,07	16,64	40,44	0,246	526,15	122,68	39,58	20,83	25,00	14,58
6	29	24	3	0,978	2,71	22,47	17,06	43,51	0,241	570,40	126,03	35,42	31,25	20,83	12,50

**Anexo 3 2.** Análise de variância para as variáveis dependentes (características anatômicas) do efeito posição medula-câmbio.

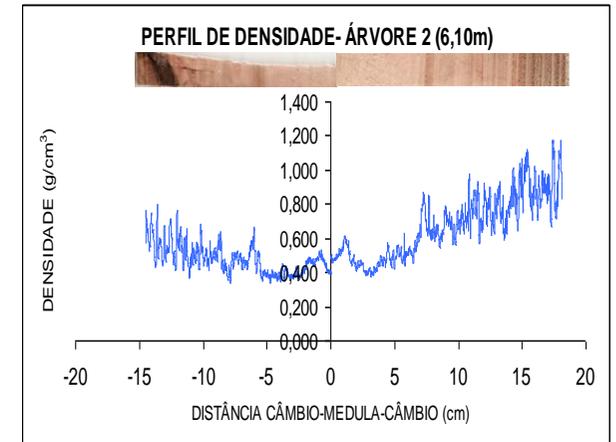
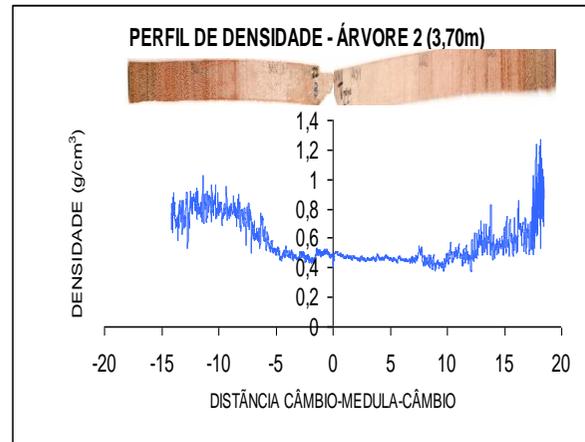
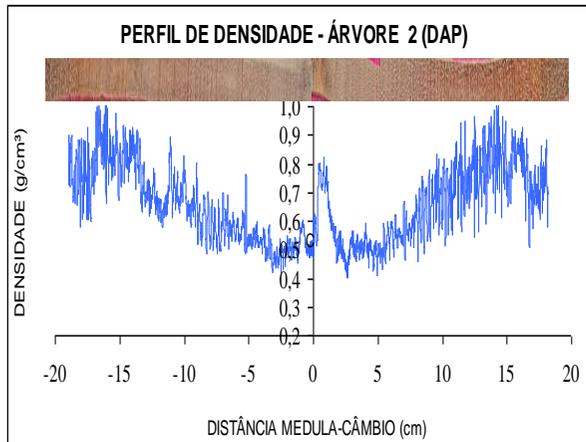
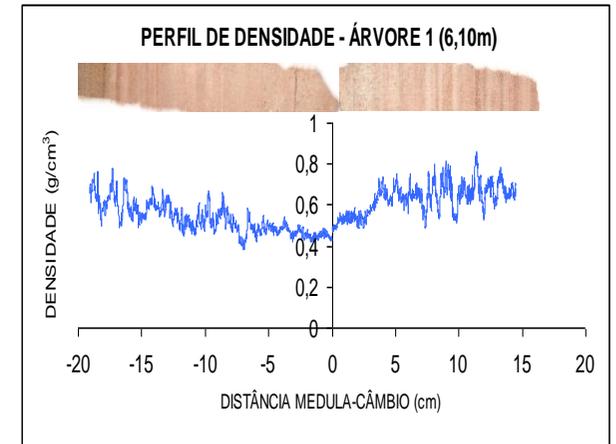
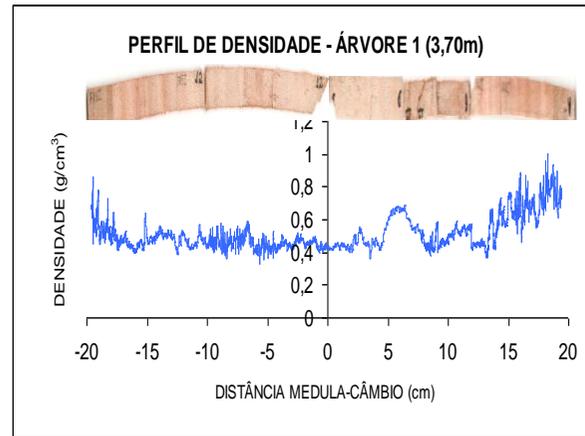
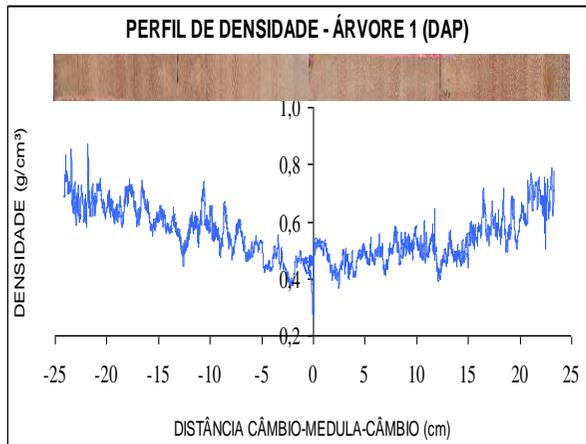
Variáveis	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Comp. fibras	2	0,30	128	0,02	15,41623	<b>0,000001</b>
Diâm. Lume	2	301,06	128	112,12	2,68530	0,072043
Diâm. Externo	2	11,51	128	42,83	0,26882	0,764711
Esp. Parede	2	110,0	128	27,68	3,97333	<b>0,021176</b>
Índice de esbeltez	2	505,46	128	66,33	7,62009	<b>0,000747</b>
Fração parede	2	0,04	128	0,01	6,58527	<b>0,001896</b>
Comp. Vasos	2	15031,33	128	11352,33	1,32407	0,269668
Diâm. Tang. Vasos	2	5250,58	128	599,32	8,76097	<b>0,000272</b>
% Fibras	2	93,08	128	181,27	0,51347	0,599641
% Parên. axial	2	26,36	128	47,89	0,55043	0,578060
% Parên. radial	2	89,80	128	48,22	1,86231	0,159497
% Vasos	2	27,94	128	45,10	0,61950	0,539817

Valores em negrito são significativos a 5% de significância.

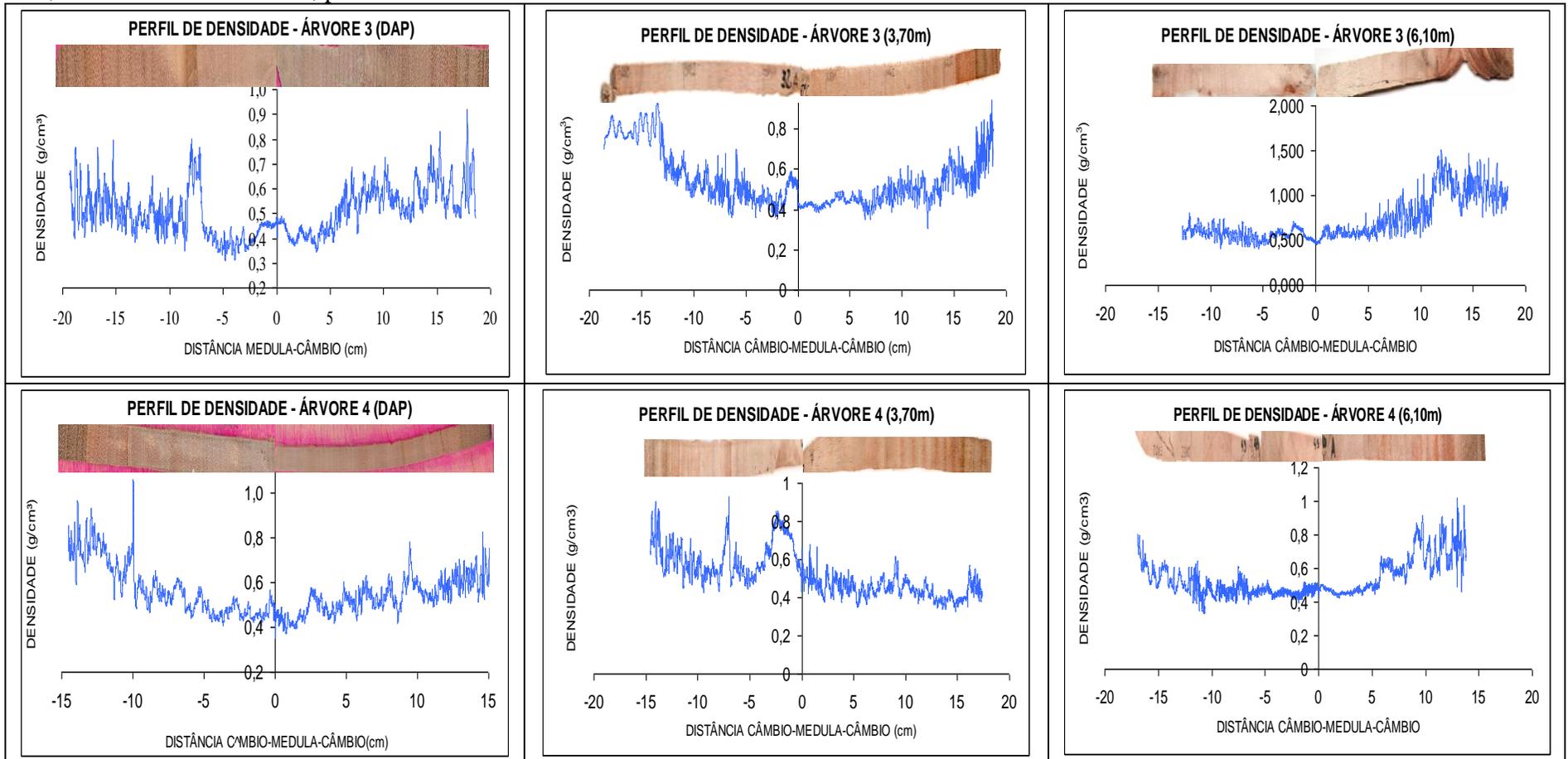
**Anexo 3 3.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente, obtida pela técnica de densitometria de raios-X do efeito árvore.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Árvore	5	0,005120	12	0,000881	5,813689	0,005927

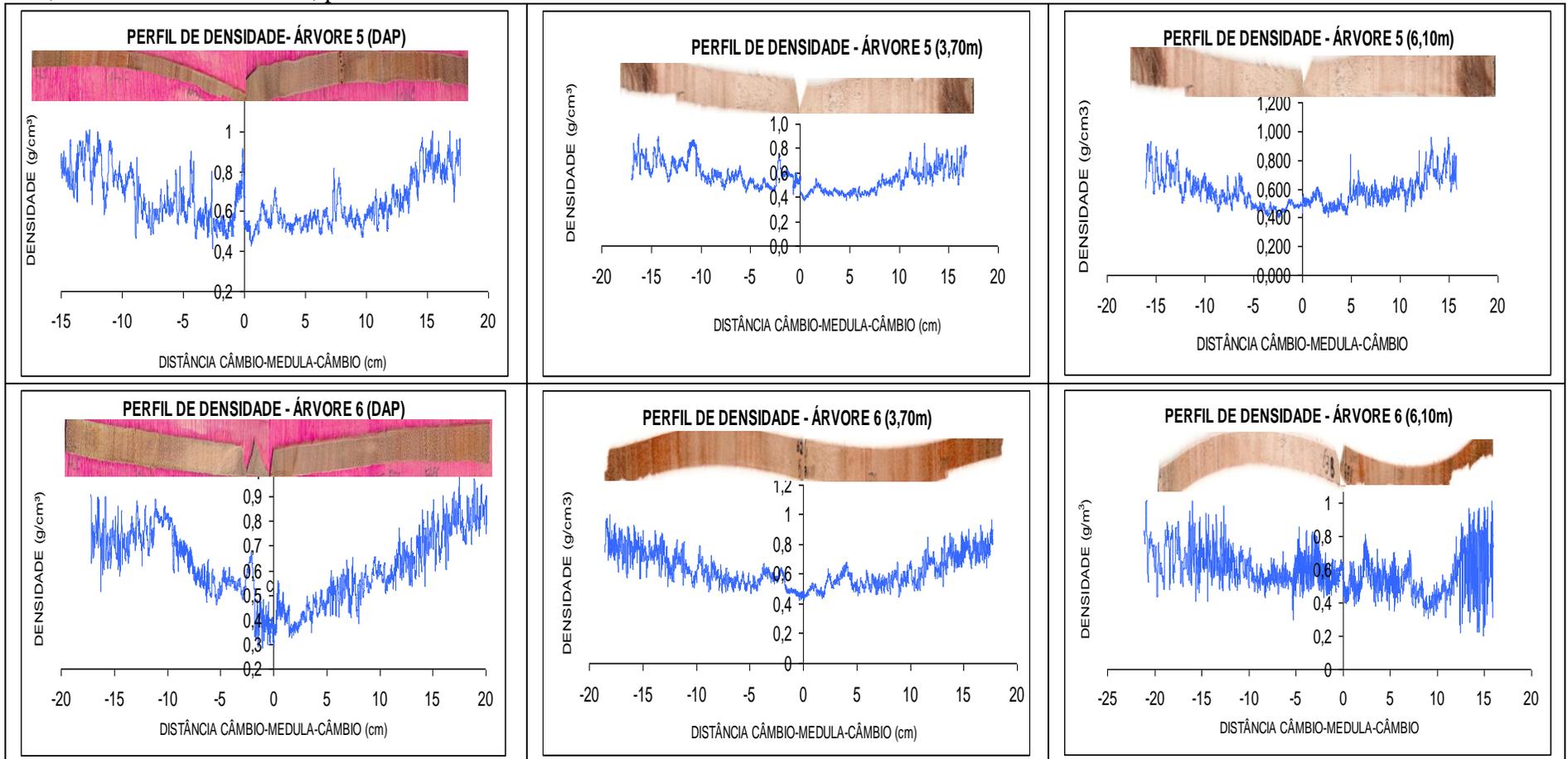
**Anexo 3 4.** Variação da densidade a 12% de umidade em função da distância radial, em centímetros, para os discos nas posições do DAP, 3,70m e 6,10m da altura comercial, para as árvores 1 e 2.



**Anexo 3 5.** Variação da densidade a 12% de umidade em função da distância radial, em centímetros, para os discos nas posições do DAP, 3,70m e 6,10m da altura comercial, para as árvores 3 e 4.



**Anexo 3 6.** Variação da densidade a 12% de umidade em função da distância radial, em centímetros, para os discos nas posições do DAP, 3,70m e 6,10m da altura comercial, para as árvores 5 e 6.



**Anexo 3 7.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente, obtida pela técnica de densitometria de raios-X do efeito posição (central, intermediária e externa).

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Posição	2	0,171630	51	0,003297	52,06234	0,000000

**Anexo 3 8.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente, obtida pela técnica de densitometria de raios-X do efeito posição (DAP, 3,10m e 6,10m da altura comercial).

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Posição base-topo	2	0,002118	15	0,002129	0,995	0,392943

**Anexo 3 9.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente, comprimento das fibras da árvore 1.

Regression Summary for Dependent Variable: CMF (mm) (fibras arv 11 estatistica.sta)

R = 0,81573348; R<sup>2</sup> = 0,66542111; R<sup>2</sup> ajustado = 0,63500485

F(2,22) = 21,877 p < 0,00001

Erro padrão estimado: 0,04832

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,834100	0,031478	26,49746	0,000000
<b>Distância (x)</b>	2,76953	0,513356	0,030099	0,005579	5,39495	0,000020
<b>x<sup>2</sup></b>	-2,21643	0,513356	-0,000899	0,000208	-4,31754	0,000278

\*Desvio padrão

**Anexo 3 10.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente, comprimento das fibras da árvore 2.

R = 0,63509296; R<sup>2</sup> = 0,40334306; R<sup>2</sup> ajustado = 0,29146989

F(3,16) = 3,6054 p < 0,03668

Erro padrão estimado: 0,15033

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			2,05190	0,429176	4,78102	0,000204
<b>Distância (x)</b>	-1,72222	0,661300	-0,05199	0,019964	-2,60430	0,019173
<b>Exponencial -x</b>	6,40578	2,010452	13,34776	4,189193	3,18624	0,005741
<b>c/x</b>	-7,37497	2,397146	-5,89366	1,915665	-3,07656	0,007226

\*Desvio padrão

**Anexo 3 11.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente, comprimento das fibras da árvore 3.

R = 0,87531991; R<sup>2</sup> = 0,76618495; R<sup>2</sup> ajustado = 0,74020550

F(2,18) = 29,492 p < 0,00000

Erro padrão estimado: 0,07071

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,777267	0,051078	15,21712	0,000000
<b>Distância (x)</b>	1,84958	0,478322	0,041354	0,010694	3,86682	0,001130
<b>x<sup>2</sup></b>	-1,04003	0,478322	-0,001027	0,000472	-2,17434	0,043261

\*Desvio padrão

**Anexo 3 12.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente comprimento das fibras da árvore 4.

R= 0,87131322; R<sup>2</sup> = 0,75918673; R<sup>2</sup> ajustado = 0,72707830

F(2,15) = 23,644 p < 0,00002

Erro padrão estimado: 0,05041

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,867721	0,040012	21,68649	0,000000
<b>Distância (x)</b>	1,96813	0,536397	0,035577	0,009696	3,66916	0,002279
<b>x<sup>2</sup></b>	-1,17551	0,536397	-0,001087	0,000496	-2,19149	0,044614

\*Desvio padrão

**Anexo 3 13.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente comprimento das fibras da árvore 5.

R= 0,91897132; R<sup>2</sup> = 0,84450829; R<sup>2</sup> ajustado = 0,82507183

F(2,16) = 43,450 p < 0,00000

Erro padrão estimado: 0,06172

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,686251	0,047377	14,48497	0,000000
<b>Distância (x)</b>	2,89203	0,415993	0,075837	0,010908	6,95213	0,000003
<b>x<sup>2</sup></b>	-2,19744	0,415993	-0,002799	0,000530	-5,28240	0,000074

\*Desvio padrão

**Anexo 3 14.** Resumo da análise de regressão para a variável dependente comprimento das fibras da árvore 6.

R= 0,80234422; R<sup>2</sup> = 0,64375624; R<sup>2</sup> ajustado = 0,61635288

F(2,26) = 23,492 p < 0,00000

Erro padrão estimado: 0,07157

	$\beta$	DP* de $\beta$	Coefficientes	DP*	T (40)	Probabilidade
<b>Intercepto</b>			0,975780	0,042789	22,80421	0,000000
<b>Distância (x)</b>	2,45016	0,484455	0,033251	0,006575	5,05756	0,000029
<b>x<sup>2</sup></b>	-2,91912	0,484455	-0,001281	0,000213	-6,02557	0,000002

\*Desvio padrão

**ANEXO 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS  
DA MADERIA TERMORRETIFICADA**

**Anexo 4 1.** Análise de variância para a variável dependente perda de massa do efeito grupo.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Grupo	3	3,051294	48	1,069722	2,852418	0,046957

**Anexo 4 2.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente, obtida por densitometria de raios-X para a madeira não termorretificada do efeito grupo.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Grupo	3	0,011011	48	0,008423	1,307265	0,282901

**Anexo 4 3.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente, obtida por densitometria de raios-X para a madeira termorretificada do efeito grupo.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Grupo	3	0,006344	48	0,012447	0,509708	0,677484

**Anexo 4 4.** Análise de variância para a variável dependente densidade aparente para a madeira não termorretificada e termorretificada do efeito tipo de madeira.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Tipo de Madeira	1	0,044447	102	0,010332	4,302	0,040585

**Anexo 4 5.** Análise de variância para a variável dependente dureza Janka da madeira não termorretificada do efeito grupo.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Grupo	3	15233,53	48	3494,293	4,359546	0,008551

**Anexo 4 6.** Análise de variância para a variável dependente dureza Janka da madeira termorretificada do efeito grupo.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Grupo	3	5413,417	48	3463,657	1,562920	0,210558

**Anexo 4 7.** Análise de variância para a variável dependente dureza Janka da madeira não termorretificada e termorretificada do efeito tipo de madeira.

Efeito	GL efeito	QM efeito	GL erro	QM erro	F	Probabilidade
Tipo de Madeira	1	9889,230	102	3881,593	2,547725	0,113547

**ANEXO 5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA USINADA  
DE *Eucalyptus grandis* ANTES E APÓS O TRATAMENTO DE  
TERMORRETIFICAÇÃO**

**Anexo 5 1.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desempenho da madeira não termorretrificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (FG) - Grupos	3	0,070513	48	0,089744	0,785714	0,507794
Grã arrancada (CG) - Grupos	3	0,564103	48	0,358974	1,571429	0,208489
Grã Felpuda (FG) - Grupos	3	0,128205	48	0,102564	1,250000	0,302096
Grã felpuda (CG) - Grupos	3	0,634615	48	0,269231	2,357143	0,083415
Grã comprimida (FG) - Grupos	3	0,153846	48	0,067308	2,285714	0,090655
Grã comprimida (CG) - Grupos	3	0,743590	48	0,407051	1,826772	0,154877

**Anexo 5 2.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desempenho da madeira termorretrificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (FG) - Grupos	3	0,019231	48	0,057692	0,333333	0,801269
Grã arrancada (CG) - Grupos	3	0,205128	48	0,551282	0,372093	0,773485
Grã Felpuda (FG) - Grupos	3	0,000000	48	0,000000		
Grã felpuda (CG) - Grupos	3	0,000000	48	0,000000		
Grã comprimida (FG) - Grupos	3	0,000000	48	0,000000		
Grã comprimida (CG) - Grupos	3	0,480769	48	0,147436	3,260870	<b>0,029372*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 3.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desempenho em função tipo de madeira (não termorretrificada e termorretrificada).

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (FG) – Tipo de madeira	1	0,038462	102	0,072021	0,53403	0,466592
Grã arrancada (CG) – Tipo de madeira	1	1,384615	102	0,450980	3,07023	0,082743
Grã Felpuda (FG) – Tipo de madeira	1	0,346154	102	0,052036	6,65217	<b>0,011329*</b>
Grã felpuda (CG) – Tipo de madeira	1	5,086538	102	0,145362	34,99222	<b>0,000000*</b>
Grã comprimida (FG) – Tipo de madeira	1	0,153846	102	0,036199	4,25000	<b>0,041793*</b>
Grã comprimida (CG) – Tipo de madeira	1	1,625000	102	0,296946	5,47238	<b>0,021268*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 4.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desengrosso da madeira não termorretrificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada - Grupos	3	0,326923	48	0,326923	1,000000	0,400988
Grã Felpuda - Grupos	3	0,737179	48	0,551282	1,337209	0,273331
Grã comprimida - Grupos	3	0,307692	48	0,750000	0,410256	0,746350

**Anexo 5 5.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desengrosso da madeira termorretificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada – Grupos	3	0,076420	47	0,121113	0,630984	0,598681
Grã Felpuda – Grupos	3	1,556687	47	0,549782	2,831463	<b>0,048351*</b>
Grã comprimida – Grupos	3	1,119658	47	0,510093	2,195009	0,101073

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 6.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de desengrosso em função tipo de madeira.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada – Tipo de madeira	1	1,618947	101	0,223709	7,236830	<b>0,008359*</b>
Grã Felpuda – Tipo de madeira	1	2,467605	101	0,585969	4,211151	<b>0,042746*</b>
Grã comprimida – Tipo de madeira	1	1,083396	101	0,636202	1,702911	0,194873

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 7.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal da madeira não termorretificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada – Grupos	3	0,224359	48	0,586538	0,382514	0,766048
Grã Levantada – Grupos	3	0,326923	48	0,509615	0,641509	0,592065

**Anexo 5 8.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal da madeira termorretificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada – Grupos	3	0,019231	48	0,057692	0,333333	0,801269
Grã Levantada – Grupos	3	0,153846	48	0,349359	0,440367	0,725177

**Anexo 5 9.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de rasgo na furadeira horizontal em função tipo de madeira.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada – Tipo de madeira	1	20,34615	102	0,310332	65,56258	<b>0,000000*</b>
Grã Levantada – Tipo de madeira	1	9,24038	102	0,418363	22,08698	<b>0,000008*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 10.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação da madeira não termorretrificada com broca de 12, 8, e 6 mm em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (12) - Grupos	3	0,333333	48	0,942308	0,353741	0,786621
Grã arrancada (8) - Grupos	3	2,839744	48	2,185897	1,299120	0,285559
Grã arrancada (6) - Grupos	3	2,512821	48	1,503205	1,671642	0,185562
Grã levantada (12) - Grupos	3	0,051282	48	0,240385	0,213333	0,886677
Grã levantada (8) - Grupos	3	0,224359	48	0,128205	1,750000	0,169379
Grã levantada (6) - Grupos	3	0,121795	48	0,096154	1,266667	0,296386

**Anexo 5 11.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação da madeira não termorretrificada com broca de 12, 8, e 6 mm em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (12) - Grupos	3	5,147436	48	2,487179	2,069588	0,116655
Grã arrancada (8) - Grupos	3	1,608974	48	2,041667	0,788069	0,506501
Grã arrancada (6) - Grupos	3	4,230769	48	2,054487	2,059282	0,118067
Grã levantada (12) - Grupos	3	0,532051	48	0,480769	1,106667	0,355629
Grã levantada (8) - Grupos	3	0,480769	48	0,605769	0,793651	0,503447
Grã levantada (6) - Grupos	3	0,487179	48	0,650641	0,748768	0,528429

**Anexo 5 12.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação com broca de 12, 8, e 6 mm em função tipo de madeira.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (12) – Tipo de madeira	3	17,77885	102	1,775075	10,01583	<b>0,002046*</b>
Grã arrancada (8) ) – Tipo de madeira	3	39,38462	102	2,120287	18,57514	<b>0,000038*</b>
Grã arrancada (6) ) – Tipo de madeira	3	28,03846	102	1,872549	14,97342	<b>0,000192*</b>
Grã levantada (12) ) – Tipo de madeira	3	10,47115	102	0,356523	29,37017	<b>0,000000*</b>
Grã levantada (8) ) – Tipo de madeira	3	11,11538	102	0,366139	30,35839	<b>0,000000*</b>
Grã levantada (6) ) – Tipo de madeira	3	8,08654	102	0,369344	21,89433	<b>0,000009*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 13.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação para dobradiça da madeira não termorretrificada em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã arrancada (Ia P) - Grupos	3	1,198718	48	2,355769	0,508844	0,678067
Grã arrancada (Ia NP) - Grupos	3	2,737179	48	0,426282	6,421053	<b>0,000957*</b>
Grã Felpuda (P) - Grupos	3	0,333333	48	0,189103	1,762712	0,166888
Grã Felpuda (NP) - Grupos	3	1,897436	48	0,358974	5,285714	<b>0,003132*</b>
Grã levantada (P) - Grupos	3	2,019231	48	0,387821	5,206612	<b>0,003408*</b>
Grã levantada (P) - Grupos	3	2,019231	48	0,352564	5,727273	<b>0,001963*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 14.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação para dobradiça da madeira termorretrificada em função do grupo.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
Grã arrancada (Ia P) - Grupos	3	1,096154	48	2,951923	0,371336	0,774027
Grã arrancada (Ia NP) - Grupos	3	0,532051	48	0,442308	1,202899	0,318797
Grã Felpuda (P) - Grupos	3	0,019231	48	0,019231	1,000000	0,400988
Grã Felpuda (NP) - Grupos	3	0,019231	48	0,019231	1,000000	0,400988
Grã levantada (P) - Grupos	3	0,019231	48	0,057692	0,333333	0,801269
Grã levantada (P) - Grupos	3	0,019231	48	0,019231	1,000000	0,400988

**Anexo 5 15.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de furação para dobradiça em função tipo de madeira.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
Grã arrancada (Ia P) – Tipo de madeira	1	0,96154	102	2,565234	0,37483	0,541743
Grã arrancada (Ia NP) – Tipo de madeira	1	1,38462	102	0,504902	2,74235	0,100795
Grã Felpuda (P) – Tipo de madeira	1	0,77885	102	0,108409	7,18435	<b>0,008577*</b>
Grã Felpuda (NP) – Tipo de madeira	1	5,08654	102	0,234351	21,70475	<b>0,000010*</b>
Grã levantada (P) – Tipo de madeira	1	13,88462	102	0,269608	51,49930	<b>0,000000*</b>
Grã levantada (P) – Tipo de madeira	1	6,50000	102	0,234917	27,66934	<b>0,000001*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 16.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de lixamento da madeira não termorretrificada com lixa de granulometria 80 em função do grupo.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
Grã felpuda (Des) - Grupos	3	0,480769	48	0,153846	3,125000	<b>0,034315*</b>
Grã felpuda (Deseng) - Grupos	3	0,942308	48	0,208333	4,523077	<b>0,007144*</b>
Grã comprimida (Des) - Grupos	3	0,615385	48	0,467949	1,315068	0,280377
Grã comprimida (Deseng) - Grupos	3	1,743590	48	0,500000	3,487179	<b>0,022700*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 17.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de lixamento da madeira termorretrificada com lixa de granulometria 80 em função do grupo.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
Grã felpuda (Des) - Grupos	3	0,993590	48	0,333333	2,980769	<b>0,040499*</b>
Grã felpuda (Deseng) - Grupos	3	0,378205	48	0,310897	1,216495	0,313889
Grã comprimida (Des) - Grupos	3	0,051282	48	0,073718	0,695652	0,559254
Grã comprimida (Deseng) - Grupos	3	0,230769	48	0,096154	2,400000	0,079354

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 18.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação lixamento com lixa de granulometria 80 em função tipo de madeira.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã felpuda (Des) – Tipo de madeira	1	5,5384	102	0,27262	20,3153	<b>0,000018*</b>
Grã felpuda (Deseng) – Tipo de madeira	1	2,4615	102	0,28318	8,69241	<b>0,003962*</b>
Grã comprimida (Des) – Tipo de madeira	1	7,5384	102	0,27451	27,4615	<b>0,000001*</b>
Grã comprimida (Deseng) – Tipo de madeira	1	11,115	102	0,33861	32,8262	<b>0,000000*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 19.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos em função da granulometria da lixa.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã felpuda (Des) – Granul. Lixa	1	8,08173	206	0,2712	29,79573	<b>0,000000*</b>
Grã felpuda (Deseng) – Granul. Lixa	1	8,88942	206	0,2802	31,72530	<b>0,000000*</b>
Grã comprimida (Des) – Granul. Lixa	1	1,38942	206	0,2479	5,60478	<b>0,018838*</b>
Grã comprimida (Deseng) – Granul. Lixa	1	1,73557	206	0,3186	5,44646	<b>0,020572*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 20.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de lixamento da madeira não termorretrificada com lixa de granulometria 100 em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã felpuda (Des) - Grupos	3	0,224359	48	0,256410	0,875000	0,460652
Grã felpuda (Deseng) - Grupos	3	0,153846	48	0,288462	0,533333	0,661632
Grã comprimida (Des) - Grupos	3	0,019231	48	0,153846	0,125000	0,944871
Grã comprimida (Deseng) - Grupos	3	0,070513	48	0,217949	0,323529	0,808314

**Anexo 5 21.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação de lixamento da madeira termorretrificada com lixa de granulometria 100 em função do grupo.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã felpuda (Des) - Grupos	3	0,128205	48	0,102564	1,250000	0,302096
Grã felpuda (Deseng) - Grupos	3	0,224359	48	0,112179	2,000000	0,126528
Grã comprimida (Des) - Grupos	3	0,487179	48	0,137821	3,534884	<b>0,021504*</b>
Grã comprimida (Deseng) - Grupos	3	0,512821	48	0,160256	3,200000	<b>0,031489*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 22.** Resumo da análise de variância referente às notas atribuídas aos defeitos durante a operação lixamento com lixa de granulometria 100 em função tipo de madeira.

<b>Efeito</b>	<b>GL Efeito</b>	<b>QM Efeito</b>	<b>GL Erro</b>	<b>QM Erro</b>	<b>F</b>	<b>Probab.</b>
Grã felpuda (Des) – Tipo de madeira	1	4,24038	102	0,17929	23,6498	<b>0,000004*</b>
Grã felpuda (Deseng) – Tipo de madeira	1	6,00961	102	0,19966	30,0991	<b>0,000000*</b>
Grã comprimida (Des) – Tipo de madeira	1	0,00961	102	0,15214	0,06320	0,802018
Grã comprimida (Deseng) – Tipo de madeira	1	0,08653	102	0,17929	23,6498	<b>0,000004*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 23.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial obtida após processo de desempenho da madeira não termorretificada em função do grupo.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub></b> - Grupos	3	6,425846	100	6,304393	1,019265	0,387491
<b>Ra<sub>  </sub></b> - Grupos	3	0,791918	100	3,256516	0,243179	0,866006

Ra<sub>⊥</sub> = rugosidade perpendicular; Ra<sub>||</sub> = rugosidade paralela.

**Anexo 5 24.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial obtida após processo de desempenho da madeira termorretificada em função do grupo.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub></b> - Grupos	3	6,793059	102	5,767286	1,177860	0,321975
<b>Ra<sub>  </sub></b> - Grupos	3	2,183523	102	3,271324	0,667474	0,573926

Ra<sub>⊥</sub> = rugosidade perpendicular; Ra<sub>||</sub> = rugosidade paralela.

**Anexo 5 25.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira não termorretificada em função do sentido de desempenho.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub></b> - Sentido de desempenho	1	83,12770	102	5,554796	14,96503	<b>0,000193*</b>
<b>Ra<sub>  </sub></b> - Sentido de desempenho	1	39,95280	102	2,824260	14,14629	<b>0,000282*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 26.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira termorretificada em função do sentido de desempenho.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub></b> - Sentido de desempenho	1	9,672457	104	5,759326	1,679442	0,197867
<b>Ra<sub>  </sub></b> - Sentido de desempenho	1	8,299204	104	3,191600	2,600327	0,109872

**Anexo 5 27.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial obtida após processo de desempenho da madeira termorretificada em função do tipo de madeira.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub></b> - Tipo de madeira	1	19,66872	208	6,049804	3,251134	0,072821
<b>Ra<sub>  </sub></b> - Tipo de madeira	1	4,74872	208	3,212755	1,478083	0,225453

**Anexo 5 28.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira em função da granulometria da lixa.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
Granulometria da lixa 80 e 100	1	31,09767	206	1,165558	26,68049	<b>0,000001*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 29.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial obtida após lixamento da madeira não termorretificada em função dos grupos.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra<sub>⊥</sub> (80)</b> - Grupos	3	0,672551	100	0,965598	0,696513	0,556318
<b>Ra<sub>⊥</sub> (100)</b> - Grupos	3	0,522657	100	1,399596	0,373434	0,772341

**Anexo 5 30.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial obtida após lixamento da madeira termorretificada em função dos grupos.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra ⊥ (80)</b> - Grupos	3	2,055642	100	2,148758	0,956665	0,416367
<b>Ra ⊥ (100)</b> - Grupos	3	0,216272	100	1,961829	0,110240	0,953937

**Anexo 5 31.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira não termorretificada em função do sentido de lixamento.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra ⊥ (80)</b> - Sentido de lixamento	1	5,15273	102	0,915929	5,62569	<b>0,019575*</b>
<b>Ra    (100)</b> - Sentido de lixamento	1	19,08796	102	1,200388	15,90149	<b>0,000126*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 32.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira termorretificada em função do sentido de lixamento.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra ⊥ (80)</b> - Sentido de lixamento	1	8,32812	102	2,085438	3,993466	<b>0,048338*</b>
<b>Ra    (100)</b> - Sentido de lixamento	1	16,05327	102	1,772338	9,057677	<b>0,003296*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.

**Anexo 5 33.** Resumo da análise de variância referente a rugosidade superficial da madeira termorretificada em função do tipo de madeira.

Efeito	GL Efeito	QM Efeito	GL Erro	QM Erro	F	Probab.
<b>Ra ⊥ (80)</b> - Tipo de madeira	1	78,46491	206	1,551554	50,57181	<b>0,000000*</b>
<b>Ra    (100)</b> - Tipo de madeira	1	8,86807	206	1,642521	5,39906	<b>0,021123*</b>

\* significativo, a 0,5% de probabilidade.