

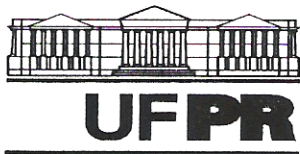
NABOR DA SILVEIRA PIO

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS ESTRUTURAIS DE LÂMINAS
PARALELAS (PLP) DE *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, como requisito para a obtenção do grau de "Doutor em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Ph.D. Sidon Keinert Jr.

CURITIBA
2002



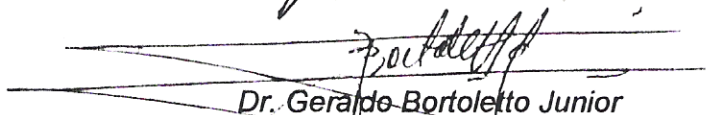
PARECER
Defesa nº 464

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o doutorando *NABOR DA SILVEIRA PIO* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "PRODUÇÃO DE PAINÉIS ESTRUTURAIS DE LÂMINAS PARALELAS (PLP) DE *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais*.



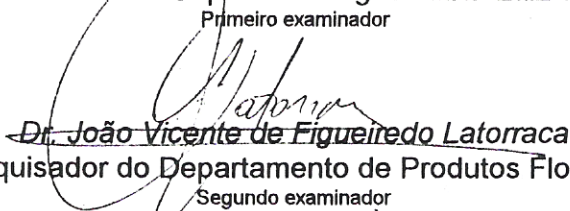
Ph.D. Sidon Keinert Junior

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora



Dr. Gerardo Bortoletto Junior

Professor e pesquisador da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ-USP
Primeiro examinador



Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca

Professor e pesquisador do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ
Segundo examinador



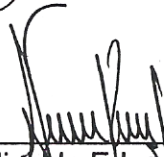
Dr. Setsuo Iwakiri

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Terceiro examinador



Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR
Quarto examinador



Nivaldo Eduardo Rizzi

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Franklin Galvão

Vice-coordenador

Curitiba, 12 de março de 2002.

DEDICO

*Aos meus pais Maria Helena e Nabor Salles Pio,
Aos meus irmãos Cláudia Helena e Mauro Célio Pio,
Às minhas filhas Karoline e Letícia Pio e sobrinhos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Ao Professor PhD Sidon Keinert Jr., pela amizade, orientação e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Co-orientador Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela amizade e sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. Setsuo Iwakiri Co-orientador, pela amizade e sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. João Carlos Garzel L. da Silva Co-orientador, pela amizade e sugestões apresentadas.

A Universidade Federal do Amazonas pela liberação e apoio na execução deste trabalho.

A Universidade Federal do Paraná pela formação intelectual e social nesses longos anos de convivência.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal/UFPR que sempre me abriu as portas e pela valiosa contribuição na minha formação profissional.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo suporte financeiro durante toda a realização deste curso.

À KLABIN Fabricadora de Papel e Celulose, ao Engenheiro Florestal Ronaldo Luiz Sella Gerente de Comercialização de Madeiras e de Fomento Florestal pela liberação da madeira.

A Madeiras Guamiranga Ltda aos Sócios Gerente Marcelo e Monalisa Fenker pelo apoio industrial em todas as fases da laminação das toras.

A Patrícia A. de Lima pelo apoio durante a realização do curso.

Ao Professor M. Sc. Cícero Gonçalves de Oliveira pelo apoio no início do curso.

À Indústria de Compensado Triângulo, ao Diretor Douglas G. de Souza, ao Gerente da Divisão de Pisos Pierre Jacques M. Reydams e ao Gerente Industrial José Carlos, pelo apoio na produção dos painéis PLP.

Aos Professores Dr. João Vicente F. Latorraca - UFRRJ e M. Sc. Ulisses Silva da Cunha – UFAM, que não mediram esforços para deslocarem-se de Curitiba à Telêmaco Borba – PR afim de colaborarem na fase inicial da coleta de dados, pelo convívio diário e amizade.

Ao Professor Dr. Márcio Pereira da Rocha – UFPR pelas sugestões apresentadas e amizade.

Ao Professor M. Sc. José Reinaldo M. da Silva - UFLA pelo apoio fotográfico e sugestões para ensaios de laboratório.

Ao funcionário M. Sc. Ricardo Klitzke pelo apoio bibliográfico, realização dos ensaios e sugestões técnicas.

Aos funcionários Vitor, Ademir, Antônio, e Gilnei pela valiosa contribuição na confecção dos corpos de prova e ensaios de laboratório.

Ao Engenheiro Florestal M. Sc. Antônio Carlos Paixão - IBAMA/DF pelo apoio de infra-estrutura residencial, quando da chegada para realização do curso, e amizade.

À dona Marlene e Odair de Lima pela amizade e consideração.

Aos Professores do Departamento de Ciências Florestais/FCA da Universidade Federal do Amazonas pela compreensão durante o período de afastamento.

À Bibliotecária Tânia de Barros Baggio pela ajuda na pesquisa junto ao banco de dados Cabe e CD-Tree para o levantamento bibliográfico.

Aos amigos Luis Fernando e Tânia Sampietre pelo convívio e amizade.

À Arquiteta Cristiane Lopes pelo auxílio na editoração das figuras.

Ao acadêmicos de Engenharia Industrial Madeireira Dayane Glória Nogueira, Rodrigo Zambon e Leonardo, pela contribuição nos ensaios de laboratório.

Aos amigos da Associação dos Professores e Funcionários da UFPR pela amizade e rotineiras reuniões, às quartas e sábados.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

NABOR DA SILVEIRA PIO, filho de Maria Helena da Silveira Pio e Nabor Salles Pio, nasceu em Manaus Estado do Amazonas em 10 de abril de 1966.

Realizou estudos primários no Colégio Brasileiro Manaus, cursou o primeiro grau na Escola Salesiana Domingos Sávio e o segundo grau na Escola Técnica Federal do Amazonas.

Iniciou estudos de Graduação na Universidade Federal do Amazonas em 1984 e em 1986 transferiu-se para a Universidade Federal do Paraná pela qual obteve o título de Engenheiro Florestal em outubro de 1989.

Em meados de outubro de 1990 através de concurso público foi admitido na Universidade Federal do Amazonas como Professor do Curso de Engenharia Florestal da Faculdade de Ciências Agrárias e lotado no Departamento de Ciências Florestais, iniciando assim atividades de ensino pesquisa e extensão.

Em março de 1993 foi aceito, através de processo de seleção, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal Área de Concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, nível Mestrado, da Universidade Federal do Paraná.

Em agosto de 1996 através de defesa pública de dissertação obteve o título de Mestre em Ciências Florestais pela UFPR.

Em março de 1998 iniciou o programa de Doutorado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 OBJETIVOS.....	05
2 REVISÃO DA LITERATURA	06
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	06
2.2 <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden	11
2.3 PRODUÇÃO DE COMPOSTOS LAMINADOS COLADOS.....	13
2.4 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA PARA PEÇAS LAMINADAS ESTRUTURAIS....	17
2.4.1 Classificação da Madeira	17
2.4.2 Classificação Visual das Lâminas de Madeira	21
2.4.3 Classificação de Lâminas Utilizando Parâmetros de Rigidez e Aparência	24
2.4.4 Classificação de Lâminas Utilizando Ondas Acústicas	26
2.5 CLASSIFICAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE MADEIRA.....	28
2.6 PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS (PLP)	30
2.6.1 Posicionamento das Lâminas	33
2.7 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA.....	33
2.7.1 Fatores que Influenciam as Propriedades Físicas	33
2.7.2 Influência do Teor de Umidade nas Propriedades dos Painéis de Madeira	25
2.7.3 Propriedades Físicas	37
2.7.3.1 Influência da Densidade em Painéis de Madeira	37
2.7.3.2 Inchamento em Espessura e Absorção d'água.....	39
2.7.3.3 Expansão Linear	40
2.7.4 Propriedades Mecânicas em Painéis de Lâminas Paralelas	41
2.7.4.1 Módulo de Ruptura.....	44
2.7.4.2 Módulo de Elasticidade	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	46

3.1 COLETA DO MATERIAL	46
3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA	47
3.3 PROCESSAMENTO DAS TORAS	48
3.3.1 Aquecimento das Toras	48
3.3.2 Processo de Obtenção de Lâminas	48
3.3.3 Secagem das Lâminas	49
3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS	50
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS LÂMINAS DETERMINADAS PELO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO	53
3.5.1 Módulo de Elasticidade Dinâmico – MOEd Lâminas	54
3.6 DENSIDADE DAS LÂMINAS	55
3.7 ESPESSURA DAS LÂMINAS	56
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AS LÂMINAS DE MADEIRA	56
3.8.1 Análise para o MOEd, Idade e Espessura das Lâminas	56
3.9 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS PLP	58
3.10 CICLO DE PRENSAGEM	60
3.10.1 Adesivo	61
3.11 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS	61
3.12 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS (PLP) ...	63
3.12.1 Análise Estatística para os Painéis	69
3.13 FATOR DE RIGIDEZ APARENTE	69
3.13.1 Determinação do Fator de Rigidez Aparente Empírico proposto para a obtenção do Módulo de Elasticidade Destrutivo	69
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1 ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i> Hill ex-Maiden	71
4.2 AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DAS LÂMINAS DE MADEIRA	72
4.2.1 Valores do Módulo de Elasticidade Dinâmico e Distribuição de Frequência – Lâminas Secas	72
4.2.2 Classes para o Módulo de Elasticidade Dinâmico (Moed)	76
4.2.3 Análise da Espessura das Lâminas	78
4.2.4 Variação na Densidade das Lâminas	80
4.2.5 Produção dos Painéis de Lâminas Paralelas	85

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS.....	85
4.3.1 Análise da Densidade dos Painéis.....	85
4.3.2 Análise do Inchamento em Espessura 2 e 24 horas – Imersão em Água.....	89
4.3.2.1 Inchamento em Espessura - 2 horas de imersão.....	89
4.3.2.2 Inchamento em Espessura 24 horas de imersão.....	90
4.3.3 Expansão Linear no Comprimento após 2 horas de Imersão em Água.....	93
4.3.4 Expansão Linear no Comprimento após 24 horas de Imersão em Água.....	95
4.3.5 Expansão Linear na Largura após 2 horas de Imersão em Água.....	97
4.3.6 Expansão Linear na Largura após 24 horas de Imersão em Água.....	99
4.3.7 Absorção de Água após 2 horas de Imersão.....	102
4.3.8 Absorção de Água após 24 horas de Imersão.....	103
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	106
4.4.1 Resistência da Linha de Cola em Cisalhamento por Compressão	
Ensaio Seco.....	106
4.4.2 Resistência da Linha de Cola em Cisalhamento por Compressão	
Ensaio pós Fervura.....	108
4.4.3 Resistência à Compressão Perpendicular às Fibras.....	110
4.4.3.1 Tensão no Limite Proporcional na Compressão Perpendicular.....	110
4.4.4 Resistência à Compressão Paralela às Fibras.....	113
4.4.4.1 Tensão Máxima de Ruptura – TMR na Compressão Paralela.....	113
4.4.4.2 Módulo de Elasticidade na Compressão Paralela – MOE.....	116
4.4.5 Resistência à Tração Paralela às Fibras.....	119
4.4.6 Resistência à Flexão Estática.....	121
4.4.6.1 Módulo de Ruptura na Flexão Estática – MOR.....	121
4.4.6.2 Tensão no Limite Proporcional na Flexão Estática – TLP.....	124
4.4.6.3 Módulo de Elasticidade na Flexão Estática – MOE.....	126
4.4.7 Comportamento do MOEd das Lâminas versus MOE dos Painéis no	
Ensaio de Flexão Estática.....	129
4.4.8 Análise do Fator de Rigidez Aparente Empírico proposto para a	
obtenção do Módulo de Elasticidade Destrutivo.....	132
5 CONCLUSÕES.....	136
Referências Bibliográficas	
Anexos	

LISTA DE FIGURAS

1	PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS LÂMINAS DE MADEIRA.....	49
2	PROCESSO DE SECAGEM DAS LÂMINAS	50
3	EQUIPAMENTO UTILIZADO NA PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS - STRESS WAVE TIMER.....	52
4	OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS LÂMINAS MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO PELO STRESS WAVE TIMER.....	53
5	OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DESTRUTIVO RIGIDEZ.....	66
6	OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO	66
7	ESQUEMA DOS CORPOS-DE-PROVA UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	67
8	ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES	68
9	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOEd-kgf/cm ²) <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden NA IDADE 15 ANOS.....	74
10	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (Moed-kgf/cm ²) <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden NA IDADE 20 ANOS.....	74
11	VALORES MÉDIOS MOEd DAS LÂMINAS IDADE 15 e 20 ANOS PARA VERIFICAR A INFLUÊNCIA DA ESPESSURA NA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS.....	79
12	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A DENSIDADE (MESP-g/cm ³) <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden NA IDADE 15 ANOS POR CLASSE DE RIGIDEZ – TEOR DE UMIDADE DAS LÂMINAS 6 %	81
13	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A DENSIDADE (MESP-g/cm ³) <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden NA IDADE 20 ANOS POR CLASSE DE RIGIDEZ – TEOR DE UMIDADE DAS LÂMINAS 6 %	81
14	VALORES MÉDIOS OBSERVADOS PARA A DENSIDADE DAS LÂMINAS IDADE 15 e 20 ANOS ESPESSURA 2,00 E 2,60 mm POR CLASSE DE RIGIDEZ	84
15	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A DENSIDADE DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ	88
16	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA	92

17	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A EXPANSÃO LINEAR DOS PAINÉIS NO COMPRIMENTO POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA.....	96
18	GRAFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA.....	101
19	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA	105
20	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA SECO E PÓS FERVURA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	110
21	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	112
22	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	115
23	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	118
24	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA PARA A TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	121
25	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA – MOR PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ.....	123
26	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	126
27	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE – MOE PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ.....	128
28	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA O COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÓDULOS DE ELASTICIDADE POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	131
29	VARIAÇÃO PERCENTUAL NO FATOR DE RIGIDEZ APARENTE POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	135

LISTA DE TABELAS

1	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	43
2	VALORES MÉDIOS PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM PLP DE <i>Pinus taeda</i> L. COM LÂMINAS OBTIDAS EM DIFERENTES POSIÇÕES NA ÁRVORE – NO BRASIL ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA	44
3	CLASSES DE RIGIDEZ GERADAS PELO STRESS WAVE TIMER ATRAVÉS DE VALORES CALCULADOS PELO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOEd).....	51
4	ILUSTRAÇÃO DO MODELO PARA CONFRONTO ENTRE CLASSES DE RIGIDEZ (kgf/cm ²) POR FATOR	57
5	ARRANJO PREVIAMENTE DEFINIDO DAS COMBINAÇÕES INTRACLASSES POR IDADE COM BASE NA CLASSIFICAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DAS LÂMINAS UTILIZADO NA REALIZAÇÃO DA ANOVA.....	58
6	POSIÇÃO DAS LÂMINAS NA PRODUÇÃO DOS PLP.....	59
7	DISTRIBUIÇÃO DOS PAINÉIS PLP POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ.....	59
8	CICLO DE Prensagem.....	60
9	FORMULAÇÃO DO ADESIVO	61
10	EQUAÇÕES E NORMAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS.....	62
11	EQUAÇÕES E NORMAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	64
12	PARÂMETROS PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA	65
13	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA A DENSIDADE BÁSICA POR IDADE.....	71
14	FREQUÊNCIA E RESULTADOS OBTIDOS PARA LÂMINAS NÃO-CLASSIFICADAS COM MOEd ABAIXO DO VALOR MÍNIMO PARA APROVEITAMENTO INDUSTRIAL < 140.614 (kgf/cm ²) – PADRÃO AMERICANO	73
15	CLASSES DE RIGIDEZ PARA AS LÂMINAS DETERMINADAS PELO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	76
16	CONFRONTOS DO MOEd DAS LÂMINAS NAS DIFERENTES CLASSES DE RIGIDEZ; GRUPOS HOMOGÊNEOS DE MÉDIAS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	77
17	CONFRONTO ENTRE A DENSIDADE DAS LÂMINAS NAS CLASSE DE RIGIDEZ; GRUPOS HOMOGÊNEOS DE MÉDIAS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	82

18	VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ	86
19	VALORES MÉDIOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA.....	89
20	VALORES MÉDIOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA	91
21	VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA	94
22	VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA	95
23	VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA.....	98
24	VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA	100
25	VALORES MÉDIOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO	102
26	VALORES MÉDIOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO	104
27	VALORES MÉDIOS PARA RIGIDEZ DA LINHA DE COLA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – ENSAIO SECO.....	107
28	VALORES MÉDIOS PARA RIGIDEZ DA LINHA DE COLA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – ENSAIO PÓS FERVURA.....	109
29	VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ.....	111
30	VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ	113
31	VALORES MÉDIOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ	116

32	VALORES MÉDIOS PARA A RIGIDEZ À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ	119
33	VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ	122
34	VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ.....	124
35	VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ	127
36	COMPORTAMENTO DO MOED DAS LÂMINAS VERSUS MOED PAINÉIS E MOE DO ENSAIO DESTRUTIVO DOS PAINÉIS – VALORES MÉDIOS.....	130
37	FATOR DE RIGIDEZ APARENTE POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ.....	132
38	VALORES DE MOE DINÂMICO UTILIZADO NO CÁLCULO DA ESTIMATIVA DO MOE DESTRUTIVO	134

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal testar a viabilidade da produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden a partir de uma pré-classificação não destrutiva das lâminas, respeitando um valor mínimo de rigidez. Foram avaliadas lâminas obtidas de árvores de 15 e 20 anos de idade. Antes da laminação as toras foram submetidas a um cozimento a vapor a uma temperatura em torno de 80 °C, em seguida laminadas com espessuras de 2,00 e 2,60 mm e secas a um teor de umidade final de 6 %. A pré-classificação das lâminas foi realizada utilizando-se o *stress wave timer*, equipamento que verifica o tempo de propagação de uma onda de tensão através da lâmina, gerando seis diferentes classes de rigidez, sendo três por idade. Para a divisão em classes de rigidez, adotou-se duas amplitudes de classe, 20.000 kgf/cm² para 15 anos e 30.000 kgf/cm² para 20 anos, e o parâmetro utilizado para a pré-classificação foi o módulo de elasticidade dinâmico, não destrutivo, calculado com o auxílio do *stress wave timer*. Através das classes de rigidez foram gerados histogramas de frequência para os valores do módulo de elasticidade dinâmico e densidade das lâminas. As duas espessuras de lâminas também foram avaliadas através do módulo de elasticidade dinâmico, o qual revelou não haver diferenças significativas entre as mesmas. Os painéis foram produzidos com 13 lâminas combinadas nas diferentes espessuras e coladas com adesivo à base de resina fenol-formoldeído. Antes do ensaio destrutivo em flexão estática foi realizado uma nova leitura com o *stress wave timer* nos painéis e com isso foi proposto um fator de rigidez aparente empírico entre o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade destrutivo dos painéis, através de uma análise de regressão, utilizando uma equação linear simples. A análise estatística procedeu a um nível de significância de 95 % seguida do teste de médias de Tukey ao mesmo nível. Foram avaliadas as seguintes propriedades físicas para os painéis: densidade, inchamento em espessura 2 e 24 horas, expansão linear no comprimento 2 e 24 horas, expansão linear na largura 2 e 24 horas, absorção de água 2 e 24 horas. As propriedades mecânicas avaliadas foram: resistência da linha de cola ao cisalhamento por compressão – condição seca e pós fervura, compressão perpendicular às fibras, compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras e flexão estática. Os resultados indicam que a divisão de lâminas em classes de rigidez mostrou-se eficiente contribuindo para o aumento das propriedades de resistência mecânica dos painéis. Para as propriedades físicas os resultados indicam que os painéis possuem excelente estabilidade dimensional, mas na absorção de água a 24 horas de imersão o comportamento mostrou-se próximo à madeira maciça. Nas propriedades mecânicas a idade foi determinante, especialmente para a resistência da colagem, e para as demais propriedades os resultados obedeceram as classes de rigidez propostas comprovando a eficiência do método de classificação. As lâminas de madeira obtidas a partir das toras com 20 anos são mais indicada para a produção de painéis destinados ao uso estrutural, o que não descarta a menor idade 15 anos, e o fator de rigidez aparente empírico, é um importante instrumento para se estimar valores para o MOE destrutivo em função do MOE dinâmico, que irá também determinar o uso final dos painéis.

ABSTRACT

This work had as main objective to test the viability for production of structural panels of parallel veneer of *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden from a pre-classification, non destructive veneer, respecting a minimum value of strength. They were evaluated veneers with two ages: 15 and 20 years. Before lamination the logs were submitted to steam heating at temperature around 80 °C, after laminated to two different thickness 2,00 and 2,60 mm and dried to a moisture content of 6 %. Concluded the lamination phase the pre-classification of the veneer was accomplished using the stress wave timer, equipment that verifies the time of propagation of tension wave through veneer that generated six different strength class, being three per age. For the division in strength class, it was adopted two widths of class 20,000 kgf/cm² for 15 years and 30,000 kgf/cm² for 20 years and the parameter used for pre-classification it was the elasticity modulus dynamic, non destructive, calculated through stress wave timer. With veneer divided in strength class frequency histograms were generated for the values of elasticity modulus dynamic and density of the veneer. The two thickness veneer were also evaluated through the elasticity modulus dynamic, which revealed there not to be significant differences among the same ones. After these analyses the panels were produced with 13 combined veneer in different thickness. It was just used only press cycle, and the used adhesive was resin phenol-formol. Before the destructive trial in static strength a new reading was accomplished with the stress wave timer in the panels and with that an empiric strength factor was proposed between the elasticity modulus dynamic and the elasticity modulus destructive of panels through a regression analysis using a simple linear equation. The statistical analysis was proceeded to a level of 95 % followed by test comparison of means (Tukey test) also at 95 %. They were evaluated the following physical properties for the panels: density, thickness swelling for 2 and 24 hours water immersion, linear expansion in the length for 2 and 24 hours water immersion, linear expansion in the width for 2 and 24 hours water immersion and water absorption 2 and 24 hours immersion. The evaluated mechanical properties were: bonding strength line in shear for compression–dry trial and with ebullition, perpendicular compression to grain, parallel compression to grain, parallel traction to grain and static bending. The results indicated at that the division of veneer in strength class was shown efficient contributing to an increase in the mechanical strength properties of the panels. For the physical properties the results indicated that the panels has excellent dimensional stability, just in the water absorption at 24 hours of immersion the behavior was shown close to the solid wood. In the mechanical properties the age was decisive for some properties as the bonding line, and for the other properties the results obeyed the strength class proposed proving the efficiency of the pre-classifier. The age 20 years was more suitable for structural use, what does not discard the smallest age of 15 years, the empiric strength factor, is an important instrument to be considered to estimated values of elasticity modulus destructive in function of the elasticity modulus dynamic, that will also determine the final use of the panels.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores que contribuiu para o desenvolvimento tecnológico na manufatura de painéis a base de madeira foi a mudança da matéria prima utilizada, sobretudo a necessidade de empregar madeiras provenientes de espécies florestais alternativas e de qualidade considerada inferior.

Com o avanço das técnicas silviculturais e com a tendência contínua de aumentar as áreas plantadas com *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*, como também, experiências obtidas na manufatura de lâminas e compensados em outros países, a utilização dessas madeiras constituem uma das melhores opções para o fornecimento de matéria prima, quando bem manejadas.

Segundo DEL MENEZZI (1999), no Brasil a madeira do gênero *Eucalyptus* é usada amplamente na indústria papelreira, como fonte de fibras, e na indústria metalúrgica, como energético, talvez no mundo seja o país que mais utilize esta matéria-prima para estes fins. Hoje, ocorre que diversas empresas, do ramo papelreiro, possuem extensas áreas reflorestadas com eucalipto e que devido as suas características, apresentam algumas limitações para a produção de celulose e papel, e deste modo não poderiam ser destinadas para a produção de painéis reconstituídos de madeira.

Outro fator que vem incentivando a utilização da madeira de reflorestamento, em especial com o *Eucalyptus spp.*, é a pressão ecológica de diversos segmentos da sociedade contra a exploração de florestas nativas não manejadas. A floresta amazônica é apontada por muitos pesquisadores como principal fonte de matéria prima para a indústria de base florestal, principalmente para os segmentos de laminados e madeira serrada.

Na atualidade existe um grande interesse pelo eucalipto pela multiplicidade de usos e seu rápido crescimento. No entanto, apesar das amplas possibilidades de utilização sua madeira é pouco aproveitada no país, isto deve-se, em parte, à certas características indesejáveis tais como elevada retratibilidade, colapso durante a secagem e principalmente pela presença das tensões de crescimento.

Em termos econômicos, a atividade florestal tem um significado expressivo. Sua participação no Produto Interno Bruto gira em torno de 4 % (MATOS, 1997), o que torna o setor florestal um forte componente na nossa economia. Também podemos afirmar que o mercado globalizado, vem a cada momento, se tornando mais exigente em termos de produtividade que aliada a qualidade são fundamentais para o fortalecimento de qualquer segmento produtivo.

A análise dos aspectos de qualidade e rigidez da madeira são fundamentais para a classificação de peças destinadas aos mais diversificados usos, ou ainda para a avaliação de lâminas destinadas à fabricação de peças laminadas coladas. Estas avaliações são realizadas com base em especificações normatizadas para cada aplicação específica (GONÇALVES e PUCCINI, 1998).

No Brasil estas Normas são baseadas unicamente na avaliação visual que, em alguns casos pode ser bastante falha, pois nem sempre é possível visualizar ou mensurar claramente aspectos ligados à qualidade e rigidez como por exemplo na detecção de nós, ataques de insetos, dentre outros defeitos, já que estes podem atingir proporções internas na peça impossíveis de serem vistas superficialmente.

Os métodos utilizados para classificar a madeira, não-destrutivamente, possuem o objetivo de facilitar a especificação do material na fase de concepção do projeto estrutural, enquanto os métodos de classificação visual e mecânica são utilizados com a intenção de homogeneizar e selecionar lotes de madeira com

características específicas visando o adequado aproveitamento do material para fins estruturais (SALES, 1998).

De acordo com GREEN; KRETSCHMANN (1990) citados por SALES (1998), para o desenvolvimento de classes de resistência, geralmente são utilizados um dos seguintes procedimentos:

- Série matemática para escolher os valores dos limites das classes. As mais utilizadas são a aritmética e a geométrica, sendo o limite de cada classe de resistência representado por um passo na série.
- Valores das propriedades de resistência e rigidez de espécies ou grupos de espécies empregadas para fins estruturais. Os valores dos limites das classes são estabelecidos visando facilitar a especificação do material para o futuro projeto, de modo a obter uma distribuição mais racional dos valores das propriedades das espécies ou dos grupos de espécies.

Nos dois procedimentos as espécies podem ser enquadradas nas classes de resistência, em função das suas propriedades de resistência e rigidez.

Ensaio não-destrutivo de madeira podem ser definidos como métodos utilizados para identificação das propriedades físicas e mecânicas de um material sem que haja o comprometimento de seu uso final (GABRIEL, 2000).

De acordo com o mesmo autor, as técnicas não-destrutivas utilizadas na madeira diferem em seu propósito daqueles empregados para materiais isotrópicos e homogêneos como o metal, a cerâmica, o plástico. Para esses materiais, que durante o processo industrial de produção são controladas e conhecidas as propriedades mecânicas, os métodos não-destrutivos visam detectar somente a presença de descontinuidades, vazios, etc.

Para LAUFENBERG (1982), o uso de painéis de lâminas paralelas para elementos estruturais críticos, que exijam grandes esforços, provou ser comercialmente possível por mais de uma década. A uniformidade das propriedades mecânicas deste composto, o tornou popular para aplicações comuns em vigas do tipo "I", andaimes, componentes estruturais, dentre outros usos da moderna engenharia.

Os painéis de lâminas paralelas (PLP), designados LVL (*laminated veneer lumber*), são produtos estruturais compostos de lâminas de madeira com as fibras orientadas na mesma direção (longitudinal) oferecendo alta resistência e surgiram a mais de 25 anos no mercado americano. Representa um produto alternativo para usuários de madeira estrutural. Dependendo do processo e espécies utilizadas em sua manufatura, uma ampla faixa de características de desempenho e custos do produto são alcançados.

Em aplicações industriais, os painéis de lâminas paralelas, ao contrário de vigas laminadas, são geralmente recomendados para usos não aparentes ou revestidas para adquirir uma aparência desejada.

Assim o presente trabalho visou gerar informações quanto ao uso correto da madeira (lâminas) de *Eucalyptus grandis*, a diferentes idades e espessuras, em painéis estruturais de lâminas paralelas, tornando ambos viáveis ao setor industrial, bem como auxiliar na difusão dos reflorestamentos com o gênero de fundamental importância econômica, inclusive agregando maior valor a seus produtos.

1.1 OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade da produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden a partir de uma pré-classificação, não destrutiva das lâminas, respeitando um valor mínimo de rigidez.

Objetivo Específicos:

- Produção de painéis (PLP) utilizando árvores de *Eucalyptus grandis* em duas idades e duas espessuras de lâminas na composição;
- Avaliar a produção de painéis com lâminas pré-classificadas através do *stress wave timer*, pelo módulo de elasticidade dinâmico (Moed não-destrutivo) calculado;
- Verificar a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico das lâminas e as propriedades mecânicas, obtidas em ensaio destrutivo;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O GÊNERO *Eucalyptus*

Com a acelerada devastação florestal do Sul do Brasil, em especial a do Estado do Paraná, nas últimas décadas houve a necessidade de implantar florestas de rápido crescimento para garantir matéria prima para o abastecimento das indústrias já implantadas, e oferecer perspectivas de suprimento satisfatório às futuras empresas que viriam a se instalar no país.

De acordo com ABRAHÃO (1999), o uso de madeira proveniente de reflorestamentos de *Eucalyptus spp* de ciclos curtos se apresentaria como uma solução ambiental e economicamente correta para a escassez de madeiras nobres. Todavia, alguns parâmetros de qualidade para correto uso na forma de produtos sólidos não são prontamente respeitados quando se pretende produzir em um curto espaço de tempo.

O eucalipto quando traçado, tanto para toras de pequeno como de grande diâmetro, apresenta uma série de defeitos relacionados, principalmente, às tensões de crescimento, ao elevado percentual de madeira juvenil e ao grande número de nós. PONCE (1993), citado por ABRAHÃO (1999), afirma que como resultados desses problemas, enfrentados pela espécie, obtêm-se produtos com alto índice de empenamentos, nós fixos e soltos e, para madeira serrada, peças com excessivo gretamento.

Para WAUGH (1998), tais problemas têm ainda limitado a utilização principalmente da madeira, serrada, apesar dos recentes avanços tecnológicos dos processos de serragem e secagem dessa madeira.

Os *Eucalyptus spp.* possuem grande adaptabilidade. Isto faz com que o gênero seja um dos mais utilizados dentre todos aqueles introduzidos até agora no Brasil. Sobre isso GOLFARI, citado por RESTREGO e STOHR (1983), observa que as coníferas predominam na região Temperada Sul e os eucaliptos na região Subtropical do país. Esta distribuição não se deve somente as limitações ecológicas, porque existem espécies de diferentes gêneros adaptáveis às duas regiões, mas sim à falta de conhecimento dessas outras espécies.

Considerando que a demanda atual de madeira no Brasil encontra-se direcionada principalmente para a produção de polpa e papel e ultimamente em forma crescente para fins mais nobres como laminados e faqueados, as espécies de rápido crescimento são indispensáveis para suprir as necessidades do mercado.

O reconhecimento do potencial econômico do *Eucalyptus spp.* iniciou com o cultivo de pequenas plantações no Sul da Europa e Norte da África a aproximadamente 100 anos atrás.

A área plantada com eucalipto fora da Austrália cresceu de 700.000 ha em 1950 para 3,7 milhões de ha em 1974 e continua crescendo rapidamente. O incremento anual destas novas florestas é estimado em 40 milhões de m³ comparados com 9 milhões derrubados anualmente a partir de 12 milhões de ha de florestas comerciais australianas segundo FORWOOD citado por KEINERT JÚNIOR (1985).

Muitas espécies de *Eucalyptus spp.* crescem em solos de baixo teor de nutrientes, mas possuem capacidade de responder com taxas de desenvolvimento. Em solos mais férteis, especialmente a níveis altos de nitrogênio e fósforo, apresentam ótimos índices de crescimento (KEINERT JÚNIOR, 1985).

No Brasil RUDOLPH *et al.* (1978), relatam taxas de crescimento de 40 m³ em média para plantações de 7 a 8 anos de idade. Algumas espécies desenvolvem altos

níveis no que se refere a tensões de crescimento que podem causar fendilhamento severo nas toras, distorções durante o desdobro e contrações durante a secagem.

Segunda a FAO (1981), a madeira de *Eucalyptus spp.* apresenta algumas características indesejáveis, sendo as mais importantes as seguintes:

- a) tensões de crescimento;
- b) contrações na secagem;
- c) colapso;
- d) e as fibras grã reevasas.

Entretanto, esses defeitos podem ser minimizados através de técnicas adequadas que na atualidade vem sendo empregado por diversos autores, PIO (1996) e KEINERT (1994).

JANKOWSKI e AGUIAR (1983), testando seis espécies de *Eucalyptus* na fabricação de painéis de madeira concluíram que o principal problema observado na laminação foi à presença de rachadura de topo causadas pelas tensões de crescimento.

Para PONCE (1993), o eucalipto tem tudo para ser a principal madeira industrializada do país. Para isso é necessário pesquisas intensivas, tanto do ponto de vista tecnológico como silvicultural. Sem emprego intensivo de pesquisa, os resultados serão lentos e não confiáveis.

Estudos realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, demonstraram a viabilidade de utilização de madeiras de eucaliptos para os mais variados fins como móveis (armários, estantes, escrivaninhas, gavetas e mesas) com *E. grandis* e os mesmos tiveram desempenho considerado bom PONCE (1993).

Na construção civil é fonte de matéria-prima decisiva na substituição e racionalização do uso de produtos renováveis.

De acordo com GROHMANN (1988), a utilização da madeira na construção contribui para diminuir a dependência das reservas de materiais não renováveis, já que é uma fonte natural disponível em todo o mundo e, com uma gestão adequada, sua provisão é praticamente inesgotável. Ecologicamente, a exploração da madeira nativa é bem aceita quando provém de áreas manejadas, sendo mais sensato o emprego da madeira de reflorestamento na construção civil.

No setor moveleiro, o emprego desse gênero *Eucalyptus spp.* vem como uma solução ao problema de distância entre o pólo madeireiro e o consumidor da matéria-prima (fábrica de móveis), com redução dos custos de transportes aliados à demanda por madeiras de qualidade a menor custo (SILVA e WENZEL, 1995).

Segundo KIKUTI (1995), para a obtenção de madeira de alta qualidade, aplicação na indústria de móveis, chapas, marcenaria e construção civil é necessário considerar a escolha adequada das espécies a serem utilizadas, um manejo diferenciado daquele realizado atualmente para celulose e papel, e uma adequação da tecnologia utilizada para o processamento da madeira de eucalipto.

O uso atual da madeira de reflorestamento de eucalipto, tem recebido atenção especial de vários setores da sociedade principalmente pesquisadores e empresários do setor madeireiro, ambos localizados nos estados da região Sudeste e Sul, em função do seu grande potencial e disponibilidade em um curto espaço de tempo.

Segundo dados da FAO, em relatórios apresentados na 1ª Conferência Mundial do *Eucalyptus*, em Roma, verificou-se um padrão de utilização em todos os países onde, também, foi observada uma expansão da área reflorestada, ou com florestas nativas. Com algumas exceções sua utilização pode hierarquizar-se como segue:

a) como madeira para energia, lenha carvão vegetal, e industrial de pasta para papel;

- b) como poste de linha de transmissão telefônica e elétrica após tratamento preservador;
- c) madeira serrada, a partir de espécies em que os defeitos de secagem são menos pronunciados, árvores de grandes dimensões para construção civil e dormentes ferroviários;
- d) madeira serrada, em peças de comprimento e largura reduzidas, cabos de ferramentas, peças torneadas, caixas;
- e) para janelas, portas, carpintaria e móveis.

Registra-se que a utilização da madeira do eucalipto em muitos países avançou rapidamente até a fase (c), enquanto que em outros não ultrapassou a fase (a). Verifica-se também em alguns países a destilação da folha de algumas espécies, para extração de óleos valorizando cada vez mais algumas espécies deste gênero.

Segundo MAC MILLAN (1978), na Austrália são utilizados diversas espécies de eucaliptos na manufatura de painéis compensados, alguns com os mais altos padrões de qualidade, mas com baixo rendimento devido as rachaduras de topo originadas das tensões de crescimento.

VITAL e DELLA LUCIA (1986), no Brasil há uma grande variedade de eucaliptos e, atualmente são cultivadas diversas delas com uma ampla faixa de densidade, constituição química e anatômica, o que gera grandes diferenças nas propriedades físicas e químicas, tornando o uso da madeira bastante amplo.

Segundo ROZAS MELLADO (1993), apesar da grande demanda de madeira serrada para construção civil, móveis, laminados, ou outros produtos de maior valor agregado, até agora os *Eucalyptus spp.* tem sido pouco utilizados com estes fins, sendo sua aplicação quase sempre limitada à produção de carvão, celulose e chapas de fibras.

De acordo com LUZ *et al.* (1992), citados por ROCHA (2000), as experiências em

escala comercial e com sucesso relevante, a nível global, no emprego de madeira de reflorestamento de eucaliptos, tem seu maior desenvolvimento na África do Sul, onde foram desenvolvidos e aperfeiçoados nos últimos anos reflorestamento de diversas espécies e métodos de manejo principalmente para *E. grandis* e *E. cloeziana*. Com isto, foram obtidos resultados satisfatórios em vários setores da indústria madeireira, em especial serrarias, indústrias de móveis, chapas, além do amplo uso de postes de madeira.

2.2 *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden

De acordo com SIMULA e TISSARI (1998), citados por ROCHA (2000), o *Eucalyptus grandis* é considerado um dos melhores eucaliptos para diversos fins, destacando-se, entre estes, a movelaria. De maneira geral não é de difícil usinagem, entretanto, apresenta certa rigidez. É desdobrado com certa facilidade apresentando boa superfície quando aplainado. Sua madeira pode ser torneada, lixada, furada e facilmente trabalhada.

Quando utilizado em painéis de madeira, proporciona boa resistência da linha de cola. Quanto à aceitação de pregos e parafusos, o mesmo é de baixa rejeição entretanto, é mais susceptível a rachaduras que o gênero *Pinus*.

ROCHA (2000), cita que a principal área de ocorrência natural da espécie *E. grandis* encontra-se ao norte de Nova Gales do Sul e ao Sul de Queensland, entre as latitudes 25 e 33^o Sul, ocorrendo ainda, no centro (latitude 21^o Sul) e no norte de Queensland, na Austrália.

As altitudes para a ocorrência da espécie, variam desde próximas ao nível do mar até 600 m na área de maior ocorrência e entre 500 a 1100 m nas áreas mais ao norte (Atherton-QLD). O clima varia de subtropical úmido (sul) a tropical úmido (Atherton-QLD). Em sua principal área de ocorrência, a temperatura média das máximas do mês mais quente fica em torno de 24 a 30^o e a média das mínimas do mês mais frio de 3 a 8^o C. Para as áreas ao norte, os valores variam entre 29 a 32^o C e 10 a 17^o C respectivamente.

A precipitação média anual, em sua área natural, fica em torno de 1000 a 3500 mm, com maior concentração no verão, principalmente no centro e no norte de Queensland. A estação seca não ultrapassa a 3 meses (EMBRAPA, 1986).

Segundo FERREIRA (1979), a madeira de *E. grandis* possui coloração que varia entre o tom branco a rosado, de baixa densidade, leve e de fácil trabalhabilidade.

LAMPRECH (1990), BOLAND (1994) citados por DEL MENEZZI (1999), a madeira do *E. grandis* apresenta alburno palha rosado e cerne rosa a levemente avermelhado, de textura grossa, grã direita, sendo moderadamente resistente e durável. As principais formas de uso são construção civil, marcenaria, mobiliário, compensados, pisos, fabricação de papel e lenha.

SILVA *et al.* (1997), citados por ROCHA (2000), testaram o comportamento do *Eucalyptus grandis* em diversas operações de usinagem, normalmente executadas no setor moveleiro, e concluíram que a madeira possui um bom comportamento, com potencial para o setor de madeira serrada, painéis, dentre outros usos.

De acordo com AGUIAR (1986), o *Eucalyptus grandis*, por ser uma espécie de rápido crescimento é atualmente de grande importância em programas de reflorestamentos. Estudos e observações indicam esta espécie como de grande potencialidade para as indústrias de processamento mecânico. Entretanto, a ocorrência

de tensões internas de crescimento e de secagem, responsáveis pelo aparecimento das rachaduras de topo das toras, tem inviabilizado a utilização da espécie na produção de madeira serrada e laminados.

Para ACOSTA (1995), a madeira de *E. grandis* é bem utilizada para a produção de caixas de concreto, carpintaria, estruturas de telhados, caixaria (frutas hortaliças, frangos, etc.), embalagens.

Em menor escala são produzidos móveis rústicos (camas, cadeiras, mesas), material apícola, silos (caixotes de madeiras para colheita de frutas com capacidade de aproximadamente 1 tonelada), estrados para camas, forros, cortinas de enrolar, cabos de escovas, cabos puxadores, vigas laminadas, marcos, escadas, cavaletes, molduras de móveis, brinquedos e etc.

Pode-se afirmar, também, que ainda em grande escala tem sido utilizado para a produção de madeira serrada, vigas laminadas, o que vem tornando o eucalipto cada vez mais uma fonte alternativa para a produção de produtos diversos à base de madeira sólida.

2.3 PRODUÇÃO DE COMPOSTOS LAMINADOS COLADOS

Segundo LUTZ (1978), a maioria das espécies arbóreas podem ser utilizadas na obtenção de lâminas de madeira. As folhosas são mais facilmente transformadas em lâminas que as coníferas. O principal fator é a resistência aos esforços de flexão apresentado pelas folhosas produzindo lâminas menos danificadas por fendilhamento. A razão está relacionada ao menor conteúdo de lignina nas folhosas e ao fato de serem mais termoplásticas que as coníferas.

Outra característica importante da madeira é a massa específica. Espécies que apresentam valores muito baixos produzem lâminas felpudas, enquanto que espécies com valores elevados apresentam dois inconvenientes: lâminas quebradiças e alto consumo de energia para processá-las. Nos EUA a faixa de massa específica utilizada está entre 320 – 650 kg/m³.

Nas operações de laminação, secagem e colagem outro fator de grande influência é a permeabilidade. Uma espécie de madeira com boa permeabilidade pode diminuir o problema de eliminação de água durante a laminação, facilitar a secagem e melhorar as condições de colagem devido a evaporação do vapor d'água desprendido durante a cura da cola (LUTZ, 1978).

Para ABRAHÃO (1999), a produção de estruturas de madeira laminada colada deve seguir padrões estabelecidos por órgãos competentes. No Brasil, infelizmente, devido a pouca utilização de tal produto para construção, não existem ainda normas técnicas tratando detalhadamente do assunto.

A Norma NBR 7190 (ABNT, 1997), que é a versão mais recente para construções de madeira apenas cita que, para o emprego da madeira laminada colada, deve-se admitir para ela as mesmas propriedades da madeira maciça. E, adicionar à citada norma os seguintes ensaios:

- a) Resistência das emendas longitudinais denteadas;
- b) Resistência ao cisalhamento;
- c) Resistência à tração.

De uma maneira geral a eficiência de um elemento estrutural que utiliza lâminas de madeira colada com as fibras paralelamente está diretamente relacionada com a qualidade da madeira empregada e com a qualidade do processo de colagem das

lâminas que irão compor a estrutura, sendo a interação entre cola e madeira o fator mais importante.

A norma norte americana ANSI/AITC A190.1 adota uma abordagem em dois estágios para inspeção do processo de produção de compostos laminados colados, sendo os seguintes:

- a) Verificação rigorosa, realizada por uma agência independente credenciada, das condições da fábrica, equipamentos e qualificação da mão de obra;
- b) Neste estágio, são estabelecidos critérios e procedimentos diários de segurança para cada fase do processo.

O processo de produção de elementos estruturais de madeira utilizando laminado colado pode ser descrito, de maneira sucinta segundo ABRAHÃO (1999).

- a) secagem e classificação da madeira (lâminas);
- b) realização de emendas longitudinais nas lâminas, em casos de peças de grandes dimensões;
- c) colagem das lâminas em camadas;
- d) inspeção e acabamento;
- e) tratamento preservativo, se os elementos forem expostos a condições de alta umidade ou uso exterior.,

A principal recomendação de uso da madeira colada está baseada na comparação de suas propriedades com as de outros materiais construtivos. Desta forma, pode-se destacar algumas vantagens no seu uso:

- a) Bom módulo de elasticidade;
- b) Boa resistência química à corrosão;
- c) Boa aceitação da resistência;
- d) Baixo coeficiente de expansão e condutibilidade térmica;

- e) Grande disponibilidade de matéria prima no mercado;
- f) Liberdade de forma e tamanhos;
- g) Fácil trabalhabilidade, linha de cola resistente.

Para MATSUNAGA (1995), a utilização de estruturas laminadas coladas apresenta algumas vantagens em relação aos demais sistemas construtivos, entre as quais podem ser destacadas as seguintes:

- a) Dimensionamento mais preciso baseado na resistência da madeira seca, proporciona economia no projeto;
- b) As grandes dimensões da seção transversal tornam a madeira laminada colada mais resistente ao fogo, do que as construções em aço projetadas para suportar o mesmo esforço;
- c) Melhor controle da umidade das peças e redução dos defeitos de secagem pela pequena espessura das peças que não ultrapassam 50 mm;
- d) Quando utilizadas em interiores não necessita de manutenção, e para exteriores este custo é baixo.
- e) As fundações são consideradas leves, permitindo pré-fabricação e montagem com número reduzido de mão-de-obra.

Segundo NIELSEN (1998), tais estruturas laminadas podem apresentar as seguintes desvantagens:

- a) O adesivo utilizado na produção das vigas deve ser adequado ao emprego final da peça;
- b) É necessário o emprego de técnicas e equipamentos específicos, bem como mão-de-obra especializada;
- c) Quando comparada com madeira maciça, apresenta maior custo de produção, que inclui mão-de-obra, adesivo e seleção das peças de madeira;

- d) Perda durante o processo de produção com madeira e adesivo pelas emendas, acabamentos e considerações de projeto, que variam de 13 a 33 %;
- e) Utilizando peças de grandes dimensões, pode ocorrer custo de produção e transporte.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA PARA PEÇAS LAMINADAS ESTRUTURAIS

2.4.1 CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA

De acordo com STEER (1996), citado por GROHMANN e SZÜCS (1998), sendo a madeira um produto natural, apresenta características de resistência e rigidez muito variáveis. Para compensar esta dispersão e produzir um material estrutural confiável, a madeira pode ser separada em classes diferentes de qualidade, para satisfazer usos diferenciados ou exigências específicas.

Para MATSUNAGA (1995), o controle de qualidade da madeira aliada a uma classificação prévia das lâminas situadas nas camadas posicionadas no lado tracionado, das estruturas de madeira laminada é de significativa importância na sua resistência e desempenho estrutural.

FREAS e SELBO (1954), em pesquisas realizadas no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, sobre fabricação e projeto de peças estruturais de madeira laminada colada, demonstraram a necessidade da classificação prévia do material para se ter conhecimento da qualidade de cada camada componente da estrutura, o que irá definir especificações sobre fatores básicos da classificação.

ETHINGTON (1960), citado por MATSUNAGA (1995) pesquisando rigidez e resistência à flexão em vigas produzidas com madeira laminada colada composta de duas espécies, comparou valores obtidos de sua pesquisa com valores teóricos de fórmulas desenvolvidas. Seu trabalho foi realizado baseado no conhecimento das propriedades de classe de qualidade da madeira utilizada, onde foram apresentadas as equações teóricas que prediziam a rigidez e a resistência à flexão das vigas.

CHUGG (1964), com o objetivo de propor uma forma de realizar uma classificação que assegurasse maior precisão, analisou com detalhes as diferenças entre normas de classificação para peças sólidas e lâminas utilizadas na montagem de elementos estruturais. Foram comparadas especificações de normas americanas de classificação visual, de algumas espécies, com as especificações da norma canadense – CSA, especificações da norma suíça e de normas britânicas, para classificação de tensões admissíveis, para madeira laminada estrutural.

Outras considerações importantes sobre a classificação da madeira são encontradas na literatura. GLOS (1996), afirma que as propriedades mecânicas das madeiras não classificadas podem variar de uma amplitude tal que a peça mais resistente é até dez vezes superior a peça menos resistente.

De acordo com GROHMANN (1998), a classificação da madeira é um processo pelo qual se determina a qualidade da madeira para uma utilização específica. São utilizadas regras que definem as características desejáveis e os limites das características indesejáveis da madeira fornecendo, também, métodos de quantificação das características indesejáveis.

Para STALNAKER e HARRIS (1997), o objetivo das regras de classificação é o de manter um padrão entre as peças de madeira. Assim, a qualidade para algum uso particular pode ser definida e controlada.

O desempenho estrutural de peças laminadas coladas depende, em muito, do controle de qualidade da madeira. Também pode-se afirmar que as camadas localizadas no lado tracionado são de significativa importância para esse desempenho com relação a sua resistência (MATSUNAGA, 1995).

FREAS e SELBO (1954) pesquisando peças estruturais de madeira laminada colada, demonstram a necessidade de uma classificação prévia do material (lâminas), através do conhecimento da qualidade de cada componente da estrutura laminada, definindo especificações sobre parâmetros básicos de classificação, bem como uma forma de separação e marcação adequada de cada peça de madeira. Também no mesmo estudo, os citados autores determinaram fatores básicos devidos aos defeitos como nós e desvio de grã, as limitações de tensão de cada classe e o cuidado com sua distribuição na estrutura laminada.

BOHANNAN (1966) trabalhando com grandes estruturas laminadas coladas, isentas de defeitos, onde foi verificada a influência dos nós através de comparações dos valores dos módulos de ruptura, concluiu que existe a necessidade de maiores informações para indicar com maior precisão a influência dos nós. A partir de sua pesquisa, direcionou diversos trabalhos a novas concepções e procedimentos de projetos.

A norma americana para madeira laminada colada foi publicada em 1967 pela American Institute of Timber Construction a AITC 301-67,, baseada na classificação visual, a qual exigia apenas uma classificação estrutural da madeira, sendo que as especificações quanto à resistência da peça foram aperfeiçoadas e atualizadas a partir dos resultados de trabalhos experimentais de pesquisas.

Em 1973, tomando como base trabalhos publicados por JOHNSON (1973), a AITC publicou as especificações para madeira laminada colada, empregando ensaios não-destrutivos aliados à classificação visual das lâminas.

ROSS e PELLERIN (1994), comentam sobre os primeiros critérios de classificação da madeira para peças laminadas que foram visuais e combinado com rigidez. Em seguida, com o objetivo de gerar maior precisão e melhor aproveitamento da madeira, foram propostas novas técnicas de classificação mecânica não destrutiva, para a camada de madeira tracionada da peça estrutural. Atualmente, novas técnicas estão surgindo visando um melhor aproveitamento do material a ser ensaiado, como por exemplo à aplicação de ondas acústicas em conjunto com critérios visuais e mecânicos.

FURIATI (1981), afirma que peças de madeira (laminada, serrada, etc.) possuem propriedades diversas, mesmo aparentando relativa ausência de defeitos naturais tais como nó, fibras revessas, rachaduras, fendas, etc. De modo idêntico, essas peças informam grande variação de resistência e uso. Com isso, torna-se imprescindível a fixação de classes de qualidade que venham possibilitar ao consumidor adquirir madeiras, ou peças estruturais de madeira, de determinada qualidade e em qualquer quantidade.

O mesmo autor diz que, poucos trabalhos vem sendo realizados no sentido de viabilizar a adoção de uma sistemática com essa finalidade. No Brasil, não existem regras para o controle e utilização racional deste material (madeira laminada, serrada, etc.), motivo pelo o qual a comercialização da madeira bem como sua utilização em muitos casos é totalmente arbitrária.

2.4.2 CLASSIFICAÇÃO VISUAL DAS LÂMINAS DE MADEIRA

Segundo CARRASCO (1989), a resistência e a rigidez das estruturas de madeira laminada colada sob pressão, dependem substancialmente da qualidade das lâminas externas posicionadas no lado tracionado, confirmado por vários autores.

MADSEN (1962), realizando uma série de ensaios, constatou que a ruptura de uma estrutura laminada colada pode-se originar na lâmina tracionada, principalmente quando as fibras da madeira são retorcidas e terminam na borda da lâmina. Caso a ruptura comece em um defeito da borda tracionada, a mesma continua com uma rachadura agindo através da viga e conduzindo-a ao colapso total.

Estes resultados confirmaram a importância significativa no aumento da resistência à flexão em estruturas compostas com lâminas de madeira colada, e que observando detalhes no momento de produzir a viga, em especial, as lâminas tracionadas externas, pode-se obter melhores resultados de resistência.

Com isso, ficou evidenciada a necessidade de estudos e pesquisas sobre qualidade, classificação e posicionamento de lâminas no momento de produção de estruturas de madeira, principalmente quando se trabalha com grandes estruturas compostas por lâminas de madeira coladas.

AITC (1967), publicou uma das primeiras especificações a este respeito, denominada AITC 301-67, a qual não exigia que as lâminas fossem de fibras retas e limpas, mas exigia uma classificação estrutural. As especificações a respeito dos fatores de redução de resistência, dimensões, nós e direção das fibras foram proporcionalmente melhoradas. A mais significativa melhoria nas especificações da qualidade das lâminas tracionadas foi a limitação da posição e localização das fibras retorcidas (reversas).

JOHNSON (1973), realizou pesquisas sobre classificação visual de lâminas de madeira, utilizando as especificações vigentes nos Estados Unidos (AITC 301-26, AITC 301-22 e AITC 301-20). Os resultados obtidos indicaram que as estruturas compostas por lâminas coladas podem ser construídas através de uma classificação visual, respeitando as lâminas situadas em regiões de alta tensão, as quais devem ser selecionadas de acordo com as especificações da AITC e, as emendas necessárias, devem ser feitas seguindo um rigoroso critério, principalmente para grandes estruturas de madeira.

MARX e MOODY (1981), citados por CARRASCO (1989), avaliaram a qualidade necessária das lâminas tracionadas de pequenas vigas de compostos laminados colados para obter tensões da ordem de 16,8 Mpa. Nesta pesquisa foram fabricadas um total de 120 vigas com 4, 8 e 10 lâminas. Metade das vigas tinham classificação regular das lâminas, todas com a mesma qualidade. A outra metade tinha as lâminas tracionadas selecionadas através do uso da norma AITC 302-24 (1979). Os resultados mostraram que as vigas tiveram em torno de 15 % a menos de resistência do que as classificadas pela AITC 302-24. Posteriormente, os citados autores, em continuidade ao programa de pesquisa, publicaram em 1982, um estudo realizado em 18 pequenas peças laminadas coladas. O objetivo era determinar a existência de diferença, de resistência entre as vigas, feitas com lâminas tracionadas de qualidade diferentes segundo as normas (AITC 302-20 e AITC 302-24). As vigas confeccionadas através das especificações da AITC 302-20, tiveram resistência em torno de 15 % menores do que aquelas classificadas através das especificações da AITC 302-24.

Para KLOOT e LEICESTER (1977) a classificação de lâminas de madeira pela seleção visual depende da correlação entre a resistência à flexão e a medição dos tamanhos de vários defeitos na superfície da peça. Entretanto, essa correlação não

possui alto índice de correspondência. Devido a isso, para se estabelecer uma classe particular de tensão amplamente variada, um fator seguro baseado no grau de correlação deve ser incorporado para permitir que não mais do que uma em cem peças possa não resistir à solicitação de esforços mecânicos, abaixo da classe de tensão determinada.

CHUGG (1964) indica alguns critérios para uma classificação visual dos defeitos permissíveis, que determinam a qualidade da madeira a ser utilizada em peças laminadas coladas.

- a) Furos – pequenos e rasos são permitidos se forem ocasionais;
- b) Fendas e rachaduras – são permitidos defeitos paralelos à face maior da lâmina, até uma profundidade de 1/4 da espessura da lâmina;
- c) Empenamentos – ou torceduras em arco (para vigas laminadas), de até 1,3 cm a cada 30 cm são permitidos;
- d) Nós – sólidos e firmes, soltos ou furos de nós, são permitidos desde que não ultrapassem determinadas dimensões em relação à largura da peça.

MOODY (1974) publica um estudo experimental, desenvolvido através de um modelo teórico, que combina diferentes espécies de madeira na produção de uma estrutura laminada colada. Foram confeccionadas pela classificação visual, com uma das espécies compondo as camadas externas e a outra a parte interna. A conclusão deste estudo foi que quantidade substancial de madeira de baixa resistência e rigidez podem ser empregadas nas camadas internas de peças estruturais laminadas, sendo detectado efeito muito pequeno na resistência e rigidez.

2.4.3 CLASSIFICAÇÃO DE LÂMINAS UTILIZANDO PARÂMETROS DE RIGIDEZ E APARÊNCIA

Para HILBRAND e MILLER (1966), citados por MATSUNAGA (1995), o significado físico da rigidez é a resistência de uma peça estrutural de acordo com a deformação apresentada, sob a ação de um sistema forças. A rigidez é definida como o produto do módulo de elasticidade pelo momento de inércia da peça. Existem outras formas de rigidez, expressas de forma análoga, tais como a dureza, que é definida para outros sistemas de força. O ponto importante é que a rigidez é uma função do módulo de elasticidade e da dimensão da seção transversal da peça estrutural.

De acordo com HOYLE JR (1961), o módulo de elasticidade em flexão, é o melhor parâmetro para estimar a resistência da madeira, embora existam outras variáveis que possam ser empregadas. Ainda o mesmo autor, trabalhando com quatro espécies de madeiras americanas, concluiu que os níveis de relacionamento entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura indicam significativos valores de correlação, todos entre 0,7 e 0,8, mostrando um alto relacionamento linear entre as duas variáveis.

OROSZ (1968), em pesquisa para determinar alguns parâmetros para a previsão da resistência da madeira estrutural, mostrou que alguns estimadores não poderiam ser efetivos e que, em tais casos, algumas características de pequenas amostras da madeira isenta de defeitos, como os módulos de ruptura, de elasticidade e o peso específico podem fazer razoável previsão da resistência. Sendo, portanto, sugerido a utilização de mais variáveis de classificação e combinações de funções capazes de melhor predizer a classe de tensão da madeira, do que apenas pelo módulo de elasticidade.

WALTERS e REISS (1977) citados por MATSUNAGA (1995), trabalhando com amostras de madeira isentas de defeitos, de duas espécies de coníferas, correlacionaram o módulo de ruptura com o módulo de elasticidade e calcularam as equações de regressão linear para cada espécie. A inclinação da linha de regressão foi a mesma para as duas espécies diferindo apenas na interseção com a reta Y devido a diferença de densidade das mesmas. A diferença no coeficiente de correlação entre ambas foi considerado significativo ao nível de 0,01 de probabilidade. Com isso, concluíram haver um relacionamento linear entre o módulo de ruptura e o de elasticidade. Outra importante observação, foi que a classificação visual especificada pela ASTM 245, não é precisa.

KOCH (1964), realizou um dos primeiros estudos relacionados ao uso do módulo de elasticidade em lâminas de uma peça estrutural laminada. As espessuras das lâminas variaram entre 0,42 a 0,84 cm, para compor peças com aproximadamente 46,0 cm de altura. As camadas externas foram compostas por lâminas de maior rigidez, decrescendo gradualmente os valores para as camadas centrais, até a linha neutra. Os resultados do método apresentaram significativo acréscimo na resistência e rigidez da estrutura.

KOCH e BOHANNAN (1965) compararam valores de resistência de estruturas laminadas coladas produzidas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm em função do sistema de classificação. A madeira inicialmente dividida em quatro grupos aleatórios foi selecionada em cada grupo de acordo com os valores da densidade, da rigidez (E), da aparência visual e ao acaso. No grupo função densidade, madeiras com massa específica mais alta nas camadas externas da estrutura. Lâmina mais densa disposta no lado tracionado diminuindo a densidade até o meio da peça, de modo que a de menor densidade ficasse posicionada no meio da estrutura.

2.4.4 CLASSIFICAÇÃO DE LÂMINAS UTILIZANDO ONDAS ACÚSTICAS

Segundo MATOS (1997), diversos autores (CHA e PEARSON, 1994; RASMUSSEN, 1994; KRETSCHMANN *et al.*, 1993; JUNG, 1982; KOCH e WOODSON, 1968) têm utilizado a técnica da aplicação de ondas acústicas em lâminas de madeira na manufatura de painéis de lâminas paralelas. A grande contribuição do uso dessa técnica é a comprovação da existência de elevadas correlações entre a determinação do módulo de elasticidade mecânico e o módulo de elasticidade estimado pela técnica.

A montagem dos painéis através do uso de lâminas, classificadas por classe de qualidade, em função da velocidade de propagação do som, apresenta resultado eficiente, conferindo elevadas propriedades mecânicas finais aos painéis (MATOS, 1997).

A medição e aplicação de ondas de tensão na madeira é um processo simples, no qual são posicionados dois transdutores acelerômetros sobre o material medido. Uma onda de tensão é induzida ao corpo de prova, ocorrendo um contato entre ambos, quando a onda acústica alcança o acelerômetro de partida, uma contagem de tempo em microssegundo é iniciada no instrumento, cessando quando atinge o acelerômetro de parada e o aparelho registra e mostra o tempo decorrido de trânsito da onda de tensão entre os acelerômetros através do corpo de prova (MATOS, 1997).

Para METRIGUARD (1997), as propriedades do corpo a ser medido afetam a forma da onda de tensão, e com isso, o tempo de detecção da passagem da onda. Os tempos medidos em microssegundos são então utilizados no cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.

O módulo de elasticidade dinâmico para cada lâmina é calculado pela equação abaixo (METRIGUARD, 1997):

$$MOEd = \delta \times V^2 \times \left(\frac{1}{g} \right)$$

Em que:

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

δ = Densidade da lâmina (kg/m³);

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s);

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

A velocidade de propagação da onda foi obtida pela seguinte equação:

$$V = \frac{d}{t}$$

Em que:

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s);

d = Distância entre os transdutores (cm);

t = Tempo de propagação (μ s).

Após o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico pelo método não destrutivo de determinação da qualidade de lâminas, as mesmas são agrupadas em classes de qualidade para produção dos painéis.

KRETSCHMANN *et al.* (1993), trabalhando com madeira de *Pinus spp.* nos USA, visando produção de painéis de lâminas paralelas, testou dois métodos de classificação não destrutiva para lâminas. Um baseado no tempo de propagação ultra-sônica utilizando-se um valor para seleção de lâminas acima de 550 microssegundos. O outro, tinha como base a combinação de propagação ultra-sônica e medição da massa específica no sistema de classificação. Como resultado, os dois princípios de classificação apresentaram elevada eficácia.

2.5 CLASSIFICAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE MADEIRA

Segundo NIELSEN (1998), a prévia classificação das peças de madeira tem por objetivo o controle da qualidade das peças individuais de acordo com sua resistência a esforços submetidos. Para essa classificação são elaboradas classes de resistência que possam ordenar as peças segundo seus esforços, em vários intervalos, definindo sua qualidade.

De acordo com ROSS e PELLERIN (1994), citados por NIELSEN (1998), os métodos de classificação avaliam e quantificam os defeitos de várias naturezas sobre a resistência das peças. Esses métodos podem ser destrutivos e não-destrutivos. A avaliação não-destrutiva de materiais é a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça do material, sem alterar sua capacidade de uso final.

SANDOZ (1989), utilizando 03 (três) classes de resistência baseadas em níveis de velocidade de propagação das ondas acústicas, realizou ensaios de classificação de madeiras para fins de construção civil obtendo excelente resultados na caracterização mecânica de vigas de madeira.

Técnicas de ultra-som podem ser ainda utilizadas para classificação das tábuas que irão compor uma viga laminada colada. Utilizando a equação apresentada por BODIG e JAYNE (1982), e com a medição da velocidade de propagação acústica das ondas sonoras, em cada tábua, é possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico das tábuas estimando-se o valor do módulo de elasticidade final esperado para a viga (MATOS 1997).

A madeira utilizada para a fabricação de vigas laminadas usualmente apresenta uma enorme variabilidade nas características elásticas. Com isso, adota-se o uso de

materiais (tábuas) de alta resistência próxima à superfície superior e inferior da viga e, o material de mais baixa resistência, próximo ao miolo da viga.

Segundo BOSTRÖM (1994), citado por NIELSEN (1998), na classificação mecânica não-destrutiva, a influência dos defeitos presentes na viga pode ser avaliada pela deformação resultante da aplicação de uma carga de prova em teste de flexão estática. Uma das vantagens que este método apresenta é a rapidez nas operações de classificação. Essa classificação está baseada no princípio de correlação entre a resistência representada pelo módulo de ruptura e a elasticidade da madeira em teste de flexão estática representada pelo módulo de elasticidade.

Na classificação mecânica a viga é flexionada por poucos instantes, o necessário para a obtenção do valor de rigidez. Tendo por base esse valor, é possível estimar a resistência à flexão da peça pela correlação entre os módulos de elasticidade e ruptura, bem como da existência dessa correlação (ALEXANDER e ANTON, 1977).

O parâmetro não-destrutivo mais utilizado para classificação mecânica tem sido o módulo de elasticidade, em alguns casos associado à massa específica aparente como outra variável independente na mesma equação.

Na elaboração de classes de esforços para classificação mecânica de viga de madeira para fins estruturais, é possível adotar o conceito básico de que a resistência da viga de uma determinada espécie é proporcional à resistência dos corpos de prova livres de defeitos. Os valores de MOR e MOE obtidos para os corpos de prova livre de defeitos podem ser utilizados para determinação dos valores correspondentes aos limites das classes de esforços (SENFTE e DELLA LUCIA, 1979).

Essas classes de esforços são ordenadas em intervalos pré-determinados de módulo de elasticidade. Com base nos mínimos valores desse módulo de cada classe são estimados os respectivos valores do módulo de ruptura. O valor do MOR é dividido

por um fator de segurança, para a obtenção do valor da tensão admissível em flexão estática.

Esse procedimento, segundo (BOSTRÖM, 1994), com pequenos ajustes, é utilizado para a determinação da tensão admissível em flexão estática em quase todos os países.

2.6 PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS (PLP)

Este processo de produção é resultado de uma longa e gradual evolução de conceitos e técnicas (MATOS, 1997).

Alguns autores apontam que o início do processo teve origem em um trabalho de LUXFORD (1944) citado por SCHAFFER *et al.* (1972) e também por LAUFENBERG (1983). Neste trabalho, LUXFORD (1944) construiu elementos estruturais com elevada resistência a partir de painéis de lâminas paralelas, laminados com espessura de 3,6 mm e coladas paralelamente à frio (MATOS, 1997).

Mais tarde, novos trabalhos indicaram que o uso de um pré-aquecimento nas lâminas era importante para acelerar a cura dos adesivos (MARRA, 1956 citado por SCHAFFER *et al.*, 1972). Este pré-aquecimento mostrou uma redução significativa no tempo de produção dos painéis em relação aos painéis prensados em temperatura ambiente.

KOCH (1964a) apresentou o conceito de classificação de lâminas faqueadas utilizadas na produção de vigas, utilizando *Pinus taeda* e *Pinus palustris* com espessura de 8,5 mm. Em seu estudo foram produzidas vigas de 18 cm de espessura, 12 cm de largura, com 21 lâminas selecionadas pelo valor individual do módulo de elasticidade

(MOE). O objetivo principal do estudo era buscar alternativas para o uso integral de madeira de árvores de pequeno a grande diâmetros e desenvolver um sistema econômico de montagem de vigas de elevada resistência.

KIMBALL (1968), utilizando lâminas faqueadas de *Pinus taeda* mostra alguns métodos usados no processo de secagem de lâminas para produção de painéis de lâminas paralelas com espessuras variáveis, entre os quais podem ser citados os seguintes:

Foram testados quatro processos:

- a) secadores a altas temperaturas;
- b) secadores a baixas temperaturas;
- c) em prensas;
- d) secador de lâminas por rolo.

Os melhores resultados foram obtidos pelo processo de prensagem das lâminas a quente, que apresentou maior eficiência, rapidez, e ocorrência de menor número de defeitos nas lâminas que os processos convencionais.

KOCH e WOODSON (1968), produziram 20 vigas de *Pinus taeda* espessura de 4,2 mm, e dimensões de 4,6 cm x 5,0 cm x 750 cm. Classificaram as lâminas através do processo utilizado por KOCH (1964a) e pelo método de emissão de ondas acústicas, medindo a velocidade de propagação de ondas de tensão no sentido longitudinal das lâminas.

Como o comprimento dimensionado para as vigas (750 cm) excedia o comprimento padrão das lâminas (2,5 m) foi necessário utilizar um sistema de emendas de topo para obter-se o comprimento desejado. Os autores verificaram que as três emendas de topo usadas entre lâminas não reduziram seriamente o MOE das vigas.

Constataram, ainda elevada correlação entre valores do MOE dinâmico e MOE estático, medidos e calculados para seleção das lâminas usadas nas vigas.

BOHLEN (1972), apresenta resultados de avaliações técnicas e econômicas de produção de um tipo de painel denominado *Laminated Veneer Lumber* (Painéis de Lâminas Paralelas). Esse painel era composto de lâminas de *Douglas -fir*, em torno convencional com espessura de 6 mm, secas a um teor de umidade de 5 %.

Ainda o citado autor, para demonstrar a viabilidade da produção de painéis largos e em comprimentos industriais que poderiam ser serrados em dimensões estruturais, produziu painéis de 3,8 cm de espessura, 61 cm de largura e comprimento de 4,80 m prensados com adesivo à base de resina fenol-formol a uma gramatura de 310 g/m² por linha dupla. Os painéis foram manufacturados em prensa quente, a uma pressão de 10,5 kgf/cm², a uma temperatura de 149 °C e tempo de prensagem de 3 min, que gerou um tempo total de prensagem em torno de 20 min, considerado elevado pelo pesquisador.

KIMBALL (1968), aponta as principais razões para a produção deste tipo de painéis: possibilidade do aumento de rendimento de toras convencionalmente serradas; com a laminação não há perdas com costaneiras e serragem e, ainda, permite a retirada de material com maior largura. O processo de secagem de lâminas por prensagem demonstrou ser mais rápido que em processos convencionais.

Outra vantagem na montagem de painéis estruturais com várias lâminas coladas seria a distribuição de nós e outros defeitos que reduzem a resistência, tornando o produto mais uniforme que a madeira serrada retirada da mesma tora.

SCHAFFER *et al.* (1972a, 1972b), informam que pesquisas realizadas no LPF de Madison USA mostram resultados de avaliações técnicas e econômicas da produção de painéis laminados, processo denominado *Press-Lam*.

Esta etapa antecedeu a produção dos painéis de lâminas paralelas e foi um período de pesquisa voltada a avaliação de rendimentos e variáveis de processamento utilizando *Pinus* do Sul dos USA.

2.6.1 POSICIONAMENTO DAS LÂMINAS

De acordo com MOODY e BOHANNAN (1970), citados por GROHMANN (1998), o princípio básico da construção com madeira laminada colada consiste em distribuir racionalmente as lâminas selecionadas para melhor utilização do material disponível. Neste conceito, materiais com qualidades mais elevadas são colocados nas regiões do elemento que estarão mais solicitadas, e as lâminas com qualidade inferior serão posicionadas nas regiões menos solicitadas.

Quanto ao posicionamento das lâminas, BODIG e JAYNE (1982), SZÜCS (1991) e ARRUDA (1995) apresentam estudos sobre a contribuição do momento de inércia de cada lâmina em relação ao momento de inércia total da peça, que são de grande valia para adoção dos critérios de classificação a serem utilizados.

2.7 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA

2.7.1 FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS

A madeira é um produto orgânico sendo usada, principalmente em seu estado natural, constituída de camadas concêntricas de crescimento. É obtida a partir de

árvores que crescem sobre condições ecológicas variáveis que, naturalmente, alteram suas taxas de crescimento, forma, estrutura e resistência, variações estas que tornam difícil atribuir valores de esforços de trabalho com o mesmo grau de precisão que outros materiais tais como o aço e o concreto.

A anisotropia da madeira tem origem na sua estrutura celular. A maioria das células possui forma tubular com exceção dos segmentos vasculares em folhosas. Dependendo da espécie, 70 a 95 % das células tem seu eixo paralelo ao comprimento da tora e a percentagem restante das células são dispostas do centro para fora do tronco em camadas que originam os raios (LARA PALMA, 1994).

Para PARKER (1979) as diferenças no arranjo dos tecidos, dimensões e espessura da parede celular determinam valores próprios da massa específica para cada espécie de madeira. Salienta-se que a resistência da madeira possui estreita relação com sua massa específica e isso pode ser determinante em produtos à base de madeira.

O conhecimento da densidade de produtos de madeira reconstituída é importante pois permite tirar conclusões sobre a adaptabilidade do produto como material de construção para fins estruturais, devido à boa relação existente entre resistência e massa específica.

HEGER (1974), PEARSON e GILMORE (1980), concluíram que para a maioria das espécies florestais o modelo de variação mais comum (para massa específica e para o lenho tardio) é decrescente com a altura e crescente com a idade no sentido da medula para a casca (SELLERS, 1962; LEMA *et al.* 1978; KALINKOV e GEORGIEV, 1979).

A massa específica apresenta grande variação entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e dentro de uma única árvore, podendo ser influenciada pela posição no

tronco, porcentagem de lenho tardio, largura dos anéis de crescimento, idade entre outros fatores. Para TRENDELENBURG e MAYER-WEGELIN (1956), a massa específica de uma determinada espécie varia geralmente em torno de 30 % em relação a sua média.

Segundo KNIGGE e SCHULZ (1966), citados por LARA PALMA (1994), na maioria das espécies que possuem anéis de crescimento bem distintos a largura destes pode ser indicadora de muitas características e do crescimento da madeira, tais como a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, relação com a estabilidade do produto e propriedades mecânicas.

A proporção de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades físicas e mecânicas em produtos de madeira reconstituída especialmente em se tratando de espécies com acentuada diferença de massa específica, estrutura de lenho inicial e tardio, e idade. Existe uma estreita relação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, sendo de se esperar que quanto maior for a porcentagem deste, tanto maior será a resistência da madeira (LARA PALMA, 1994).

2.7.2 INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA

O teor de umidade das lâminas para a produção de painéis de madeira reconstituída é geralmente baixo em torno de 6 % para adesivo à base de fenol-formaldeído e até 12 % para adesivo à base de uréia-formaldeído, que são elevados no momento da aplicação do adesivo. Segundo MOSLEMI (1974) citado por IWAKIRI (1989), o vapor d'água gerado durante a prensagem a quente, migra a partir da

superfície próxima ao prato de aquecimento para o interior do painel e do centro para as bordas.

De acordo com MOSLEMI (1974), um baixo conteúdo de umidade pode reduzir a transferência de calor da superfície até o centro do painel e, umidade excessiva, geralmente, requer maior tempo de prensagem devido a ação retardante da umidade sobre a cura do adesivo e também pode provocar delaminação, baixando a umectação.

Para KELLY (1977), citado por IWAKIRI (1989), a umidade excessiva interfere negativamente na reação de polimerização da resina e reduz também a resistência da madeira à compressão, resultando na maior densificação das camadas superficiais do painel.

Baixos conteúdos de umidade podem requer maior pressão para consolidação do painel gerando uma linha de cola com baixa eficiência. Por outro lado, elevado conteúdo de umidade requer ciclo de prensagem mais longo para tentar liberar umidade suficiente contida no interior do painel e proceder colagem adequada. O conteúdo de umidade em um painel é fator extremamente importante não apenas no tempo de prensagem, mas também na velocidade de transferência de calor da superfície para o centro do painel por convecção, que é mais efetiva na cura do adesivo do que o calor transferido por condução através da madeira e espaços de ar (KELLY, 1977).

Segundo TOMASELLI (1983), altos teores de umidade geralmente resultam em uma colagem pobre. Em certos casos, bolhas de vapor formadas na prensa (colagem a quente) provocam a delaminação completa do painel. Por outro lado, um teor de umidade extremamente baixo também é prejudicial o qual produz uma superfície inativa, diminuindo as forças de adesão entre o adesivo e a madeira.

2.7.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

2.7.3.1 Influência da Densidade em Painéis de Madeira

Uma das principais propriedades estudadas em painéis de madeira reconstituída é a sua densidade pois para diversos autores é reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade podendo, para fins práticos, determinar o uso final do produto.

Para TRENDELENBURG e MAYER-WEGELIN (1956), citados por KLOCK (2000), é uma propriedade que permite tirar conclusões a respeito da adaptabilidade da madeira como um material de construção, motivo pelo qual a madeira é procurada para fins estruturais, devido à boa relação de rigidez/peso que apresenta.

FERREIRA (1972) e BARRICHELO *et al.* (1980), trabalhando com *E. grandis*, verificaram o aumento da densidade em função da idade do povoamento.

FERREIRA (1972), ressalta que embora o ritmo de crescimento tenha correlação negativa com a densidade da madeira, em alguns casos os efeitos não são relevantes, especialmente quando em comparação com as variações que ocorrem dentro da árvore.

A variabilidade dentro da árvore tem grande importância do ponto de vista tecnológico, tanto no sentido longitudinal (base-topo) como no radial ou transversal (medula-casca), pois em um mesmo painel de madeira podem ocorrer faixas de lenho a diferentes densidades.

Quanto à variação radial, PANSHIN e DE ZEEW (1970) apresentam os seguintes modelos:

- a) a densidade aumenta da medula para casca;

- b) a densidade é alta na medula, decresce nos primeiros anéis e depois aumenta no sentido da casca;
- c) a densidade é alta nos primeiros anéis próximos à medula e assim permanece relativamente constante, podendo às vezes decrescer próximo à casca; e
- d) a densidade decresce no sentido medula casca.

BRASIL e FERREIRA (1972), estudando a variação radial em *E. grandis* concluíram que a densidade cresce no sentido medula-casca, sendo este crescimento mais acentuado nas camadas externas e FERREIRA (1972) acrescentou para esta mesma espécie que esta tendência era comum a todas as classes diamétrais.

Para lâminas de madeira que irão compor painéis de madeira, ainda são poucos os resultados para a densidade que a literatura dispõe, necessitando de mais pesquisas neste setor.

MATOS (1997), trabalhando com lâminas de madeira de *Pinus taeda* com 21 anos de idade, a diferentes espessuras 3,2 e 4,2 mm determinou faixas de valores por distribuição de freqüência variando entre 0,350 a 0,600 g/cm³ para 3,2 mm de espessura, sendo que a faixa de maior freqüência (0,400-0,450 g/cm³). Para espessura de 4,2 mm os valores variaram entre 0,340 a 0,560 g/cm³ sendo a faixa de maior freqüência (0,480-0,500 g/cm³).

Ainda o citado autor, para painéis de lâminas paralelas de *Pinus taeda* com 21 anos de idade compostos de lâminas de 3,5 mm espessura, sendo as toras retiradas da base da árvore, os valores para a densidade ficaram em torno de 0,528 g/cm³.

COWN (1979) a respeito da variação da densidade em função da idade, comentando diz que a idade sofre muita influência da altura do fuste e que ocorre um decréscimo com a altura, pois, a maiores alturas, há menor número de anéis de crescimento. Eliminando o efeito da idade e comparando-se a madeira com o mesmo

número de anéis, a partir da medula, a densidade permanece constante a qualquer nível do tronco.

2.7.3.2 Inchamento em Espessura e Absorção d'água

De acordo com MEDINA (1986), citado por PIO (1996) O inchamento em espessura em painéis de madeira é formado por duas variáveis, o inchamento simples por absorção de água, e o causado pela liberação das tensões de prensagem.

Durante o processo de prensagem ocorre um aumento da densidade e das tensões internas do painel, fatores que podem comprometer a estabilidade dimensional do produto. Quando o painel absorve água parte das tensões são liberadas, e conseqüentemente quando perde umidade não consegue retornar a sua espessura original MEDINA (1986).

HALLIGAN (1970), citado por BRITO (1995), comenta que o controle do inchamento em espessura pode ser minimizado através de um melhor entendimento dos efeitos das variáveis citadas, combinadas a tratamentos especiais em determinados painéis de madeira.

A absorção de água e o inchamento em espessura variam, também, de acordo com as condições do ensaio, e as variáveis que influem diretamente sobre estas propriedades são: umidade, tempo e temperatura de exposição do corpo de prova.

SUCHSLAND (1973), citado por IWAKIRI (1989), menciona que tomando como base o comportamento da madeira sólida, a quantidade de água absorvida deve ser proporcional a densidade do painel, portanto, espera-se que painéis de maior densidade possam inchar proporcionalmente mais que painéis de menor densidade. Entretanto,

KELLY (1977), menciona uma relação contraditória a respeito deste comportamento em painéis de madeira reconstituída.

VITAL *et al.* (1974), citados por IWAKIRI (1989), em pesquisa com painéis de diferentes densidades, utilizando o método de imersão em água por 24 horas, concluíram que a absorção de água apresenta alta correlação com a densidade do painel.

KEINERT JR (1988), estudando painéis estruturais de madeira reconstituída de diferentes espécies do gênero *Pinus* (*patula*, *taeda*, *pinaster* e *elliottii*) observou menor inchamento em espessura para painéis produzidos com *Pinus patula*, justamente a espécie de densidade mais baixa.

O mesmo autor agora pesquisando *E. grandis* e *E. robusta*, não encontrou diferenças estatísticas significativas para o inchamento em espessura com densidade da madeira entre 0,50 e 0,59 g/cm³, respectivamente.

2.7.3.3 Expansão Linear

De acordo com MENDES (2001), a expansão linear em produtos à base de madeira reconstituída é definida como sendo a expressão percentual do valor expandido, quando uma amostra condicionada a 20 °C e 65 % de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12 %) é imersa em água por um certo período, podendo ser 2 ou 24 horas.

A expansão linear é uma propriedade geralmente investigada em painéis de partículas, mas podendo também ser parâmetro para outros tipos de painéis de madeira. Diversos autores informam a ocorrência de resultados contrastantes para

definir a relação da expansão linear com algumas variáveis de processamento, relatando, também, para determinados tipos de painéis de madeira reconstituída, que os valores obtidos para aquela propriedade se aproximam de valores encontrados para a madeira maciça em função da diminuição da anisotropia.

Com isso, BRITO (1984), citado por MENDES (2001), informa que após pesquisar sobre o assunto concluiu que não há uma relação clara entre variáveis do processo produtivo e a expansão linear.

2.7.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS EM PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS

Com a produção dos primeiros painéis de lâminas paralelas (PLP), teve início uma série de pesquisas visando o ajuste das variáveis do processo e sua influência sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

De acordo com SCHAFFER *et al.* (1972a), diversas variações no processo de produção de painéis de lâminas paralelas são possíveis; número de lâminas, espessura, tipo de junções entre lâminas, espaços entre junções de lâminas, além de definição do tipo do produto, que resultará em modificações nas propriedades do mesmo.

BOHLEN (1972), apresenta o conceito e a sistemática de produção de painéis de lâminas paralelas, preocupando-se mais com investigações de viabilidade de produção e avaliação dos ganhos em rendimentos pela laminação de *Douglas-fir* e aspectos econômicos relacionados com o custo, do que com as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Em 1974, o autor citado acima, dando continuidade ao seu trabalho de produção contínua de painéis de lâminas paralelas (PLP), comparou propriedades de amostras

serradas em dimensões de madeira estrutural de *Douglas-fir* com dimensões de 5 cm x 10 cm x 6 mm (espessura) com madeira serrada nas mesmas dimensões. A avaliação estatística dos resultados, indicou que os PLP apresentaram propriedades de resistência pelo menos igual a madeira de classe estrutural relacionada.

BOHLEN (1975), analisa a propriedade mecânica de cisalhamento em PLP de *Douglas-fir*, afirmando que o uso não seria recomendado em certas aplicações estruturais que exigisse alta tensão de cisalhamento, devido ao produto por ele testado não ter atingido os limites mínimos estabelecido pela norma Canadense (CSA-086-1979), em seu trabalho os valores médios foram 31 % menores que o estabelecido, pela referida norma.

LAUFENBERG (1983), apresenta uma extensa revisão de literatura sobre pesquisas relacionadas ao processo produtivo e propriedades dos PLP, inclusive sobre efeito de emendas entre lâminas.

KOCH (1967), KOCH e WOODSON (1968), com o objetivo de produzir vigas e não o de painéis estruturais, relacionaram os efeitos da classificação de lâminas em classes de qualidade antes da produção das vigas e seus efeitos nas propriedades resultantes. Entretanto, a primeira citação da literatura ao uso de classificação de lâminas de madeira, através da emissão de ondas acústicas é apresentada por KOCH e WOODSON (1968).

JUNG (1982), realiza uma pesquisa completa em propriedades de PLP com lâminas pré-classificadas por emissão acústica, com os resultados indicando razoável precisão quanto ao uso desta técnica em relação a resistência do produto avaliada em ensaio destrutivo.

KRETSCHMANN *et al.* (1993), citados por MATOS (1997), apresentam valores de propriedades físicas e mecânicas para LVL produzidos a partir de *Douglas-fir*, também empregando a técnica de classificação das lâminas por ultra-som.

A Tabela 1 apresenta valores de propriedades físicas e mecânicas para painéis de lâminas paralelas, adaptado de MATOS (1997), sendo a propriedade avaliada a flexão estática, por diversos pesquisadores.

TABELA 1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM PAINÉIS LVL NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Pesquisador	Espécie	Espessura Lâminas (mm)	Qualidade Lâminas	M.E. (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
KRETSCHMANN <i>et al.</i> (1993)	<i>Douglas-fir</i>	2,5	Alta	0,52	628	139.208
			25 % L.J.	0,52	652	132.880
			50 % L.J.	0,48	576	132.177
			50 % L.A.	0,51	612	125.849
			75 % L.J.	0,46	530	113.194
			100 % L.J.	0,45	344	91.399
			100 % L.A.	0,50	402	112.491
KRETSCHMANN <i>et al.</i> (1993)	<i>Pinus do Sul</i>	3,2	Alta	0,63	678	132.880
			57 % L.J.	0,60	552	104.757
			57 % L.A.	0,62	634	125.849
			100 % L.J.	0,59	488	89.290
			100 % L.A.	0,59	603	119.522
JUNG (1982)	<i>Douglas-fir</i>	6,3	Aleatórias	0,51	607	169.440
			Baixa	0,50	595	156.785
			Média	0,52	553	172.252
			Alta	0,55	637	196.860

Nota: L. J. – Lenho Juvenil; L. A. – Lenho Adulto.

Fonte: Matos 1997.

No Brasil ainda são poucos os estudos em painéis de lâminas paralelas, entretanto a literatura informa alguns resultados, como o trabalho realizado por MATOS

(1997) que gerou os seguintes valores médios para propriedades físicas e mecânicas em PLP.

A Tabela 2 apresenta os valores médios para a propriedade de flexão estática em painéis de lâminas paralelas a diferentes espessuras de lâminas e posição na árvore, determinados pelo citado autor.

TABELA 2 VALORES MÉDIOS PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM PLP DE *Pinus taeda* L. COM LÂMINAS OBTIDAS EM DIFERENTES POSIÇÕES NA ÁRVORE – NO BRASIL ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Pesquisador	Posição	Espessura	Qualidade Lâminas	M.E. (g/cm ³)	TLP (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
		Lâminas (mm)					
MATOS (1997)	Base	3,2	Classificadas	0,592	356	519	96.734
			Aleatórias	0,528	221	374	56.883
		4,2	Classificadas	0,583	375	522	88.915
			Aleatórias	0,518	278	401	64.164
	Topo	3,2	Classificadas	0,563	345	444	96.717
			Aleatórias	0,496	223	295	57.170
		4,2	Classificadas	0,545	281	358	95.251
			Aleatórias	0,507	233	284	66.501

Nota: TLP – Tensão no limite proporcional.
Fonte: Matos 1997.

2.7.4.1 Módulo de Ruptura

De acordo com BRITO (1984) e MALONEY (1977), citados por MENDES (2001), definem o módulo de ruptura como o limite do material, submetido ao esforço máximo até a ruptura. IWAKIRI (1989) ressalta que o módulo de ruptura é uma propriedade muito importante, que determina a aplicabilidade dos painéis de madeira para uso estrutural.

Segundo BORTOLETTO JR (2002), em informação pessoal, o módulo de ruptura é definido como sendo a tensão máxima provocada no corpo de prova de madeira, no momento de sua ruptura.

2.7.4.2 Módulo de Elasticidade

Segundo IWAKIRI (1989) MOE – Módulo de elasticidade é um parâmetro que indica a rigidez de um produto (material) quando submetido a um determinado esforço. MALONEY (1977) define o módulo de elasticidade, como sendo a elasticidade de um material até o limite de proporcionalidade.

Para VITAL *et al.* (1974), KELLY (1977), MATOS (1988), o módulo de elasticidade é afetado por diversas variáveis do processo de produção de painéis à base de madeira, dentre as quais a densidade, adesivo, tempo de prensagem, temperatura da prensa, etc.

Em geral, MOE e MOR são afetados de forma similares pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis. Um aumento da densidade da chapa, aumenta ambas as propriedades, aumento da gramatura do adesivo também pode gerar um aumento das citadas propriedades (KELLY, 1977).

Vários pesquisadores informam alta correlação existente entre MOR e MOE. VITAL *et al.* (1974) obtiveram uma correlação altamente significativa, com coeficiente de determinação em torno de 0,96.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DO MATERIAL

Foram selecionadas 15 árvores de *Eucalyptus grandis*, sendo 08 com idade de 15 anos e 07 com idade 20 anos, diâmetro mínimo de 40 cm, tronco cilíndricos livres de bifurcações, com alturas variáveis, provenientes da Klabin Fabricadora de Papel e Celulose, localizadas na região de Telêmaco Borba-PR. A amostragem das árvores foi seletiva com base no melhor diâmetro para laminação.

A decisão de trabalhar com a madeira das duas idades selecionadas (15 e 20 anos) foi tomada mediante dois fatores: a disponibilidade de material com essas idades, e da expressiva quantidade de toras laminadas pelas empresas da região de Telêmaco Borba-PR, nas referidas idades.

Antes do desbaste foi realizado um anelamento nas árvores visando a redução das tensões de crescimento. Com as árvores no pátio da empresa, novamente foram aneladas, agora no topo de cada tora, e em seguida traçadas nas dimensões do torno laminador.

As árvores sofreram um traçamento inicial que as dividiu em 03 toras de iguais dimensões com 2,65 m, com diâmetros variados, padrão da empresa laminadora. Com isso, foi gerado um total de 24 toras para a idade 15 anos e 21 toras para a idade 20 anos.

O processo de laminação das toras foi realizado na Madeiras Guamiranga Ltda. Também localizada na região de Telêmaco Borba-PR.

A montagem dos painéis, operação que envolve, colagem, prensagem e esquadreamento foi realizada na Indústria de Compensado Triângulo Ltda, localizada na cidade de Curitiba-PR.

A confecção dos corpos de prova para realização dos ensaios físico-mecânicos, foi conduzida no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Antes do traçamento que originou as toras para a laminação, foram retirados discos de aproximadamente 5,0 cm de espessura da base, meio e topo das árvores para análise da densidade básica das diferentes idades avaliadas.

Foi utilizada a seguinte equação para a determinação TSOUMIS (1991), KOLLMANN e COTÊ (1968).

$$\delta_{básica} = \frac{P_{sec\ o}}{V_{verde}}$$

Em que:

$P_{sec\ o}$ = Peso seco da amostra (0 %) em (g).

V_{verde} = Volume verde (saturada) da amostra (cm³).

Foi utilizado um total de 30 discos sendo 15 para a idade 15 anos e 15 para a idade 20 anos.

Através de uma análise de variância, a 95 % de probabilidade, foi determinada a diferença estatística entre as idades.

3.3 PROCESSAMENTO DAS TORAS

3.3.1 AQUECIMENTO DAS TORAS

Com as toras na indústria laminadora, foi realizado um cozimento (aquecimento a vapor), tendo como base a densidade da espécie. Esta operação, se procedeu por 32 horas a uma temperatura em torno de 80 °C a fim de tornar a madeira mais plástica e também na tentativa de aliviar as tensões de crescimento, pois as toras receberam novo destopo para ficar nas dimensões do torno desenrolador.

Esse cozimento a vapor, consistiu no envolvimento das toras por uma lona plástica e posterior liberação de vapor através de tubos espalhados no pátio (vapor canalizado) onde as toras foram descarregadas para traçamento e laminação.

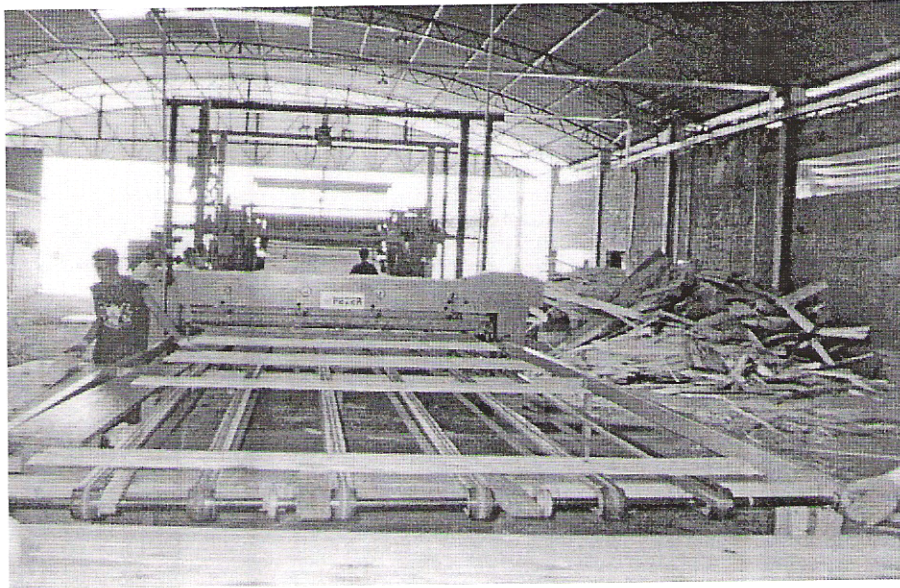
3.3.2 PROCESSO DE OBTENÇÃO DE LÂMINAS

As espessuras das lâminas obtidas na laminação foram de 2,0 mm e de 2,6 mm, para as toras de ambas idades. A escolha se deu em função da maior facilidade de obtenção e devido ao padrão utilizado pela indústria, bem como função de problemas associados à secagem do *Eucalyptus spp.* quando utiliza-se lâminas com grandes espessuras.

Para avaliar efeito do módulo de elasticidade dinâmico sobre a espessura foi realizado análise de variância seguido de teste de médias de Tukey ambos a 95 % de probabilidade.

A Figura 1 apresenta o processo de laminação utilizado para a obtenção das lâminas a diferentes idades e espessuras.

FIGURA 1 PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS LÂMINAS DE MADEIRA



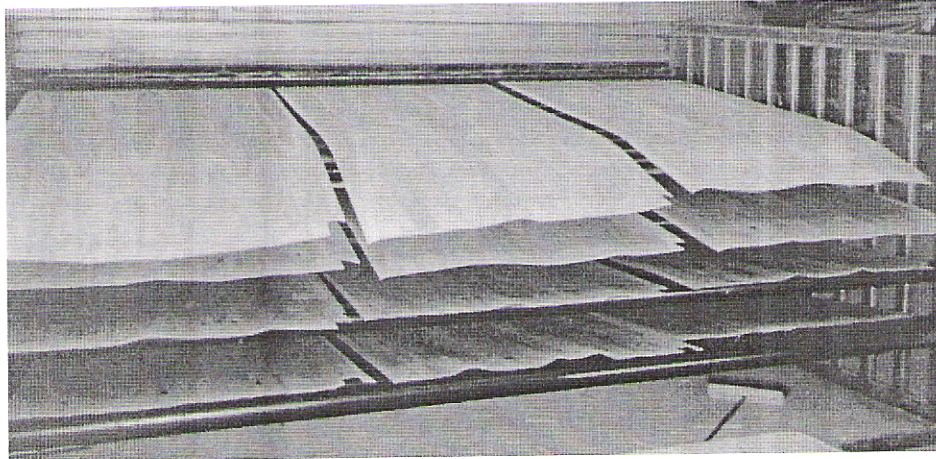
3.3.3 SECAGEM DAS LÂMINAS

FREAS e SELBO (1954) e CHUNG (1964), citados por MATSUNAGA (1995), dizem que o teor de umidade adequado para a madeira de peças laminadas deve ser de um nível que proporcione alta resistência da linha de cola e que a umidade da madeira somada a umidade do adesivo, seja a umidade de equilíbrio do painel quando em serviço.

As lâminas foram secas em secadores industriais contínuos de esteira. Essa operação foi realizada a uma temperatura aproximada de 150 °C, com velocidade de passagem em torno de 0,01 m/s. O tempo de secagem, no interior do secador, variou entre 25 a 30 minutos com umidade final das lâminas aproximada de 6 %.

A Figura 2 ilustra o processo de secagem, secador contínuo de esteira, comumente adotado em empresas laminadoras.

FIGURA 2 PROCESSO DE SECAGEM DAS LÂMINAS



3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS

Esta classificação foi baseada na avaliação não destrutiva das lâminas através do módulo de elasticidade dinâmico (MOED) individual das lâminas. Para tanto, foi utilizada a metodologia adotada por MATOS (1997), na qual os valores mínimos aceitável para o (MOED) comumente utilizado pelas indústrias do mercado americano para a produção de painéis PLP é de 140.614 kgf/cm^2 (KRETSCHMANN *et al.* 1993). De posse dos resultados foi estabelecido um limite mínimo de rigidez das lâminas para a produção dos painéis.

Foram estabelecidas as seguintes classes de rigidez tendo como base o (MOED) mais uma amplitude de classe por idade, apresentadas na Tabela 3.

As amplitudes de classe utilizadas nesta pesquisa foram duas: 20.000 kgf/cm² para a idade 15 anos e 30.000 kgf/cm² para a idade de 20 anos e obedeceram dois critérios básicos:

- a) Critério de classes independente e mutuamente exclusiva;
- b) Critério arbitrário, para gerar e representar o melhor perfil da população avaliada.

TABELA 3 CLASSES DE RIGIDEZ GERADAS PELO *STRESS WAVE TIMER* ATRAVÉS DE VALORES CALCULADOS PELO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOEd)

Idade (anos)	Espessura (mm)	Classe de Rigidez	Amplitude (x1000 kgf/cm ²)
15	2,00	NC	< 140
		1	MOEd + 20
		2	
	2,60	3	MOEd + 20
		NC	
		1	
20	2,00	2	MOEd + 30
		3	MOEd + 30
		NC	
	2,60	1	MOEd + 30
		2	
		3	

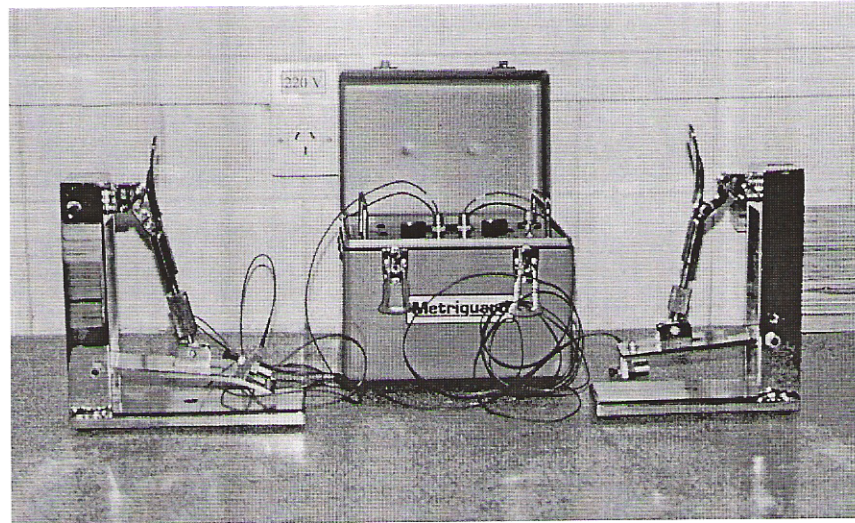
Fonte: Dados pesquisa

Na idade 20 anos não foi observado lâminas com (MOEd) inferior a 140.614 kgf/cm². Nesta idade foi observado um baixo número de lâminas com (MOED) inferior a 170.000 kgf/cm² que foram consideradas não classificadas para a maior idade.

As lâminas não classificadas foram também utilizadas na construção dos painéis, sendo posicionadas como miolo no centro da chapa. Sua utilização justifica-se pelo fato do centro do painel ser a região de menor solicitação de esforços, de compressão e tração, quando da sua utilização.

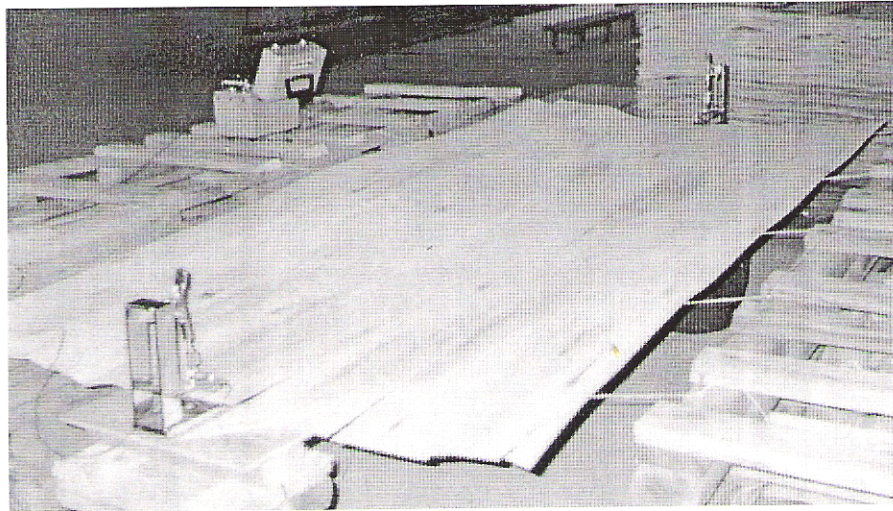
A Figura 3 apresenta o equipamento utilizado para a pré-classificação das lâminas individualmente.

FIGURA 3 EQUIPAMENTO UTILIZADO NA PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS - *STRESS WAVE TIMER*



As lâminas foram agrupadas por classe de rigidez na idade 15 anos e 20 anos respectivamente e posteriormente separadas por classe para a montagem dos painéis. A Figura 4 apresenta o método utilizado para obtenção da rigidez das lâminas através do *stress wave timer*. Os transdutores foram posicionados no centro de todas as lâminas.

FIGURA 4 OBTENÇÃO DA RIGIDEZ DAS LÂMINAS MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO PELO *STRESS WAVE TIMER*



3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS LÂMINAS DETERMINADAS PELO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

Foi utilizado um equipamento que verifica o tempo de propagação de uma onda de tensão através das lâminas - *stress wave timer*, Figura 3 ,constituído de um sistema de garras, acelerômetros e um registrador de tempo. Foram tomados os tempos de propagação das ondas em microssegundos no sentido axial de cada lâmina.

O *stress wave timer* é o responsável por toda a classificação teórico-prático deste trabalho. Todas as classes de rigidez propostas têm origem no módulo de elasticidade dinâmico, calculado para cada lâmina.

3.5.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO – MOED LÂMINAS

Este cálculo foi baseado a partir da equação, utilizada por MATOS (1997), fornecida pelo fabricante do equipamento através dos valores medidos individualmente para cada lâmina.

A equação utilizada é a que segue, (METRIGUARD, 1997):

$$MOEd = \delta \times V^2 \times \left(\frac{1}{g} \right)$$

Em que:

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

δ = Densidade da lâmina (kg/m³);

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s);

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

A velocidade de propagação da onda foi obtida pela seguinte equação:

$$V = \frac{d}{t}$$

Em que:

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s);

d = Distância entre os transdutores (cm);

t = Tempo de propagação (μs).

Calculado os valores individuais de módulo de elasticidade dinâmico para as lâminas, foi realizada a classificação em três classes de rigidez nas diferentes idades: lâminas com valores de (MOED) denominadas classificadas, e lâminas com (MOED) abaixo de 140.614 kgf/cm² denominadas não classificadas (NC).

A determinação do valor mínimo para a classificação das lâminas por classes de rigidez foi feita após análise da distribuição de frequência dos valores do módulo de elasticidade dinâmico pelos respectivos valores.

3.6 DENSIDADE DAS LÂMINAS

Está análise foi constituída pela pesagem individual de cada uma das lâminas e determinação do volume através da espessura, largura e comprimento em pontos distintos da lâmina.

Para a pesagem, o equipamento utilizado foi uma balança com capacidade de 10 kg e precisão de duas casas decimais. Foram pesadas 482 lâminas divididas por idade e espessura.

Para a determinação da densidade aparente das lâminas, a um teor de umidade em torno de 6 %, utilizou-se a equação comumente adotada para obtenção desta propriedade:

$$\delta = \frac{P}{V}$$

Em que:

δ = densidade aparente (6 %) em (g/cm³);

P = peso seco da lâmina (6 %) (g);

V = volume seco da lâmina (cm³).

3.7 ESPESSURA DAS LÂMINAS

Na produção de painéis de madeira por laminação a espessura tem importante função na definição e uso final deste painel. É a variável que define o número de lâminas que irá compor os painéis, bem como está altamente correlacionada com o melhor aproveitamento das toras na laminação.

Diversas pesquisas apontam para uma infinidade de espessuras de laminas utilizadas em painéis de madeira, e o assunto aqui não se esgotará, apenas será mais um parâmetro avaliado, o que irá gerar uma pequena contribuição no meio acadêmico e científico.

Na execução desta pesquisa, foram utilizadas lâminas com 2,00 mm e 2,60 mm de espessura com a finalidade de avaliar o efeito da espessura na produção dos painéis e também o comportamento do módulo de elasticidade dinâmico nesses diferentes níveis propostos.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA AS LÂMINAS DE MADEIRA

3.8.1 ANÁLISE PARA O MOED, IDADE E ESPESSURA DAS LÂMINAS

Nesta pesquisa foi proposto o modelo de análise apresentado na Tabela 4 que em muito facilitou a interpretação dos resultados, e também poderá ser adotado em futuras investigações desta natureza.

TABELA 4 ILUSTRAÇÃO DO MODELO PARA CONFRONTO ENTRE CLASSES DE RIGIDEZ (kgf/cm^2) POR FATOR

FATOR	MOEd – CLASSES DE RIGIDEZ (kgf/cm^2) x 1000			
	1	2	3	4
A (15/2,0) 1	A1	A2	A3	A4
B (15/2,6) 2	B1	B2	B3	B4
C (20/2,0) 3	C1	C2	C3	C4
D (20/2,6) 4	D1	D2	D3	D4

Em que:

A (15/2,0) = Idade 15 anos e Espessura 2,0 mm

Fator/Classes: 1=141 a 160; 2=161 a 180; 3=181 a 200; 4= não classificada (< 140)

B (15/2,6) = Idade 15 anos e Espessura 2,6 mm

Fator/Classes: 1=141 a 160; 2=161 a 180; 3=181 a 200; 4= não classificada (< 140)

C (20/2,0) = Idade 20 anos e Espessura 2,0 mm

Fator/Classes: 1=170 a 200; 2=201 a 230; 3=231 a 260; 4= não classificada (< 170)

D (20/2,6) = Idade 20 anos e Espessura 2,6 mm

Fator/Classes: 1=170 a 200; 2=201 a 230; 3=231 a 260; 4= não classificada (< 170)

Para melhor entendimento da análise proposta, deve-se observar a Tabela 5 onde é apresentado o arranjo que definiu as combinações intraclasse para a análise. Nesta análise foi realizado um confronto entre as classes de rigidez a diferentes idades e espessura de lâmina que serviu de base para montagem dos painéis.

TABELA 5 ARRANJO PREVIAMENTE DEFINIDO DAS COMBINAÇÕES INTRACLASSES POR IDADE COM BASE NA CLASSIFICAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DAS LÂMINAS UTILIZADO NA REALIZAÇÃO DA ANOVA

		IDADE (anos)		Comparação entre idades para as espessuras 2,0 e 2,6
		15	20	
Espessura (mm)	2,0	A	C	AxC
	2,6	B	D	BxD
Comparação entre espessura para as idades 15 e 20 anos.		AxB	CxD	

Nota: Interação dos fatores idade e espessura (tratamentos), AxB = confronto da espessura 2,0 versus a espessura 2,6 na idade de 15 anos; CxD = confronto da espessura 2,0 versus a espessura 2,6 na idade de 20 anos; AxC = confronto da idade 15 versus a idade 20 na espessura de 2,0; BxD = confronto da idade 15 versus a idade 20 na espessura de 2,6.

Para avaliar o confronto intraclassas de rigidez foi realizada uma Anova a 95 % de probabilidade. Após análise de variância, foi processado um teste de médias de Tukey, a 95 % de significância, aplicado todas as vezes que a hipótese de nulidade era rejeitada.

3.9 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS PLP

Os painéis de lâminas paralelas PLP produzidos nesta pesquisa foram de 13 lâminas combinados nas diferentes espessuras, com dimensões de 2,44 m x 1,10 m x 0,0254 m. Foram produzidos 36 painéis distribuídos por 06 (seis) tratamentos. Entende-se por tratamentos a classe de resistências propostas no objetivo e obtidas pelo módulo de elasticidade dinâmico das lâminas.

A Tabela 6 apresenta a posição das lâminas na produção dos painéis de lâminas paralelas por classe de rigidez e idade.

TABELA 6 POSIÇÃO DAS LÂMINAS NA PRODUÇÃO DOS PLP

IDADE (anos)	CLASSE DE RIGIDEZ	ESPESSURA LÂMINA (mm)	NÚMERO DE LÂMINAS POR PAINEL	DISPOSIÇÃO DAS LÂMINAS NO PAINEL	ESPESSURA DO PAINEL (mm)
15	1	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	29
	2	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	
	3	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	
20	4	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	29
	5	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	
	6	2,0 – 2,6 - NC	8 - 4 - 1	2 _(2,6) -4 _(2,0) -1 _(nc) -4 _(2,0) -2 _(2,6)	

Fonte: Dados da pesquisa.

NC – Lâmina Não-classificada.

Após a calibragem os painéis ficaram com espessura final de aproximadamente 25,4 mm.

Os PLP produzidos nesta pesquisa, seguiram a pré-classificação das lâminas, ou seja as lâminas foram agrupadas em cada classe pré-estabelecida e com isso foi produzido um determinado número de painel, como mostra a Tabela 7.

TABELA 7 DISTRIBUIÇÃO DOS PAINÉIS PLP POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ

Idade (anos)	MOEd Lâminas 141 –160	MOEd Lâminas 161 –180	MOEd Lâminas 181 –200	MOEd Lâminas 170 –200	MOEd Lâminas 201- 230	MOEd Lâminas 231 – 260
15	6	6	6	-	-	-
20	-	-	-	6	6	6

Fonte: Dados da Pesquisa; Moed x 1000 (kgf/cm²).

Depois de elaborados, os painéis foram aclimatizados em sala apropriada, com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65 %, até entrarem em equilíbrio com o ambiente, verificado através do peso, por amostragem, das chapas em pesagens diárias até peso constante; o que gerou alguma dificuldade devido o peso individual de cada painel e também de locomoção no interior da câmara climática do laboratório.

3.10 CICLO DE PRENSAGEM

O ciclo de prensagem utilizado para o experimento foi elaborado de acordo com orientação técnica fornecida pelo fabricante da resina, bem como seguindo critérios técnicos empregados na própria indústria, sendo apresentado na Tabela 8.

TABELA 8 CICLO DE PRENSAGEM

Variáveis	Valores
Adesivo	À base de Resina Fenol Formol
Temperatura	150 °C
Tempo de Prensagem	1 min/mm
Gramatura de Cola	350 g/m ²
Pressão específica	12 kgf/cm ²
Umidade lâmina	4 - 8 %

Fonte: Indústria de Compensado Triângulo Ltda.

A utilização de apenas um ciclo de prensa vai ao encontro à sugestão apresentada pelo comitê de orientação que entendeu por bem avaliar o comportamento da madeira através das diferentes classes de rigidez e idades propostas.

3.10.1 ADESIVO

A resina utilizada foi à base de Fenol-formoldeído. O preparo do adesivo constituiu basicamente da mistura da resina, em uma bateadeira, com as demais partes componentes da formulação, farinha de trigo, água, casca de noz em pó, também indicado pelo fabricante.

A gramatura de cola por linha dupla utilizada foi de 350 g/m². A distribuição por lâmina foi efetuada através de procedimento convencional da indústria, aplicação por rolo.

A Tabela 9 apresenta a formulação do adesivo em partes por peso.

TABELA 9 FORMULAÇÃO DO ADESIVO

Material	Partes por Peso
Resina Fenol-formol	100
Farinha de Trigo	10
Água	10
Casca de Noz em Pó	2

Fonte: Indústria de Compensado Triângulo Ltda.

3.11 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

As propriedades físicas avaliadas para os painéis PLP produzidos foram as seguintes:

- a) Densidade dos painéis;

- b) Inchamento em espessura 2 e 24 horas;
- c) Expansão linear no comprimento 2 e 24 horas;
- d) Expansão linear na largura 2 e 24 horas;
- e) Absorção de água 2 e 24 horas.

Para análise e interpretação dos resultados das propriedades físicas utilizou-se as equações e as normas que são apresentadas na Tabela 10.

TABELA 10 EQUAÇÕES E NORMAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

Propriedade	Equação	Norma
Densidade	$\delta = \frac{P}{V}$	ASTM - D198
Inchamento em Espessura 2 e 24 horas imersão	$\left(\frac{Esp \times 100}{Esp \text{ sec } a} \right) - 100\%$	ASTM - D1037
Expansão Linear Comprimento 2 e 24 horas imersão	$\left(\frac{Medida \times 100}{Medida \text{ sec } a} \right) - 100\%$	Adaptado ASTM - D1037
Expansão Linear Largura 2 e 24 horas imersão	$\left(\frac{Medida \times 100}{Medida \text{ sec } a} \right) - 100\%$	Adaptado ASTM - D1037
Absorção de Água 2 e 24 horas imersão	$\left(\frac{Peso \text{ imersão} \times 100}{Peso \text{ sec } o} \right) - 100\%$	ASTM - D1037

Nota: ASTM – American Society for Testing and Materials.

Em que:

Esp = Espessura média da amostra após 2 ou 24 horas de imersão.

Medida = Média do Comprimento da amostra após 2 ou 24 horas de imersão.

Medida = Média da Largura da amostra após 2 ou 24 horas de imersão.

Peso = Peso da amostra após 2 ou 24 horas de imersão.

Para leitura das dimensões da largura e comprimento foi utilizado um paquímetro digital com precisão de centésimos. As leituras foram tomadas sempre nos mesmos pontos marcados na amostra.

Para a realização desta fase da pesquisa foi feito um levantamento prévio, tendo como base a literatura disponível, de normas para a determinação das propriedades físicas dos painéis, a qual indicou que a melhor forma de explicar as citadas propriedades seria a adaptação de normas já existentes para outros produtos de madeira reconstituída.

3.12 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS (PLP)

As propriedades mecânicas avaliadas para os painéis PLP foram as seguintes:

- a) Resistência da linha de cola em cisalhamento por compressão – ensaio na condição seca e pós fervura;
- b) Compressão perpendicular às fibras;
- c) Compressão paralela às fibras;
- d) Tração paralela às fibras;
- e) Flexão estática.

Para análise e interpretação dos resultados das propriedades mecânicas foram utilizadas as equações apresentadas na Tabela 11, que também mostra a norma utilizada na avaliação.

Também nesta fase do trabalho, foram adotadas normas que em parte são adaptadas, pois, a literatura ainda não fornece normas específicas para algumas propriedades mecânicas avaliadas.

TABELA 11 EQUAÇÕES E NORMAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

Propriedade	Equação	Norma
Resistência da Linha de Cola por Cisalhamento seco e fervura	$\sigma = \frac{P \max}{A}$	ASTM – D805
Compressão Perpendicular às fibras	$\sigma = \frac{P \max}{A}$	ASTM – D805
Compressão Paralela às fibras	$\sigma = \frac{P \max}{A}$ $MOE = \frac{PplxL}{Axd}$ $TLP = \sigma = \frac{Plp}{A}$	ASTM – D805
Tração Paralela às fibras	$\sigma = \frac{P \max}{A}$	ASTM – D805
Flexão Estática	$MOR = \frac{3Pa}{bh^2}$ $TLP = \frac{3P'a}{bxh^2}$ $MOE = \frac{P'a}{4bh^3 \Delta} (3L^2 - 4a^2)$	ASTM – D198

Nota: ASTM – American Society for Testing and Materials.

Em que:

MOR = módulo de ruptura (kgf/cm^2);

TLP = Tensão no limite proporcional (kgf/cm^2);

MOE = Módulo de Elasticidade (kgf/cm^2);

σ = Tensão máxima de ruptura (kgf/cm^2);

$P \max$ = Carga máxima (kgf);

P_{lp} = Carga no limite Proporcional (kgf);

A = Área em (cm²);

d = Deformação em (mm);

L = Vão da viga (cm);

P = Carga máxima (kgf);

P' = Carga no limite Proporcional (kgf);

a = Vão de cisalhamento (cm);

b = Largura da viga (cm);

h = Espessura da viga (cm);

Δ = Deflexão em (mm).

A seqüência de cálculo do módulo de elasticidade dinâmico e destrutivo para a flexão estática é a que segue, e os parâmetros para o ensaio destrutivo são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 PARÂMETROS PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Parâmetro	Valor
Comprimento do corpo de prova	122 cm
Largura do corpo de prova	5,08 cm
Espessura do corpo de prova	2,54 cm
Vão de cisalhamento	20,0 cm
Vão total	102 cm
Tipo de carregamento	2 pontos norma ASTM D198
Tempo de ruptura	6 a 20 min.

Fonte: Dados da pesquisa.

a) Antes da confecção dos painéis, foram medidos individualmente os valores do módulo de elasticidade dinâmicos das lâminas componentes dos painéis. Grupos de iguais números de lâminas por classe de resistência e idades avaliadas.

b) Com os painéis confeccionados foi realizada, antes do ensaio destrutivo, uma avaliação pelo *stress wave timer*, para em seguida realizar a comparação entre os valores obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico e destrutivo.

As Figuras 5 e 6 mostram respectivamente o método de obtenção do módulo de elasticidade para o ensaio destrutivo e dinâmico na propriedade de flexão estática.

FIGURA 5 OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DESTRUTIVO

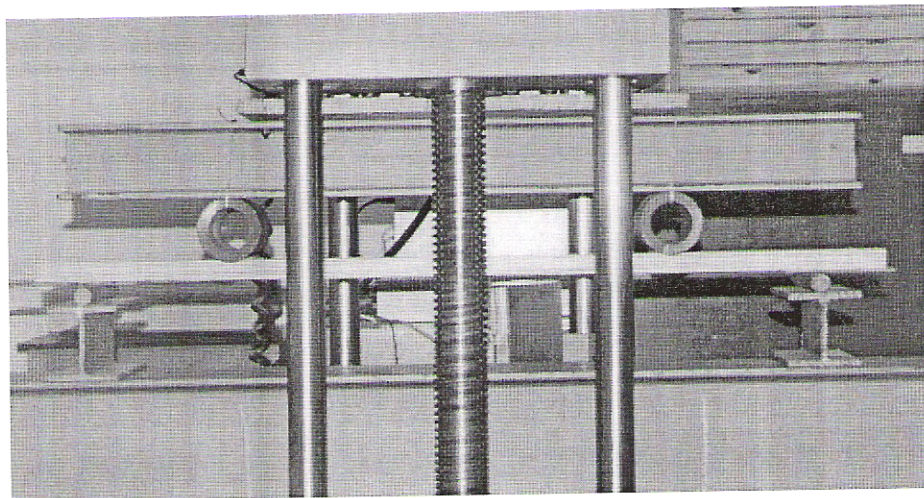


FIGURA 6 OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

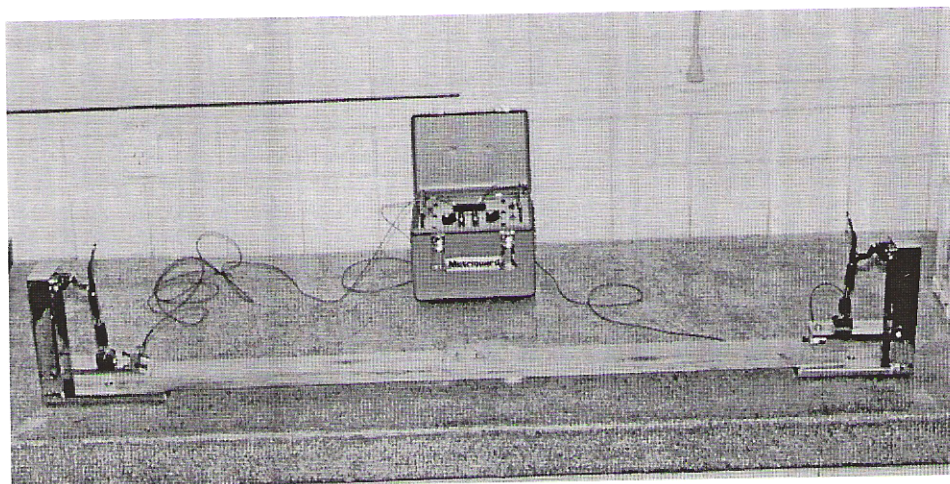
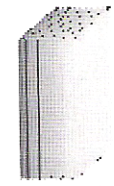


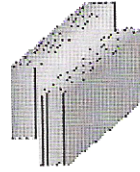
FIGURA 7 ESQUEMA DOS CORPOS-DE-PROVA UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNCIOS



Compressão paralela



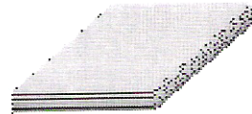
Tração paralela



Cisalhamento por compressão



Compressão perpendicular

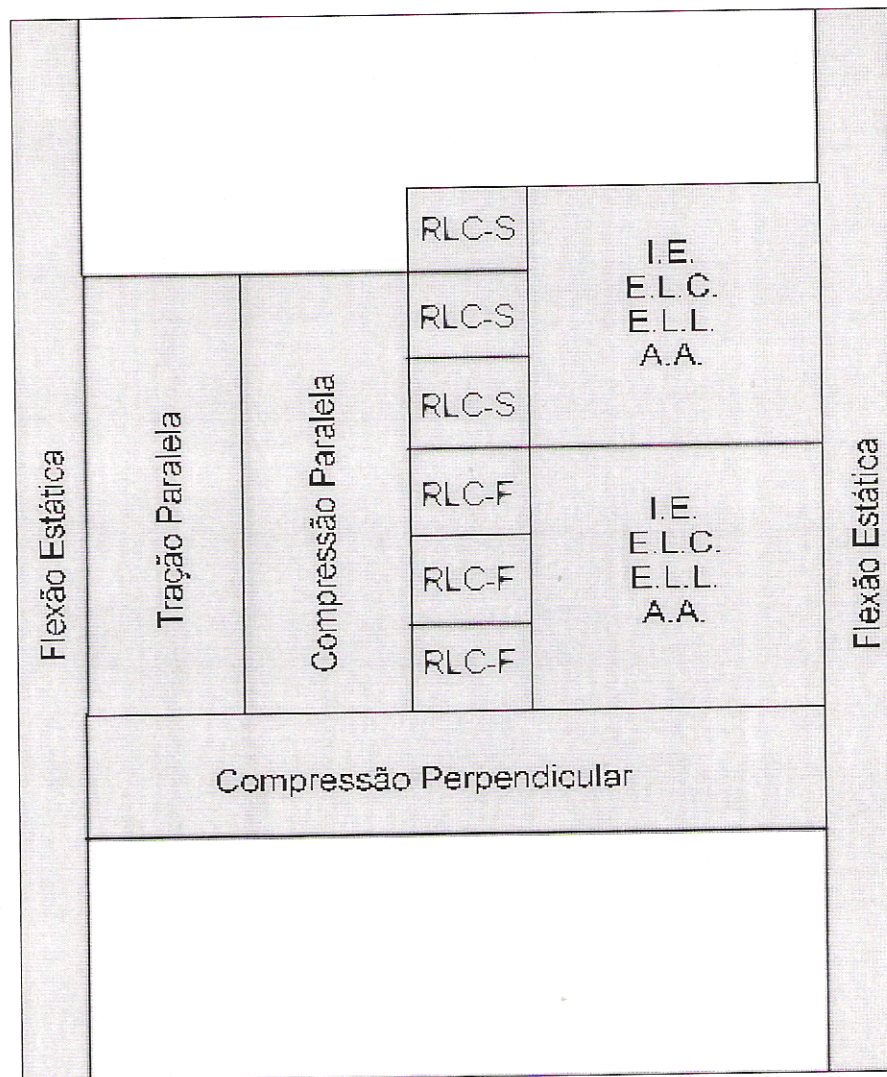


Inchamento em espessura
Expansão linear no comprimento
Expansão linear na largura
Absorção de água



Flexão estática

FIGURA 8 ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES



PROPRIEDADES FÍSICAS:

Inchamento em espessura
 Expansão linear no comprimento $\diamond 15,0 \times 15,2 \times 2,54$ cm
 Expansão linear na largura
 Absorção de água

PROPRIEDADES MECÂNICAS:

sendo e = espessura do painel

Flexão estática $\diamond 48 \cdot e \times 5,0 \times 2,54$ cm
 Compressão perpendicular $\diamond 6 \cdot e \times 5,0 \times 5,0$ cm
 Compressão paralela $\diamond 6 \cdot e \times 5,0 \times 5,0$ cm
 Resistência da linha de cola S $\diamond 2 \cdot e \times 3,81 \times 2,54$ cm
 Resistência da linha de cola F $\diamond 2 \cdot e \times 3,81 \times 2,54$ cm
 Tração paralela $\diamond 16 \cdot e \times 2 \cdot e \times \frac{1}{2} e$

3.12.1 Análise Estatística para os Painéis

Com os painéis elaborados, foi aplicado um delineamento totalmente casualizado, seguido de análise de variância e teste de médias de Tukey ambos a 95 % de probabilidade a fim de verificar as diferenças estatísticas entre idades e classes de rigidez propostas, através de confrontos entre as classes.

- a) Idade: 15 e 20 anos
- b) Espessura do Painel 1".
- c) Classe de Rigidez: determinada de acordo com a classificação não destrutiva das lâminas.

3.13 FATOR DE RIGIDEZ APARENTE

3.13.1 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE RIGIDEZ APARENTE EMPÍRICO PROPOSTO PARA A OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DESTRUTIVO

O Fator de rigidez aparente permite estimar o módulo de elasticidade destrutivo, a partir da avaliação prévia determinada, pelo módulo de elasticidade dinâmico.

O principal objetivo em obter um fator de rigidez aparente entre os módulos de elasticidade destrutivo e dinâmico a diferentes idades e classes de rigidez, nas condições desta pesquisa, é dispor de um parâmetro com eficiência relativa capaz de gerar valores estimados próximos da realidade, com uma oscilação equilibrada com o erro em torno de uma média.

Para a determinação do fator de rigidez aparente, foi utilizada uma equação linear simples visando estimar os parâmetros das variáveis mediante análise de regressão. Para o ajuste da equação foi utilizada a técnica de mínimos quadrados ordinários.

O teste de significância dos coeficientes será conduzido com base no *p*-valor para um nível de significância $\alpha = 0,05$.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

em que:

y = módulo de elasticidade destrutivo (kgf/cm²).

x = módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm²).

β_0, β_1 = coeficientes a estimar.

O erro padrão da estimativa recalculado foi obtidos através da seguinte fórmula:

$$EPE_{rec} \% = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{[i]obs} - y_{[i]est})^2 / (n - p)}}{\bar{y}}$$

Em que

$EPE_{rec} \%$ = Erro padrão da estimativa recalculado;

$y_{[i]obs}$ = Valores observados;

$y_{[i]est}$ = Valores estimados;

n = número de observações;

p = número de parâmetros da regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden

Com as toras no pátio da empresa, foram retirados discos de diferentes secções ao longo do tronco para a determinação da densidade básica média por idade, mostrada na Tabela 13. A análise de variância anexo 1, revelou diferenças estatísticas significativas. Observa-se na Tabela 13, que a densidade básica para a idade de 20 anos é cerca de 14 % superior à de 15 anos.

Para KEINERT JÚNIOR (1994), citado por PIO (1996), esses valores são importantes para definir variáveis como a temperatura ótima de aquecimento, bem como o tempo de aquecimento necessário para atingir uma determinada temperatura no cerne e conseqüentemente proceder à laminação com menor fendas superficiais.

TABELA 13 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA A DENSIDADE BÁSICA POR IDADE

Idade (anos)	Densidade Básica (g/cm ³)	Desvio Padrão	Variância	C.V. %
15	0,488 A	0,0441814	0,0019519	9,04
20	0,558 B	0,0588238	0,0034602	10,53

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

Ainda na Tabela 13, os resultados mostram que apesar das médias serem estatisticamente diferentes, se encontram próximas e ao confrontarmos com os resultados obtidos KEINERT JÚNIOR (1994), trabalhando com laminação e produção de

compensados a partir de *Eucalyptus spp.* pode-se afirmar que existe coerência entre os valores obtidos na pesquisa. O anexo 1 mostra o quadro da análise de variância para a densidade básica.

4.2 AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DAS LÂMINAS DE MADEIRA

4.2.1 VALORES DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA – LÂMINAS SECAS

Com os lotes de lâminas devidamente separados, foi realizada a análise baseada na avaliação não-destrutiva através da utilização do *stress wave timer*, o qual gerou a variável utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (MOED).

O valor observado para a distribuição de frequência do (MOED) das lâminas, partiu do valor mínimo de 140.614 (kgf/cm²) que segundo KRETSCHMANN *et al.* (1993), citados por MATOS (1997), é comumente utilizado pelo mercado industrial americano de painéis LVL. As lâminas com o valor de (MOED) abaixo de 140.614 (kgf/cm²) foram denominadas não classificadas, e os valores médios para o (MOED) dessas lâminas, e as estatísticas descritivas encontram-se na Tabela 14.

TABELA 14 FREQUÊNCIA E RESULTADOS OBTIDOS PARA LÂMINAS NÃO-CLASSIFICADAS COM MOED ABAIXO DO VALOR MÍNIMO PARA APROVEITAMENTO INDUSTRIAL < 140.614 (kgf/cm²) – PADRÃO AMERICANO

Idade (anos)	Espessura (mm)	Frequência	MOED (kgf/cm ²)	Desvio padrão	C.V. %
15	2,00	43	129.120,02 A	8295,25	6,42
	2,60	13	127.601,83 A	8753,32	6,85
20	2,00	8	153.484,25 B	14763,57	9,62
	2,60	10	153.509,27 B	16270,93	10,59

Fonte: Dados da pesquisa

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

Na Tabela 14, a idade 20 anos não apresentou valores para o módulo de elasticidade dinâmico das lâminas inferiores a 140.614 kgf/cm², e as lâminas consideradas não classificadas nesta idade foram aquelas que não atingiram a menor classe de rigidez para essa idade 170.000 kgf/cm².

Estes resultados pressupõem que lâminas produzidas de árvores em idades elevadas poderão apresentar maiores valores em termos de rigidez em teste não destrutivo, revelando coerência nos resultados desta pesquisa.

A separação dos valores considerados classificados dos não, é para melhor visualização dos resultados, e a distribuição de frequência para as lâminas denominadas classificadas, são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

FIGURA 9 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOEd-kgf/cm²) *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden NA IDADE 15 ANOS

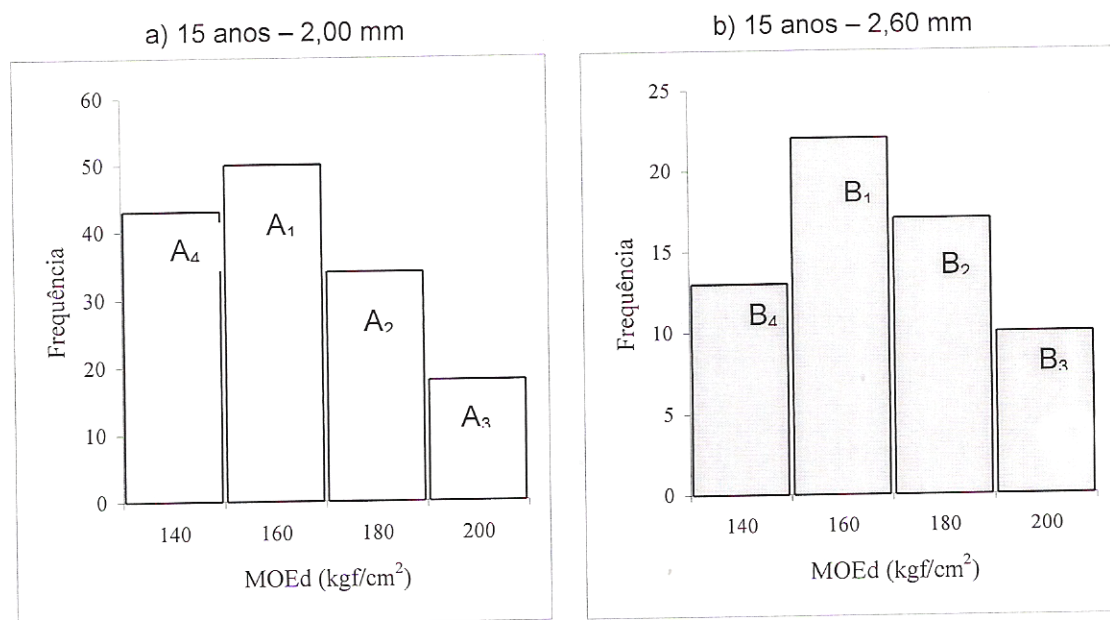
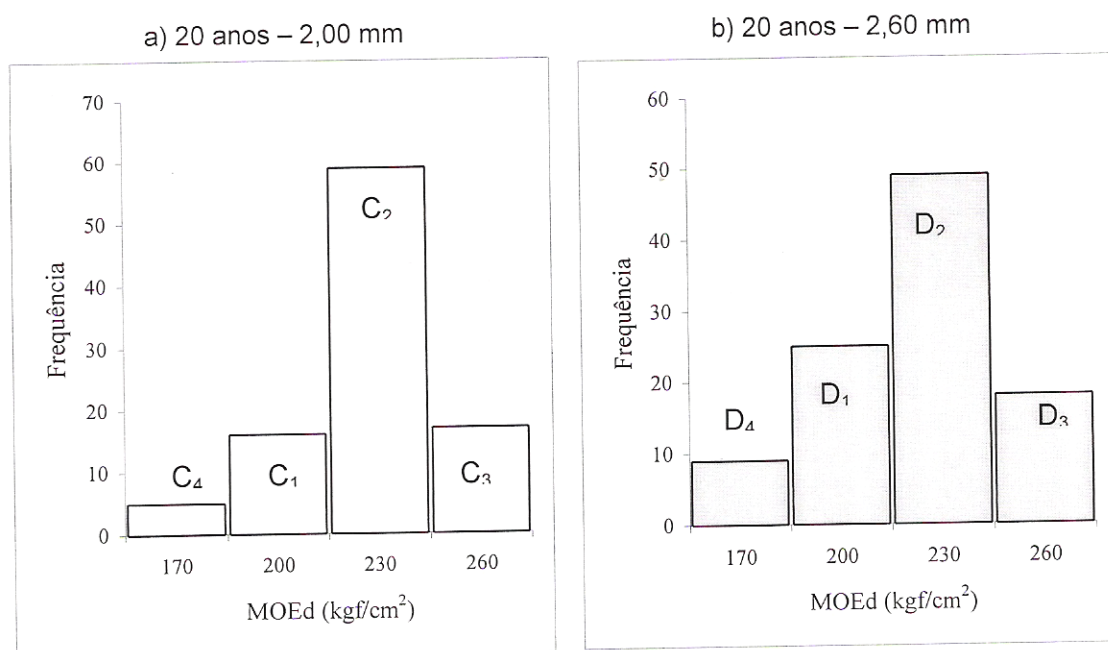


FIGURA 10 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOEd-kgf/cm²) *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden NA IDADE 20 ANOS.



Pode-se observar que, para a idade de 15 anos, analisando as duas espessuras, existe uma tendência na frequência observada por classe de rigidez. Para ambas espessuras, a maior frequência foi a 160.000 kgf/cm². Esses resultados também podem indicar uma larga faixa de mistura de lenho adulto e juvenil.

Para a idade de 20 anos, 230.000 kgf/cm² para as espessuras 2,0 e 2,6 mm foi que apresentou o maior número de observações, com isso fica evidenciado que com o aumento da idade é possível à produção de lâminas com características ainda melhores para a produção de elementos estruturais diferenciados.

A idade foi o fator que mais influenciou na caracterização das lâminas. Esta variação também pode ser atribuída a variabilidade das propriedades do lenho juvenil e adulto que ocorrem em faixas e secções diferenciadas da tora.

Comparando as idades, observa-se para 20 anos uma baixa frequência para as classes iniciais (170-200 kgf/cm²), que indica que provavelmente ocorra maior porções de lenho adulto nesta idade.

Outro aspecto importante na análise da distribuição de frequência para a espécie estudada, quando comparada com a de *Pinus taeda*, analisado por MATOS (1997), é que *Eucalyptus grandis* possui faixa de ocorrência de (MOED) bem mais concentrada, o que gera poucas classes de rigidez, principalmente com o aumento da idade. Esta diferença de faixas de rigidez pode ser justificada pela diferença da densidade entre as espécies e também diferenças nas porções de lenho adulto e juvenil. Também é importante ressaltar que os valores observados para o módulo de elasticidade dinâmico desta pesquisa são bem superiores aos determinados para o *Pinus taeda*.

4.2.2 CLASSES PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (MOED)

Com a determinação da distribuição de frequência dos valores do módulo de elasticidade dinâmico das lâminas, o qual gerou valores médios diferenciados por classe de rigidez, foram estabelecidas as classes de rigidez das lâminas utilizadas na produção dos painéis, Tabela 15.

TABELA 15 CLASSES DE RIGIDEZ PARA AS LÂMINAS DETERMINADAS PELO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Idade (anos)	Espessura (mm)	Classes de rigidez (x1000 kgf/cm ²)			
		15	2,0	141 - 160	161 - 180
	2,6	141 - 160	161 - 180	181 - 200	NC
20	2,0	170 - 200	201 - 230	231 - 260	NC
	2,6	170 - 200	201 - 230	231 - 260	NC

Nota: NC lâminas não-classificadas, moed abaixo limite mínimo para aproveitamento industrial 140.614 (kgf/cm²).

Na Tabela 15 é possível observar que as amplitudes das classes são diferentes e este fato deve-se ao comportamento dos valores calculados para o módulo de elasticidade dinâmico o qual apresentou melhor divisão quando variou a amplitude em 20.000 kgf/cm² para idade 15 anos, e 30.000 kgf/cm² para idade 20 anos. Outro fator a ser considerado para a utilização dessas amplitudes, vem ser a melhor conformação para a produção dos painéis, ou seja distribuição de lâminas por painel.

Definida as classes, procedeu-se uma análise de variância por classe de rigidez nas diferentes idades e espessuras a fim de constatar as diferenças estatísticas entre as mesmas e posteriormente a confecção dos painéis, função da pré-classificação. O

anexo 2 a 9, mostra todas as análises de variância por classe e confronto de classe realizada nesta pesquisa. O resultado da análise de variância e os grupos homogêneos de médias são apresentados na Tabela 16. O anexo 2, apresenta os resultados da análise de variância.

Na Tabela 16 é possível observar que o valor obtido para a última classe na idade 15 anos abrange valores para a primeira classe na idade 20 anos. Isso provavelmente deve-se a transição entre as idades.

TABELA 16 CONFRONTOS DO MOEd DAS LÂMINAS NAS DIFERENTES CLASSES DE RIGIDEZ; GRUPOS HOMOGENEOS DE MÉDIAS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Efeito	Idade (anos)	Espessura (mm)	MOEd (kgf/cm ²)				CV (%)				
			NC	CR1	CR2	CR3	NC	CR1	CR2	CR3	
Tratamentos	A	15	2,0	129120A	150752B	168423C	186003D	6,40	4,23	2,83	3,22
	B	15	2,6	127602A	149182B	171288C	189943D	6,86	3,97	2,75	5,50
	C	20	2,0	153484A	187120B	213929C	242524D	10,58	4,23	4,06	3,46
	D	20	2,6	153509A	188055B	214766C	240001D	8,27	4,56	4,00	3,46
Idade	Ax C	15 x 20	2,0	129120A	150752C	168423E	186003G	6,40	4,23	2,83	3,22
				153484B	187120D	213929F	242524H	10,58	4,23	4,06	3,46
	BxD	15 x 20	2,6	127602A	149182C	171288E	189943G	6,86	3,97	2,75	5,50
				153509B	188055D	214766F	240001H	8,27	4,56	4,00	3,46
Espessura	Ax B	15	2,0 x 2,6	129120A	150752B	168423C	186003D	6,40	4,23	2,83	3,22
				127602A	149182B	171288C	189943D	6,86	3,97	2,75	5,50
	Cx D	20	2,0 x 2,6	153484 ^A	187120B	213929C	242524D	10,58	4,23	4,06	3,46
				153509A	188055B	214766C	240001D	8,27	4,56	4,00	3,46

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; Tukey.

A – Idade 15 anos Espessura 2,0 mm;

B – Idade 15 anos Espessura 2,6 mm;

C – Idade 20 anos Espessura 2,0 mm;

D – Idade 20 anos Espessura 2,6 mm;

CR – Classe de Rigidez; NC – Lâmina Não Classificada;

CV – Coeficiente de Variação.

Da Tabela 16, deve-se analisar os resultados por confronto (AxA; BxB; CxC;.DxD) entre as classes de rigidez verificando a influência da idade e também as diferenças existentes nas classes, através do módulo de elasticidade dinâmico.

Ainda na Tabela 16, pode-se observar que: não há diferença entre o (MOED) para lâminas de espessuras diferentes dentro da mesma idade; para lâminas de mesma espessura há diferenças entre idades para o (MOED); e as classes CR1, CR2 e CR3 apresentam (MOED) crescentes, e todos são superiores à classe NC (não classificada), com diferenças significativas entre todas as classes.

4.2.3 ANÁLISE DA ESPESSURA DAS LÂMINAS

Seguindo o mesmo critério utilizado para a avaliação do item 4.2.1, foi realizada a análise da espessura das lâminas. Com os lotes devidamente separados por idade e espessura, foi realizada a avaliação não-destrutiva através do *stress wave timer*, o qual gerou valores para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.

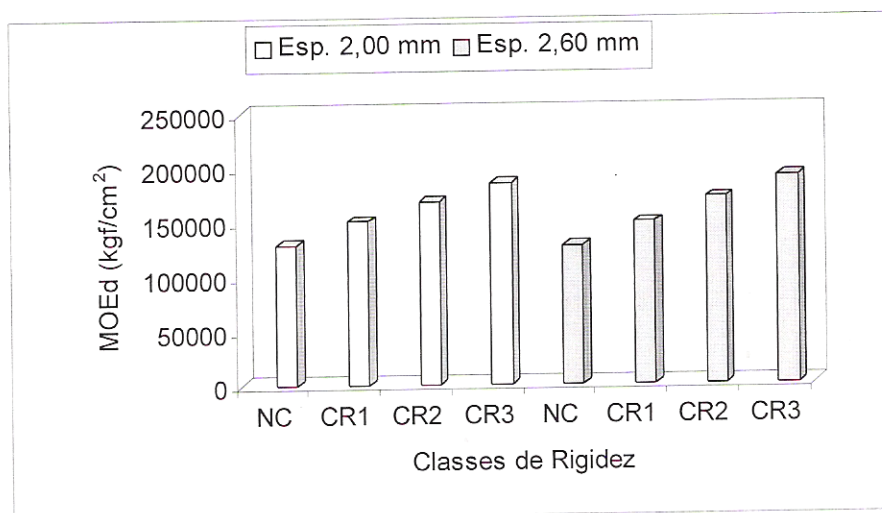
A Tabela 16 mostra os valores das estatísticas descritivas para o módulo de elasticidade dinâmico (MOED) a diferentes idades, espessuras de lâminas e classe de rigidez. Esta variável foi utilizada para mostrar as diferenças entre as idades e espessuras avaliadas.

A Figura 11a e 11b, como esperado, indicam uma tendência crescente resultados obtidos na pesquisa, por classe de rigidez nas diferentes espessuras avaliadas.

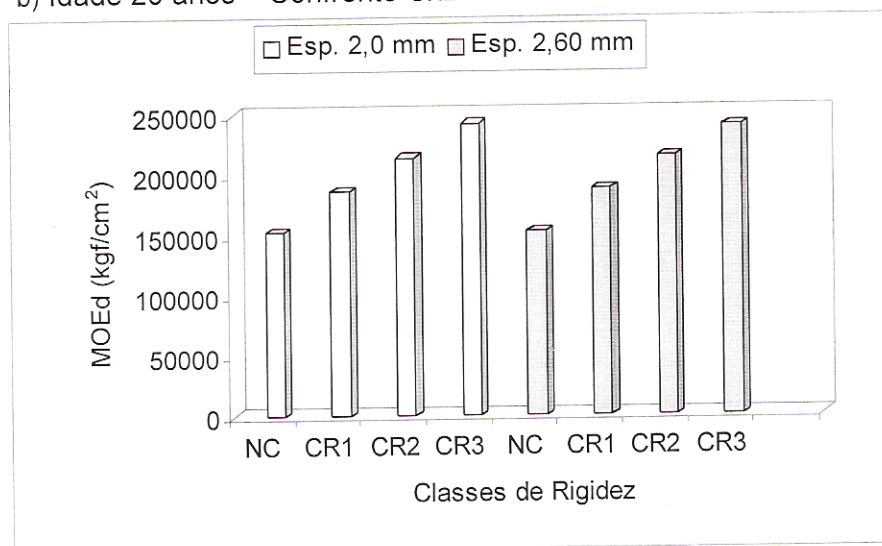
Explorando as Figuras 11a e 11b, é importante ressaltar a definição das classes de rigidez geradas pelo pré-classificador. Com isso, espera-se que os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas sejam um reflexo dessa tendência.

FIGURA 11 VALORES MÉDIOS MOEd DAS LÂMINAS IDADE 15 e 20 ANOS PARA VERIFICAR A INFLUÊNCIA DA ESPESSURA NA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS

a) Idade 15 anos – Confronto AxB



b) Idade 20 anos – Confronto CxD



Nota

Esp – espessura da lâmina.

CR – classe de rigidez 1, 2, 3, para 15 e 20 anos respectivamente.

NC – lâminas não classificadas.

Analisando a Figura 11 observa-se que não há tendência de aumento do (MOED) com o aumento da espessura para as duas idades. Entre as idades observa-se aumento do (MOED).

Ainda nas Figuras anteriores 11a e 11b, ficou evidente que para a composição dos painéis estruturais, pode-se combinar espessuras de lâminas diferentes, dentro da mesma idade, sem que haja comprometimento das propriedades dos mesmos.

4.2.4 VARIAÇÃO NA DENSIDADE DAS LÂMINAS

As Figuras 12 e 13 apresentam os histograma de freqüência para a densidade.

Os valores da densidade também apresentaram diferenças, quando da variação da idade. Esses resultados são coerentes visto que os primeiros ensaios com a madeira, a densidade básica da espécie apresentou diferença estatística significativa.

A Tabela 17 apresenta os valores do confronto da densidade das lâminas realizado por classe de rigidez, também os grupos homogêneos de médias. Esta análise permite observar a existência de faixas diferenciadas de densidade ao longo do tronco, e também a influência da idade para essa variável.

Observando a relação entre densidade e espessura, pode-se afirmar, de acordo com a Tabela 17, que não há diferenças estatisticamente significativas ao nível de 95 % de probabilidade, visto que ao confrontarmos valores de densidade para 2,00 e 2,60 mm estes não sofreram diferenças relevantes.

FIGURA 12 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A DENSIDADE (MESP-g/cm³) *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden NA IDADE 15 ANOS POR CLASSE DE RIGIDEZ – TEOR DE UMIDADE DAS LÂMINAS 6 %

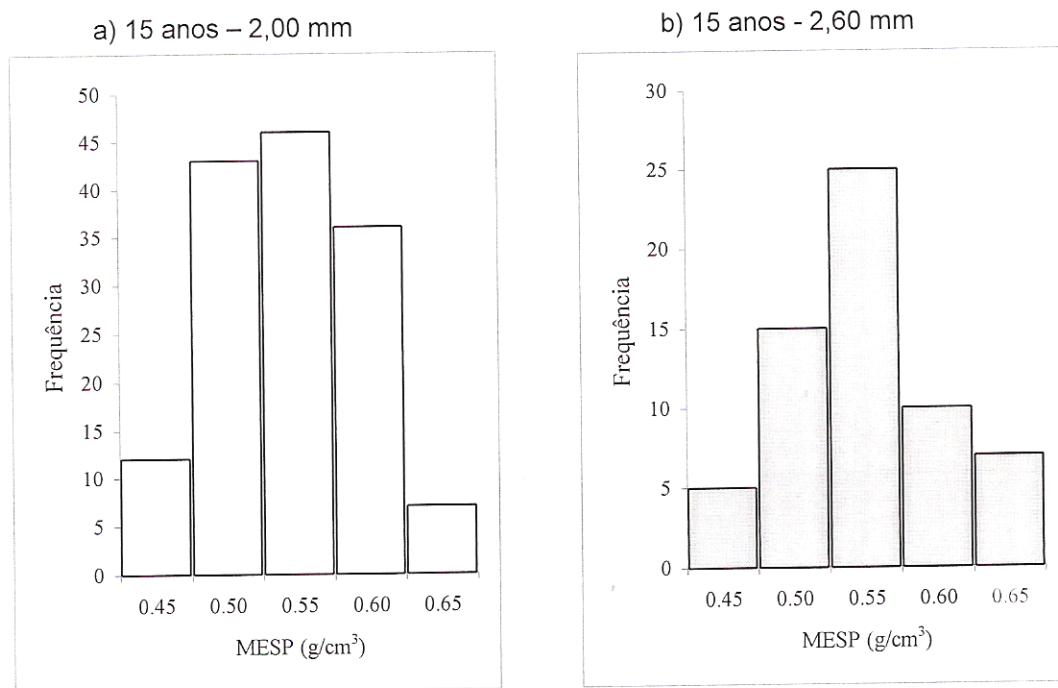


FIGURA 13 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A DENSIDADE (MESP-g/cm³) *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden NA IDADE 20 ANOS POR CLASSE DE RIGIDEZ – TEOR DE UMIDADE DAS LÂMINAS 6 %

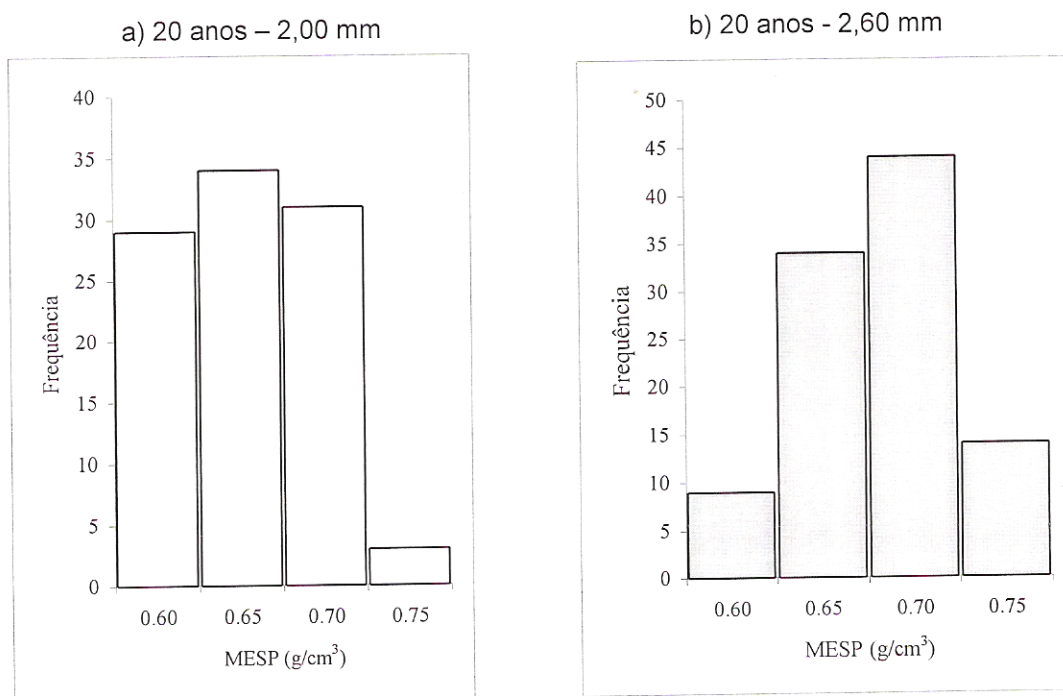


TABELA 17 CONFRONTO ENTRE A DENSIDADE DAS LÂMINAS NAS CLASSE DE RIGIDEZ; GRUPOS HOMOGENEOS DE MÉDIAS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Efeito	Idade (anos)	Espessura (mm)	Densidade (g/cm ³)				CV (%)				
			NC	CR1	CR2	CR3	NC	CR1	CR2	CR3	
Tratamentos	A	15	2,0	0,4657A	0,5190B	0,5567C	0,5803D	7,47	7,61	5,22	4,52
	B	15	2,6	0,4661A	0,5073B	0,5543C	0,5890D	5,55	6,25	7,44	4,11
	C	20	2,0	0,5440A	0,6087B	0,6324C	0,6584D	7,65	5,92	5,82	5,62
	D	20	2,6	0,6133A	0,6671B	0,6532B	0,6739B	5,62	7,13	6,12	3,66
Idade	AxC	15	2,0	0,4657A	0,5190C	0,5567E	0,5803G	7,47	7,61	5,22	4,52
		20		0,5440B	0,6087D	0,6324F	0,6584H	7,65	5,92	5,82	5,62
	BxD	15	2,6	0,4661A	0,5073C	0,5543E	0,5890G	5,55	6,25	7,44	4,11
		20		0,6133B	0,6671D	0,6532F	0,6739H	5,62	7,13	6,12	3,66
Espessura	AxB	15	2,0 x 2,6	0,4657A	0,5190B	0,5567C	0,5803D	7,47	7,61	5,22	4,52
				0,4661A	0,5073B	0,5543C	0,5890D	5,55	6,25	7,44	4,11
	CxD	20	2,0 x 2,6	0,5440A	0,6087C	0,6324E	0,6584G	7,65	5,92	5,82	5,62
				0,6133B	0,6671D	0,6532F	0,6739H	5,62	7,13	6,12	3,66

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; Teste de média - Tukey.

A – Idade 15 anos Espessura 2,0 mm.

B – Idade 15 anos Espessura 2,6 mm.

C – Idade 20 anos Espessura 2,0 mm.

D – Idade 20 anos Espessura 2,6 mm.

CR – Classe de Rigidez.

NC – Lâmina Não Classificada.

CV – Coeficiente de Variação.

De acordo com TSOUMIS (1991), a densidade da madeira é muito influenciada por diversos fatores como: o conteúdo de umidade, estrutura anatômica, extrativos e composição química da espécie. O citado autor também, afirma que podem ocorrer variações entre os anéis de crescimento; dentro da árvore e entre árvores de mesma espécie.

Para FERREIRA *et al.* (1979), o tecido meristemático cambial passa por mudanças em função da idade da árvore. Essas mudanças dão origem a variações na

madeira produzida em cada idade; como conseqüência, a madeira dos primeiros anos de vida é significativamente diferente da madeira nas idades mais avançadas.

CURRO (1957), STAUFFER (1982), ANÔNIMO (1948), MURTHY (1959) e TAMOLANG e BALCITA (1957), citados por FERREIRA (1970) e VITAL *et al.* (1984), concluíram que a densidade aumenta com a idade.

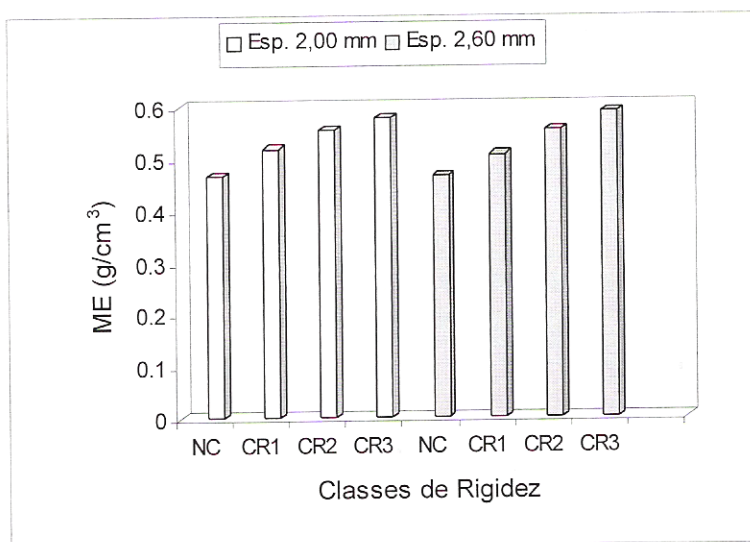
Ao longo do tronco existem ainda grandes variações da densidade, encontrando-se um valor máximo na base do tronco, onde são requeridos tecidos de sustentação mais rígidos. A densidade decresce à medida que se distancia da base em direção a copa, (SPURR e HSIUNG 1954). Essa variabilidade ocorre entre indivíduos no sentido longitudinal e radial. VAN BUIJTENEN (1969) e BARRICHELO (1979) afirmam que as variações que ocorrem dentro das árvores são mais significativas.

Na Figura 14a, 15 anos, pode ser observada uma tendência para os valores da densidade para espessura 2 e 2,6 mm, aumentarem gradativamente, indicando diferenças estatisticamente significativas entre as classes, quando comparada uma mesma espessura. Ao analisarmos espessuras diferentes os valores mostram não haver diferenças estatísticas significativas entre os valores observados. Pode-se afirmar com isso que, idade de 15 anos a densidade não sofreu influência da espessura, também observa-se confiabilidade do equipamento utilizado na pré-classificação.

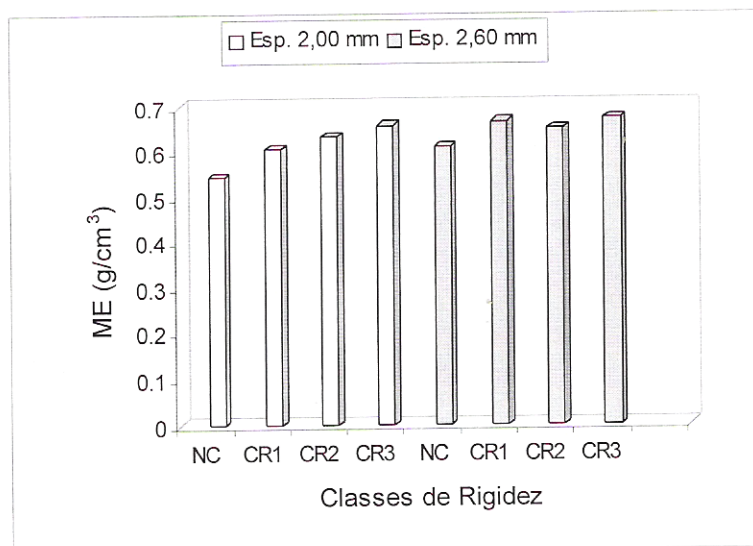
Para a idade 20 anos Figura 14b, os valores observados para a densidade indicam tendência apenas na espessura 2,00 mm, com diferenças significativas para a densidade por classe de rigidez.

FIGURA 14 VALORES MÉDIOS OBSERVADOS PARA A DENSIDADE DAS LÂMINAS IDADE 15 e 20 ANOS ESPESSURA 2,00 E 2,60 mm POR CLASSE DE RIGIDEZ

a) Idade 15 anos



b) Idade 20 anos



4.2.5 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS

A produção dos painéis estruturais PLP teve como base a análise realizada para as espessuras de lâminas através do módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados indicaram que entre os níveis de espessuras propostos não ocorreram diferenças estatísticas significativas. Com isso, foram combinadas as espessuras na montagem dos painéis.

Dois critérios foram utilizados no posicionamento das lâminas para a montagem dos painéis para a capa e contra-capas: valores obtidos pelo módulo de elasticidade dinâmico, e também foram selecionadas as lâminas de melhor qualidade, aparência, classificação visual.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

4.3.1 ANÁLISE DA DENSIDADE DOS PAINÉIS

O emprego de novos conhecimentos para o beneficiamento e uso racional da madeira na geração de novos produtos, exige o conhecimento adequado de suas características e comportamento como matéria-prima. Sendo um recurso natural renovável, continuará tendo possibilidade de inúmeras utilizações.

A utilização intensiva de produtos de madeira como matéria-prima para fins industriais e construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades. Por ser um composto orgânico heterogêneo, produtos à base de madeira apresentam uma grande versatilidade de usos (KLOCK, 2000).

A densidade é uma das propriedades físicas mais importante em produtos a base de madeira, devido estar relacionada diretamente com propriedades de rigidez mecânica, estabilidade dimensional e perda e absorção de água. Desta propriedade dependem a maior parte das qualidades físicas e tecnológicas, servindo na prática como parâmetro para classificação de um produto.

O anexo 18 apresenta os resultados da análise de variância realizada para densidade entre e dentro das classes de rigidez, a qual informa haver diferenças estatísticas entre as classes de rigidez analisadas.

A Tabela 18 apresenta os valores da densidade analisada por idade, e classe de rigidez, bem como as estatísticas descritas para o ensaio.

TABELA 18 VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	Densidade (g/cm ³)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	0,6353 A	0,6051	0,6600	8,98	0,018552	2,92
	2	0,6664 B	0,6438	0,6841	8,98	0,012049	1,80
	3	0,7003 C	0,6896	0,7063	8,94	0,005898	0,84
20	4	0,7728 D	0,7538	0,7971	9,47	0,014582	1,88
	5	0,7766 D	0,7417	0,8277	9,09	0,023643	3,02
	6	0,7836 D	0,7517	0,7953	9,35	0,012712	1,64

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
CR – Classe de Rigidez.

A Tabela 18 revela que ao comparar a densidade entre as classes de rigidez e idades observa-se que para o *Eucalyptus grandis* 15 anos as três classes de rigidez

apresentam diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade, confirmando resultados similares obtidos na pré-classificação das lâminas.

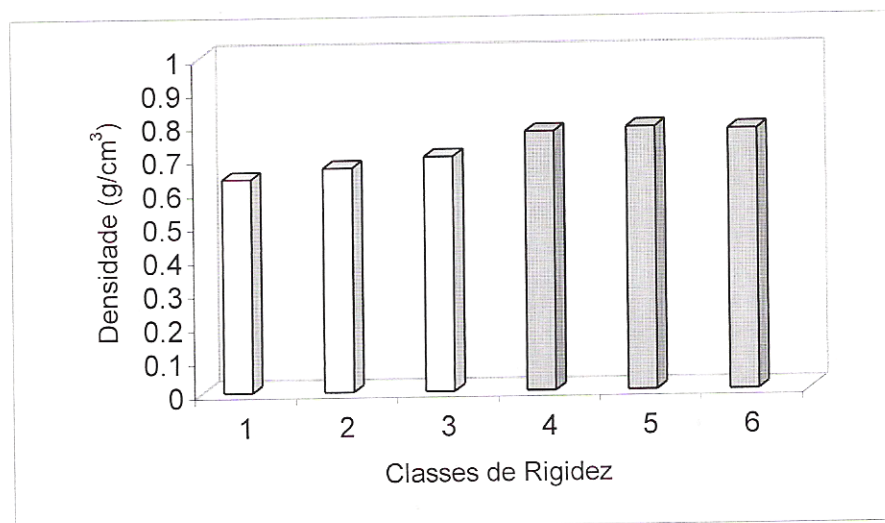
Para o *Eucalyptus grandis* 20 anos, verifica-se um comportamento diferenciado quando comparado à idade anterior. Nesta idade, 20 anos, as médias encontradas por classe de rigidez não diferiram estatisticamente ao nível de 95 % de probabilidade, e os valores numéricos para a densidade encontram-se bem próximos, podemos ressaltar o baixo coeficiente de variação encontrado para os tratamentos indicando pouca variação entre os valores observados dentro dos tratamentos.

Essa faixa de valores médios bem próximos para a densidade na idade 20 anos pode ser um indicador de baixo contraste na estrutura anatômica da espécie, bem como, a 20 anos, presença de maiores proporções do lenho adulto ao longo do fuste.

Diversos autores como KLOCK (2000), MUÑIZ (1993) e TOMASELLI (1979), pesquisando sobre o comportamento da densidade em espécies de rápido crescimento a diferentes idades, em torno de 10 anos, concluíram que ocorre uma baixa porcentagem de lenho adulto indicando uma madeira mais uniforme e homogênea, o que caracteriza uma vantagem na utilização da madeira para diversos fins.

Na Figura 15 pode-se observar uma tendência para o *Eucalyptus grandis* 15 anos. Nessa idade a densidade aumentou com a variação (aumento) na classe de rigidez.

FIGURA 15 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A DENSIDADE DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ



Nota:

1, 2, 3 - Classe de Rigidez para a idade 15 anos.

4, 5, 6 - Classe de Rigidez para a idade 20 anos.

Para o *Eucalyptus grandis* idade 20 anos a densidade praticamente não variou com o aumento da classe de rigidez. Com isso, pode-se assumir que a idades elevadas a densidade sofre pouca influência, para painéis produzidos nas especificações desta pesquisa.

Esta ausência de significância estatística entre as médias da densidade para 20 anos talvez possa ser explicado pelo fato dos corpos-de-prova terem sido amostrados dentro do mesmo tipo de lenho, bem como a pré-classificação levar a esta aproximação em termos de proporções de lenho.

De acordo com TSOUMIS (1991), a densidade está diretamente relacionada à resistência mecânica, contração, trabalhabilidade e permeabilidade. Quanto maior a densidade, maior a resistência mecânica, maior a contração da madeira e menor a estabilidade dimensional.

4.3.2 ANÁLISE DO INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 E 24 HORAS – IMERSÃO EM ÁGUA

4.3.2.1 Inchamento em Espessura - 2 horas de imersão

O inchamento em espessura talvez seja o fator mais importante quando se considera o efeito da umidade em painéis de madeira. Pode ser afetado por diversas variáveis, tais como: espécie; densidade do painel; gramatura de cola; distribuição do adesivo e condições de prensagem.

O anexo 19 apresenta os valores da análise de variância realizada entre as classes de rigidez, a diferentes idades, para observar o comportamento do inchamento em espessura. Esses valores indicam haver diferenças significativas.

A Tabela 19 apresenta os valores médios obtidos para as classes de rigidez, a comparação estatística destes valores, bem com as estatísticas descritivas para a variável.

TABELA 19 VALORES MÉDIOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

Idade (anos)	C.R.	IE– 2h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	5,528 AB	4,050	8,233	1,45067	26,24
	2	6,866 BC	4,691	10,736	1,98392	28,89
	3	7,113 BC	4,420	11,331	2,03958	28,67
20	4	6,554 A	3,157	5,890	0,91241	19,91
	5	8,129 CD	6,606	11,272	1,68441	20,72
	6	9,981 D	6,593	14,700	2,61032	26,15

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
IE – Inchamento em Espessura 2 horas de imersão.

Os valores médios do inchamento em espessura com 2 horas de imersão em água dados na Tabela 19, apresentam um comportamento diferenciado por idade e classe de rigidez não apresentando tendências, apesar de proximidade entre os valores médios observados, tanto para a idade como para classes de rigidez.

Ainda na Tabela 19, podemos observar que, para o *Eucalyptus grandis* na idade 15 anos, as classes de rigidez 1, 2 e 3 não apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade.

BORTOLETTO JUNIOR (2002) em informação pessoal, quanto maior a densidade menor a absorção d'água e maior o inchamento em espessura. Madeiras de maior densidade, possuem maior quantidade de parede (parede mais espessa) por isso, ao absorver água (dentro da parede), incham mais. Água que entra nas cavidades (lumens e espaços vazios) não provoca inchamento.

Ainda o mesmo autor, para madeira sólida quanto menor a densidade maior é a absorção. Isso também se verifica para painéis compensados. Essa tendência, necessariamente, pode não ser aplicada ao inchamento que está sujeito a outras variáveis como tempo de prensagem (muito importante), devido ao aumento das tensões de prensagem, contradizendo os resultados encontrados nesta pesquisa.

4.3.2.2 Inchamento em Espessura 24 horas de imersão

Para a variável inchamento em espessura agora com 24 horas de imersão em água, a análise de variância, anexo 20, também revela diferenças significativas ao nível de 95 % de probabilidade entre e dentro das classes de rigidez, como mostra o anexo

20. A Tabela 20 apresenta os valores médios por idade e classe de rigidez e as estatísticas descritivas para o ensaio.

Segundo o teste de Tukey, Tabela 20, o inchamento em espessura para 24 horas para o *Eucalyptus grandis* 15 anos, observa-se não haver diferenças significativas entre as classes de rigidez analisadas.

Para *Eucalyptus grandis* 20 anos, a Tabela 20 revela diferenças estatisticamente significativas ao nível de 95 % de probabilidade entre as classes de rigidez 4 e 6 (1^a e 3^a respectivamente).

TABELA 20 VALORES MÉDIOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

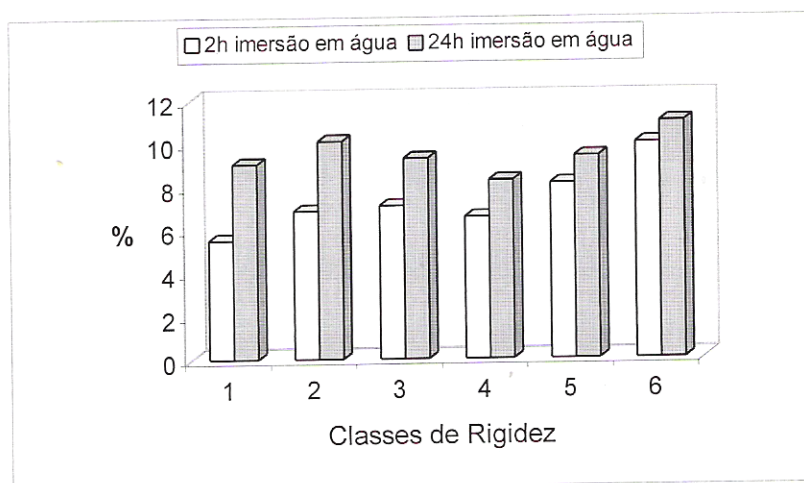
Idade (anos)	C.R.	IE– 24h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	9,056 AB	6,603	11,634	1,43478	15,84
	2	10,100 AB	5,615	13,711	2,03988	20,19
	3	9,310 AB	6,310	13,603	2,09150	22,46
20	4	8,268 A	5,750	9,950	1,66074	20,08
	5	9,380 AB	6,223	10,730	1,64131	17,49
	6	10,969 B	6,957	12,440	1,34456	12,25

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
IE – Inchamento em Espessura 24 horas de imersão.

Portanto, estatisticamente o efeito da classe de rigidez, para idade 15 anos, não foi significativo sobre esta propriedade, inchamento em espessura. Também pelos valores percentuais observados na Tabela 20, bem próximos, pode-se observar que com o aumento da propriedade de rigidez das lâminas que compõem o painel, o inchamento em espessura sofrerá pouca variação.

A Figura 16 apresenta as relações existentes entre classes de rigidez a diferentes idades e o inchamento em espessura para 2 e 24 horas.

FIGURA 16 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O INCHAMENTO EM ESPESSURA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA



Nota:
 CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos
 CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos

Através da Figura 16, é possível observar que não houve relação inversa entre os valores médios do inchamento em espessura para 2 e 24 horas de imersão, para as duas idades analisadas.

Também é possível observar que a Figura 16 descreve um perfil gráfico representativo dos valores médios do inchamento em espessura para os dois períodos diferenciados de imersão. Fica evidente, que apenas na idade 15 anos classe de rigidez 2, percentualmente, o valor se destaca, porém a análise estatística revelou que o comportamento da propriedade nesta classe não diferenciou das demais.

PIO (1996), avaliando o comportamento de duas espécies de eucaliptos na produção de painéis compensados determinou valores médios para inchamento em

espessura que variaram entre 8 a 11 %. São valores próximos aos apresentados na Figura 16, o que ratificam os resultados aqui encontrados.

PEREYRA (1995) também trabalhando com painéis compensados de *Eucalyptus dunnii*, determinou em seus painéis valores médios para o inchamento em espessura em torno de 11,63 %, também compatíveis com esta pesquisa.

MEDINA (1986) e HAYASHIDA (1972), pesquisando painéis compensados de três e cinco lâminas de *Pinus elliottii* utilizando adesivo à base de fenol-formol encontraram valores para o inchamento em espessura em torno de 9,62 e 9,50 % respectivamente.

LARA PALMA (1986), testando tanino-formoldeído em painéis com laminação cruzada também de *Pinus elliottii*, chegou a resultados médios para o inchamento em espessura aproximadamente 9,50 %.

Confrontando os valores encontrados na literatura e os desta pesquisa, pode-se afirmar que o inchamento em espessura, de uma maneira geral, segue uma certa tendência e que a disposição das lâminas no painel pode não ser tão relevante.

4.3.3 EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

O anexo 21 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre e dentro das classes de rigidez para a expansão linear no comprimento, e informa não haver diferenças significativas entre as classes de rigidez para a variável.

A Tabela 21 apresenta os resultados médios para a propriedade de expansão linear no comprimento após 2 horas de imersão em água, também apresenta as estatísticas descritivas realizadas para o ensaio.

4.3.4 EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

O anexo 22 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre e dentro das classes de rigidez para a expansão linear no comprimento após 24 horas de imersão. Também, revelou haver diferença significativa entre, apenas, um nível das classes de rigidez analisadas.

A Tabela 22 apresenta os valores médios para a propriedade de expansão linear no comprimento após 24 horas de imersão em água, também mostra as estatísticas descritivas realizadas para o ensaio.

TABELA 22 VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

Idade (anos)	C.R.	ELC – 24h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	0,122 B	0,072	0,158	0,03061	25,02
	2	0,105 B	0,065	0,171	0,03211	30,50
	3	0,115 B	0,085	0,164	0,02468	21,46
20	4	0,096 B	0,072	0,130	0,01851	19,11
	5	0,083 A	0,036	0,092	0,01542	24,61
	6	0,092 B	0,072	0,111	0,01222	13,14

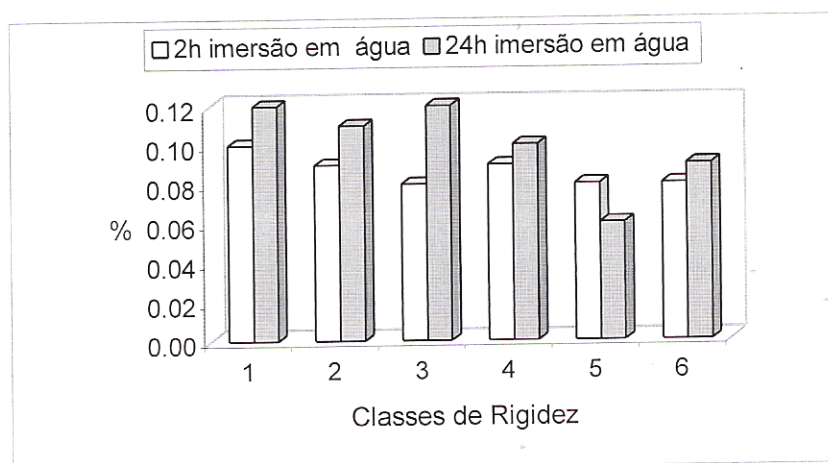
Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
ELC – Expansão Linear Comprimento.

Através do teste de Tukey, Tabela 22, é possível constatar que os valores médios para o ensaio expansão linear no comprimento após 24 horas de imersão em água praticamente equivaleram-se estatisticamente. Na idade 20 anos classe de rigidez 5 (2^a classe) apresentou diferença estatística significativa ao nível de 95 % de probabilidade.

A Figura 17 apresenta a relação existente entre as classes de rigidez e os valores médios obtidos no ensaio de expansão linear no comprimento após 2 e 24 horas de imersão, a diferentes idades.

Examinando a Figura 17 é possível observar que para a idade 15 anos, classes de rigidez 1, 2, 3 a 2 horas de imersão ocorreu uma relação inversa entre a variável resposta e as classes de rigidez, o que também pode ser observado na idade 20 anos classes de rigidez 4, 5, 6.

FIGURA 17 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A EXPANSÃO LINEAR DOS PAINÉIS NO COMPRIMENTO POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA



Nota:
 CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.
 CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

Ainda na Figura 17 para imersão após de 24 horas, os comportamentos nas duas idades são semelhantes ocorrendo uma relação inversa, também, entre a expansão linear no comprimento e as classes de rigidez. Aqui é importante observar o fator idade, a 15 anos gerou os maiores percentuais de expansão. Este fato pode estar fortemente correlacionado a ultra estrutura anatômica da espécie, esse resultado indica presença de lenho juvenil e maior ângulo das microfibrilas da camada S_2 da parede secundária.

Outro aspecto que os resultados revelam é quanto ao processo de colagem os quais os painéis foram submetidos. Esses baixos valores de expansão linear no comprimento, Tabelas 20 e 21, indicam uma alta resistência a condições adversas, elevado teor de umidade, quando submetidos a usos diferenciados.

4.3.5 EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

O anexo 23 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre e dentro das classes de rigidez por idade para a expansão linear na largura após 2 horas de imersão. O mesmo, revelou haver diferença significativa entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 23 apresenta os valores médios para a propriedade de expansão linear na largura após 2 horas de imersão em água, também mostra as estatísticas descritivas realizadas para o ensaio.

Pelo teste de Tukey, Tabela 23, torna-se evidente que para a propriedade em análise houve um comportamento semelhante por classe de rigidez, variando com a idade. Na idade 15 anos não houve diferenças significativas ao nível de 95 % de probabilidade nas classes de rigidez, o mesmo efeito foi observado para a idade 20 anos. Entretanto, observa-se que as médias diferem quando se compara a idade, e os maiores valores percentuais foram encontrados na menor idade.

TABELA 23 VALORES MÉDIOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

Idade (anos)	C.R.	ELL – 24h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	0,420 A	0,278	0,714	0,12022	28,59
	2	0,343 A	0,231	0,443	0,05612	16,32
	3	0,346 A	0,244	0,391	0,04345	12,54
20	4	0,203 B	0,159	0,259	0,02584	12,70
	5	0,168 B	0,106	0,232	0,03455	20,51
	6	0,197 B	0,105	0,284	0,05935	30,09

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
ELL – Expansão Linear na Largura.

KLOCK (1989) e BENDTSEN (1978), citados por LUÇAS FILHO (1997), informam que comparando o lenho a idades diferentes, o de menor idade caracteriza-se por apresentar uma densidade mais baixa, contração transversal menor, maior ângulo microfibrilar, maior contração longitudinal, menor teor de lignina, paredes celulares mais finas e menor percentagem de lenho tardio, o que pode levar a uma maior variação na expansão tanto no comprimento quanto na largura de compostos de madeira.

Dois efeitos podem estar agindo de maneira diferenciada sobre o resultados encontrados na pesquisa. O primeiro é a idade, que segundo a literatura a expansão linear tanto a 2 como a 24 horas de imersão é bastante influenciada pela própria madeira. O segundo seria a variação na proporção de lenho adulto e juvenil presente na espécie.

KEINERT JÚNIOR (1989), estudando empenamento em painéis de madeira comenta que abaixo de certas condições, uma lâmina seca a um determinado teor de umidade, terá uma distorção de sua seção transversal em adição a mudanças dimensionais, à medida que seu teor de umidade varia. Esta distorção é causada pela

diferença entre a contração e inchamento radial e tangencial. Vale ressaltar que em painéis de madeira existe uma limitação imposta pela linha de cola que teoricamente gera uma distribuição por igual das tensões internas do painel, e também age de maneira a segurar qualquer tipo de expansão que ocorra devido a uma mudança no teor de umidade final da peça, com isso os baixos valores encontrados nesta pesquisa são coerentes.

4.3.6 EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA APÓS 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA

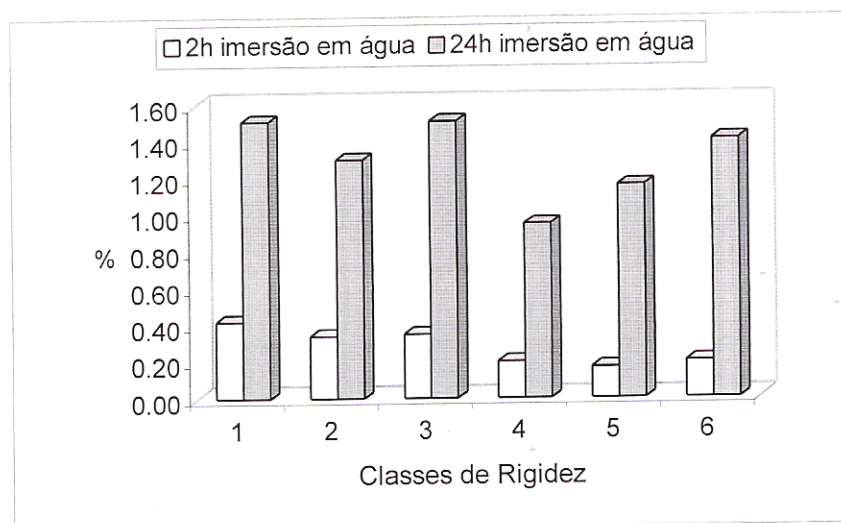
O anexo 24 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre e dentro das classes de rigidez por idade para a expansão linear na largura após 24 horas de imersão e revela haver diferença significativa entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 24 apresenta os valores médios para a propriedade de expansão linear na largura após 24 horas de imersão em água, também mostra as estatísticas descritivas realizadas para o ensaio.

inchamento radial, e maior que o inchamento longitudinal quando comparado a madeira sólida.

Observando a Figura 18, é possível visualizar graficamente os valores médios e as tendências obtidas na expansão linear na largura para 2 e 24 horas de imersão. Pode-se constatar que na idade 15 anos 2 horas de imersão ocorreu uma relação inversa, numericamente, entre as classes de rigidez. Com 24 horas de imersão, o gráfico revela não haver tendências na propriedade avaliada.

FIGURA 18 GRAFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

Para a idade 20 anos, a Figura 18 mostra que a 2 horas de imersão os valores médios aproximam-se, não demonstrando tendência entre classes de rigidez e a expansão. A 24 horas de imersão, a Figura revela influência da classe de rigidez sobre os valores médios, que gerou uma relação direta entre a variável e as classes em análise.

4.3.7 ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 HORAS DE IMERSÃO

Em painéis estruturais, a propriedade de absorção de água tanto a 2 como a 24 horas de imersão é pouco estudada devido principalmente a baixa utilização desses painéis, em exposição a elevados teores de umidade.

Entretanto, nesta pesquisa foi decidido analisá-la com a finalidade de fornecer resultados que possam ajudar a compreender o efeito de elevados teores de umidade em peças estruturais, o que poderá no futuro gerar informações concretas para correto dimensionamento com painéis estruturais para uso misto.

O anexo 25 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para a absorção de água após 2 horas de imersão e revela que houve diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 25 apresenta os valores médios para a propriedade de absorção de água após 2 horas de imersão em água, também mostra as estatísticas descritivas realizadas para o ensaio.

TABELA 25 VALORES MÉDIOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 2 HORAS DE IMERSÃO

Idade (anos)	C.R.	AA – 2h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	5,843 D	5,09	6,48	0,48057	8,22
	2	5,620 CD	5,32	5,97	0,21180	3,76
	3	4,827 BC	4,19	5,38	0,36054	7,47
20	4	4,149 B	2,80	5,96	1,07534	25,91
	5	3,243 A	2,97	3,66	0,23644	7,29
	6	4,028 AB	2,98	6,67	0,96456	23,94

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média – Tukey; AA – Absorção de Água.

TABELA 26 VALORES MÉDIOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – 24 HORAS DE IMERSÃO

Idade (anos)	C.R.	AA – 24h %	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	18,140 E	14,33	20,44	2,05317	11,32
	2	15,800 D	15,20	16,60	0,46274	2,92
	3	14,088 C	12,02	15,00	0,86937	6,17
20	4	10,963 AB	9,97	11,87	0,60426	5,51
	5	10,351 A	9,37	11,94	0,91525	8,84
	6	11,978 B	9,98	13,89	1,32435	11,05

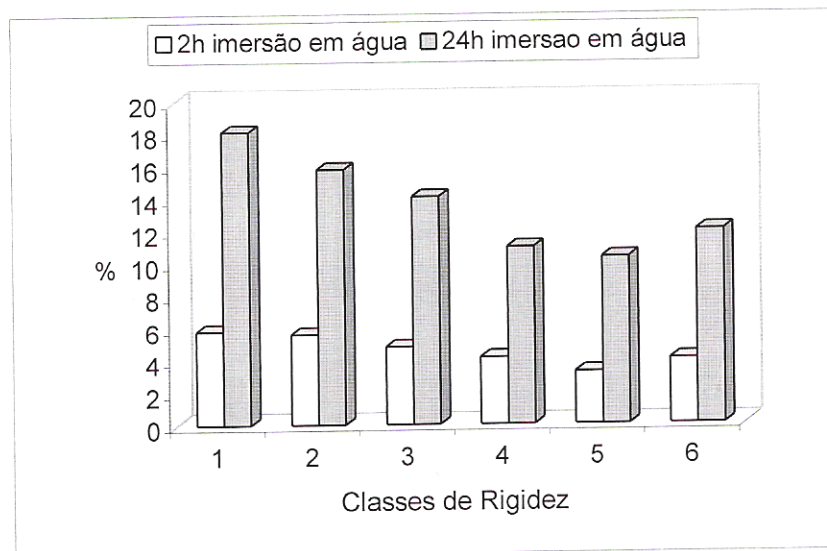
Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média – Tukey.
AA – Absorção de Água.

Através do teste de Tukey, Tabela 26, é possível observar as diferenças estatísticas entre os valores médios por classe de rigidez a um maior período de exposição. A idade 15 anos apresentou os valores médios mais elevados. Também nesta idade, observa-se que com o aumento das classes de rigidez ocorreu uma diminuição na absorção de água.

Com a restrição imposta pela linha de cola, discutido anteriormente, o que deve estar contribuindo para que ocorra esse efeito é a própria composição da estrutura anatômica da espécie.

Através da Figura 19 é possível visualizar graficamente os valores médios para o ensaio de absorção de água a 2 e 24 horas de imersão.

FIGURA 19 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSES DE RIGIDEZ – IMERSÃO 2 E 24 HORAS EM ÁGUA



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

Examinando a Figura 19, para 15 anos com 2 horas de imersão os valores apresentam uma relação inversa entre a variável e as classes de rigidez, o mesmo ocorrendo para 24 horas de imersão, ainda 15 anos.

Na idade 20 anos a Figura 19 também revela que os resultados para o ensaio de absorção de água 2 e 24 horas de imersão apresentam valores compatíveis com as densidades dos painéis, quanto menor a densidade, maior a absorção d'água. A menor taxa de absorção tanto para 2 e 24 horas de imersão ocorreu na classe de rigidez 5 (2ª classe).

Essa ausência de tendência dos resultados observada na Figura 19, talvez possa ser explicada por uma variação no conteúdo de umidade e secagem não homogênea das lâminas.

Ainda na Figura 19, sabe-se da literatura que a madeira do gênero *Eucalyptus* spp., apresenta grande susceptibilidade à absorção de água com isso, os valores

médios elevados apresentados por idade e classe de rigidez, são coerentes e correlacionados com estrutura anatômica da espécie.

PEREYRA (1995), trabalhando com produção de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* encontrou valores médios para a propriedade de absorção de água que variaram entre 39,45 a 44,96 % nos diferentes tratamentos analisados. Apesar da composição diferente dos painéis, os valores encontrados nesta pesquisa indicam excelente estabilidade dimensional dos painéis avaliados.

4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

4.4.1 RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA EM CISALHAMENTO POR COMPRESSÃO – ENSAIO SECO

Sabe-se da literatura que o ensaio de rigidez da linha de cola é indicado para a avaliação da qualidade da união colada em painéis de madeira. Para valorização da colagem, além da rigidez da linha de cola utiliza-se o aspecto externo da superfície que sofreu ruptura através de valores médios que são comparados as exigências normativas.

O anexo 27 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para a linha de cola seca revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

Os valores são muito superiores a painéis compensados em função do sentido paralelo à grã da construção do próprio painel e tipo de ensaio.

A Tabela 27 apresenta os valores médios da rigidez da linha de cola – ensaio seco, obtidos por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 27 VALORES MÉDIOS PARA RIGIDEZ DA LINHA DE COLA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – ENSAIO SECO

Idade (anos)	C.R.	RLC-S (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	FNM %	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	116,40 A	79,04	146,26	99,74	9,29	17,0981	14,68
	2	116,10 A	79,23	163,41	96,50	9,58	23,5419	20,28
	3	119,14 A	78,78	162,96	88,50	9,24	20,2324	16,98
20	4	151,05 B	73,70	201,09	90,25	9,51	31,9883	21,17
	5	156,16 B	92,83	223,19	76,25	9,38	34,8231	22,30
	6	157,37 B	93,29	201,02	88,75	9,62	33,7882	21,47

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

RLC-S – Resistência da linha de cola ensaio seco.

FNM – Percentual de Falha na Madeira.

Através do teste de Tukey, Tabela 27, não foram identificadas diferenças estatísticas significativas para os valores médios da rigidez da linha de cola por classe de rigidez. As diferenças que o teste de Tukey revelaram, foram causadas pela mudança na idade.

Como a tendência do ensaio de linha de cola é o rompimento do corpo-de-prova na madeira e teoricamente a linha de cola deve ser mais resistente, pode-se afirmar que, do ponto de vista prático e considerando as especificações desta pesquisa, a idade possui uma grande influência nessa propriedade. Isso tornou-se evidente também a nível laboratorial, no momento da realização dos ensaios onde ocorreu um aumento gradativo e variação na carga utilizada quando a idade foi alterada, o que confirma a influência da madeira no teste.

Tomando como base os valores encontrados na densidade dos painéis (ver Tabela 18 p.86) nota-se que para a 20 anos de idade não ocorreram diferenças

significativas para a mesma, o que também é observado para a rigidez da linha de cola a 20 anos, o que pode ser um indicador da influência da densidade na propriedade analisada em idade elevada. Na idade 15 anos este efeito não foi observado o que, provavelmente, pode ser justificado pela maior variação nas proporções de lenho adulto e juvenil nos corpos de prova testados.

Ainda analisando os valores da Tabela 27, é possível observar um ganho percentual em torno de 32 % de resistência devido ao aumento da idade. Do ponto de vista de aplicação desses painéis, em tese, é possível transferir esses resultados no momento de dimensionar peças estruturais.

Também, os resultados da resistência da linha de cola a seco demonstram que houve boa umectação da camada sub-microscópica e que o material mais denso devido a sua rigidez maior na idade de 20 anos apresentou valores maiores.

4.4.2 RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA EM CISALHAMENTO POR COMPRESSÃO – ENSAIO PÓS FERVURA

O anexo 28 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para a linha de cola com fervura e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 28 revela os valores médios da rigidez da linha de cola - úmido, obtidos por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

Através do teste de Tukey, Tabela 28, foram identificadas diferenças estatísticas significativas para os valores médios por classe de rigidez. Isto mostra que o efeito da classe de rigidez foi significativa, para algumas observações.

Do ponto de vista prático pode-se considerar que a diferença elevada entre os valores médios do ensaio seco e com fervura inviabiliza por completo o uso estrutural do painel quando submetido a um elevado grau de stress. Houve uma redução percentual acima de 100 % quando comparados os valores por ensaio realizado.

TABELA 28 VALORES MÉDIOS PARA RIGIDEZ DA LINHA DE COLA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ – ENSAIO PÓS FERVURA

Idade (anos)	C.R.	RLC-F (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	FNM %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	32,20 A	18,14	42,94	96,75	7,5092	23,32
	2	35,07 AB	17,12	58,06	98,50	9,6360	27,47
	3	35,43 AB	24,99	45,31	93,50	5,8137	16,41
20	4	42,14 BC	19,20	64,30	83,75	11,7863	27,96
	5	49,60 C	24,47	73,09	86,75	12,2613	24,71
	6	50,25 C	30,71	76,09	90,75	13,8883	27,64

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

RLC-S – Rigidez da linha de cola ensaio com fervura.

FNM – Percentual de Falha na Madeira.

Na Tabela 28 analisando a última coluna o coeficiente de variação, fica evidente a variação que ocorreu na madeira independente de idade.

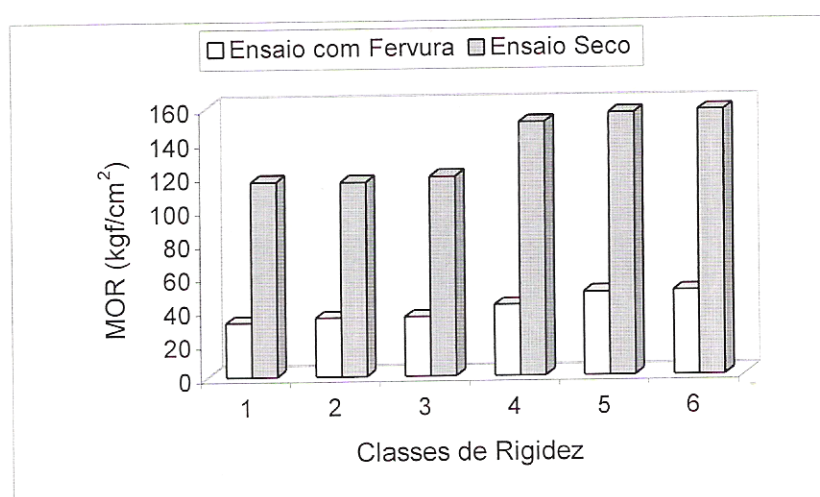
A Figura 20 apresenta graficamente os valores médios obtidos para o ensaio de rigidez da linha cola seco e com fervura.

Analisando a Figura 20, por idade e classe de rigidez, é possível observar que esta descreve uma relação direta entre as idades e que o efeito das classes de rigidez é

pouco pronunciado revelando um perfil gráfico com as tendências semelhantes ao da densidade dos painéis (ver Figura 19 p.106), o que pode ser indício de uma estreita relação entre as variáveis.

Houve perda significativa de rigidez em relação ao ensaio seco, o que não compromete a qualidade da colagem porque o percentual de falha na madeira não foi comprometido.

FIGURA 20 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA SECO E PÓS FERVURA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

4.4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS

4.4.3.1 Tensão no Limite Proporcional na Compressão Perpendicular

O anexo 29 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o ensaio de resistência à compressão perpendicular às fibras e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 29 revela os valores médios do ensaio de rigidez à compressão perpendicular às fibras, tensão no limite proporcional obtida por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 29 VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	TLP (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	140,358 A	126,814	156,908	9,57	9,6882	6,90
	2	146,784 AB	125,822	172,859	9,76	10,6471	7,25
	3	150,554 B	136,813	163,264	9,77	8,6281	5,73
20	4	172,329 C	151,555	202,528	10,08	15,3852	8,92
	5	180,565 C	159,999	208,910	9,69	14,0408	7,77
	6	191,985 D	178,390	204,495	10,19	7,3369	3,82

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

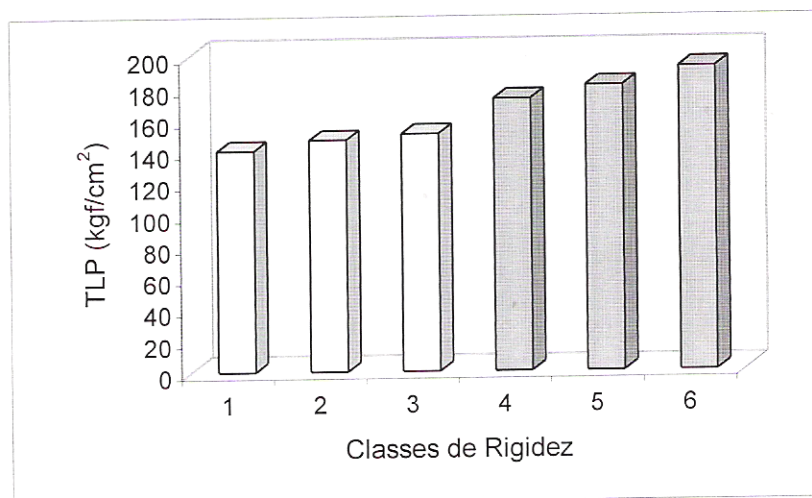
TLP- Tensão no Limite Proporcional na Compressão Perpendicular.

Através do teste de Tukey, Tabela 29, foram identificadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade para os valores médios da tensão no limite proporcional por classe de rigidez. Isto mostra que o efeito da classe de rigidez foi significativa, em alguns casos.

Ainda na Tabela 29, pode-se observar que as classes de rigidez 4 e 5 (1^a e 2^a respectivamente) para *Eucalyptus grandis* 20 anos não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade.

A Figura 21 apresenta os valores médios obtidos no ensaio de compressão perpendicular às fibras para a tensão no limite proporcional por idade e classe de rigidez.

FIGURA 21 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

TLP – Tensão no Limite Proporcional Compressão Perpendicular.

A Figura 21 mostra graficamente os valores da propriedade avaliada. Visualizando, observa-se comportamento diferenciado, como esperado, por idade e classe de rigidez. Nota-se que tanto para a idade 15 anos quanto para a idade 20 anos ocorreu uma relação direta, ou seja com o aumento da classe de rigidez e idade houve uma resposta da variável em análise, numericamente. Vale ressaltar que para algumas classes de rigidez os valores não diferem estatisticamente.

4.4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

4.4.4.1 Tensão Máxima de Ruptura – TMR na Compressão Paralela

O anexo 30 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para a tensão máxima de ruptura - TMR no ensaio de compressão paralela às fibras e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 30 revela os valores médios do ensaio de rigidez à compressão paralela às fibras, tensão máxima de ruptura obtida por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 30 VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	TMR (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	595,285 A	569,308	634,092	8,68	20,5642	3,45
	2	661,176 B	626,307	700,813	8,98	21,2336	3,21
	3	684,455 B	631,839	734,964	8,71	31,3691	4,58
20	4	749,319 C	725,902	783,906	9,03	20,3411	2,71
	5	818,638 D	779,246	856,442	8,36	23,1703	2,83
	6	821,374 D	782,515	861,699	8,91	20,2745	2,46

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média – Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

TMR– Tensão Máxima de Ruptura na Compressão Paralela.

Através do teste de Tukey, Tabela 30, foram identificadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade para os valores médios da tensão máxima de ruptura – TMR – por classe de rigidez. Isto mostra que o efeito da classe de rigidez foi significativa, em alguns casos.

A Tabela 30 mostra alguns aspectos interessantes quanto ao comportamento dos valores médios do módulo de ruptura nas classes de rigidez a diferentes idades. Na idade 15 anos há igualdade estatística entre as classes 2^a e 3^a respectivamente, e para a idade 20 anos a não diferença estatística entre as classes 5 e 6 (2^a e 3^a respectivamente). Esses resultados não eram esperados, em função da pré-classificação das lâminas utilizada na pesquisa. Porém, este fato não inviabiliza a utilização do pré-classificador, nem os painéis produzidos.

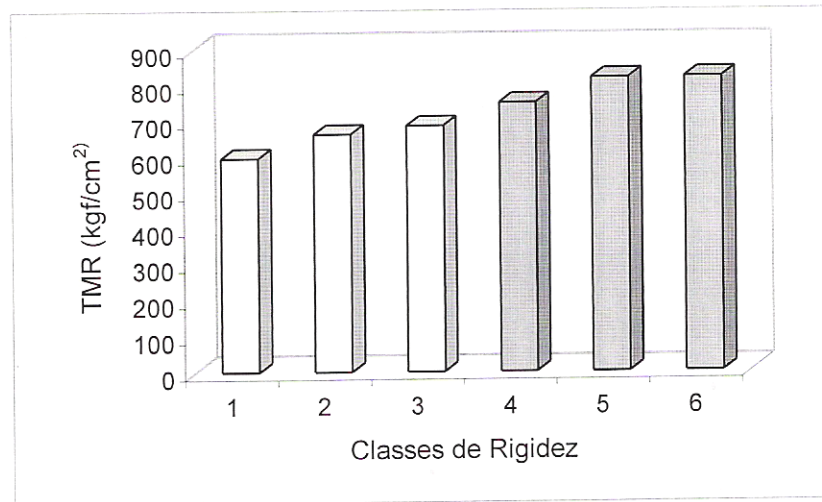
Provavelmente, o que tenha contribuído para que os valores médios na compressão paralela, na idade 20 anos, seguissem esse comportamento foi a densidade dos painéis que de acordo com a (ver Tabela 18 p.86) também segue essa tendência.

Na idade 15 anos na compressão paralela às fibras não segue a mesma tendência observada para a densidade. Este comportamento diferenciado, provavelmente é função da maior porção de lenho juvenil nesta idade.

Ainda na Tabela 30, pode-se observar os baixos valores encontrados para o desvio-padrão e coeficiente de variação, o que indica uma baixa variação entre os valores obtidos para a tensão máxima de ruptura.

A Figura 22 apresenta os valores médios a tensão máxima de ruptura na compressão paralela às fibras para o ensaio.

FIGURA 22 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA A TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

TLP – Tensão Máxima de Ruptura na Compressão Paralela.

Os valores médios da tensão máxima de ruptura na compressão paralela às fibras apresentados graficamente na Figura 22 para a idade 15 anos indicam, apesar da igualdade estatística entre as classes 2^a e 3^a, uma relação crescente para MOR – classes de rigidez. Para a idade 20 anos considerando a mesma relação MOR-classe de rigidez, é menos pronunciada evidenciando claramente a pouca relevância desta última, o que em hipótese alguma desqualifica o produto, apenas revela um comportamento não esperado.

Entre as idades, como esperado, a variável resposta apresenta comportamento coerente, mostrando que é possível ter ganhos em termos de rigidez de um produto trabalhando com idades mais elevadas.

4.4.4.2 Módulo de Elasticidade na Compressão Paralela - MOE

O anexo 32 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o módulo de elasticidade no ensaio de compressão paralela às fibras e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 31 apresenta os valores médios para o ensaio de rigidez à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade obtido por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 31 VALORES MÉDIOS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	MOE (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	55251,30 A	49308,70	60544,00	8,68	383,338	6,93
	2	62147,50AB	51503,30	71981,60	8,98	618,710	9,95
	3	71053,10 C	60431,40	84152,70	8,71	772,406	10,87
20	4	72686,40 C	58546,60	85309,00	9,03	972,666	13,38
	5	82447,60 D	68613,40	103352,00	8,36	1126,860	13,66
	6	80083,30 D	60437,00	97558,00	8,91	639,679	9,13

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

TLP= Tensão no Limite Proporcional na Compressão Paralela.

Pelo teste de Tukey, Tabela 31, foram identificadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade para os valores médios da tensão no

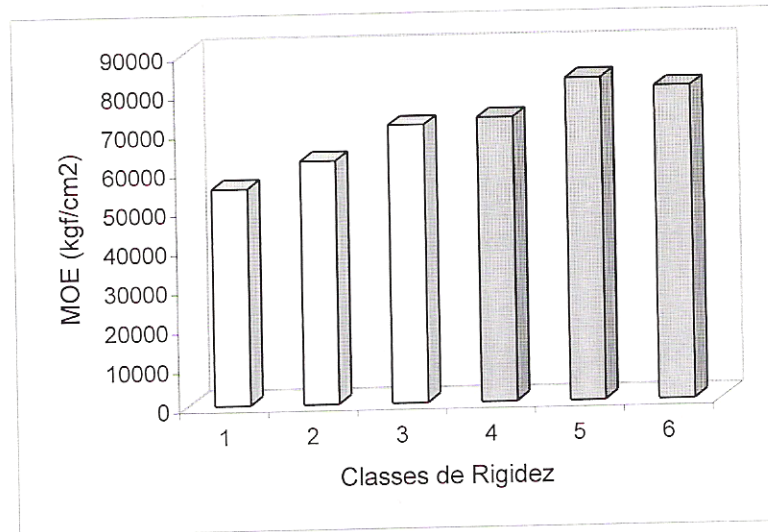
limite proporcional por classe de rigidez. Isto mostra que o efeito da classe de rigidez foi significativa, em alguns casos.

Na Tabela 31, observa-se que na idade 15 anos o MOE apresentou valores médios crescentes com as classes de rigidez. Para a idade 20 anos os valores médios do MOE tiveram comportamento diferenciado, e a última coluna mostra que a classe de rigidez não respondeu como esperado e praticamente seguindo a mesma tendência observada para a densidade dos painéis. Gráficamente este resultado será melhor explorado.

Outro aspecto da Tabela 31 é a falta de diferenças estatística entre a 3ª classe de rigidez da idade 15 anos e a 1ª (4ª classe) da idade 20 anos isto pode ser explicado devido a essas classes de rigidez possuírem valores determinados pelo módulo de elasticidade dinâmico coincidentes, para as lâminas, apesar de amplitudes diferenciadas.

Observando a Figura 23 nota-se que para a idade 15 anos houve uma relação direta entre as classes de rigidez e os valores médios do MOE revelando o mesmo comportamento observado para a densidade dos painéis. Na idade 20 anos não ocorreu relação direta ou inversa entre a variável observada e as classes de rigidez.

FIGURA 23 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

MOE – Módulo de Elasticidade na Compressão Paralela.

Para KEINERT (2001) informação pessoal, além do comportamento visco-elástico da madeira ser fator de dificuldade na determinação exata da tensão no limite proporcional há que se considerar a própria natureza quebradiça (*brittle heart*) características das espécies de *Eucalyptus* que podem muitas vezes mascarar o real valor da rigidez definida pelo MOE.

Outra hipótese também que surge na tentativa de esclarecer o comportamento do MOE para as classes de rigidez a 4^a (1^a classe) e 6^a (3^a classe) na maior idade, é o fato das tensões de crescimento inerente ao gênero. Também presume-se que durante a secagem de algumas lâminas destas classes possam ter sofrido colapso, gerando um produto de menor rigidez.

4.4.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

O anexo 33 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o módulo de elasticidade no ensaio de compressão paralela às fibras e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idades, analisadas.

A Tabela 32 apresenta os valores médios para o ensaio de rigidez à tração paralela às fibras, tensão máxima de ruptura obtido por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 32 VALORES MÉDIOS PARA A RIGIDEZ À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	TMR (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	789,168 A	605,357	954,074	8,79	87,8529	11,13
	2	905,249 B	777,967	1017,010	8,52	78,1273	8,63
	3	1029,940 C	909,364	1142,180	8,59	70,4481	6,84
20	4	1138,070 CD	974,258	1291,620	9,62	99,7146	8,76
	5	1219,230 DE	1053,140	1387,630	8,60	97,7966	8,02
	6	1249,150 E	1019,970	1442,430	8,76	116,744	9,35

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

TRM- Tensão Máxima de Ruptura na Tração Paralela às Fibras.

Pelos do teste de Tukey, Tabela 32, foram identificadas diferenças estatísticas significativas ao nível de 95 % de probabilidade para os valores médios da tensão

máxima de ruptura TRM por classe de rigidez. Isto mostra que o efeito da classe de rigidez, por idade analisada, foi significativa.

A Tabela 32, revela que na idade 15 anos a propriedade mecânica de tração paralela às fibras, o efeito da classe de rigidez teve comportamento como esperado, ou seja com o aumento da classe ocorreu uma resposta na tensão máxima de ruptura.

Para a idade 20 anos, o efeito classe de rigidez foi menos pronunciado. Presume-se que o efeito classe de rigidez esteja sendo influenciado, mascarado, devido à proximidade da densidade dos painéis estudados.

Sabe-se da literatura que normalmente a rigidez à tração em produtos de madeira é pouco usada em pesquisas tecnológicas devido a complexidade de sua determinação. Também, segundo alguns autores freqüentemente ocorre a necessidade de se determinar a resistência à tração de peças empregadas (vigas de treliça) na construção civil. Neste caso, muitas vezes é determinada a rigidez da peça em tamanho natural.

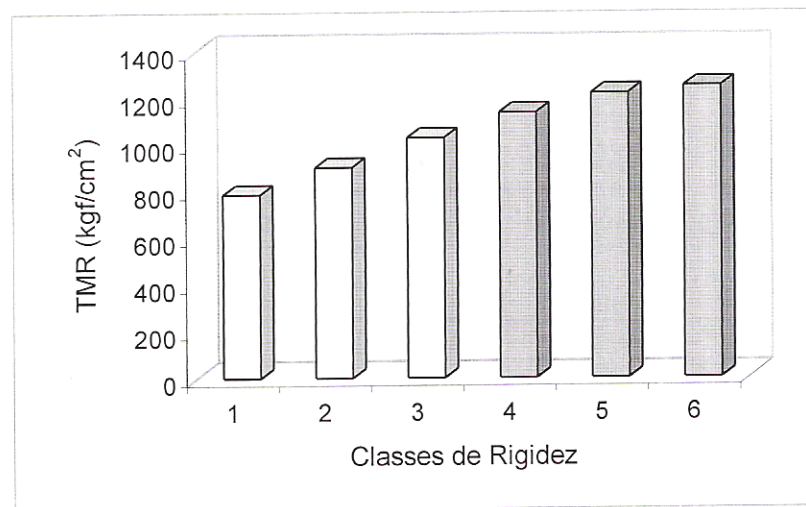
Para NOCK *et al.* (1972), a resistência à tração paralela as fibras é teoricamente muito alta na madeira, o que pode ser observado de acordo com os valores médios obtidos nesta pesquisa, Tabela 32. Pesquisas, também, indicam que as amplitudes dos valores para esta propriedade variam entre 280 a 2800 kgf/cm². Outro aspecto interessante para a tração, é que parece ser bem relacionada com a porosidade da madeira.

Mediante os resultados obtidos na Tabela 32, pode-se afirmar que a propriedade de tração sofre influência da idade da madeira.

Estes resultados são importantes ao que se refere à aplicação prática destes painéis, uma vez que a propriedade de tração é normalmente solicitada na maioria dos casos de uso de peças com função estrutural.

A Figura 24, apresenta graficamente os valores médios da tensão máxima de ruptura na tração. Pode ser observada nesta Figura, que na idade 15 anos houve uma relação direta entre as classes e os valores médios obtidos, e para a idade 20 anos proximidade dos valores médios não identificando tendência.

FIGURA 24 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA DE RUPTURA PARA A TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

TMR – Tensão Máxima de Ruptura na Tração Paralela às Fibras.

4.4.6 RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

4.4.6.1 Módulo de Ruptura na Flexão Estática - MOR

O anexo 34 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o módulo de ruptura no ensaio de flexão estática e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 33 apresenta os valores médios para o ensaio de flexão estática, módulo de ruptura obtido por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 33 VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	MOR (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	890,570 A	688,201	1032,300	8,98	120,903	13,57
	2	992,389 AB	803,522	1130,880	8,98	95,570	9,63
	3	1049,970 AB	822,122	1184,820	8,94	107,522	10,24
20	4	1138,790 B	989,522	1296,420	9,47	106,903	9,38
	5	1322,790 C	1008,120	1566,120	9,09	167,585	12,67
	6	1416,580 C	1162,500	1566,12	9,35	129,761	9,16

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.
MOR- Módulo de Ruptura na Flexão Estática.

Através do teste de Tukey foram identificadas diferenças significativas para os valores médios do MOR entre as classes de rigidez por idades analisadas. Isto mostra que o efeito da pré-classificação foi significativo sobre o MOR gerando valores diferenciados, entretanto a Tabela 33 também revela um comportamento semelhante para as duas idades. As duas classes de rigidez mais elevadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas para 15 e 20 anos respectivamente.

Do ponto de vista prático, pode-se considerar que apesar da falta de significância estatística entre os valores das classes de rigidez mais elevadas isto não inviabiliza o uso do pré-classificador.

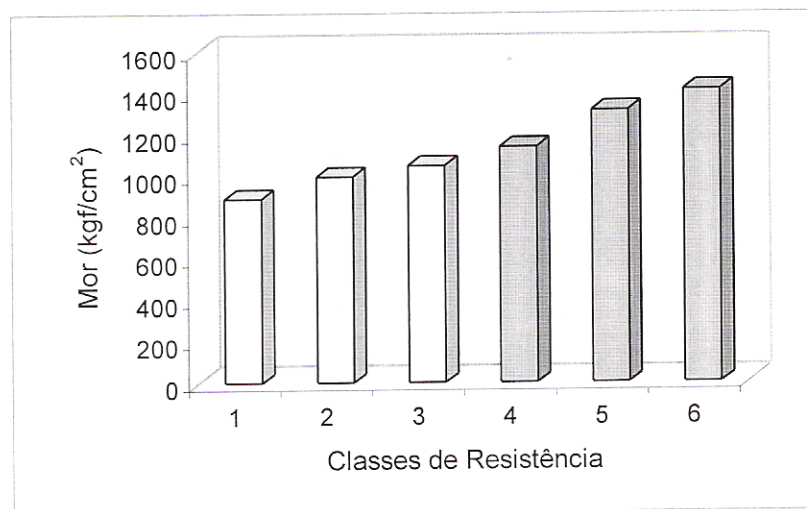
É necessário considerar que na idade 20 anos os valores médios para a densidade não apresentaram diferenças estatísticas significantes, e deste modo presume-se que o MOR esteja sendo influenciado por este comportamento da variável citada.

Na idade 15 anos supõe-se que pode ter havido influência da própria composição da estrutura anatômica da espécie sobre o MOR, aliada à elevada presença de nós naturais da madeira nas lâminas que compõe os painéis, fato que foi bem observado durante a laminação e montagem dos painéis.

Comparando os valores médios com a literatura existente, MATOS (1997) trabalhando com painéis de lâminas paralelas de *Pinus taeda* determinou valores mais baixos, em média 374,0 kgf/cm², sendo importante observar a diferença existente entre as massas específicas dos painéis avaliados.

A Figura 25, apresenta graficamente os valores médios do módulo de ruptura.

FIGURA 25 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA – MOR PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

MOR – Módulo de Ruptura na Flexão Estática.

Na Figura 25 pode ser observada a relação direta que ocorreu entre as classes de rigidez e o mor, ou seja com o aumento da classe houve uma resposta direta no MOR, o efeito é observado tanto na idade 15 quanto 20 anos, sendo nesta última mais pronunciado, comprovando a eficiência do pré-classificador.

4.4.6.2 Tensão no Limite Proporcional na Flexão Estática – TLP

O anexo 35 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o módulo de elasticidade no ensaio de flexão estática e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 34 apresenta os valores médios para o ensaio de flexão estática, tensão no limite proporcional obtido por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas.

TABELA 34 VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	TLP (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	458,97 A	398,863	545,284	8,98	35,1252	7,65
	2	461,09 AB	428,697	517,688	8,98	26,0244	5,64
	3	471,82 AB	440,991	497,930	8,94	20,5431	4,35
20	4	481,49 AB	450,224	507,746	9,47	21,5096	4,46
	5	484,04 AB	418,103	543,736	9,09	39,3340	8,12
	6	491,54 B	434,157	539,188	9,35	25,1358	5,11

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.
TLP- Módulo de Elasticidade na Flexão Estática.

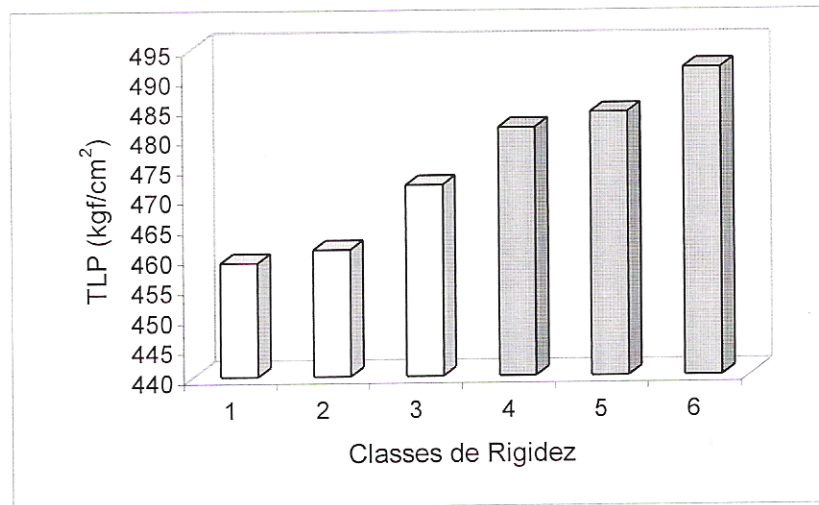
Nota-se pelo teste de Tukey, Tabela 34, que foram identificadas diferenças significativas para os valores médios da TLP entre as classes de rigidez por idades analisadas. Isto mostra que o efeito da pré-classificação foi significativo sobre a TLP apenas para o fator idade.

Na idade 20 anos é possível observar os valores médios por classe de rigidez e comparar com os valores obtidos na densidade (ver Tabela 17 p.87), e com isso supor que haja uma boa correlação entre as variáveis devido comportamento similares entre ambas. A Tabela 33 revela também que apenas a classes 1ª na idade 15 anos e a classe 6ª (3ª classe de rigidez) são diferentes estatisticamente.

MATOS (1997), trabalhando com painéis PLP de *Pinus taeda* determinou valores para a tensão no limite proporcional inferiores, em média 50 %, aos encontrados nesta pesquisa, em torno de 211 kgf/cm² e isto pode ser explicado pelo fato da diferença existente entre espécies. Esses valores determinados pelo citado autor tornam-se importantes, pois indicam coerência nos resultados aqui encontrados.

A Figura 26 apresenta graficamente os valores médios encontrados para o ensaio da tensão no limite proporcional na flexão estática.

FIGURA 26 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

TLP – Tensão no Limite Proporcional na Flexão Estática.

4.4.6.3 Módulo de Elasticidade na Flexão Estática - MOE

O anexo 36 apresenta os resultados da análise de variância realizada entre as classes de rigidez para o MOE no ensaio de flexão estática e revela haver diferenças significativas entre as classes de rigidez, por idade, analisadas.

A Tabela 35 apresenta os valores médios para o ensaio de flexão estática, módulo de elasticidade obtido por idade para todas as classes de rigidez, e a comparação estatística destes valores, bem como as estatísticas descritivas para o ensaio.

TABELA 35 VALORES MÉDIOS PARA O ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS A DIFERENTES IDADES E CLASSES DE RIGIDEZ

Idade (anos)	C.R.	MOE (kgf/cm ²)	Valor Mínimo	Valor Máximo	T.U. %	Desvio Padrão	C.V. %
15	1	94110,5 A	85881,2	98827,2	8,98	3704,22	3,93
	2	96326,6 AB	94054,1	98984,4	8,98	1249,45	5,29
	3	97628,6 BC	95821,6	101212,0	8,94	1670,59	7,71
20	4	98842,9 BC	95235,1	106152,0	9,47	3402,37	3,44
	5	99044,6 C	97071,4	103544,0	9,09	1953,55	4,97
	6	99096,1 C	94327,0	103462,0	9,35	2244,15	5,26

Nota: Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95 % de probabilidade; CV= Coeficiente de variação; Teste de média - Tukey.

T.U. Teor de umidade médio do ensaio %.

MOE- Módulo de Elasticidade na Flexão Estática.

Pelo teste de Tukey, Tabela 35, foram identificadas diferenças significativas para os valores médios do MOE entre as classes de rigidez por idades analisadas. Isto mostra que o efeito da pré-classificação, para algumas classes de rigidez, foi significativo sobre o MOE gerando resultados diferenciados.

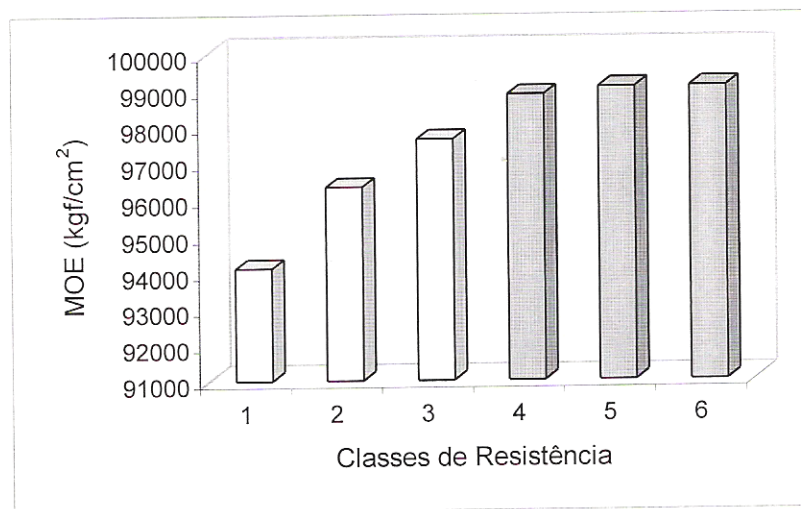
Outro aspecto interessante observado na Tabela 35 é a baixa variação para o MOE que não respeitou, em alguns casos, as classes de rigidez pré-estabelecida. Isto é marcante quando se observa a ausência de diferenças estatísticas entre classes de rigidez a idades diferentes. Também, chama a atenção que dentro da idade 20 anos as duas maiores classes de rigidez não diferem estatisticamente.

Pode-se acrescentar a esta análise, que os valores encontrados para o MOE por classe de rigidez e idade possa ser reflexo da influência da densidade dos painéis, que será comentado graficamente.

Para TSOUMIS (1991), citado por BORTOLETTO JUNIOR (2000), a elasticidade é a propriedade de um corpo retornar à sua condição inicial (dimensão e forma) quando a carga que gerou a tensão e a deformação for removida. Isto ocorre abaixo do limite de proporcionalidade. Se o carregamento é continuado acima deste limite, parte da deformação é permanente. A relação entre tensão e deformação define o Módulo de Elasticidade (Young's Modulus), válido somente até o limite proporcional, parâmetro indicativo da rigidez do material. Quanto maior o MOE mais rígido o material, ou seja, maior é a sua capacidade de suportar altas tensões sem grandes deformações.

É possível observar através da Figura 27 que esta descreve um perfil gráfico semelhante ao encontrado para a densidade dos painéis (ver Figura 17 p.87). Para a idade 15 anos observa-se uma relação direta entre as classes de rigidez e valores do MOE. Na idade 20 anos não houve essa relação entre MOE e classe de rigidez

FIGURA 27 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE – MOE PARA A FLEXÃO ESTÁTICA POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

MOE – Módulo de Elasticidade na Flexão Estática.

MATOS (1997), trabalhando com painéis estruturais PLP de *Pinus taeda* determinou valores para o MOE em torno de 96.726 kgf/cm² para painéis com lâminas de 3,2 mm de espessura e 92.083 kgf/cm² para painéis com lâminas de 4,2 mm, e para madeira sólida da mesma espécie 73.200 kgf/cm². Com isso, os resultados encontrados para 15 e 20 anos variando entre 94 a 99.000 kgf/cm² (Tabela 35 p.127) ratificam a elevada rigidez da madeira analisada e na prática torna-se indicador de qualidade do produto avaliado.

4.4.7 COMPORTAMENTO DO MOED DAS LÂMINAS VERSUS MOE DOS PAINÉIS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Para analisar o efeito do módulo de elasticidade dinâmico das lâminas - MOED sobre as propriedades mecânicas destrutivas dos painéis, é necessário observar os valores dispostos na Tabela 36 que apresenta um resumo do comportamento da variável MOED desde a pré-classificação até a análise destrutiva dos painéis.

TABELA 36 COMPORTAMENTO DO MOEd DAS LÂMINAS *VERSUS* MOEd PAINÉIS E MOE DO ENSAIO DESTRUTIVO DOS PAINÉIS – VALORES MÉDIOS

Idade (anos)	Classe de Rigidez	MOEd LÂMINAS (kgf/cm ²)	MOEd PAINÉIS (PLP) (kgf/cm ²)	MOE PAINÉIS (PLP) (kgf/cm ²)
15	1	149966,65 A	174612,0 A	94110,5 A
	2	169855,51 B	187398,3 B	96326,6 AB
	3	188445,76 C	200052,5 C	97628,6 BC
20	4	187587,65 D	216567,6 D	98842,9 BC
	5	214347,26 E	232710,6 E	99044,6 C
	6	241262,39 F	241173,4 F	99096,1 C

Nota: letras diferentes denotam diferenças estatísticas a 95 % de probabilidade dentro de uma mesma classe.
 MOEd Lâminas - Média entre 2,00 e 2,60 mm de espessura.
 Teste de média - Tukey.

Sabe-se da literatura que os valores encontrados para o módulo de elasticidade dinâmico em comparação com módulo de elasticidade destrutivo seguem a seguinte relação $E_S > E_D$. (KEINERT JÚNIOR, 2001) informação pessoal.

Em que:

E_S – módulo de elasticidade dinâmico (acústico).

E_D – módulo de elasticidade destrutivo.

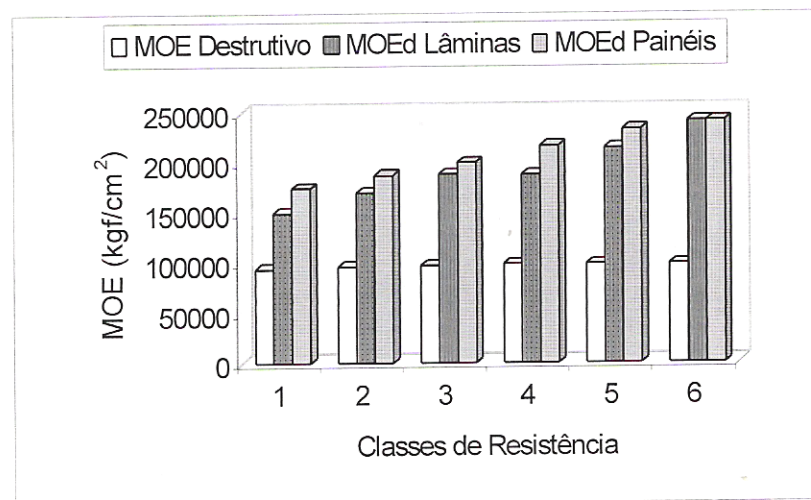
Com base no exposto, pode-se afirmar que os valores encontrados nesta pesquisa seguiram a tendência esperada. Também a Tabela 36 revela que o módulo dinâmico das lâminas superestima o resultado do MOE destrutivo dos painéis por idade e classe de rigidez o que na prática pode dificultar sua utilização estrutural.

Também é importante ressaltar que o elevado valor encontrado para o MOED dos painéis (Tabela 36) é em parte função da linha de cola que confere ao produto (no caso

os painéis) uma maior rigidez e conseqüentemente um aumento na velocidade de propagação da onda que irá gerar um elevado MOED.

A Figura 28 apresenta graficamente os valores médios encontrados para os diferentes módulos de elasticidade e sua relação por idade e classe de rigidez.

FIGURA 28 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS PARA O COMPORTAMENTO DOS DIFERENTES MÓDULOS DE ELASTICIDADE POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

MOE – Módulo de Elasticidade.

MOEd – Módulo de Elasticidade Dinâmico.

Através da Figura 28 pode ser observado que os valores para o MOED lâminas praticamente se equivalem aos valores encontrados para o MOED dos painéis, e que os mesmos indicam uma relação direta (tendência) entre as classes de rigidez e a idade avaliada. Também, na Figura 28 observam-se as discrepâncias existentes entre os valores encontrados para o MOED e o MOE, como esperado.

Em que: $EPE_{rec} \%$ = Erro padrão da estimativa recalculado. R^2 = Coeficiente de determinação. β = Fator de rigidez aparente. β_0 e β_1 = Coeficientes do modelo de regressão $y = \beta_0 + \beta_1 x$.

A Tabela 37 apresenta os valores determinados para o fator de rigidez aparente módulo de elasticidade destrutivo e o módulo de elasticidade dinâmico.

Através da Tabela 37 observa-se que o fator de rigidez aparente na idade 15 anos decresce com o aumento da classe de rigidez, o mesmo é observado para a idade 20 anos. Outro aspecto relevante na Tabela 37 é que com o aumento da idade o fator também diminui.

Isto indica uma tendência que se supõe ocorrer apenas para os valores encontrados nesta pesquisa, e presume-se que tenha um comportamento diferenciado para outras idades, diferentes espécies, outras repetições e classes de rigidez com amplitudes diferenciadas.

Para melhor visualização do referido fator de rigidez aparente, apresenta-se um exemplo da sua utilização:

Exemplo

Utilizando-se os valores para o módulo de elasticidade dinâmico dos painéis na idade 15 anos e 20 anos, constantes na Tabela 38, tem-se que :

Para entendimento do exemplo acima, multiplica-se o valor observado para o módulo de elasticidade dinâmico pelo respectivo fator de rigidez aparente e na última coluna temos o valor estimado para o módulo de elasticidade destrutivo.

TABELA 38 VALORES DE MOE DINÂMICO UTILIZADO NO CÁLCULO DA ESTIMATIVA DO MOE DESTRUTIVO

Classe de Rigidez	x =MOE dinâmico painel Observado (kgf/cm ²)	β =Fator de rigidez aparente	\hat{y} =MOE destrutivo Estimado (kgf/cm ²)
1 (15 anos)	180207	0,537476	96857,0
	$\hat{y} = 0,537476x$	$\therefore 0,537476 \times 180207 = 96857,0$	
4 (20 anos)	217725	0,456278	99343,26
	$\hat{y} = 0,456278x$	$\therefore 0,456278 \times 217725,3 = 99343,26$	

Fonte: dados da pesquisa

A Figura 29 apresenta a oscilação percentual do erro por idade e classe de rigidez, sendo possível observar que apenas na 1ª classe de rigidez na idade 15 anos ocorreu uma maior variação entre -15 a + 10% quando se estima o valor do MOE destrutivo, permanecendo a variação global entre 0 a 5%. Nas demais classes os resultados são idênticos, com o erro médio estimado variando de 0 a 5%. Esse resultado está de acordo com os valores do EPE_{rec} % por idade e classe de rigidez apresentados na Tabela 37.

FIGURA 29 VARIÇÃO PERCENTUAL NO FATOR DE RIGIDEZ APARENTE POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ



Nota:

CR 1, 2, 3 – *E. grandis* 15 anos.

CR 4, 5, 6 – *E. grandis* 20 anos.

Apesar dos resultados obtidos, considera-se sua eficiência relativa em função das estimativas que apresenta. Essa condição impõe uma limitação quanto à proposição de modelos que possam ser gerados em função das variáveis analisadas na pesquisa. Recomenda-se cautela na utilização do referido fator de rigidez aparente, cujo nível de utilização poderá ser assegurado para condições de ensaios não destrutivos que considere um número equivalente ou maior de amostras por classe de rigidez aos do presente trabalho, deve-se também considerar fatores de influência como espécie, idade e condições silviculturais.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir o seguinte:

Lâminas de Madeira

1. A divisão de lâminas em classes de resistência mostrou-se eficiente contribuindo para um aumento nas propriedades de resistência mecânicas dos painéis.

2. As amplitudes de classe avaliadas mostraram-se satisfatórias, principalmente para as propriedades mecânicas, revelando grande potencial para uso industrial.

3. O material lâmina proveniente das árvores com idade 20 anos apresentou os maiores valores para o módulo de elasticidade dinâmico.

4. Para as espessuras de lâminas avaliadas ambas podem ser indicadas, a maior para ganho em volume de produção, e a menor para ganho em qualidade de resistência dos painéis.

5. A pré-classificação de lâminas é fator preponderante na produção de painéis com propriedades diferenciadas.

Propriedades Físicas dos Painéis

6. Na densidade dos painéis a menor idade, 15 anos, seguiu a pré-classificação proposta. O que não ocorreu na idade 20 anos.

7. Os baixos valores médios para inchamento em espessura, absorção de água e expansão linear tanto no comprimento quanto na largura são indicativos da eficiência da colagem.

8. A espécie *Eucalyptus grandis* tanto na idade 15 quanto na idade 20 anos possuem alto potencial para utilização em escala comercial, pois suas propriedades físicas indicam excelente estabilidade dimensional.

Propriedades Mecânicas dos Painéis

9. A idade foi o fator que exerceu maior influência na resistência da linha de cola em cisalhamento por compressão para os ensaios seco e com fervura.

10. As propriedades mecânicas avaliadas, indicam a possibilidade de produção a nível industrial de painéis com propriedades diferenciadas por classe de resistência.

11. Na utilização dos painéis, a idade 20 anos é mais indicada para uso estrutural, o que não descarta a menor idade.

12. O fator de rigidez aparente empírico, é um importante instrumento para se estimar valores para o MOE destrutivo em função do MOE dinâmico, que irá também determinar o uso final dos painéis.

RECOMENDAÇÕES

Em função das variáveis analisadas nesta pesquisa, recomenda-se:

1. Desenvolver a nível industrial um sistema de pré-classificação de lâminas preliminar com a finalidade de gerar um diferencial no produto final;
2. Analisar outras idades para que se possa obter informações e resposta do pré-classificador;
3. Estudar diferentes espécies de *Eucalyptus* dado o potencial do gênero para a produção de painéis de lâminas paralelas.
4. Analisar outras variáveis na manufatura dos painéis, tais como: pressão; tempo de prensagem; gramatura de cola; temperatura de prensagem, sempre com o objetivo de otimizar o processo produtivo;
5. Estudar o comportamento das lâminas não classificadas pelo *stress wave timer* e comparar resultados dinâmicos com destrutivos para os painéis;
6. Implementar pesquisas que visem dar subsídios a viabilidade econômica da produção destes painéis, com o objetivo de criar novas alternativas de produto dentro do setor industrial madeireiro;
7. Apesar da espécie *Eucalyptus grandis* ser folhosa e ter potencial para uso decorativo, suas propriedades na produção de PLP demonstram ampliação da sua versatilidade a nível de mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, C. P. **Efeito da redução da área colada no comportamento mecânico de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** Viçosa 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –Universidade Federal de Viçosa.

ACOSTA, M. S. Experiência Argentina em el Uso de la Madera de Eucalipto. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto. São Paulo, 1995. 74-91p.

AGUIAR, O J. R. Métodos para controle das rachaduras de topo para toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden visando a produção de lâminas para desenrolamento. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, 1986.

ALEXANDER, J. A; ANTON, A. Mechanical grading of South Eastern Australia hardwoods. In: **Forest Products Research Conference**, 18. Highett, 1977. Contributed Papers. 8p.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **Standard Specification for structural glued-laminated timber.** 117-71. New York. Wiley. 1971. 14p.

_____ Tension Laminations in Structural Glued-Laminated timber members in bending. AITC 301-67. New York, John Wiley & Sons. 27p. 1967.

BARRICHELO, L.E.G. *et al.* Densidade básica, teor de holoceluloce e rendimento em celulose de madeira de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTIAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO, Águas de São Pedro, 25-30. 1980. 29p.

BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **For. Prod. J.**, 28 (10): 61-72, 1978.

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

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood composities.** New York: Van Nostraand Reinhold, 1982. 711 p.

BOHANNAN, B. Flexural behavior of large glued-laminated beams. **Research Paper.** FPL. USDA. Forest Service, Madison. Wisconsin, n. 72, p1-16, 1966.

BOHLEN, J. C. Shear strength of Douglas-fir laminated veneer lumber. **For. Prod. J.**, Madison, v. 25, n.2, p.16-23, 1975.

_____ Tensile strength of Douglas-fir laminated veneer lumber. **For. Prod. J.**, Madison, v. 24, n.1, p.54-58, 1974.

_____ LVL Laminated-veneer lumber: Development and economics. **For. Prod. J.**, Madison, v. 22, n.1, p.18-26, 1972.

BOLAND, D. J. (Coord.) **Forest trees of Australia**. Sidney: CSIRO, 1994, 687p.

BORTOLETTO JÚNIOR, G Determinação do módulo de elasticidade na flexão estática pelo uso do deflectômetro e do sensor de deslocamento em ensaios não-destrutivos. In: Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (arquivo de computador, 192), São Carlos-SP: EESC/USP, 2000. 1 Cd-room.

BOSTRÖM, L. A. Comparison between four different timber strength grading machine. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD (9:1994: Madison) Proceedings. Madison, Wisconsin: Forest Products Society, 1994. P. 157-67.

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, Piracicaba, (5): 81-90, 1972.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. elliottii plantado no sul do Brasil**. Curitiba 1995, 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

_____ **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards**. Curitiba 1984, 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BUCCUR, V. **Ondes Ultrasonores dans lê Bois. Caracterisation Mécanique et Qulité de Certaines Essences de Bois**. PhD. Thesis, Institut Superieur dês Matériaux, Paris. 1984.

_____ Relationship between grain of wood specimens and ultrasonic velocity. Catgut Acoust. Soc. Newslett. n. 41, 30-35. 1984.

CARRASCO, E. V. **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada (MCL)**. São Carlos, 1989. 322f. Tese (Doutorado). EESC – Universidade de São Carlos.

CHA, J. K.; PEARSON, R. G. Stress analysys and prediction in 3-layer laminated veneer lumber: response to crack and gran angle. **Wood and Fiber Science**. v.26, n.1, p.97-106, 1994.

CHUGG, W. A. **Glulam: theory and pratice of the manafacture of glued-laminated timber structure**. London. Ernest Benn. 423 p. 1964.

COWN, D.J. Evaluation of the pilodyn wood tester for the assessment of wood density in standing trees. In: *Breeding Pinus radiata*. IUFRO, Working party S2. 03. 09, Newsletter (3): 10-13. 1979.

CURRÓ, P. Variazione dell: umità e variazione della densità basale in 15 piante di *Eucalyptus camaldulensis*. Roma, Centro di Sperimentazione Agrícola e Forestale.

1957. v. 1, p. 227-38.

DELESPINASSE, B. F. M. **Simulação de análise de investimentos na indústria de compensados do Brasil**. Curitiba 1995, 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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 *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, 1999. 87p.

EMBRAPA - Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Ministério da Agricultura – Programa Nacional de Pesquisas Florestais – PNPFF (EMBRAPA/IBDF). Curitiba, 1986, 89p.

ETHINGTON, R. L. **Stiffness and bending strength of beams laminated from two species of wood**. IOWA, 1960. Thesis (Master Science). Report n. 2156. p.1-50. Madison, in cooperation with the University of Wisconsin.

FAO, **Eucalyptus for Planting**. Roma, 503 f, 1981,

FERREIRA, C. A; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações de eucaliptos na região de Mogi-Guaçu (SP). IPEF, Piracicaba, 18: 106-117, 1979.

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

_____ Escolha de espécies de eucalipto. Circular Técnica IPEF, v. 47, 1979, p.1-30.

_____ Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Piracicaba, ESALQ, 1970. 62p. (Tese Livre Docência).

FOREST PRODUCTS LABORATORY – USDA Techniques for peeling, slicing, and drying veneer. Madison. 1974.

FORWOOD. Report of the forestry and wood based industries development. Camberra: Aust. Govt. Publ. Serv., 1975.

FREAS, A. D. & SELBO, M. L. Fabrication and design principles of glued laminated wood structural members. **Technical bulletin. FPL USDA**. Forest Service, Washington, n. 1069. 1954, p.1-220.

FURIATI, M. **Classificação de peças estruturais de madeira**. São Carlos, 1981. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GABRIEL, M. S. C. **O uso das ondas de tensão na qualificação mecânica da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Botucatu 2000, 94f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu.

GALVÃO, AP.M. Aspectos da utilização da madeira de eucalipto no Brasil: Seu aproveitamento na serraria. **IPEF – Boletim Informativo**, v.4(12), p. 1-23, jul. 1976a.

GEIMER, R.L.; MONTREY, H.M.; LEHMANN, W.F. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. **For. Prod. Jour.** 25 (3), p. 19-29, 1975.

GERHARDS, C.C. *Effect of cross grain on stress waves in lumber.* Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1981 (Res. Pap. FPL-RP-368).

_____ *Effect of knots on stress waves in lumber.* Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1982 (Res. Pap. FPL-RP-384).

GOLFARI, L. **Esquema de zoneamento ecológico florestal para o Brasil. Belo Horizonte**: IBDF, 1974. 12f.

GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F. A. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para as diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, v.1, n.3, p. 3-23, 1970.

GONÇALVES, R.; PUCCINI, C.T. Utilização do ultra-som na avaliação de aspectos de qualidade da madeira. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS**, 6. Florianópolis, 1998. **Anais**.

GROHMANN, S. Z. **Vigas de Madeira laminada colada com lâminas pré-classificadas de *Eucalyptus grandis*.** Florianópolis 1998, 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

HALLIGAN, A F. A review of thickness swelling in particleboard. Spring Verlag, 1970. **Wood Science and Technology**, v.4, p. 301-312, 1970.

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

HEGER, L. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir and lodgepole pine. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 4, n. 30 p.321-326, 1974.

HILBRAND, H. C.; MILLER, D. G. Machine grading – theory and practice. **Forest Products Journal**. Madison, Wisc., v. 16, n. 11, p.28-34, 1966.

HILLS, W .E.; BROWN. A. G. **Eucalyptus for Wood Production.** CSIRO, Adelaide, 1978.

HOYLE JR, R. J. A nondestructive test for stiffness. **Forest Products Journal**,

Madison, Wisc., v.1, n.6, p. 251-254, 1961.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. Curitiba 1989, 124 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

_____ **Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não destrutivo**. Curitiba 1982, 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

JANKOWSK, I. P.; AGUIAR O. J. R. Manufatura de painéis compensados com *Eucalyptus*: Caracterização de diversas espécies. **Revista Floresta**. Curitiba, v.14, n.1, 1983.

JOHNSON, J. W. efficient fabrication of glued-laminated timbers. **Journal of Structural Division**. American Society of Civil Engineers. New Orleans, v. 99, n. 03, p. 431-442. Mar. 1973.

JUNG, J. Proprieties of parallel laminated veneer from stress-wave-tested veneers. **Forest. Products Journal**, Madison, v.32, n.7, p.30-35, 1982.

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

KALINKOV, V.; GEORGIEV. Effect of altitude on the wood structure of scots pine in the Rila mountains. *Gorskostopanska Nauka*, Bulgária, v.16, n.7, p.305-309, 1979. Apud: *Forestry Abstracts*, Oxford, v.41, n.10, 1980.

KEINERT JÚNIOR, S **Laminação, produção e testes de compensados a partir de *Eucalyptus spp.*** (Relatório de Pesquisa apresentado ao CNPq. Curitiba, 1994, 93 f. , (não publicado).

_____ Chapas de composição estruturais com reforço laminar. **Revista Floresta**. Curitiba, v.19, n.1 e 2, p. 86-95. 1989.

_____ Inchamento e tensões de inchamento em painéis compensados. *Boletim Técnico – Fundação de Pesquisas do Paraná*, nº 1. 1989.

_____ Chapas de partículas estruturais a partir de *Pinus* e *Eucalyptus spp.* In: **SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS**. CURITIBA, Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 315-326.

_____ **A viabilidade de utilização de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus viminalis* para produção de chapas de composição**. Curitiba 1985, 76 f. Tese (Professor Titular) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. **USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. FPL –10**, 1977, 66p.

KESSEL, M.H.; SANDOZ, J.L. Zur Effizienz der Festigkeitssortierung von Fichtenkantholz Teil 1. *Vergleich europäischer Normen*. 1989. Holz als Roh-und Werkstoff 47:279-289.

KIKUTI, P. Manejo de eucalipto para uso múltiplo na Klabin. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. p.41.

KIMBALL, K. E. Accelerated methods of drying thick-sliced and thin-sawed Loblolly pine. *For. Prod. J.*, Madison, v. 18, n.1, p.31-38, 1968.

KLOOT, H. & LEICESTER, R. H. Proof testing as a Grading Technique for Structural timber In: FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE, (18: 1977 Highett). **Contributed Papers**. 11 p., 1977.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba 2000, 292 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

_____ **Qualidade da Madeira de *Pinus oocarpa* Scheide e *Pinus caribaea* Morelet var. *Hondurensis*, Barr e Golf**. Curitiba 1989 Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KNIGGE, W.; SCHULZ, H. Growndise der Forestbenutzung. Varlang Paul Parey, Hanburg and Berlin, 1966. 584p.

KOCH, P. Strength of beams with laminae located according to stiffness. *For. Prod. J.*, Madison, Wisc, v. 14, n.10, p.456-460, 1964a.

KOCH, P; BOHANNAN, B. Beam strength as affected by placement of veneers. *For. Prod. J.*, Madison, Wisc., v. 15, n. 07, p. 289-296, 1965.

KOCH, P; WOODSON, G. E. Laminating butt-jointed, log run southern pine veneers into log beams of uniform high strength. *For. Prod. J.*, Madison, v. 18, n.10, p.45-51, 1968.

_____ Location of laminae by elastic modulus may permit manufacture of very strong beams from rotatory-cut southern pine veneer. **U. S. Forest Service. Research Paper**, Louisiana, **SO-30**, 1967. 12p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JR, W. A. **Principles of wood science and technology: solid wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 562p.

KRETSCHMANN, D. E. *et al.* Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber. **USDA. Forest Service. Research Paper, FPL-521**, Madison, p.1-31, 1993.

LAMPRECH, H. Silvicultura nos trópicos. Eschborn: GTZ, 1990, 343p.

LARA PALMA, H. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensados de *Pinus elliottii* Engelm. E *Pinus taeda* L.** Curitiba 1994, 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor

de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

_____ **Tanino-formoldeído como adesivo na manufatura de painéis compensados de *Pinus elliottii* Engelm.** Curitiba 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LAUFENBERG, T.L. Parallel-laminated veneer: processing and performance research review. **For. Prod. J.**, Madison, v. 33, n.9, p.21-28, 1983.

_____ Exposure effect upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. **For. Prod. J.**, Madison, Wisc., n. 32, n. 5, p. 42-48, 1982.

LEMA, C. N.; KITALI, M. M.; KLEM, G. S. Basic density and its variation within and between trees of pine (*Pinus patula*) and cypress (*Cupressus lusitanica*) in the Meru Forest Project. Morogoro: University Dar as Salam, 1978. 11p. Apud: Forest Abstracts, Oxford, v.41, n.5, 1980.

LUTZ, J. F. Wood veneer: log selection, cutting and drying. **USDA Technical Bulletin**, p.15-77, 1978.

LUZ, H. F.; MELZER, J. F.; COUTINHO, C. J.; FERREIRA, M. C. Manejo de florestas de eucalipto para uso múltiplos. Eucatex Florestal, 1992, 30p.

LUXFORD, R. F. Strength of glue-laminated spruce made up of rotatory veneers. **USDA Forest Service, FLP Rep. 1512.** Forest Prod. Lab. Madison, 1944.

MAC MILLAN, W. P. **Reconstituted Wood Products**, In: HILLS, W. E.; BROWN, A. G.. **Eucalyptus for Wood Products.** Adelaide, CSIRO, 1978.

MALONEY, T. M. Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard Manufacturing. 1 ed. San Francisco: M. Freeman, 1977. 672p.

MADSEN, B. Research on design of structural glued-laminated material. **Forest Products Journal.** Madison, Wisc., v. 12, n. 10, p. 497-502, 1962.

MCSKIMIN, H. J. Ultrasonic Methods for measuring the mechanical properties of liquids and solids. In **Physical Acoustics**. Vol. 1, Part A, Mason, W. P. (Ed.). Academic Press, New York. 1964.

MARRA, G. G. Development of a method for rapid laminating of lumber without the use of high-frequency heat. **For. Prod. J.**, Madison, v. 06, n.3, p. 97-104, 1956.

MATOS, J. L. M. **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Curitiba 1997, 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

_____ Ciclo de prensa em chapas de partículas "Waferboards" Curitiba 1988, 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATSUNAGA, D. K. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da norma européia unificada (CEN), à construção de vigas laminadas coladas.** Curitiba 1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARX, C. M.; MOODY, R. C. bending strength of shallow glued-laminated beams of a uniform grade. **Research Paper**. FPL USDA. Forest Service, Madison, n. 380, p.1-32, Feb.1981.

_____ Strength and stiffness of small glued-laminated beams with different Qualities of tension laminations. **Research Paper**. FPL USDA. Forest Service, Madison, Wisc., n. 381, p1-50, May. 1981.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento nas lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Eng.** Curitiba 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MENDES, L. M. *Pinus spp.* **Na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** Curitiba 2001, 156f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

MOSLEMI, A A **Particleboard.** Illinois, Southern Illinois University Press, 1974. v.2, 245p.

MOODY, R. C. Flexural strength of glue-laminated timber containing coarse-grain southern pine lumber. **Research Paper**, FLP. USDA. Forest Service, Madison. Wisc., n. 222. p.1-39, 1974.

_____ Design criteria for large structural glued-laminated timber beams using mixed species of visually grader lumber. **Research Paper**, FLP. USDA. Forest Service, Madison. Wisc., n. 236. p.1-39, 1974.

MUÑIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de métodos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem de madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993, 236 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NIELSEN, I. R. **Utilização da madeira comercial do híbrido de *Eucalyptus urophylla* S, T Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex- Maiden na confecção de vigas laminadas coladas.** Curitiba 1998, 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

NOCK, H. G.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da Madeira.** Apostila. Setor de Ciências Agrária, Universidade Federal do Paraná, 1978, 201p.

OROSZ, I. Some non destructive parameters for prediction of strength of structural

lumber. **Research Paper**, FLP USDA. Forest Service, Madison, Wisc., n.100, p. 7 Oct. 1968.

PANSHIN, A J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology**. New York, Mc Graw-Hill, 1970. 705p.

PAPADAKIS, E. P. The measurement of ultrasonic attenuation. In *Physical Acoustics*. Vol. 19, Thurston, R.N. and Pierce, A.D. (Eds.) Academic Press, New York, 108-155. 1990.

PARKER, H. **Simplified design of structural wood**. New York: J. Willy, 1979. 269p.

PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. **Forest Product Journal**, Madison, v. 30, n. 5p.47-54, 1980.

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Piracicaba, 87 f.1995.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. Curitiba 1996, 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PONCE, H. R. Eucalipto como madeira serrada. In: I Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal. 1993, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte. SIF; UFV; DEF, 1995. 328p.

PUCCINI, C. T.; GONÇALVES, R. Utilização do ultra-som na avaliação de aspectos de qualidade da madeira. In: VI EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Florianópolis, SC. v. 1, p. 13-21. 1998.

RASMUSSEN, D. L. **The Strength of Laminated Veneer Lumber (LVL) Made From Second Growth Grand Fir**. Idaho, 1994. 49 p. Thesis. Master of Science University of Idaho.

RESTREGO, G.; STHOR, G. W. D. **Resultados preliminares de ensaios de procedência de *Eucalyptus* spp. L'Herit no Sudeste do Paraná-Brasil**. In: Melhoria Genética e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento. Simpósio IUFRO, Campos do Jordão SP. Silvicultura. Anais v.3, p497-502, 1983.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serraria**. Curitiba, 2000, 185 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden na geração de produtos com maior valor agregado**. Curitiba 1993, 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: a review. **General Technological Reprot. FPL. USDA. Forest Service** Madison. Wins., n. 70, p. 1-40, May, 1994.

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

RUDOLPH, J. J.; SIMÕES, J.W.; JAMES, L. M. Forestry in Brazil: An awakening giant. **Journal of Forestry** v.76, n.12, p.784-786, 1978.

SALES, A. Metodologia para a obtenção dos sistemas de classes de resistência de madeira. In: VI EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Florianópolis, SC. v. 1, p. 13-21. 1998.

_____. Classes de Resistência para madeira segundo a NBR 7190/97. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Florianópolis, SC. v. 1, p. 25-33. 1998.

_____. **Proposição de classes de resistência para madeira**. São Paulo 1996, 223 p. Tese (Doutor em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SANDOZ, J. L. Valorization of forest products as buiding materials using nondestructive testing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD. (9.:1994: Madison). **Proceedings of the Ninth International Symposium on Nondestructive Testing of Wood**. Madison, Wisconsin, Washington State University, 1994. P. 103-109.

_____. Non-destructive Evaluation for Building Timber. Visual and Ultrasound Grading. In: TIMBER ENG. CONF., Sept. 1991, London, UK.

_____. Grading of Construction timber by ultrasound. **Wood Science and Technology**, 23 (2), 95-108p., 1989.

SELLERS JUNIOR, T. Factors influencing the wood quality of plantation-grown slash pine. **For. Prod. J.** Madison, v.12, n.9, p. 443-446, 1962.

SENFTE, E. J.; DELLA LUCIA, R. M. Increased utilization of tropical hardwood through species – independent structural grading. **For. Prod. J.**, v.29, n.6, p. 22-28, 1979.

SILVA, J. R. M. da; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F. & LIMA, J. T. Análise quali-quantitativa da usinagem do *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. In: Eucalyptus: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalyptus. Salvador, Brasil. 24-29 de agosto . 1997. p. 32-35.

SILVA, J. R. M. da & WENZEL, M. K. Utilização da madeira eucalipto na produção de móveis – obtenção da matéria prima. In: Seminário “Eucalipto uma Visão Global”. Minascentro. Belo Horizonte, 29 de setembro de 1995.

SIMULA, M. T. & TISSARI, J. T. Market Prospects for Eucalyptus Solid Wood Products

in European Commum Market. In: 1^o Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e 1^o Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte, 7 a 11 de dezembro 1998, p. 29-48.

SCHAFFER, E. L. *et al.* FPL Press-Lam process: Fast, efficient conversion of logs into structural products. **For. Prod. J.**, Madison, v. 22, n.11, p.11-18, 1972a.

SCHAFFER, E. L. *et al.* Feasibility of producing a high-yeld laminated structural product: General summary. **U. S. Forest Products Laboratory. Research Paper FLP-175**, 1972b. 20p.

STALNAKER, J.; HARRIS, E. C. Structural design in wood. 2. ed. New York, USA: Ed Chapman & Hall, 1977.

STEER, P. J. Structures en bois aux átats limits: 1 introduction à l'eurocode 5 – matériaux et bases de calcul. 1. ed. Paris, 1996.

SUCHSLAND, O. An analysis of the particleboard process. **Q. Bull. Michigan Agr. Exp. Sta. Michigan State Univ.**, 42(2): 350-372, 1959.

TOMASELLI, I Secagem das lâminas para indústria de Painéis. Madeira Móveis. São Paulo, 1983, p. 27-33.

_____ **Qualidade da madeira de *Pinus elliotii*, *Pinus taeda* e *Araucária angustifólia* e sua correlação com as propriedades do papel.** Relatório Convênio FINEP/UFPR, n^o 18/79. Curitiba, 1979, 16p.

TRENDELENBURG; R.; MAYER-WEDELIN, H. **Das holz als rohstoff**. Munchen: Carl Hanser Verlag, 1956. 541 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood, structure, properties, utilization**. New York: Chapman e Hall, 1991. 498p.

VAN BUIJTENEN, J. P. Relationships between wood properties and pulp and paper properties. In: SECOND WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, Washington, 1969. Invited papers. Washington, 1969. 13p. (FO-FTB-69-4/5).

VITAL, B. R. & DELLA LUCIA, R. M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. Informe Agropecuário n^o 141. Belo Horizonte, MG., 1986.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M; ANDRADE, D. C. Efeito da Idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais . Brasília, IBDF, 1984. p.49-52. (Boletim Técnico, 8).

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **For. Prod. J.**, 24 (12): 37-45, 1974.

YOUNGQUIST, J. A Laminated veneer lumber – a high quality structural lumber substitute. In: Symposium on Forest Products Research International Achievements and

the Future; v. 6. 1985 p. 22-26; Pretoria Republic of South Africa. South Africa Council for Scientific and Industrial Research, National Timber Research Institute.

YOUNGQUIST, J. A.; BRYANT, B. S. Production and marketing feasibility of parallel-laminated veneer products. **For. Prod. J.**, Madison, Wisc., v. 29, n. 8, p. 45-48. 1979.

WALTERS, C. S.; REISS, W. L. Predicting modulus of rupture from modulus of elasticity for small, clear specimens of oak and cottonwood. **For. Prod. J.**, Madison, Wisc., v. 27, n. 6, p. 51-53. June 1977.

WAUGH, G. Sawing of young, fast grown Eucalyptus. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA – I SIMATEC, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte. SIF; UFV; DEF, 1998. 271p.

WEDGEWOOD, A. Data processing in ultrasonic NDT. *Proc. Ultrasonic Int.* 87, 1984 381-386, London UK.

ANEXOS

ANEXO 1

ANOVA PARA A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

ANEXOS 2 a 9

ANOVA PARA A ESPESSURA DA LÂMINAS ATRAVÉS DO MOED POR IDADE E CLASSE DE RIGIDEZ

ANEXO 1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO ENTRE IDADES

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Idade	0,046669	1	0,046669	17,92 *	0,0001
Erro	0,0963557	37	0,00260421		
Total	0,143025	38			

ANEXO 2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – PARA CLASSE A

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	5,24635E10	3	1,74878E10	394,54 *	0,0000
Erro	6,24984E9	141	4,43251E7		
Total	5,87134E10	144			

ANEXO 3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – NO CONFRONTO DAS CLASSE AxB

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	8,02161E10	7	1,14594E10	269,32 *	0,0000
Erro	8,4673E9	199	4,25492E7		
Total	8,86834E10	206			

ANEXO 4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – NO CONFRONTO DAS CLASSE AxC

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	2,94727E11	7	4,21038E10	725,38 *	0,0000
Erro	1,35823E10	234	5,8044E7		
Total	3,08309E11	241			

ANEXO 5 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – PARA CLASSE B

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	2,68978E10	3	8,96592E9	234,51 *	0,0000
Classes					
Erro	2,21745E9	53	3,82319E7		
Total	2,91152E10	61			

ANEXO 6 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – NO CONFRONTO DAS CLASSE BxD

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	1,77582E11	7	2,53688E10	402,23 *	0,0000
Classes					
Erro	9,77345E9	155	6,30545E7		
Total	1,87355E11	162			

ANEXO 7 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – PARA A CLASSE C

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	4,3048E10	3	1,43493E10	182,00 *	0,0000
Classes					
Erro	7,33244E9	93	7,88435E7		
Total	5,03804E10	96			

ANEXO 8 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – PARA CLASSE CxD

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	9,75079E10	7	1,39297E10	177,76 *	0,0000
Classes					
Erro	1,48884E10	190	7,83602E7		
Total	1,12396E11	197			

ANEXO 9 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O FATOR ESPESSURA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ -PARA CLASSE D

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	5,37188E10	3	1,79063E10	229,87 *	0,0000
Classes					
Erro	7,556E9	97	7,78969E7		
Total	6,12748E10	100			

ANEXOS 10 a 17

ANOVA PARA A MASSA ESPECÍFICA DAS LÂMINAS POR IDADE E CLASSE DE RESISTÊNCIA

ANEXO 10 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NA CLASSES DE RIGIDEZ – CLASSE A

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,237971	3	0,0793236	66,91 *	0,0000
Classes					
Erro	0,167148	141	0,00118545		
Total	0,405119	144			

ANEXO 11 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ –
CLASSES Ax B

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,346737	7	0,0495338	43,07 *	0,0000
Classes					
Erro	0,228859	199	0,00115005		
Total	0,575596	206			

ANEXO 12 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ –
CLASSES Ax C

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,984754	7	0,140679	111,97 *	0,0000
Classes					
Erro	0,293994	234	0,00125638		
Total	1,27875	241			

ANEXO 13 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ – CLASSE
B

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,10765	3	0,0358832	33,73 *	0,0000
Classes					
Erro	0,061711	58	0,00106398		
Total	0,169361	61			

ANEXO 14 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ -
CLASSES BxD

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,803354	7	0,114765	83,63 *	0,0000
Classes					
Erro	0,212716	155	0,00137236		
Total	1,01607	162			

ANEXO 15 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NA CLASSES DE RIGIDEZ -CLASSE C

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,0579993	3	0,0193331	14,17 *	0,0000
Classes					
Erro	0,126845	93	0,00136393		
Total	0,184845	96			

ANEXO 16 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES - NAS CLASSES CxD

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,123187	7	0,0175981	12,03 *	0,0000
Classes					
Erro	0,27785	190	0,00146237		
Total	0,401037	197			

ANEXO 17 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA LÂMINAS
VERIFICANDO O COMPORTAMENTO ENTRE E DENTRO DAS CLASSES DE
RIGIDEZ -NA CLASSE D

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,0256282	3	0,00854274	5,49 *	0,0016
Classes					
Erro	0,151005	97	0,00155675		
Total	0,176633	100			

ANEXOS 18 a 26

ANOVA PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSE DE RESISTÊNCIA

ANEXO 18 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – MASSA ESPECÍFICA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,284867	5	0,0569735	213,60 *	0,0000
Classes					
Erro	0,0186713	70	0,000266733		
Total	0,303539	75			

ANEXO 19 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	211,388	5	42,2776	112,04 *	0,0000
Classes					
Erro	217,638	62	3,5103		
Total	429,026	67			

ANEXO 20 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – INCHAMENTO EM ESPESSURA 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	50,8995	5	10,1799	3,38 *	0,0092
Classes					
Erro	186,888	62	3,01433		
Total	237,788	67			

ANEXO 21 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO 2 HORAS DE IMERSÃO VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,00228267	5	0,000456535	1,20 *	0,3201
Classes					
Erro	0,0236045	62	0,000380718		
Total	0,0258872	67			

ANEXO 22 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – EXPANSÃO LINEAR NO COMPRIMENTO 24 HORAS DE IMERSÃO VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,02268556	5	0,00453713	8,26 *	0,0000
Classes					
Erro	0,340382	62	0,000549003		
Total	0,0567238	67			

ANEXO 23 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA 2 HORAS DE IMERSÃO VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	0,576473	5	0,115295	29,50 *	0,0000
Classes					
Erro	0,242352	62	0,0039089		
Total	0,818825	67			

ANEXO 24 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – EXPANSÃO LINEAR NA LARGURA 24 HORAS DE IMERSÃO EM ÁGUA VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	2,81615	5	0,563231	18,60 *	0,0000
Classes					
Erro	1,87767	62	0,0302851		
Total	4,69383	67			

ANEXO 25 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA – ABSORÇÃO DE ÁGUA 2 HORAS DE IMERSÃO VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	53,2881	5	10,6576	24,06 *	0,0000
Classes					
Erro	27,4592	62	0,442891		
Total	80,7473	67			

ANEXO 26 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE FÍSICA - ABSORÇÃO DE
ÁGUA 24 HORAS DE IMERSÃO VERIFICANDO O COMPORTAMENTO NAS
CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	487,154	5	97,4308	76,02 *	0,0000
Classes					
Erro	79,4574	62	1,28157		
Total	556,611	67			

ANEXOS 27 a 37

ANOVA PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS POR IDADE E CLASSE DE RESISTÊNCIA

ANEXO 27 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA – ENSAIO SECO POR CLASSE DE RESISTÊNCIA

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	42695,7	5	8539,14	11,0 *	0,0000
Classes					
Erro	87743,2	113	776,489		
Total	130439,9	118			

ANEXO 28 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA – ENSAIO COM FERVURA POR CLASSE DE RESISTÊNCIA

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	6080,93	5	1216,19	10,97 *	0,0000
Classes					
Erro	12638,4	114	110,864		
Total	18719,4	119			

ANEXO 29 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA COMPRESSÃO PERPENDICULAS AS FIBRAS – TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL POR CLASSE DE RESISTÊNCIA

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	26258,4	5	5251,67	40,84 *	0,0000
Classes					
Erro	8615,56	67	128,59		
Total	34873,9	72			

ANEXO 30 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS – TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO (MOR) POR CLASSE DE RESISTÊNCIA

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	554184,0	5	110837,0	208,10 *	0,0000
Classes					
Erro	41010,8	77	532,608		
Total	595195,8	82			

ANEXO 31 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PARALELA POR CLASSE DE RESISTÊNCIA

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	473373,0	5	94674,6	96,19 *	0,0000
Classes					
Erro	75787,1	77	984,248		
Total	549160,1	82			

ANEXO 32 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	5,93767E7	5	1,18753E7	18,46 *	0,0000
Classes					
Erro	4,9531E7	77	643260,0		
Total	1,08908E8	82			

ANEXO 33 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS - MOR DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	2,30797E6	5	461594,0	52,32 *	0,0000
Classes					
Erro	635177,0	77	8821,9		
Total	2,94314E6	82			

ANEXO 34 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA PARA O MÓDULO DE RUPTURA DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito	2,98695E6	5	597390,0	36,04 *	0,0000
Classes					
Erro	1,16026E6	70	16575,20		
Total	4,14721E6	75			

ANEXO 35 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA PARA A TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ - ENSAIO DESTRUTIVO

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	12483,3	5	2496,67	2,75 *	0,0250
Erro	63453,1	70	906,472		
Total	75936,4	75			

ANEXO 36 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ - ENSAIO DESTRUTIVO

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	2,8034E8	5	5,60691E7	8,95 *	0,0000
Erro	4,38457E8	70	6,26368E6		
Total	7,18803E8	75			

ANEXO 37 ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA PARA MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DOS PAINÉIS POR CLASSES DE RIGIDEZ - ENSAIO DESTRUTIVO

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	P
Efeito Classes	4,97938E10	5	9,95877E9	179,57 *	0,0000
Erro	3,88212E9	70	5,54588E7		
Total	5,3676E10	75			

ANEXOS 38 a 39

MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA A PROPRIEDADE MECÂNICA DE FLEXÃO ESTÁTICA
POR IDADES

ANEXO 38 MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA A PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA - NA IDADE 15 ANOS

	ME	MOR	MOE	TLP	MOEd
ME	1,00				
MOR	0,65	1,00			
MOE	0,30	0,28	1,00		
TLP	-0,06	-0,03	0,29	1,00	
MOEd	0,87	0,61	0,27	0,08	1,00

ANEXO 39 MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA A PROPRIEDADE MECÂNICA FLEXÃO ESTÁTICA - NA IDADE 20 ANOS

	ME	MOR	MOE	TLP	MOEd
ME	1,00				
MOR	0,26	1,00			
MOE	0,13	0,18	1,00		
TLP	0,06	0,06	0,14	1,00	
MOEd	0,50	0,56	0,13	0,13	1,00