

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS NA**  
**PRODUÇÃO DE PAINÉIS LVL CONFECCIONADOS COM**  
**PARICÁ** (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)

**RAFAEL RODOLFO DE MELO**

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD – 026/2012**

**BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MELO, RAFAEL RODOLFO

Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). 2012.

x. 166p., 210-297mm (EFL/FT/UnB), Doutor, Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal.

- |                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. Laminated Veneer Lumber       | 4. Painéis de madeira |
| 2. Propriedades físico-mecânicas | 5. Laminação          |
| 3. Avaliações não destrutivas    | 6. Adesivos           |
| I. EFL/FT/UnB                    | II. Título (série)    |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MELO, R.R. (2012) Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 026/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rafael Rodolfo de Melo

TÍTULO: Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke).

GRAU: Doutor

ANO: 2012

É concedida a Universidade de Brasília e quem mais interessar, a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.



Rafael Rodolfo de Melo

UFMT-ICCA-CUS

Av. Alexandre Ferronato, N. 1200,  
Distrito Industrial - CEP 78557-267,  
Sinop - MT - Brasil

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS  
NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS LVL CONFECCIONADOS COM  
PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

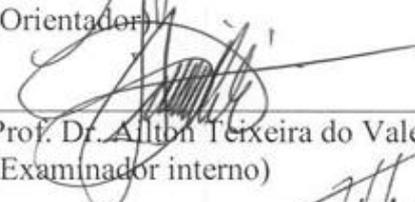
**RAFAEL RODOLFO DE MELO**

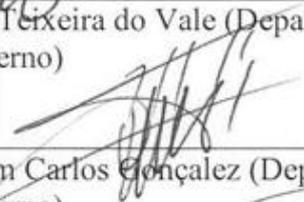
TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

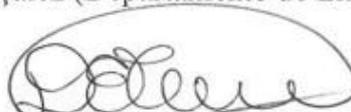
**APROVADA POR:**

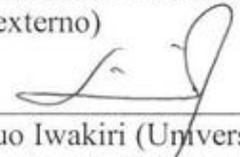
APROVADA POR:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Claudio Henrique Soares Del Menezzi (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Allton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);  
(Examinador interno)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);  
(Examinador interno)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Divino Eterno Teixeira (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA);  
(Examinador externo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Setsuo Iwakiri (Universidade Federal do Paraná - UFPR);  
(Examinador externo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa (Departamento de Engenharia Florestal - UnB);  
(Examinador suplente)

**Brasília-DF, 03 de setembro de 2012**

## **BIOGRAFIA**

RAFAEL RODOLFO DE MELO, filho de Francisco Rodolfo de Melo (*in memorian*) e Francisca Sousa de Melo, nasceu em 08 de julho de 1984 no município de Sousa, Estado da Paraíba.

Realizou os estudos de primeiro grau (1991-1998) na Escola Estadual Doutor Silva Mariz (1º a 4º série) e no Instituto Joaquina de Paiva Gadelha (5º a 8º série), ambas localizadas no município de Marizópolis-PB. De 1999 a 2001 cursou o segundo grau na Escola Estadual Mestre Júlio Sarmiento (Poli II) na cidade de Sousa-PB.

Em 2002, iniciou o curso de graduação em Engenharia Florestal no Campus de Patos-PB pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). No mesmo ano, com desmembramento da UFPB, o Campus de Patos passou a fazer parte da então recém-criada Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), instituição pela qual concluiu o referido curso em fevereiro de 2007.

Em março de 2007 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área de concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, concluindo em fevereiro de 2009. No mês de março do mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado em Ciências Florestais da Universidade de Brasília (UnB), novamente na área de concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Em abril de 2010, foi aprovado no concurso público de prova e títulos para Professor Assistente da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus de Bom Jesus-PI, onde permaneceu de maio/2010 a maio/2012, lecionando disciplinas para os cursos de Graduação em Engenharia Florestal, Agronomia e Ciências Biológicas. Ainda em maio/2012 foi redistribuído para a Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Campus de Sinop-MT.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade de Brasília (PPGCF-UnB) pelo aceite e apoio.

Ao Professor Cláudio Henrique Soares Del Menezzi pela amizade, apoio, compreensão e orientações. Ao Pesquisador Mário Rabelo de Souza pela auxílio, colaborações e coorientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro, Brasília-DF, pela disponibilização do espaço, equipamentos e funcionários para confecção dos painéis, amostras e realização de alguns ensaios.

Ao Centro de Pesquisa do Paricá (CPP) e as empresas Portas Itinga Limitada – PORTIL<sup>®</sup> e Rio Concrem Industrial Limitada<sup>®</sup> pela doação das laminas de paricá, receptividade e possibilitar a realização dos estudos de rendimento de laminação.

À Franklin Internacional pela disponibilização dos adesivos.

Ao INCT Madeiras da Amazônia pelo recurso utilizado na compra do goniômetro.

Aos membros da banca avaliadora, Setsuo Iwakiri (UFPR), Divino Eterno Teixeira (SFB-LPF), Ailton Teixeira do Vale, Joaquim Carlos Gonzalez e Alexandre Florian da Costa (UnB), pelas correções e sugestões apresentadas.

A CAPES pela concessão da bolsa no primeiro ano dos estudos.

A UFPI e UFMT pela compreensão e liberações periódicas.

À Larissa Medeiros Arruda, Diego Martins Stangerlin, Francisco Rodolfo Júnior, Bruno Ettore Pavan, Fagno Tavares de Oliveira, Rebla Gonçalves Vasconcelos, Raul Sivestre, Eder Pereira Miguel, pela amizade e ao auxílio no desenvolvimento de alguma atividade nas diferentes etapas desse trabalho.

Aos amigos Júlio César Sobreira Ferreira e João Goulart Batista Reis

Aos colegas do Programa – Sabrina Andrade Martins, Joana Mendes Ferraz, Cristiane Tavares de Oliveira, Marcela Siqueira Amorim, Maria do Carmo Learth Cunha, Marcos Antônio Camargo Ferreira, Michelle Carmelinda Pegorini Bordini, Cândida Pereira da Costa, Ricardo Faustino Teles, Frederico de Souza, Patrícia Ribeira, pela amizade e/ou companheirismo.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

Obrigado!

Aos meus pais,

**Francisca de Sousa Melo e**

**Francisco Rodolfo de Melo** (*in memoriam*),

aos meus irmãos,

**Maria do Socorro de Melo**

**Rodolfo Chesma de Melo**

**Rodrigo Rodolfo de Melo**

**Francisco Rodolfo Júnior**

à minha namorada

**Talita Dantas Pedrosa**

dedico este trabalho.

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS LVL CONFECCIONADOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)

Autor: Rafael Rodolfo de Melo

Orientador: Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília, setembro de 2012.

O trabalho teve como objetivo avaliar variáveis tecnológicas envolvidas no processo de manufatura de painéis LVL produzidos com a madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*). Para isso foi analisado o rendimento em laminação da espécie, a qualidade das lâminas produzidas e influência dos fatores, espessura das lâminas, método de montagem do painel e tipo de adesivo utilizado, nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Também foi avaliada a aplicabilidade de diferentes métodos de avaliação não destrutiva para predição das propriedades desses. Foi observado que o paricá apresenta um elevado rendimento em laminação, sendo observado em média um volume aproximado de 59% em lâminas verdes para cada tora laminada. O rendimento em laminação pode ser facilmente estimado por meio de variáveis dendrométricas da tora. As lâminas produzidas apresentaram coloração branco-acinzentada, baixa massa específica ( $0,32 \text{ g/cm}^3$ ) e baixa estabilidade dimensional (coeficiente anisotrópico de 2,94). A utilização de lâminas de menor espessura proporcionou a manufatura de painéis mais resistentes, em contrapartida, estes apresentam eficiência inferior aos produzidos com lâminas mais espessas ao se considerar a quantidade de adesivo empregado para os diferentes tratamentos. De modo geral, dentre os adesivos utilizados, painéis colados com fenol-formaldeído apresentaram melhor desempenho. A pré-classificação das lâminas para montagem dos painéis proporcionou um aumento da resistência destes quando submetidos a esforços na posição *flatwise*. O uso de métodos não destrutivos possibilitou o ajuste de modelos para predição da maior parte das propriedades avaliadas nos painéis.

**Palavras-chave:** compostos estruturais de madeira, LVL, *Schizolobium amazonicum*.

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF TECHNOLOGICAL VARIABLES TO PRODUCE LVL FROM *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke**

Author: Rafael Rodolfo de Melo

Advisor: Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Doctor's Degree Program in Forest Science

Brasília, September, 2012.

The work aimed at evaluating technological variables involved in manufacturing LVL boards produced with veneers *Schizolobium amazonicum* wood. For this purpose, initially it was evaluated the yield and the quality of the veneer produced. Additionally, the influence of the veneer thickness, the panel assembly method and the type of adhesive used on physical and mechanical properties of LVL boards was also studied. It was also evaluated the applicability of different methods of nondestructive evaluation to predict these properties. According to the results *Schizolobium amazonicum* had comparatively high veneer yield: nearly 59%. This yield could be easily predicted by dendrometric variables of the log. The veneers produced presented grayish-white color, low density ( $0.32 \text{ g/cm}^3$ ) and low dimensional stability (anisotropy coefficient 2.94). The utilization of thinner veneers implied in improving mechanical properties, but in contrast, the efficiency was lower than that observed when thicker was used. In general, the comparison between the adhesives types pointed-out that phenol-formaldehyde bonded LVL boards showed better performance. It was observed that nondestructive grading of veneer prior to LVL assembling improved bending strength at flatwise position. Further analysis revealed that both stress wave and ultrasound nondestructive methods were suitable to fit statistically significant models to predict the majority of the LVL boards' properties.

**Key words:** Structural wood composites, LVL, *Schizolobium amazonicum*.

# SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix

## REVISÃO DE LITERATURA

INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESE .....	3
1. O PARICÁ.....	4
1.1. TAXONOMIA E NOMENCLATURA .....	4
1.2. CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE .....	5
1.3. OCORRÊNCIA NATURAL .....	7
1.4. PLANTIOS .....	8
1.5. USOS .....	10
1.6. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA.....	11
1.6.1. <i>Propriedades Organolépticas, Anatômicas e Químicas</i> .....	11
1.6.2. <i>Propriedades Físicas e Mecânicas</i> .....	12
1.6.3. <i>Durabilidade Natural</i> .....	13
2. LÂMINAS DE MADEIRA .....	14
2.1. ESPÉCIES UTILIZADAS PARA LAMINAÇÃO.....	14
2.3. RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO.....	15
2.4. QUALIDADE DAS LÂMINAS .....	16
2.4.1. <i>Rugosidade</i> .....	17
2.4.2. <i>Molhabilidade</i> .....	19
2.4.3. <i>Cor</i> .....	21
2.4.4. <i>Varição em Espessura</i> .....	22
2.4.5. <i>Estabilidade Dimensional</i> .....	23
2.4.6. <i>Avaliação Não Destrutiva de Lâminas</i> .....	24
3. COMPOSTOS ESTRUTURAIS .....	25
4. PAINEL LVL .....	27
5. COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS.....	29
6. ADESIVOS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS .....	31
6.1. ACETADO DE POLIVINILA <i>CROSSLINKING</i> (PVA <sub>c</sub> ) .....	33
6.2. FENOL-FORMALDEÍDO (FF) .....	33
6.3. POLIURETANO (PU) .....	34
7. AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA NA PRODUÇÃO DE LVL .....	35
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## CAPÍTULO I: RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO DO PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DA TORA

1. INTRODUÇÃO.....	45
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	47
2.1. MATÉRIA-PRIMA .....	47
2.2. PREPARO DA TORA E LAMINAÇÃO .....	48
2.3. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO .....	50
2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	51

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4. CONCLUSÕES.....	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

**CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE SUPERFÍCIE DE LÂMINAS DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

1. INTRODUÇÃO.....	65
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	67
2.1. RETRATIBILIDADE .....	67
2.2. PROPRIEDADES DE SUPERFÍCIE .....	69
2.2.1. Análise de Imagem.....	69
2.2.2. Colorimetria .....	69
2.2.3 Rugosidade.....	70
2.2.4. Molhabilidade .....	71
2.3. ANÁLISES QUÍMICAS .....	72
2.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS LÂMINAS.....	72
2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
3.1. CARACTERIZAÇÃO VISUAL.....	75
3.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA .....	77
3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA .....	79
3.3.1. Estabilidade Dimensional.....	79
3.3.2. Rugosidade.....	81
3.3.3. Molhabilidade .....	83
3.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	85
4. CONCLUSÕES.....	87
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

**CAPÍTULO III: INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

1. INTRODUÇÃO.....	92
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	94
2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS .....	94
2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS E CONFECCÃO DAS AMOSTRAS .....	95
2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	96
2.3.1. Propriedades Físicas.....	96
2.3.2. Propriedades Mecânicas.....	97
2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	99
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	101
3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	104
4. CONCLUSÕES.....	109
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109

**CAPÍTULO IV: INFLUÊNCIA DO TIPO DE ADESIVO NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

1. INTRODUÇÃO.....	113
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	115
2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS .....	115
2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS E CONFECCÃO DAS AMOSTRAS .....	115
2.3. ADESIVOS UTILIZADOS .....	116
2.4. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	116
2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	117

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	118
3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	118
3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	122
4. CONCLUSÕES.....	126
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	127

**CAPÍTULO V: EFEITO DA PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

1. INTRODUÇÃO.....	130
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	133
2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS .....	133
2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS .....	133
2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	135
2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	136
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	137
3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	137
3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	140
4. CONCLUSÕES.....	144
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	144

**CAPÍTULO VI: UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**

1. INTRODUÇÃO.....	147
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	149
2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS E MANUFATURA DOS PAINÉIS.....	149
2.2. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....	149
2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	151
2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	153
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	154
4. CONCLUSÕES.....	162
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	162

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

CONCLUSÕES GERAIS.....	165
RECOMENDAÇÕES.....	166

# LISTA DE FIGURAS

## REVISÃO DE LITERATURA

<b>Figura 1.</b> Plantio de paricá com seis meses no município de Dom Eliseu-PA. ....	5
<b>Figura 2.</b> Características observadas para espécie <i>Schizolobium amazonicum</i> – paricá.....	6
<b>Figura 3.</b> Áreas de ocorrência natural do <i>Schizolobium amazonicum</i> . ....	8
<b>Figura 4.</b> Plantio de paricá com 2 anos 6 meses e espaçamento 4 x 4. Diâmetro de um indivíduo de 5 anos de idade após o abate (27 cm) .....	9
<b>Figura 5.</b> Diferenciação de cor entre cerne - madeira e alburno - lâmina.....	11
<b>Figura 6.</b> Disposição dos elementos de vaso e raios (a), composição dos raios (b) e arranjo das pontuações (c), da madeira de paricá aos seis anos de idade.....	12
<b>Figura 7.</b> Medição da superfície utilizando rugosímetro. ....	17
<b>Figura 8.</b> Formas de determinação dos parâmetros de rugosidade - Ra, Rz e Rt .....	18
<b>Figura 9.</b> Ângulo de contato de uma gota de adesivo com a madeira, num meio de vapor, onde $S_{sv}$ é a tensão superficial da madeira; $S_{lv}$ é a tensão superficial do adesivo, $S_{ls}$ é a tensão superficial da interface adesivo madeira e $\Theta$ é o ângulo de contato. ....	19
<b>Figura 10.</b> Ângulo de conta e grau de umectação.....	20
<b>Figura 11.</b> Variação do ângulo de contato em função do tempo. ....	20
<b>Figura 12.</b> Imagem de gotas 30 segundos após serem colocadas na superfície de uma lamina de madeira com diferentes tratamentos superficiais. ....	21
<b>Figura 13.</b> Sistema de coordenadas de cores CIELab.....	22
<b>Figura 14.</b> Orientação dos compostos estruturais de madeira .....	25
<b>Figura 14.</b> Vigas tipo LVL vistas de diferentes ângulos. ....	27
<b>Figura 21.</b> Esquema da ligação adesiva existente entre duas peças de madeira. ....	31

## CAPÍTULO I

<b>Figura 1 -</b> Pátio da indústria PORTIL <sup>®</sup> de onde foram selecionadas as toras de paricá (a) e; mensuração das circunferências nas extremidades das toras (b). ....	47
<b>Figura 2.</b> Ilustração da retirada de cunhas para determinação da massa específica básica.....	48
<b>Figura 3 -</b> Processo de descascamento das toras (a e b); tomada de medidas nas toras sem casca (c) e; torno desfolhador utilizado no processo de laminação (d).....	48
<b>Figura 4 -</b> Disposição das toras em sequência na esteira do torno laminador (a); processo de laminação do paricá (b); lâminas produzidas nas diferentes dimensões (c) e; contabilização do total de lâminas produzido por cada tora (d). ....	49
<b>Figura 5 -</b> Desenho esquemático da tora com volume laminável e de descarte.....	50
<b>Figura 6.</b> Percentuais de perdas e rendimento em laminação do paricá. ....	55
<b>Figura 7.</b> Comparações entre rolos resto – paricá laminados em tornos com fusos tracionados (a) e outras espécies nativas laminadas em tornos com garras de fixação (b). ....	57
<b>Figura 8.</b> Equação ajustada (a) análise de resíduos (b) para o rendimento ( <i>Rend</i> ) em função do volume da tora sem casca ( <i>Vsc</i> ), do fator de forma com casca ( <i>ffcc</i> ) e do diâmetro mínimo sem casca ( <i>dminsc</i> ).....	60
<b>Figura 9.</b> Equação ajustada (a) e análise de resíduos (b) para o número de lâminas produzidas por tora ( <i>Nl</i> ) em função do diâmetro mínimo das toras ( <i>dminsc</i> ) sem casca. ....	61

## CAPÍTULO II

<b>Figura 1.</b> Obtenção das dimensões e massa das amostras para determinação das propriedades físicas das lâminas de parica. ....	67
<b>Figura 2.</b> Saturação e secagem das lâminas para determinação da estabilidade dimensional .....	68
<b>Figura 3.</b> Estereomicroscópio utilizado para captação de imagens das lâminas.....	69

<b>Figura 4.</b> Colorímetro utilizado para obtenção dos parâmetros colorimétricos. ....	70
<b>Figura 5.</b> Rugosímetro utilizado para caracterizar a superfície das lâminas de paricá. ....	71
<b>Figura 6.</b> Goniômetro utilizado para realização dos ensaios de molhabilidade. ....	71
<b>Figura 7.</b> Esquema utilizado para produção das amostras utilizadas para realização dos ensaios não destrutivos ( <i>Stress Wave</i> ) e destrutivos (flexão e tração) das lâminas de paricá. ....	73
<b>Figura 8.</b> Imagens das superfícies das faces – externa (a) e interna (b) e, das bordas das lâminas produzidas com a madeira de paricá. ....	75
<b>Figura 9.</b> Relação entre a refletância e comprimento de onda observada para as lâminas. ....	77
<b>Figura 10.</b> Perfis típicos observados para as faces externa (a) e interna (b) das lâminas de paricá. ....	82
<b>Figura 11.</b> Variação dos ângulos de contato médios em função do tempo para os líquidos água (H <sub>2</sub> O) e fenol-formaldeído (FF), nas faces interna e externa das lâminas. ....	84
<b>Figura 12.</b> Histograma com os valores do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) e massa específica ( $\rho$ ) observados para as amostras ensaiadas. ....	86

### CAPÍTULO III

<b>Figura 1.</b> Obtenção do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) das lâminas com <i>Stress Wave</i> e classes estabelecidas para montagem dos painéis com as lâminas de paricá. ....	94
<b>Figura 2.</b> Esquema de montagem dos painéis LVL considerando diferentes espessuras e classes para o módulo de elasticidade dinâmico obtido por <i>Stress Wave</i> . ....	95
<b>Figura 3.</b> Esquema da retirada dos corpos-de-prova para cada painel produzido. ....	96
<b>Figura 4.</b> Realização dos ensaios para determinação das propriedades físicas dos painéis LVL confeccionados com lâminas de paricá. ....	97
<b>Figura 5.</b> Máquina de universal de ensaios empregada no experimento e realização dos ensaios de flexão, compressão e cisalhamento. ....	98
<b>Figura 6.</b> Variação da massa específica ( $\rho$ ) e do teor de umidade de equilíbrio nos painéis LVL de paricá produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	101
<b>Figura 7.</b> Variação do inchamento residual e eficiência deste parâmetro para os painéis LVL de paricá produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	104
<b>Figura 8.</b> Comparações do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) para interações entre o tipo de ensaio ( <i>flatwise</i> e <i>edgewise</i> ) e a espessura das lâminas utilizadas na manufatura dos painéis. ....	105
<b>Figura 9.</b> Variação do módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio ( <i>flatwise</i> e <i>edgewise</i> ) e entre os painéis produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	106
<b>Figura 10.</b> Eficiência (resistência/quantidade de adesivo) para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	106
<b>Figura 11.</b> Resistência e eficiência (resistência/quantidade de adesivo) em ensaios de compressão ( $f_{c,0}$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	107
<b>Figura 12.</b> Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola, dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	108
<b>Figura 13.</b> Eficiência (resistência/quantidade de adesivo) ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras. ....	109

### CAPÍTULO IV

<b>Figura 1.</b> Valores da massa específica ( $\rho$ ) e teor de umidade de equilíbrio observado para os painéis LVL confeccionados com diferentes adesivos. ....	118
<b>Figura 2.</b> Influência do tempo de imersão na absorção de água e inchamento em espessura para os painéis produzidos com diferentes adesivos. ....	120
<b>Figura 3.</b> Inchamento residual para os painéis produzidos com diferentes adesivos. ....	121
<b>Figura 4.</b> Valores do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) e módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio e para os painéis produzidos com diferentes adesivos. ....	123
<b>Figura 5.</b> Resistência a compressão ( $f_{c,0}$ ) para os painéis produzidos com diferentes adesivos. ....	124

<b>Figura 6.</b> Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola para os painéis produzidos com diferentes adesivos. ....	125
---	-----

## CAPÍTULO V

<b>Figura 1.</b> Redimensionamento e seleção das lâminas. ....	133
<b>Figura 2.</b> Estratégias utilizadas na montagem dos LVL nos diferentes tratamentos. ....	134
<b>Figura 3.</b> Aplicação do adesivo, montagem e prensagens a frio e quente dos painéis LVL produzidos com paricá. ....	135
<b>Figura 4.</b> Valores da massa específica ( $\rho$ ) e teor de umidade de equilíbrio observado para os painéis LVL confeccionados com diferentes estratégias de montagem – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME). ....	138
<b>Figura 5.</b> Influência do tempo de imersão na absorção de água e inchamento em espessura para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME). ....	139
<b>Figura 6.</b> Valores do inchamento residual para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME)...	139
<b>Figura 7.</b> Valores do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) para o tipo de ensaio e as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME). ....	141
<b>Figura 8.</b> Valores do módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio e as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME). ....	141
<b>Figura 9.</b> Resistência a compressão ( $f_{c,0}$ ) para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME)...	142
<b>Figura 10.</b> Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por <i>Stress Wave</i> (SW) ou na massa específica (ME). ....	143

## CAPÍTULO VI

<b>Figura 1.</b> Esquadreamento dos painéis (a), obtenção das dimensões e massa dos painéis (b), determinação da velocidade de propagação das ondas utilizando <i>Stress Wave</i> (c) e ultrassom (d). ....	150
<b>Figura 2.</b> Painéis LVL produzidos com paricá (a); amostras obtidas de cada painel (b); obtenção da velocidade de propagação das ondas nas amostras ensaiadas utilizando <i>Stress Wave</i> (c) e ultrassom (d); ...	151
<b>Figura 3.</b> Climatização das amostras utilizadas nos ensaios físicos e mecânicos. ....	152
<b>Figura 4.</b> Procedimentos realizados nos ensaios não destrutivos com <i>Stress Wave Timer</i> (SWT) e destrutivos das amostras submetidas a ensaios de flexão estática (adaptado de SOUZA, 2009). ....	153
<b>Figura 5.</b> Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) observado nos painéis e nas amostras utilizando <i>Stress Wave</i> (A) e ultrassom (B). ....	155
<b>Figura 6.</b> Estimativa da absorção água (A) e inchamento em espessura (B) em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio do ultrassom. ....	157
<b>Figura 7.</b> Estimativa dos módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) na posição <i>flatwise</i> em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de <i>Stress Wave</i> com propagação das ondas no sentido <i>edgewise</i> . ....	158
<b>Figura 8.</b> Estimativa dos módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) na posição <i>edgewise</i> em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de <i>Stress Wave</i> com propagação das ondas no sentido <i>edgewise</i> . ....	159
<b>Figura 9.</b> Estimativa da resistência a compressão paralela as fibras ( $f_{c,0}$ ) em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de <i>Stress Wave</i> com propagação das no sentido <i>edgewise</i> . ....	161

# LISTA DE TABELAS

## REVISÃO DE LITERATURA

<b>Tabela 1.</b> Comparação entre altura e diâmetro (DAP) aos quatro anos de idades das espécies seringueira, mogno e paricá, em plantios na Amazônia Oriental. ....	10
<b>Tabela 2.</b> Propriedades físicas e mecânicas observadas para madeira de paricá aos seis e aos dez anos e para nativa. ....	13
<b>Tabela 3.</b> Valores de resistência de cálculo e rigidez para produtos estruturais de madeira e madeira serrada de Southern pine ....	27
<b>Tabela 4.</b> Classificação para adesivos conforme o ambiente de uso. ....	32

## CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Valores de volume ( $V_t$ ) e diâmetro da tora com casca ( $D_{cc}$ ), espessura da casca ( $E_c$ ), massa específica básica ( $ME_b$ ) e fator de forma ( $ff$ ) das toras de paricá. ....	53
<b>Tabela 2.</b> Número e volume de lâminas de capa ( $l_c$ ; $V_{lc}$ ) e de miolo ( $l_m$ ; $V_{lm}$ ) produzidas por tora e espessura observada ( $e_l$ ) das lâminas de paricá. ....	54
<b>Tabela 3.</b> Comparação do rendimento em laminação do paricá com outras literaturas. ....	56
<b>Tabela 4.</b> Matriz de correlações entre os parâmetros utilizados na avaliação do rendimento em laminação do paricá ( <i>Schizolobium amazonicum</i> ). ....	58

## CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Propriedades do adesivo fenólico CR-7010 conforme o fabricante. ....	71
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros colorimétricos observados para as lâminas de paricá. ....	76
<b>Tabela 3.</b> Correlações entre a massa específica e os parâmetros colorimétricos para lâminas de paricá. ....	77
<b>Tabela 4.</b> Percentuais dos constituintes químicos observados para madeira de paricá. ....	78
<b>Tabela 5.</b> Propriedades físicas observadas para as lâminas de paricá. ....	79
<b>Tabela 6.</b> Valores de retratibilidade linear, volumétrica e coeficiente anisotrópico observado para lâminas de paricá. ....	79
<b>Tabela 7.</b> Matriz de correlações entre os parâmetros utilizados na avaliação qualitativa das lâminas de paricá ( <i>Schizolobium amazonicum</i> ). ....	81
<b>Tabela 8.</b> Parâmetros de rugosidade das faces externa e interna das lâminas de paricá. ....	82
<b>Tabela 9.</b> Correlações entre a massa específica e os parâmetros de rugosidade. ....	83
<b>Tabela 10.</b> Comparação entre valores médios do ângulo de contato parcial e final, observados para os diferentes líquidos e faces das lâminas. ....	85
<b>Tabela 11.</b> Resultados dos ensaios mecânicos realizados. ....	86
<b>Tabela 12.</b> Correlações entre as propriedades mecânicas avaliadas. ....	87

## CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Características dos diferentes tratamentos avaliados. ....	99
<b>Tabela 2.</b> Comparações entre o tempo de imersão versus a espessura das lâminas, para absorção de água e inchamento em espessura em cada seção. ....	103
<b>Tabela 3.</b> Resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e de ruptura ( $f_m$ ). ....	104

## CAPÍTULO IV

<b>Tabela 1.</b> Resumo dos resultados das análises fatoriais para os percentuais de absorção de água (AB) e inchamento em espessura (IE).....	119
<b>Tabela 2.</b> Resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ).....	122

## CAPÍTULO V

<b>Tabela 1.</b> Valores do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) e da massa específica ( $\rho$ ) das lâminas pré-estabelecidos para as diferentes classes de resistência. ....	134
<b>Tabela 2.</b> Distribuição das lâminas para as diferentes classes, considerando o módulo de elasticidade dinâmico obtido por <i>Stress Wave</i> e a massa específica. ....	137
<b>Tabela 3.</b> Resumo dos resultados das análises fatoriais para os percentuais de absorção de água (AB) e inchamento em espessura (IE).....	138
<b>Tabela 4.</b> resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e de ruptura ( $f_m$ ) .....	140

## CAPÍTULO VI

<b>Tabela 1.</b> Valores da velocidade de propagação de ondas ( $V_0$ ) e do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ , $C_{LL}$ ) observados para os LVL de paricá utilizando as diferentes ferramentas de avaliação não destrutiva. ..	154
<b>Tabela 2.</b> Modelos ajustados para predição das propriedades físicas dos painéis LVL em função da velocidade de propagação das ondas e do módulo de elasticidade dinâmico. ....	156
<b>Tabela 3.</b> Modelos ajustados para predição resistência e rigidez dos LVL de paricá na posição <i>flatwise</i> em função dos diferentes NDT avaliados.....	157
<b>Tabela 4.</b> Modelos ajustados para predição resistência e rigidez dos LVL de paricá na posição <i>edgewise</i> em função dos diferentes NDT avaliados.....	159
<b>Tabela 5.</b> Modelos ajustados para predição resistência a compressão e cisalhamento paralelo ou perpendicular dos LVL de paricá em função dos diferentes NDT avaliados. ....	160

## INTRODUÇÃO

Segundo números divulgados pela Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2008) o Brasil apresenta aproximadamente seis milhões de hectares de florestas plantadas, sendo mais de 90% destas áreas representadas por espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. No restante destacam-se plantios de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), seringueira (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), teca (*Tectona grandis* L.f.), araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), álamo (*Populus nigra* L.) e o mogno (*Swietenia macrophylla* King). Dentre essas, destaque deve ser dado aos plantios extensivos de paricá, também conhecido como pinho-cuiabano, espécie nativa da Amazônia com características adequadas à laminação e, por conseguinte, à produção de compostos laminados. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2012), em 2010 esses plantios já superava 85 mil hectares, com incremento médio anual de 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, plantados principalmente nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia.

As estimativas sobre o consumo interno de madeira serrada no Brasil revelam que são consumidos anualmente no país 300 milhões de m<sup>3</sup>, dos quais 110 milhões provêm de florestas plantadas e 190 milhões de florestas nativas. Isso significa que o Brasil consome quase duas vezes mais madeira de florestas nativas do que de florestas plantadas. Na verdade, essa proporção pode ser ainda maior, dado o desconhecido, mas elevado índice de ilegalidade na extração da madeira proveniente da Amazônia, sobre o qual se tem pouco conhecimento e controle (TONELLO et al., 2006). O Brasil também é um dos principais consumidores de madeira tropical do mundo. Parte significativa da madeira produzida na Amazônia é destinada ao mercado interno, especialmente para a região Sudeste, onde é comercializada como matéria-prima para confecção de vigas, pilares, esquadrias, móveis, dentre outros produtos (ALVES et al., 2001).

Espécies normalmente utilizadas em plantios homogêneos, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* apresentam alto potencial para suprir a demanda das indústrias, por serem espécies de rápido crescimento, apresentarem alta produtividade e terem a disponibilidade de grandes áreas plantadas no país. De forma distinta, mas não menos importante, entre as espécies florestais de rápido crescimento, nativas da região Amazônica, o paricá vem

apresentando elevada taxa de crescimento aliada à produção de uma madeira de qualidade, sendo, dentre as espécies da região, uma das madeiras mais utilizadas para laminação (ROSSI et al., 2000). Pio (2002) destaca que outro aspecto que incentiva a utilização de madeiras de reflorestamento é a pressão ecológica de diversos segmentos da sociedade contra a exploração de florestas nativas não manejadas.

Embora atualmente no Brasil ainda exista uma relativa facilidade na obtenção de madeira tropical por um preço ainda acessível, a tendência é que com o passar dos anos, torne-se cada vez mais difícil e mais cara a obtenção desta matéria-prima. Almeida et al. (2004) destacam que a solução para esse problema passa pela adoção de políticas adequadas de desenvolvimento e manejo sustentado das florestas nativas, especialmente para região Amazônica, de forma que seja possível o aproveitamento do potencial apresentado por estas. Aliado a isso, os autores sugerem ainda ser fundamental a expansão das áreas com florestas plantadas. Segundo Ângelo et al. (2004) essas atividades já vem sendo implementadas, já que a escassez da matéria-prima florestal em várias regiões tem feito com que empresários do setor busquem alternativas para manter suas atividades, seja por meio de adoção de técnicas de manejo florestal ou pela implantação de reflorestamentos com espécies potenciais. Neste sentido, a utilização de produtos engenheirados, confeccionados a partir de madeiras oriundas de plantios florestais, tornan-se uma das alternativas viáveis, por maximizar o aproveitamento da madeira e gerar produtos de alta resistência e confiabilidade em sua utilização.

Por se tratar de uma espécie de madeira tropical nativa, o paricá tem ganhado nos últimos anos muito destaque na mídia nacional. Mas, os principais fatores que tem propiciado a intensificação dos plantios são o seu rápido crescimento, a resistência ao ataque de pragas e doenças, a elevada produtividade, a aceitação comercial e os elevados preços dos produtos manufaturados. A maior parte dos plantios comerciais está concentrada na região Nordeste do estado do Pará, mais precisamente nos municípios de Paragominas e Dom Eliseu. Apesar disso, produtores locais encontra considerável dificuldade para o corte desses plantios, já que a legislação estadual dificulta e burocratiza o corte de espécies nativas, mesmo que estas sejam oriundas de florestas plantadas. Além do Pará, a espécie também é plantada nos estados do Mato Grosso, Rondônia, Roraima, Acre e Maranhão.

Deste modo, a proposta de se avaliar o desempenho da madeira de paricá como matéria-prima para a produção de painéis LVL, visa despertar o interesse de indústrias regionais por esse produto, o qual já apresenta considerável aceitação no mercado internacional e que também poderá vir, com o passar dos anos, apresentar perspectivas favoráveis para seu uso no Brasil, passando também a ser comercializado pelo mercado nacional.

## **OBJETIVO**

O presente estudo teve como objetivo avaliar algumas variáveis tecnológicas relacionadas à produção de painéis estruturais do tipo LVL (Laminated Veneer Lumber) confeccionados a partir da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

## **HIPÓTESE**

A adequabilidade da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) como matéria-prima para produção de compostos estruturais do tipo LVL é influenciada pelas variáveis tecnológicas envolvidas no processo de manufatura dos painéis.

# REVISÃO DE LITERATURA

## 1. O PARICÁ

### 1.1. TAXONOMIA E NOMENCLATURA

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) é uma espécie da família Caesalpiniaceae de ocorrência natural na região Amazônica, com características similares ao guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake), espécie do mesmo gênero que ocorre naturalmente na Mata Atlântica (ROSA, 2006). Tal semelhança tem feito com que alguns pesquisadores as considerem variedades de uma única espécie, sugerindo ser o paricá o *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Hubber ex Ducke) Barneby (BARNEBY, 1996; SOUZA et al., 2003; ROSA, 2006; OHASHI, et al., 2010). Entretanto, outros autores acreditam que as diferenças fenotípicas e morfológicas entre elas são suficientes para serem consideradas espécies distintas (RIZZINI, 1971; CARVALHO, 2007). As principais características que diferenciam o paricá do guapuruvu são que a primeira possui flores menores, pétalas mais oblongas, rígidas e glabras, frutos e sementes bem menores, pedicelos distintamente articulados e florescimento sem folhas (RIZZINI, 1971; SOUZA et al., 2003).

Apresenta a sinonímia botânica de *Schizolobium excelsum* Vogel var *amazonicum* Ducke ex Williams. Popularmente a espécie é conhecida por inúmeras denominações, as quais variam dependendo do país ou da região. No Brasil, além de paricá (Amazonas e Pará) é conhecida também como canafístula (Acre), guapuruvu-da-amazônia (Distrito Federal), pinho cuiabano (Mato Grosso), faveira (Pará) e bandarria (Rondônia). Na América do Sul e Central podem ser encontradas as seguintes denominações – pachaco (Equador), serebo (Bolívia), tambor (Colômbia e Honduras), chuncho (Peru), judío (México), gallinazo (Costa Rica), sora (Guatemala), quon (Nicarágua) e chapulaltapa (El Salvador). Internacionalmente é comercializado pelo termo *quamwood* (SOUZA et al., 2003; ROSA, 2006; CARVALHO, 2007).

## 1.2. CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE

A espécie apresenta um rápido crescimento inicial, apresenta um fuste longo e esbelto, copa rala e sem ramificações, o que o torna mais susceptível a quebra. Nos primeiros dois anos de idade o paricá apresenta casca lisa e de coloração esverdeada com marcantes cicatrizes transversais deixadas pelas folhas (Figura 1). Com o passar dos anos a casca torna-se acinzentada e recoberta de manchas esbranquiçadas (lenticelas proeminentes). Nos indivíduos adultos a casca pode atingir até 15 mm de espessura, e quando velhos, a casca fica esbranquiçada, tornando-se esfoliada em placas retangulares (SOUZA et al., 2003).



**Figura 1.** Plantio de paricá com seis meses no município de Dom Eliseu-PA.

O tronco é retilíneo e cilíndrico podendo apresentar sapopemas basais. O fuste pode atingir até 40 m de altura e diâmetro de 1,2 m na idade adulta. Apresenta ramificação cimosa, com copa galhosa e aberta. As folhas são alternas, compostas e bipinadas, podendo atingir 2 m de comprimento na fase jovem, mas, diminuem consideravelmente na fase adulta (RIZZINI, 1971). A floração ocorre entre os meses de maio a julho com perda total ou parcial das folhas, dependendo da região. As inflorescências são em panículas terminais vistosas e abundantes na ponta dos ramos. As flores zigomorfas com pétalas oblongas, firmes e glabras, são geralmente de coloração amarela, possuem aroma doce e são muito atrativas, pois oferecem grande quantidade de néctar e de pólen para varias espécies de insetos. Apresentam órgãos reprodutivos afastados, o que reduz a possibilidade de polinização por pequenos insetos, sendo geralmente polinizadas por abelhas maiores (Figura 2) (ROSA, 2006; AMATA, 2009).



**Figura 2.** Características observadas para espécie *Schizolobium amazonicum* – paricá (Fonte: SIVIERO, 2009; SOUZA et al., 2003; CORDEIRO, 2007; e fotos do autor)

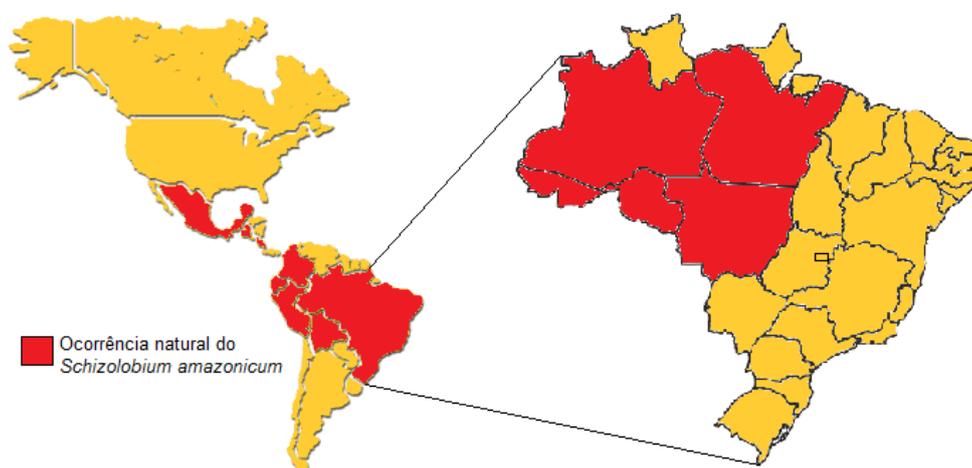
A primeira frutificação só acontece após os 18 anos de idade, passando em seguida a ser anual, ocorrendo geralmente entre os meses de julho e setembro. O fruto é um legume deiscente em forma espatulada, oblanceolada, aberta até o ápice, mede de 6 a 10 cm de comprimento por 1,5 a 3 cm de largura. São produzidas de uma a duas sementes por fruto, as quais são facilmente liberadas quando exposta ao sol por deiscência. A dispersão ocorre principalmente por anemocoria, em que a semente envolta por um endocarpo papiroso em forma de asa se desprende do fruto e é levada pelos ventos, podendo chegar a atingir até 25 m de distância da árvore matriz (CARVALHO, 2007). A semente é lisa e brilhante, de cor de café com bordo mais escuro, com tegumento duro, envolta por uma asa grande e papirácea. 1 kg de semente pode apresentar de 900 a 1.100 unidades e a relação fruto/semente em kg é de aproximadamente 1,3 (SOUZA et al., 2003).

Por se tratar de uma espécie pioneira, é capaz de se regenerar facilmente em áreas abertas com alta intensidade de radiação solar, o que possibilita a esta espécie alta capacidade de regeneração em áreas de clareiras na floresta. Tal característica potencializa o uso do paricá para recuperação de áreas perturbadas ou degradadas na região Amazônica (VENTURIERI, 1999). A espécie apresenta ainda capacidade de rebrota, embora essa característica não venha sendo aproveitada nos plantios comerciais. Rosa (2006) verificou que com altura do corte de 20 a 30 cm a espécie produz de um a quatro rebrotos, o que permite que a espécie seja manejada com sucessivas rotações, reduzindo os custos de implantação.

### **1.3. OCORRÊNCIA NATURAL**

O paricá ocorre naturalmente em mata primária e mata secundária de terra firme e várzea alta, com predominância de solos argilosos sejam de baixa ou alta fertilidade, com pH de ácidos a levemente básicos. Por ser uma espécie pioneira, pode ser encontrados em áreas alteradas por atividade antrópica, com uma grande quantidade de indivíduos por área (pelo menos quanto à composição do estrato dominante), até os seis anos de idade. Dentre os biomas, ocorre na Amazônia (Floresta Ombrófila Densa – Floresta Tropical Pluvial Amazônica), em Terra Firme, onde é árvore emergente; na Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual – Floresta Tropical Subcaducifólia); na subformação Submontana, no estado do Mato Grosso; em outras formações vegetacionais fora do Brasil (Bosque Montano Úmido na Bolívia) e na Floresta Amazônica (CARVALHO, 2007).

É encontrada desde o Sul do México passando pela América Central e Amazônia, até o Sudoeste do Brasil, em região com altitudes que variam de 20 a 700 m, precipitações de 1.600 a quase 6.000 mm/ano e temperaturas médias anuais de 23 a 27°C. Além do Brasil e México, já foram catalogadas a ocorrência natural de indivíduos na Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Equador, Honduras e Peru. No Brasil, nos estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (AMATA, 2009) (Figura 3). Segundo Rosa (2006) a espécie prefere os seguintes tipos climáticos classificados por Koeppen – Aw (clima tropical com temperatura média mensal superior a 18°C, com período chuvoso e seco bem definido, apresentando um total pluviométrico menor que 60 mm nos meses mais secos); e Am (clima tropical, intermediário entre o Af e Aw, com temperatura média mensal superior a 18°C, sem um período seco bem definido).



**Figura 3.** Áreas de ocorrência natural do *Schizolobium amazonicum*.

#### 1.4. PLANTIOS

Em 2007 o paricá já figurava como a quinta espécie mais plantada no Brasil, ficando atrás apenas das espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, da acácia e da seringueira. Naquele ano a área plantada com paricá era de aproximadamente 79,1 mil ha, o que representou cerca de 18,6% áreas com florestas plantadas (excluindo áreas de *Eucalyptus* e *Pinus*), contra 189,7 mil ha da acácia (44,6%) e 85,8 mil ha da seringueira (20,2%). A teca aparece logo em seguida com 48,6 mil ha (11,4%). No entanto, o crescimento em áreas plantadas de 2006 para 2007 dessas espécies foi de 92,5% para o paricá, 14,4% para a teca, 5,5% para a seringueira e de apenas 2,9% para a acácia (SBS, 2008). No ano de 2010, segundo dados da ABRAF (2012), as áreas plantadas com paricá superaram os 85 mil ha.

Na maioria dos casos tem sido implantada em plantios homogêneos (Figura 4), mas, há viabilidade para sua implantação consorciado com culturas agrícolas (Sistemas Agroflorestais) e/ou pastagens (Sistemas Agrosilvopastoris) (SOUZA et al., 2003; MANESCHY et al., 2009). A sua produtividade média anual varia 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, estando na mesma faixa de crescimento das espécies de *Pinus* que é de 25 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, e superior a da teca com 15 a 20 m<sup>3</sup>/ha/ano (IWAKIRI et al., 2010a). Todavia, pouco foi feito em termos de melhoramento genético dessa espécie, embora as técnicas de micropropagação já estejam dominadas (TEREZO, 2010). A intensificação de estudos nessa linha tende a aumentar essa produtividade, da mesma forma que ocorreu com as espécies do gênero *Eucalyptus*, que apresentavam produtividade média de 11 m<sup>3</sup>/ha/ano na década de 1970 passando para 45 m<sup>3</sup>/ha/ano no final da década de 1990, podendo atingir aproximadamente 60 m<sup>3</sup>/ha/ano dependendo do sítio (DOSSA, 2003).



**Figura 4.** Plantio de paricá com 2 anos 6 meses e espaçamento 4 x 4. Diâmetro de um indivíduo de 5 anos de idade após o abate (27 cm) (SIVIERO, 2009).

O potencial de crescimento do paricá pode ser evidenciado pela análise da Tabela 1. Ao ser comparado com plantios de outras espécies (seringueira - *Hevea brasiliensis*; mogno - *Swietenia macrophylla*; andiroba - *Carapa guianensis*), em experimento implantado no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus (AM), o paricá apresentou aos quatro anos de idade, maiores crescimento em altura e DAP (LIMA, 1998). Souza et al. (2003) verificaram ainda na mesma região, que os plantios de paricá aos quatro anos obtiveram resultados equivalentes a algumas espécies exóticas também implantadas na área da Embrapa Amazônia Ocidental (*Acacia mangium* e clones de *Eucalyptus*), atingindo valores médios de DAP de 11,6 cm, altura de 15,1 m e IMA (Incremento Médio Anual) em volume de 32,5 m<sup>3</sup>/ha/ano.

**Tabela 1.** Comparação entre altura e diâmetro (DAP) aos quatro anos de idades das espécies seringueira, mogno e paricá, em plantios na Amazônia Oriental.

<b>Espécie</b>	<b>Altura Média (m)</b>	<b>DAP médio (cm)</b>
Seringueira ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	3,95	3,26
Mogno ( <i>Swietenia macrophylla</i> )	3,50	4,45
Andiroba ( <i>Carapa guianensis</i> )	5,46	8,32
Paricá ( <i>Schizolobium amazonicum</i> )	11,91	12,14

LIMA (1998).

## 1.5. USOS

Segundo Melo et al. (1989) e Marques et al. (2006) a madeira do paricá apresenta algumas vantagens para o seu processamento, uma vez que possui facilidades quanto à retirada da casca, laminação, secagem, tratamento preservativo, aplainamento, furação, fixação, torneamento, prensagem, colagem e excelente acabamento. De acordo com Figueroa (2008), o principal uso da espécie tem sido a produção de lâminas para confecção de painéis compensados, sendo também aplicado em embalagens e paletes.

É considerada promissora para produção de painéis aglomerados (NAUMANN et al., 2008; IWAKIRI et al., 2010b) e produção de pasta celulósica, embora tenha apresentado menor rendimento devido a baixa densidade, menor braqueabilidade e maior consumo de energia que o apresentado para madeira de *Eucalyptus grandis* (VIDAURRE, 2010). No estado do Pará, fibras do *Schizolobium amazonicum* já são utilizadas pela empresa Rio Concren<sup>®</sup> em parte da composição de chapas MDF (*Medium Density Fiberboard*), as quais são produzidas majoritariamente com fibras de espécies do gênero *Eucalyptus*.

Como produto não madeireiro, a casca do paricá é utilizada com fins medicinais para o combate de diarreia e hemorragia uterina (CARVALHO, 2007). Rosa (2006) destaca ainda a semente, a qual vem apresentando um aumento considerável por sua procura com o aumento da demanda para implantação de novas áreas. Por começar a frutificar apenas por volta dos 20 anos de idade, as sementes comercializadas, em sua maioria, são oriundas de árvores nativas. O uso dessas sementes, não melhoradas geneticamente, apresenta como vantagem a dinamização do comércio local e regional, proporcionando geração de renda para pequenos produtores. Os estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso são considerados os principais fornecedores. Em setembro de 2011, o preço de 1 kg de sementes (900 a

1.100 unidades) comercializado pelo Centro de Pesquisa do Paricá (CPP) era de aproximadamente 40,00 R\$. Como usos potenciais, Souza et al. (2003) destacam ainda – fabricação de brinquedos; saltos para calçados; embalagens leves; aerodelismo; pranchetas; caixotaria leve e pesada; embalagens de frutas; obras civis internas como forros e tabuados; palitos de fósforo; lápis; e canoas feitas de tronco da madeira.

## **1.6. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA**

### **1.6.1. Propriedades Organolépticas, Anatômicas e Químicas**

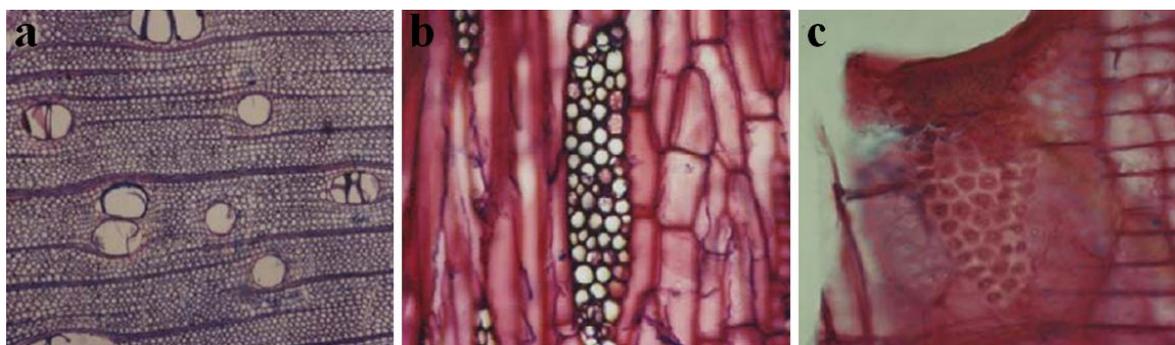
Apresenta um alburno diferenciado do cerne, com uma zona de transição gradual. O alburno é de cor creme-amarelado e o cerne é de cor marrom-claro (Figura 5) – cabe ressaltar que em plantios comerciais, as árvores são abatidas ainda jovens, não havendo diferenciação de cor entre cerne e alburno (CARVALHO, 2007). Apresenta grã ondulada; textura média; figura tangencial destacada por causa das linhas vasculares; figura radial pouco destacada com raios de pouco contraste; brilho acentuado; inodora; e macia ao corte (LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF, 2012).



**Figura 5.** Diferenciação de cor entre cerne - madeira (LPF, 2012) e alburno - lâmina.

Quanto à caracterização anatômica (Figura 6), apresenta pouco parênquima axial; cerca de 2 poros/mm<sup>2</sup>; raios homogêneos (3 - 4 seriados); fibras abundantes de paredes moderadamente finas (7 µm), curtas, com comprimento entre 894 e 1.832 µm (ROSA, 2006). Nas demais características destacam-se – poros predominantemente solitários, múltiplos, em arranjos radiais e diagonais, com distribuição difusa uniforme e placa de perfuração simples; parênquima axial paratraqueal aliforme losangular, apotraqueal difuso,

podendo ocorrer de forma confluyente; parênquima radial visível somente com auxílio de lente de 10x no plano tangencial, finos, baixos, não estratificados e pouco contrastados na face radial; linhas vasculares irregulares, algumas com presença de substância escura de aspecto oleoso; camadas de crescimento distintas (TEREZO, 2010).



**Figura 6.** Disposição dos elementos de vaso e raios (a), composição dos raios (b) e arranjo das pontuações (c), da madeira de paricá aos seis anos de idade (TEREZO, 2010).

Estudos da composição química foram realizados por Vidaurre (2010). Foi observado que a fração de carboidratos da madeira, principalmente com relação ao teor de celulose, é muito similar a de alguns clones de eucalipto utilizados na indústria de celulose e papel. Também foi evidenciada uma baixa quantidade de extrativos, que foi atribuída à utilização de amostras obtidas de indivíduos jovens, com cerne praticamente inexistente. Conforme afirmado por Guler et al. (2007), a tendência de madeiras de árvores jovens apresentarem valores reduzidos de extrativos, quando comparado aos teores encontrados em madeiras de árvores adultas para uma mesma espécie. Esse aspecto pode ser atribuído à pouca ou não formação do cerne e a grande proporção de madeira juvenil observada em árvores mais jovens.

### **1.6.2. Propriedades Físicas e Mecânicas**

Comparações entre as propriedades físicas e mecânicas do paricá para diferentes idades podem ser observadas na Tabela 2. Evidencia-se que as amostras obtidas de plantios comerciais, com 6 e 10 anos, apresentaram propriedades muito divergentes quando comparada a árvores adultas (nativas). Essa variabilidade também foi comprovada por Vidaurre (2010) ao comparar diferentes idades e posições nos sentidos radial e longitudinal para madeira de *Schizolobium amazonicum*. Além desses fatores, Jesus (2004) verificou

que o fator ambiente (interação fenotípica), afetou a espessura da parede das fibras, a massa específica e as contrações lineares e volumétricas.

**Tabela 2.** Propriedades físicas e mecânicas observadas para madeira de paricá aos seis e aos dez anos e para nativa.

<b>Propriedades Físicas</b>	<b>6 anos*</b>	<b>10 anos*</b>	<b>Nativa**</b>
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	0,32	0,31	0,49
Contração Tangencial (%)	-	-	5,12
Contração Radial (%)	-	-	4,30
Contração Volumétrica (%)	-	-	11,10
T/R	-	-	1,19
<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>6 anos</b>	<b>10 anos</b>	<b>Nativa</b>
MOE (comp. // - MPa)	11.932,00	12.403,00	12.813,00
MOR (comp. // - MPa)	23,80	24,38	34,70
MOE (comp. ⊥ - MPa)	248,22	215,63	-
MOR (comp. ⊥ - MPa)	2,69	2,28	-
MOE (flexão - MPa)	9.322,00	9.634,00	8.200,00
MOR (flexão - MPa)	44,68	53,05	56,20
Fendilhamento (MPa)	0,35	0,41	0,37
Cisalhamento (MPa)	1,81	2,05	11,10

\*TEREZO, 2010; \*\*LPF, 2012.

A madeira obtida de indivíduos jovens é muito leve, pesando aproximadamente 320 kg/m<sup>3</sup>. Todavia, Vidaurre (2010) destaca que esse parâmetro aumenta consideravelmente ao longo dos anos. A exemplo disso Rojas e Martina (1996) afirmam que excepcionalmente, a massa específica do paricá pode atingir até 620 kg/m<sup>3</sup>. No geral, os estudos disponíveis na literatura indicam ser o *Schizolobium amazonicum* uma madeira de baixa resistência mecânica (TEREZO, 2010; VIDAURRE, 2010; LPF, 2012) e elevada estabilidade dimensional (JESUS, 2004; VIDAURRE, 2010; LPF, 2012).

### 1.6.3. Durabilidade Natural

A madeira do paricá é considerada pouco resistente ao ataque de xilófagos, apresentando elevada susceptibilidade ao ataque de fungos e de insetos (KNOWLES, 1996), especialmente cupins (VENTURIERI, 1999). Os ataques de cupins a espécie, tem sido observado inclusive em áreas de plantios, sendo relativamente comum a ocorrência de toras ocas (ROSA, 2006). Por apresentar elevada suscetibilidade ao ataque de agentes biológico, para muitos usos dessa madeira é recomendada o seu tratamento preservativo.

Neste caso, conforme Carvalho (2007), a baixa massa específica e consequentemente o elevado volume de poros, favorecem impregnação dos preservantes.

## **2. LÂMINAS DE MADEIRA**

São peças de pequena espessura aproximadamente uniformes, produzidas por corte geralmente por faca ou navalha (específica para essa finalidade) e ocasionalmente por serras. As espessuras utilizadas podem variar de aproximadamente 0,1 até 7 mm, com as lâminas decorativas podendo ter espessura menor do que 1 mm, enquanto que a espessura mais comum de lâminas para a construção civil e miolo de compensados varia de 3 a 4 mm (HASELEIN e PAULESKI, 2004).

### **2.1. ESPÉCIES UTILIZADAS PARA LAMINAÇÃO**

No Brasil, o principal produto confeccionado com lâminas é o painel compensado, mas, também é significativa a comercialização apenas das lâminas, principalmente para o mercado externo (SOARES et al., 2012). Estimativas indicam que cerca de dois terços dos compensados produzidos no Brasil sejam produzidos com madeira de espécies do gênero *Pinus* e o restante com espécies nativas. Cabe ressaltar que esta estimativa inclui os painéis tipo “combi”, com face de madeira tropical e miolo de pinus (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI, 2009).

O número de espécies tradicionalmente utilizadas para laminação no Brasil ainda é pequeno, se considerada a diversidade de suas florestas. Em estudos realizados por Nisgoski et al. (2000), foram identificadas 37 espécie de madeira sob forma de lâminas, na região de Curitiba, em que foram observadas além das espécies nativas da floresta Amazônica e da Mata Atlântica, algumas de espécies de reflorestamento, como o pinus e o eucalipto, e madeiras importadas, como o sapele e o carvalho. Com aumento da demanda por produtos a base de madeira, e em virtude das dificuldades cada vez maiores na obtenção de matéria-prima proveniente de florestas nativas, a busca por espécies alternativas para produção de lâminas tende a aumentar.

Nesse contexto, a busca de novas espécies como fonte de matéria-prima para produção de lâminas e derivados torna-se indispensável. Os primeiros estudos de avaliação da viabilidade do paricá para produção de lâminas e de painéis laminados foram realizados na década 1970 (KNOWLES, 1996). Tendo em vista a implantação recente de plantios comerciais com esta espécie, usada principalmente para produção de lâminas e compensados, já se percebe que a mesma ocupa uma posição de destaque no setor (MARQUES et al., 2006).

### **2.3. RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO**

Para obtenção de um elevado rendimento, aliado a produção de lâminas com qualidade satisfatória, torna-se fundamental a seleção da matéria-prima. Essa seleção deve ocorrer de acordo com o uso final que será atribuído às lâminas. O conhecimento das características e da qualidade da madeira pode ser utilizado para estimar a adequação de uso das lâminas produzidas, bem como permite ajustes nas técnicas de preparação e processamento das toras (MÜLLER, 2009). Baldwin (1995) destaca ser fundamental para maximizar o aproveitamento das toras a avaliação de parâmetros como conicidade do fuste, diâmetro da tora, ausência de fendas de topo, nós e defeitos, além do bom desempenho quando submetida ao aquecimento. Para o autor, um menor fator de conicidade, maior diâmetro da tora e menor rolo resto, são considerados os parâmetros básicos para aumentar o rendimento.

Tsoumis (1991) divide os fatores que influenciam o rendimento do processo de laminação em dois grupos – um relacionado às características da matéria-prima, e o outro relacionado às técnicas de processamento. Quanto à matéria-prima, os principais fatores são características do fuste (forma e diâmetro), presença de defeitos (nós, bolsas de resina, rachaduras, etc.) e disposição da grã. Quanto ao processamento destaca-se a velocidade de corte, ajuste da faca e barra de pressão, afiação da faca, dentre outros.

Mendes et al. (2000) mencionam ainda os cuidados que antecedem a fase de processamento, como cuidados no manuseio e preparação das toras no que se refere a condições de armazenamento, acondicionamento, aquecimento, além de critérios adequados quanto à seleção, ajuste, operação e manutenção dos equipamentos. Além destes, segundo Bonduelle et al. (2006), o baixo nível tecnológico dos equipamentos

empregados, associado a elevada idade média destes e a carência de técnicas modernas e especializadas, também contribuem para um baixo rendimento. O grau de automação no que concerne ao controle estático e dinâmico dos tornos também é um importante elemento tecnológico para produção de lâminas de qualidade com alta produtividade.

O rendimento em laminação de algumas espécies do gênero *Pinus*, em função da reconhecida empregabilidade destas para produção de lâminas em escala industrial, tem sido apontado como referência para se avaliar a viabilidade de outras espécies a esse processo. Dentre os estudos que avaliaram o rendimento dessas espécies foram observados valores de aproximadamente 47% para o *Pinus taeda* (BRAND e MUÑIZ, 2003), 49% para o *Pinus* spp. (BONDUELLE et al., 2006) e 58% para o *Pinus merkussi* (BORTOLETTO JÚNIOR, 2006) e *Pinus elliottii* (NOGUEIRA, 2010).

Estudos realizados por Keinert Júnior (1993) em que foi avaliado o uso potencial de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus* para laminação (*E. robusta*, *E. saligna*, *E. viminalis*, *E. dunnii* e três diferentes procedências de *E. grandis*), o autor verificou rendimentos que variaram de 42 a 58%. Interamense (1998) observou rendimentos de 51 e 45% para as espécies *E. cloeziana* e *E. maculata* respectivamente. Já Almeida et al. (2004) observaram um rendimento de quase 57% para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Hoffmann (2009) ao avaliar o rendimento em laminação do paricá com diferentes idades (com cinco, seis e sete anos) constatou um valor médio de pouco mais de 50%, embora para árvores mais velhas o autor tenha verificado um rendimento de aproximadamente 56%. Bortoletto Júnior e Belini (2002), ao estudarem o rendimento na laminação do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), obtiveram um rendimento de aproximadamente 53%. Já Guimarães Júnior et al. (2008) verificaram também para a seringueira (*Hevea brasiliensis*), um rendimento de aproximadamente 52%. Para todos os estudos, as perdas no processo foram compatíveis com as obtidas em laminação de espécies tradicionalmente utilizadas para laminação, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

## **2.4. QUALIDADE DAS LÂMINAS**

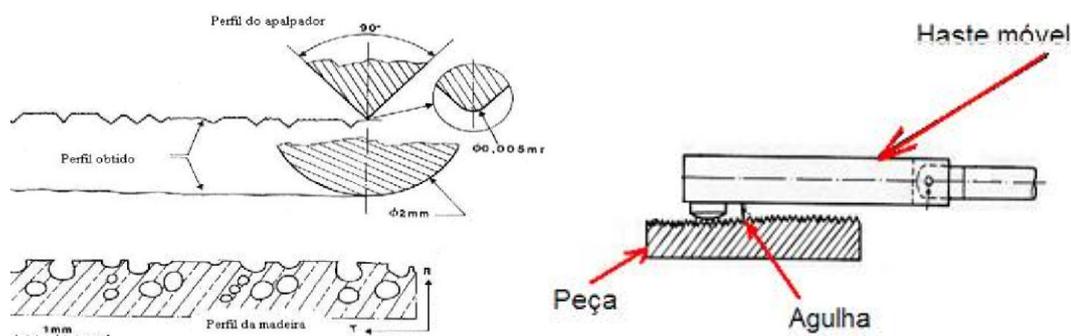
Uma lâmina ideal, além de cor e figura desejáveis, deve apresentar uniformidade em espessura, baixa rugosidade, ausência de empenamentos e fendas em ambas as faces

(IWAKIRI, 2005). Mesmo em espécies com boa aceitabilidade à laminação e, que geralmente produzam lâminas de boa qualidade, é relativamente comum que parte das lâminas produzidas apresente, em menor escala, algum tipo de defeito. Este grupo, classificado como de baixa qualidade, às vezes têm seu uso inviabilizado para a manufatura de painéis laminados. Os principais parâmetros utilizados para qualificar as lâminas de madeira são apresentados a seguir.

### 2.4.1. Rugosidade

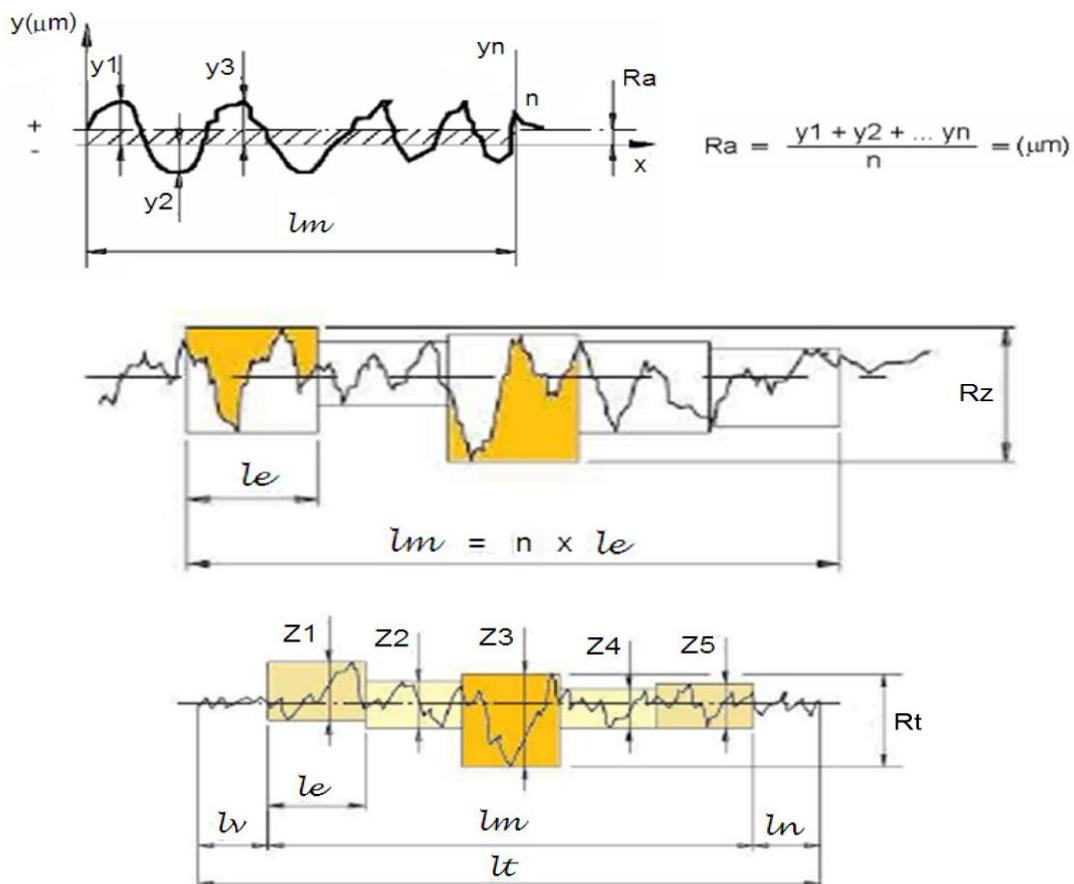
A rugosidade da superfície da madeira é resultado da disposição e composição de seus caracteres de formação (estrutura anatômica, grã, largura dos anéis de crescimento, raios, nós e tipo de lenho) conjuntamente com o tipo de processamento empregado (corte, aplainamento e lixamento), que também são responsáveis pela qualidade do produto final, podendo ser definida nas escalas macro, micro, nano e molecular (PIAO et al., 2010).

Para madeira, a rugosidade pode ser definida como os desvios apresentados em uma superfície, podendo apresentar frequências periódicas ou aperiódicas, produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte ou abrasão sobre a superfície (SIQUEIRA et al., 2003). Varias técnicas têm sido empregadas na determinação de rugosidades de superfícies e, embora não tenham sido desenvolvidas especificamente para madeira, podem ser utilizadas sem maiores prejuízos (CRUZ, 2006). Kilic et al. (2006) mencionam que as técnicas podem ser por contato (palpação, pneumáticos e emissão acústica) ou sem contato (óptico, utilizando técnicas de análise de imagens e vídeos). Para madeira, o uso dos rugosímetros de contato tem sido a técnica mais empregada para mensuração da rugosidade nas superfícies (Figura 7).



**Figura 7.** Medição da superfície utilizando rugosímetro (SIQUEIRA et al., 2003).

Siqueira et al. (2003) dividem os parâmetros de medição de rugosidade em três classes distintas: aqueles que se baseiam na medida da profundidade da rugosidade, os que se baseiam em medidas horizontais e os que se baseiam em medidas proporcionais. Especificamente para madeira, a primeira tem sido a mais empregada, com maior ênfase para os parâmetros Ra (média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil da linha média), Rz (soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco valores mais profundos do perfil medidos de uma linha paralela à linha média) e Rt (soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada) (Figura 8).

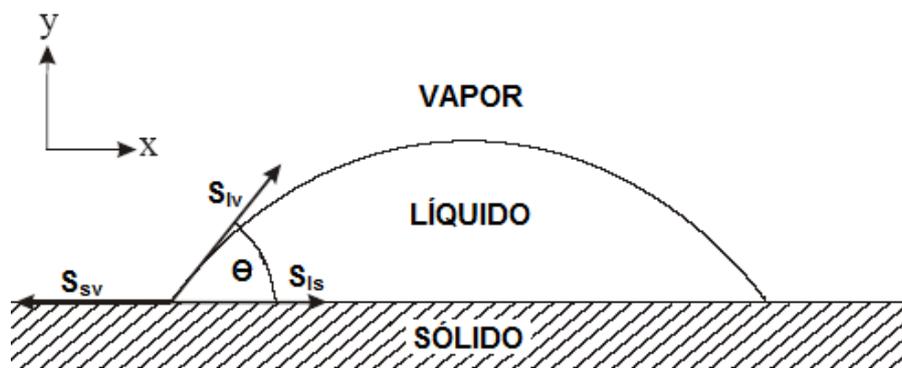


**Figura 8.** Formas de determinação dos parâmetros de rugosidade - Ra, Rz e Rt (PIRATELLI FILHO, 2011).

De forma prática, a rugosidade das lâminas influencia na profundidade de penetração e na distribuição do adesivo, proporcionando uma maior ou menor qualidade da colagem. Após a produção das lâminas, a rugosidade ainda pode ser alterada por meio do lixamento da superfície ou por meio de tratamentos termomecânicos (ARRUDA, 2012), com a desvantagem de aumentar os custos de produção.

## 2.4.2. Molhabilidade

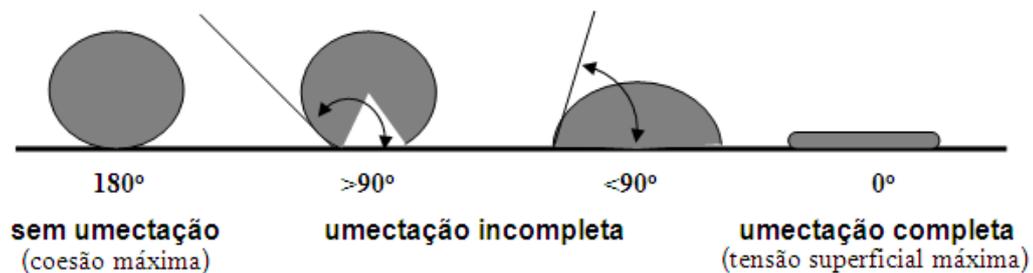
O grau de molhabilidade de uma lâmina também é um fator qualitativo importante, pois apresenta uma estreita relação com seu uso final, principalmente se estas forem utilizadas na manufatura de painéis laminados. Lâminas com alto grau de umectação podem gerar linha de cola faminta, já as com baixa hidrofiliçidade o processo de colagem é dificultado e podem proporcionar linhas de cola não ancoradas (CRUZ, 2006). Tais aspectos fazem com que a molhabilidade seja considerada um bom indicativo da qualidade da superfície e da adesão. Conforme descrito por Piao et al. (2010), a gota de um líquido qualquer ao ser depositada sobre uma superfície horizontal pode apresentar três possíveis interações – líquido-vapor; vapor-sólido; e sólido-líquido. O perfil desse líquido depositado de maneira que um ângulo  $\Theta$  seja formado na linha de contato por meio da interação líquido-vapor-sólido (Figura 9).



**Figura 9.** Ângulo de contato de uma gota de adesivo com a madeira, num meio de vapor, onde  $S_{sv}$  é a tensão superficial da madeira;  $S_{lv}$  é a tensão superficial do adesivo,  $S_{ls}$  é a tensão superficial da interface adesivo madeira e  $\Theta$  é o ângulo de contato.

Kwok e Neumann (1999) mencionam que as tensões do sólido-vapor e do sólido-líquido são de grande importância para avaliar a interação entre a substância e o substrato. Porém, por causa da dificuldade em determinar essas tensões na fase sólida, vários métodos são adotados para estimá-las, sendo o mais simples o do ângulo de contato. A medição do ângulo de contato é feita pela medição do ângulo  $\Theta$ , formado pela base da gota com o sólido. Estabelecidos valores para o ângulo de contato pode-se estimar as interações sólido-vapor e sólido líquido.

Após o contato inicial do líquido com a madeira, a força de coesão do líquido tenta manter a sua forma esférica enquanto a força de adesão atua para estender a gota na superfície do substrato. A competição entre essas forças propicia diferentes graus de umectação (IWAKIRI, 2005). No caso do líquido formar um filme, o ângulo será zero e o substrato apresentará uma umectação completa. Quando o ângulo for maior que zero a umectação será parcial ou incompleta, exceto em caso onde o ângulo for maior ou igual a  $90^\circ$ , onde se diz que não ocorreu umectação entre o líquido e o substrato (Figura 10).



**Figura 10.** Ângulo de conta e grau de umectação (IWAKIRI et al., 2005)

Segundo Sheldon et al. (2001), ao tocar a superfície da madeira, inicialmente, o ângulo de contato reduz consideravelmente o que é conhecido como fase de espalhamento. Momentos depois, a redução do ângulo se dá lentamente, até que seja atingido o equilíbrio, etapa conhecida como fase de difusão (Figura 11).



**Figura 11.** Variação do ângulo de contato em função do tempo.

O tempo e a velocidade em que ocorre cada uma dessas fases anteriormente mencionadas, variam de acordo com as características da espécie e do líquido utilizado (BRISOLARI,

2008). Somada a estas, o fato do ângulo de contato estar diretamente relacionado com a rugosidade da madeira, faz com que a modificação da superfície; seja por meio da usinagem, lixamento, tratamentos termomecânicas, ou outros, também interfira significativamente no ângulo formado (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2010) (Figura 12).

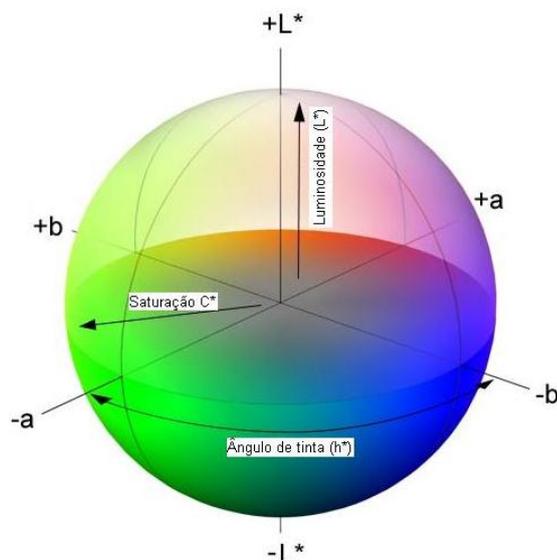


**Figura 12.** Imagem de gotas 30 segundos após serem colocadas na superfície de uma lamina de madeira com diferentes tratamentos superficiais (USDA, 2010).

#### **2.4.3. Cor**

Segundo Stangerlin (2012), a cor de um material pode ser definida como a sensação oriunda do percentual de luz, na região visível do espectro, incidente sobre a retina (olho humano). Dentre os fatores que podem influenciar a cor da madeira, Gonzalez et al. (2001) destacam além dos fatores genéticos, a composição química, anatomia, posição da amostra na árvore, idade e fatores fenotípicos.

Para existência de cores são necessários três elementos básicos – o objeto; a fonte luminosa; e o observador. Porém, na maioria dos casos, a atribuição de cores é feita sob um caráter subjetivo, apenas pela análise visual do objeto pelo observador. Isso faz com que um mesmo objeto apresente definições de cores diferentes dependendo do observador ou da fonte luminosa. Para contornar essa subjetividade foram desenvolvidos métodos quantitativos para atribuição de cores (BILLMEYER JUNIOR e SATZMAN, 1981). O método mais utilizado no meio acadêmico é o sistema CIELab (Figura 13). Nesse sistema a medição e a quantificação da sensação de cor obtida pelo Comissão International de L’Eclairage – CIE (1976) é definido por meio de três elementos (a luminosidade ou brilho; a tonalidade ou matriz de saturação; e a cromaticidade) que são utilizados na colorimetria quantitativa (GONÇALEZ et al., 2001).



**Figura 13.** Sistema de coordenadas de cores CIELab (adaptado de CIELab, 1976).

Nesse sistema, a luminosidade é expressa pelo parâmetro  $L^*$  que varia de zero (preto absoluto) até 100 (branco total). Graficamente é representada por uma reta vertical perpendicular ao centro de um círculo. A tonalidade é expressa pelas coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  onde as cores primárias (vermelho, verde, amarelo e azul) são representadas por duas retas perpendiculares entre si que se cruzam no eixo de um círculo. Estas coordenadas vão de +60 a -60 com o valor zero no centro do círculo no momento que as linhas se cruzam. A coordenada  $a^*$  vai da cor vermelha (+a) até a verde (-a) e a coordenada  $b^*$  de amarelo (+b) até a azul (-b). A tonalidade  $h^*$  é expressa pelo ângulo do círculo, também conhecido como ângulo de tinta e deriva dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ . A saturação (C) corresponde ao desvio partindo do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$  (luminosidade). Graficamente, essa corresponde ao raio do círculo de tonalidade, partindo do cinza no eixo de luminosidade (0) até a cor pura espectral (60) localizada na extremidade do círculo (AUTRAN e GONÇALEZ, 2006).

#### 2.4.4. Variação em Espessura

Lutz (1978) considera a uniformidade em espessura das lâminas uma das principais características a ser avaliada na determinação de sua qualidade. Variações em espessura são permitidas dentro de uma faixa de tolerância, de modo que seja assegurada a composição pré-estabelecida e o controle da espessura final do painel a ser produzido. O

Programa Nacional da Qualidade da Madeira – PQNM (ABIMCI, 2009), considera admissíveis variações em espessura para lâminas de madeira em até sete por cento, para mais ou para menos. De acordo com Suchsland e Jankowsky (1978), com relação à desuniformidade em espessura das lâminas, os principais defeitos encontrados são – lâminas com espessura irregular no sentido perpendicular as fibras; lâminas com face ondulada, decorrente vibrações do torno, uso de toras muito frias ou quando o corte da faca está ajustado abaixo do centro das garras; lâminas mais grossas nas pontas do que no centro, que provocando o curvamento das lâminas. No entanto, lâminas com espessura observada ligeiramente superior a pré-estabelecida (espessura nominal) são desejáveis, pois minimizam a esperada perda de espessura das lâminas em função do processo de secagem e do painel laminado decorrente da etapa de prensagem (BORTOLETTO JÚNIOR, 2006).

Bortoletto Júnior (2008) evidenciou que a espessura da lâmina pode influenciar significativamente o rendimento em laminação. O autor verificou para lâminas de 2,00 mm de espessura um rendimento de 57,9% e, para lâminas de 3,00 mm, rendimento de 50,9%. Essas diferenças foram atribuídas às maiores perdas em arredondamento das lâminas mais espessas. Uma menor espessura da lâmina proporciona ainda, segundo Medina (1986), um menor tempo de secagem.

#### **2.4.5. Estabilidade Dimensional**

A contração e o inchamento higroscópico constituem, juntamente com a anisotropia, características indesejáveis da madeira, limitando seu uso ou exigindo técnicas específicas para sua utilização. De certo modo, a transformação da madeira em painéis estruturais, com a utilização da pressão, temperatura e uso de adesivos de exteriores, pode ser considerada uma das formas de minimizar o efeito de expansão e retrações da madeira.

Outra maneira de minimizar problemas decorrentes da retratibilidade é utilizar-se do conhecimento sobre a estabilidade dimensional que cada espécie apresenta. Bortoletto Júnior (2003) destaca que a manufatura de painéis laminados de qualidade satisfatória utilizando de lâminas obtidas de espécies diferentes, ou de uma mesma espécie, mas sendo produzidas de procedência ou tipo de lenhos diferentes, pode ser possível, desde que se conheçam as características de cada lâmina. Segundo o autor, desta forma, é teoricamente

viável a mistura de lâminas provenientes de diferentes espécies com reduzida possibilidade de ocorrerem empenamentos nos painéis, desde de que a montagem destes levem em consideração as propriedades das lâminas e a simetria dos painéis. Porém, quando se utiliza mistura de lâminas de espécies de madeira distintas que apresentam características de retratibilidade marcadamente diferentes, a ocorrência desse tipo de defeito é muito frequente.

Richter et al. (1975) observaram para lâminas de guapuruvu valores médios de contração tangencial de 6,5%. Bortoletto Júnior e Belini (2002) verificaram em lâminas da mesma espécie obtidas de plantios homogêneos com 16 anos, retrações de 8,3% e 1,7% nos sentidos tangencial e radial respectivamente. Para contração volumétrica e coeficiente de anisotropia foram observados os valores de 10% e 4,8 respectivamente. Para clones de *Eucalyptus*, Almeida et al. (2004) observaram médias de 11,3% (tangencial), 5,3% (radial), 16,6% (volumétrica) e fator anisotrópico de 2,2.

#### **2.4.6. Avaliação Não Destrutiva de Lâminas**

A pré-classificação de lâminas é uma etapa essencial para produção de compostos estruturais. Algumas dessas classificações, como a visual, por exemplo, baseiam-se apenas em parâmetros que apresentam pouco ou nenhuma correlação com a resistência mecânica das lâminas. O uso de ferramentas não destrutivas (NDT), aplicado por meio da propagação de ondas acústicas, é um dos métodos mais eficaz para se estimar a resistência das lâminas de madeira.

Para Müller (2009), a classificação de lâminas de madeira exige procedimentos não destrutivos e, ao mesmo tempo, rápidos e práticos, que permitam a estimativa de suas propriedades mecânicas nas linhas de produção das indústrias. Normalmente são escolhidos métodos que obtêm resultados por meio de leituras indiretas, como os que medem a velocidade de propagação de ondas acústicas e que possibilitam valores para as classificações pretendidas.

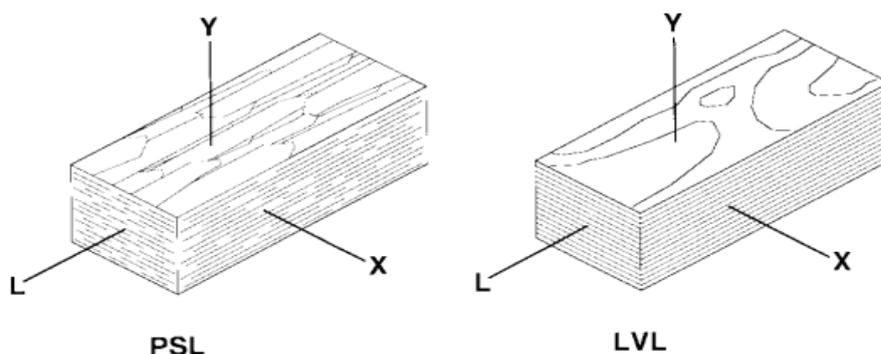
Matos (1997) comprovou em seu estudo que o uso da técnica de aplicação de ondas acústicas em lâminas obteve elevadas correlações entre o módulo de elasticidade mecânico ( $E_m$ ) e o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) estimado por meio de ondas acústicas.

Observou ainda que, a montagem dos painéis utilizando lâminas, agrupadas por classe de qualidade, em função da velocidade de propagação do som, mostrou-se muito eficiente, conferindo-os elevada resistência mecânica.

### 3. COMPOSTOS ESTRUTURAIS

A crescente necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade controlada, juntamente com o marcante avanço na tecnologia dos adesivos e a disponibilidade de madeira, contribuíram para o surgimento de novos materiais de construção, dentre estes, destacam-se os produtos engenheirados de madeira (*Engineered Wood*). Os compostos estruturais de madeira compreende uma extensa gama de produtos, os quais foram desenvolvidos em resposta a uma necessidade por madeira de alta qualidade e determinado comprimento num período de escassez deste material nos recursos florestais (PEDROSA, 2003).

*Structural Composite Lumber* (SCL) é um termo genérico que descreve a família de produtos engenheirados de madeira, que combinam lâminas (*veneer*), tiras (*strands*) ou outros pequenos elementos de madeira com adesivos para uso exterior, para formar produtos estruturais à base de madeira. Além do LVL (*Laminated Veneer Lumber*), também fazem parte desta família o PSL (*Parallel Strand Lumber*) e o LSL (*Laminated Strand Lumber*), todos esses com uma característica em comum, o alinhamento da grã dos componentes de madeira, sendo este prioritariamente paralelo ao comprimento da peça produzida, com o objetivo de otimizar a rigidez e a resistência (Figura 14) (SMULSKI, 1997).



**Figura 14.** Orientação dos compostos estruturais de madeira (ASTM D 5456).

A norma americana para madeiras e produtos de madeira (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D 5456, 2001) define compostos estruturais de madeira como painéis engenheirados destinados a uso estrutural, confeccionados com adesivo para exterior (resistente à umidade) e qualificado de acordo com especificações da ASTM D 2559 (2001) ou, no Canadá, conforme especificações da Canadian Standards Association – CSA para adesivos estruturais de madeira (CSA O112.9, 2005). Nesta classe de painéis enquadram-se os painéis do tipo LVL, o qual se refere a um painel composto por lâminas de madeira coladas usualmente no mesmo sentido da grã.

Esses painéis combinam as propriedades de resistência natural de materiais lignocelulósicos com modernas técnicas de engenharia e produção para criar produtos estruturais eficientes, de modo que sejam produzidos painéis de madeira com qualidade aceitável, dentro das especificações das normas internacionais, mesmo usando matéria-prima de menor qualidade (SOUZA, 2009). Os SCL apresentam elevada resistência mecânica, baixo coeficiente de expansão e condutividade térmica, linha de cola resistente e liberdade de formas e tamanhos. Além disso, seu dimensionamento proporciona a criação de estruturas leves e eficientes (PIO, 2002).

Para manufatura de compostos estruturais de madeira são necessários alguns pré-requisitos de sua matéria prima. No caso de painéis laminados, espécies que apresentam madeira com baixa massa específica podem produzir lâminas mais felpudas, que dificultam o acabamento e interferem negativamente nos processos de colagem. Por outro lado, espécies com massa específica elevada podem produzir lâminas quebradiças e consomem mais energia na fase de processamento (MÜLLER, 2009). De acordo com Renzo (2008), a faixa ideal de massa específica para produção de lâminas a serem utilizadas na confecção de painéis estruturais varia de 0,32 a 0,65 g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Gabriel (2007) a maioria das indústrias produtoras de compósitos estruturais nos Estados Unidos produzem seus painéis de tal forma que as propriedades mecânicas obtidas por estes sejam, no mínimo, superiores aos valores padronizados para a madeira serrada que deu origem ao painel (Tabela 3). Em contrapartida, custos elevados de produção decorrentes do emprego de técnicas, equipamentos e mão-de-obra especializada são considerados como principais desvantagens destes painéis (PIO, 2002).

**Tabela 3.** Valores de resistência de cálculo e rigidez para produtos estruturais de madeira e madeira serrada de Southern pine

Produto	$E_m$	$f_m$	$f_c$	$f_{gv,0}$	$f_{gv,90}$
	..... (MPa) .....				
LVL	13790	23,80	18,79	1,96	5,17
Madeira serrada (clear)	12411	19,65	14,48	0,62	3,90

$E_m$ : módulo de elasticidade em flexão;  $f_m$ : tensão admissível à flexão;  $f_c$ : tensão admissível à compressão paralela à grã;  $f_{gv,0}$ : tensão admissível ao cisalhamento paralelo;  $F_{cper}$ : tensão admissível ao cisalhamento perpendicular à grã. (Fonte: GREEN e HERNANDEZ, 1998)

Os principais compostos estruturais produzidos e utilizados no mundo são o OSB (*Oriented Strand Board*) e o LVL. Em menor proporção, também se destacam as vigas-I (*I-joists*), e os painéis PSL e LSL. Nesta revisão, será abordado especificamente o painel do tipo LVL, por ser dentre os painéis citados, o único a ser parte integrante deste estudo.

#### 4. PAINEL LVL

Segundo a *Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products* (ASTM D 5456, 2001), o LVL pode ser definido como um composto estrutural constituído de lâminas de madeira de pequena espessura, com as fibras da madeira orientadas principalmente ao longo do comprimento da peça, no qual a espessura das lâminas não deve exceder a 6,4 mm – 0,25 polegadas (Figura 14).



**Figura 14.** Vigas tipo LVL vistas de diferentes ângulos (CARVALHO, 2004).

Como elemento estrutural longitudinal, o LVL se diferencia das vigas de madeira laminada colada (MLC) por estas utilizarem lâminas mais espessas, como tábuas, obtidas de corte por serras. A confecção destes produtos engenheirados elimina ou reduz significativamente

os efeitos negativos de nós e/ou inclinação da grã, geralmente encontrados em madeira serrada. Além disso, há uma maximização no rendimento das toras para este tipo de produto (ASTM D 5456, 2001).

Assim como os compensados, o LVL é produzido com lâminas de pequena espessura, normalmente variando de 2,5 a 4 mm. Entretanto, o LVL como painel se diferencia fundamentalmente do compensado estrutural pelo princípio de que, para os compensados, a sobreposição das lâminas é “cruzada”, ou seja, a montagem das camadas é feita com a grã de lâminas adjacentes orientadas a um ângulo de 90°, umas em relação às outras. Em um elemento estrutural linear sob solicitação de flexão, as lâminas cruzadas ao alinhamento principal longitudinal constituem camadas de menor resistência mecânica. Os elementos LVL são concebidos para uso estrutural longitudinal, como vigas e caibros, por exemplo (Figura 15) (MÜLLER, 2009).



**Figura 15.** Painéis LVL utilizados em estruturas e telhados (WEST FRASER, 2007).

A primeira pesquisa com LVL no Brasil foi desenvolvido por Matos (1997), que lhe atribuiu à denominação/tradução de Painel de Lâminas Paralelas (PLP). Entretanto, Carvalho (2004) questiona essa denominação, já que o LVL nem sempre apresenta todas suas lâminas no mesmo sentido. O autor menciona ainda que a tradução literal da nomenclatura *Laminated Veneer Lumber*, madeira laminada folheada, não traz nenhuma indicação quanto à orientação das lâminas, umas em relação às outras.

Embora para o LVL as lâminas sejam dispostas prioritariamente na mesma direção em relação à orientação das fibras, a partir do ano 2000 surgiu no mercado internacional uma série de outros produtos semelhantes tratados pelo mesmo nome. Nestes, algumas lâminas

internas do painel são orientadas a 90° (em relação à direção das fibras) das demais. Estudos mais recentes vêm conferindo pequenas inclinações (6 a 8°) às orientações das lâminas, umas em relação às outras, o que vem resultando em melhoria nas propriedades mecânicas. O mesmo autor cita ainda que na literatura internacional ainda são encontradas outras nomenclaturas como *Parallel Laminated Veneer (PLV)* e *Structural Veneer Lumber (SVL)* para o mesmo tipo de painel caracterizado como LVL (CARVALHO, 2004).

Na fabricação dos painéis e elementos estruturais LVL existe maior possibilidade de se promover a dispersão de elementos redutores de resistência, como os nós, por meio da composição das camadas com lâminas finas, proporcionando assim aos produtos propriedades de resistência e rigidez superiores às da madeira sólida original e da MLC (GABRIEL, 2007). O LVL é utilizado principalmente para aplicações estruturais na forma de vigas em construções de madeira. Também pode ser empregado na composição das vigas-I, formando os flanges superior e inferior. Para construções de obras especiais em madeira, o LVL pode compor elementos estruturais curvos, como colunas em arco ou vigas para abóbadas, atendendo a projetos específicos (MÜLLER, 2009).

Como material de construção em geral, o LVL é usado como componente da estrutura de casas, ou prédios, devido à sua elevada resistência, menor peso e economia de material. É considerado como um material de custo elevado devido à inexistência de defeitos comuns em madeira serrada como torção, curvatura, empenamentos, rachaduras, nós, dentre outros (MATOS, 1997).

## **5. COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS**

A classificação de lâminas de madeira em classes de resistência, etapa anterior à de montagem dos compósitos, é uma prática eficiente para assegurar a resistência requerida aos produtos estruturais. Da mesma forma, a partir de um determinado lote de lâminas, a classificação destas permite uma melhor estratégia de montagem dos compósitos, pois, dependendo da exigência requerida ao produto, na montagem do LVL, pode ser admitido o uso de lâminas com menores resistências nas camadas que terão menor solicitação e de lâminas de maiores resistências nas camadas de alta solicitação, aquelas que serão expostas

aos maiores esforços, aumentado, assim, o aproveitamento da matéria-prima sem comprometer a confiabilidade do produto final (MÜLLER, 2009).

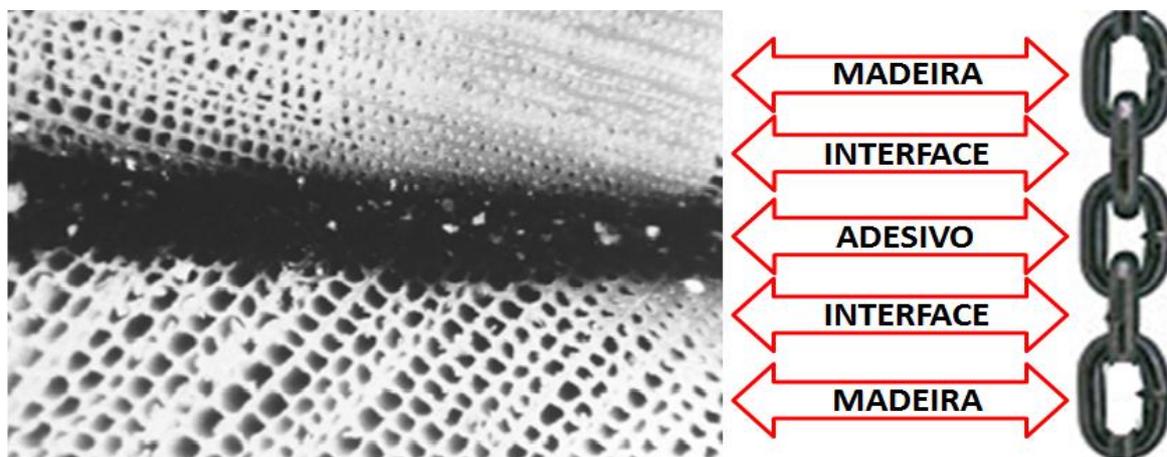
Para Souza (2007) o sistema de classificação das lâminas em classes de resistência ou classes de qualidade, é um diferencial no processo de produção dos painéis LVL. Algumas indústrias possuem tecnologia de classificação por meio de ondas acústicas ou ultrassom. A classificação das lâminas por meio de ondas acústicas é uma importante ferramenta para desenvolver um plano de montagem do painel LVL a fim de aumentar sua resistência. Por meio dela é possível a manufatura de um produto engenheirado confiável, com nível de resistência previamente determinado.

Em sistemas laminados horizontais (*flatwise*) submetidos à flexão, o posicionamento de lâminas de maior resistência próximo às superfícies torna-as mais eficientes, resultando em maior resistência ao elemento laminado. Na flexão estática, em que o elemento multilaminado dispõe-se apoiado nas extremidades e recebe carga aplicada no centro do vão entre apoios, as lâminas dispostas mais próximas à superfície superior sofrem solicitação de compressão, enquanto as lâminas da superfície inferior são solicitadas à tração, geralmente responsável pelo rompimento final da peça. A linha neutra se localiza próximo à metade da altura da secção transversal da peça, onde é mais acentuada a solicitação de cisalhamento (BODIG e JAYNE, 1993).

O parâmetro mais utilizado para a classificação por métodos não destrutivos tem sido o módulo de elasticidade, em alguns casos associado à massa específica aparente, como outra variável independente da mesma equação (PIO, 2002). No Brasil, alguns importantes trabalhos e estudos com LVL estabeleceram critérios de classificação para lâminas optando pelos métodos de propagação de ondas acústicas. Matos (1997), Pio (2002) e Bortoletto Júnior (2006) classificaram lâminas por ondas de tensão (*Stress Wave*); CARVALHO (2004) classificou por ultrassom; e Gabriel (2007) classificou por ambos os métodos. Os métodos de ondas de tensão e ultrassom são os mais utilizados para estimar as propriedades mecânicas de lâminas de madeira nas indústrias, com o objetivo de classificá-las por classes de resistência. Ambos os métodos baseiam-se nos princípios da propagação de ondas acústicas e nas correlações existentes entre as velocidades de transmissão e as propriedades elásticas da madeira.

## 6. ADESIVOS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS

A utilização de adesivos apresenta importância crescente na indústria de produtos florestais e é considerado um elemento chave para um melhor aproveitamento da madeira. Tem como principal função transferir e distribuir as cargas entre os componentes, aumentando assim a resistência e rigidez de produtos de madeira. A efetiva transferência de esforços de um elemento para outro depende da força dos elos de uma cadeia imaginária por meio da ligação madeira-adesivos (Figura 21).



**Figura 21.** Esquema da ligação adesiva existente entre duas peças de madeira (imagem da linha de cola adaptada de USDA, 2010).

O desempenho de uma ligação depende de quão bem os complexos fatores que contribuem para as propriedades da adesão (madeira, adesivo, interface madeira-adesivo) são controlados durante a montagem do produto e determinam sua resistência (USDA, 2010). Numa colagem bem feita, as peças coladas são consideradas como único elemento, em que o adesivo é perfeitamente rígido e capaz de transferir esforços como se constituíssem uma única estrutura. A resistência da união será aquela do elo mais fraco – madeira, interface ou adesivo (HASELEIN e PAULESKI, 2004).

Os adesivos podem ser definidos como uma substância capaz de unir materiais por meio do contato de suas superfícies. As condições físicas e químicas da superfície durante a adesão são muito importantes para o que o uso deste produto seja satisfatório, uma vez que este tem que umedecer e se espalhar livremente nas superfícies para que se estabeleça um íntimo contato entre elas (RENZO, 2008). O adesivo é um componente com implicações

técnicas e econômicas significativas na utilização dos produtos à base de madeira (PIZZI, 1994). Conforme Akers (1966) os adesivos são tão importantes na produção de painéis de madeira quanto à matéria-prima utilizada na manufatura destes. Para Carneiro et al. (2004), isso se deve principalmente ao custo dos adesivos sintéticos que é elevado e tem influencia direta no preço final do produto, podendo atingir até metade desse valor.

De acordo com o USDA (2010), os adesivos para madeira podem ser classificados em três grupos – estrutural, semiestrutural e não estrutural (Tabela 4). Por se tratar de produto estrutural, o LVL deve ser manufaturado com adesivo sintético termofixo e resistente a umidade. Os adesivos tipicamente usados para atender às exigências de durabilidade dos produtos estruturais são o fenol-formaldeído e o resorcinol-formaldeído, sendo que o último apresenta um custo muito maior do que o primeiro, com a durabilidade de ambos seja praticamente a mesma (SELLERS, 1985).

**Tabela 4.** Classificação para adesivos conforme o ambiente de uso.

Classificação	Ambiente	Adesivo
Estrutural	Exterior	Fenol-Formaldeído (FF)
		Resorcinol-Formaldeído (RF)
		Fenol-Resorcinol-Formaldeído (FRF)
Estrutural	Exterior Limitado	Emulsão polímero/isocianato
		Melamina-Formaldeído (MF)
		Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF)
Estrutural	Interior	Isocianato
		Époxi
		Uréia-Formaldeído
Semiestrutural	Exterior Limitado	Caseína
		Acetato de Polivinila Crooslinking (PVAc)
Não Estrutural	Interior	Poliuretano (PU)
		Acetato de Polivinila (PVA)
		Animal
		Elastomeros
		Hot-melt
Não Estrutural	Interior	Amido

USDA (2010)

Resinas com mistura de fenol-formaldeído e resorcinol-formaldeído (em menor proporção) também são comuns na fabricação de LVL, de forma a minimizar o tempo de prensagem. Isoladamente, o resorcinol-formaldeído é cada vez menos utilizado e já tem seu uso proibido em alguns países por apresentar emissão de formaldeído após a cura. Na presente

revisão serão abordados com maior ênfase as resinas PVAc (Acetato de Polivinila *crosslinking*), fenol-formaldeído (FF) e poliuretano (PU), por estas terem sido empregadas experimentalmente no desenvolvimento do presente trabalho.

### **6.1. ACETADO DE POLIVINILA *CROSSLINKING* (PVA<sub>c</sub>)**

O polietileno vinil acetato ou acetato de polivinila é um polímero sintético base água, preparado pela polimerização do acetato de vinila disperso em água (HAUBRICH E TONET, 2006). Os adesivos à base de PVA, também conhecidos como colas brancas, são considerados os adesivos termoplásticos de maior interesse para colagem de madeira (IWAKIRI, 2005). Os adesivos PVA podem ser usados em sistemas de prensagem a quente, a frio ou em alta frequência. Sua cura se dá por adsorção d'água na madeira, permitindo o coalescimento da emulsão de partículas formando um filme.

Normalmente os adesivos PVA apresentam concentração de sólidos em torno de 50%. Embora a cura ocorra por perda de água, já existem formulações acrescidas de catalisadores que aceleram a reação de cura através da ativação de reações químicas de polimerização (*crosslinking*) as quais são responsáveis por aumentar a resistência à água e a esforços deste tipo de adesivos. Estas foram desenvolvidas especialmente para serem aplicadas onde se requeira resistência a temperaturas e umidades elevadas (PIZZI, 1994).

Trata-se de um tipo de cola branca especial nível D-4, que confere à junta de colagem alta resistência à umidade e ao calor. A Norma Europeia EN 204 define a classe D4 como produtos de uso interior, com exposição frequente e por longos períodos à água corrente ou vapor. Uso exterior com exposição ao tempo, mas com adequada proteção por um acabamento. Exemplos: piso ao redor de piscinas, móveis de jardim, móveis de saunas, entre outros (EUROPEAN STANDARD, 2001). A resistência à umidade não é encontrada na maioria dos tipos de cola branca e, por isto, as resinas de PVA<sub>c</sub>, pela sua excelência, apresentam custo elevado (BORTOLETTO JÚNIOR, 2006).

### **6.2. FENOL-FORMALDEÍDO (FF)**

A resina fenol-formaldeído é largamente utilizada como adesivo termoestável em produtos de madeira, ou à base de madeira, para uso exterior. Os adesivos fenólicos apresentam

considerável resistência a variações de temperatura e umidade, são tóxicos para microrganismos e liberam formaldeído em quantidades aceitáveis após a cura. Entretanto, possuem coloração escura e só curam a temperaturas superiores a 100°C (HASELEIN e PAULESKI, 2004).

É a resina mais empregada mundialmente na manufatura de compostos estruturais de madeira. Segundo Santos et al. (2003), a preferência por adesivos fenólicos deve-se a elevada resistência à umidade, durabilidade e resistência ao ataque de microrganismos, possibilitando, portanto, produtos colados mais duráveis. Pedrosa (2003) cita ainda o fato de ser uma resina termoestável, apresentando pouca influência das variações externas de temperatura e umidade.

Como fatores negativos, Dias e Lahr (2007) citam as seguintes desvantagens – o alto consumo de energia, pois necessitam de altas temperaturas para ser curado; preço elevado e instável, por ser o petróleo a matéria-prima de origem; é um produto tóxico; e é obtido de fontes não renováveis.

É especialmente indicado para a fabricação de painéis multilaminados para uso naval, bem como outras utilizações onde a característica de ser resistente a umidade seja requerida, conferindo a estes, qualidades satisfatórias para uso exterior (BULIGON, 2011). Durante a prensagem a quente, a resina sofre uma reação de polimerização e ligações químicas com a madeira. Dentro de certos limites, de modo geral, um aumento na temperatura de prensagem, leva a um aumento na resistência da ligação (SOUZA, 2009).

### **6.3. POLIURETANO (PU)**

Os adesivos a base de isocianatos, tais como os poliuretanos, estão ganhando aceitação para muitas aplicações estruturais e não estruturais. Ligações feitas com eles tem apresentado boa resistência à fluência (*creep*), à umidade, à exposição ao calor e, além disso, a cura pode ser feita a temperatura ambiente (RENZO, 2008). Esse tipo de adesivo apresenta boa durabilidade, cura rápida e não há liberação de formaldeído após a cura. Em contrapartida, apresenta como desvantagem o alto custo, a extrema toxicidade (antes da cura) e a adesão a qualquer tipo de substrato (HASELEIN e PAULESKI, 2004).

Os adesivos de poliuretano podem ser mono ou bi componentes. Os sistemas líquidos de adesivos de dois componentes, com 100% de sólidos, e baixo teor de isocianato livre (<0,1%), foram desenvolvidos, para minimizar problemas de migração e exposição dos trabalhadores aos isocianatos. Os adesivos de um componente consistem de um prepolímero que cura por reação com a umidade. Neles, o excesso do poliisocianato, a natureza e a funcionalidade das matérias-primas, devem ser balanceados de forma que as ligações resultantes tenham força, resistência e elasticidade satisfatória, e que a estabilidade do adesivo seja preservada durante a estocagem (CARNEIRO, 2006).

Adesivo PU tem se apresentado como um composto alternativo para as indústrias de compostos estruturais de madeira, e foi desenvolvido com objetivo de eliminar uma gama de problemas relacionados ao uso estrutural da madeira e derivados. A linha de cola produzida por estes tem como características – alta resistência mecânica; resistência a altas temperaturas e umidades; o produto não agride o meio ambiente, pois é livre de solventes e exige menor consumo de água; e atende a normas internacionais de qualidade e resistência (CUNHA e MATOS, 2011).

Poliuretanos são consumidos principalmente sob a forma de espumas flexíveis ou rígidas e elastômeros. Suas aplicações são variadas e incluem além de produtos de madeira, segmentos da indústria automotiva, colchões e assentos na indústria móveis, calçados, refrigeradores, aquecedores, etc. As resinas poliuretano podem ser derivadas tanto do petróleo como de fontes naturais (biomonômeros), onde são utilizados óleos vegetais de diversas fontes como soja, milho, açafrão, girassol, canola, amendoim, oliva e mamona, entre outros (SILVA, 2003).

## **7. AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA NA PRODUÇÃO DE LVL**

Por meio da avaliação não destrutiva (NDT) de materiais é possível estimar as propriedades destes sem alterar a sua capacidade de uso final (PIO, 2002). Os princípios em que se baseiam os ensaios não destrutivos de madeira foram fundamentados por Jayne (1959), que propôs a hipótese de que as propriedades de conservação e dissipação de energia da madeira podem ser mensuradas e utilizadas como mecanismos que determinam o comportamento estático estrutural do material. Logo, podem ser estabelecidas relações

matemáticas entre essas propriedades com a resistência e elasticidade da madeira e compostos de madeira.

Avaliações não destrutivas têm sido utilizadas para a verificação de peças estruturais de madeira ou derivados, classificando-as e permitindo uma melhor aplicação dessas. Estas técnicas possibilitam uma série de vantagens, sendo a principal delas a manutenção da integridade estrutural da madeira, ou seja, não sendo necessária a retirada de corpos-de-prova para a realização de ensaios em laboratório, na determinação das propriedades mecânicas (PELLERIN e ROSS, 2002; WANG et al, 2001). Oliveira e Sales (2002) destacam ainda que os métodos não destrutivos, em comparação com os métodos convencionais para caracterização da madeira, possibilitam uma maior rapidez na análise de um grande estoque de produtos e versatilidade para se adequar a rotinas padronizadas em linhas de produção.

Para Wang et al. (2001), no setor florestal o emprego de métodos não destrutivos contribui para uniformidade no desempenho de compostos estruturais de madeira. Por meio deles, é possível classificar estes produtos resultando em peças com características e desempenho bem definidos. Conforme mencionado por Derner et al. (2010), existem vários métodos que podem ser utilizados para avaliação não destrutiva. Dentre os mais utilizados podem ser citados – observação visual; observação auditiva; emissão de ondas de baixa frequência; método da deflexão; radiação Gama; e Método do raio-X (DERNER et al., 2010). Dentre estes, a utilização de ondas acústicas tem sido o mais empregado, por meio do emprego do *Stress Wave* (ondas de tensão) e do ultrassom.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERS, L.E. **Particle board and hardboard**. London: Balckie e Son, v.4, 1966. 172p.

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I.P. Produção de lâminas a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.65, p.49-58, 2004.

ALVES, M.V.G.; KOEHLER, H.S.; MELO FILHO, B. Perspectives and tendencies of the Brazilian forestry sector. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO IUFRO, 2., 2001, La Serena. **Anais...** La Serena: La Serena: INFOR, 2001. v.1, 4p.

AMATA. **Revisão sobre o paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke.** São Paulo: AMATA, 2009. 106p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2559.** Standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet-use) exposure conditions. Philadelphia, 2001. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5456.** Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. Philadelphia, 2001. 14p.

ANGELO, H.; SILVA, G.F.; SILVA, V.B.M. Análise econômica da indústria de madeiras tropicais: o caso do polo de Sinop, MT. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.91-101, 2004.

ARRUDA, L.M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados.** 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009 ano base 2008:** indústria de madeira processada mecanicamente. Curitiba: ABIMCI, 2009. 48p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011.** Brasília: ABRAF, 2012, 150p.

AUTRAN, C.S.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores. **Ciência Florestal**, v.16, n.4, p.445-451, 2006.

BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices.** San Francisco: Miller Freeman, 1995. 326p.

BARNEBY, R.C. Neotropical fabales at NY: asides and oversights. **Brittonia**, v.42, n.2, p.174-187, 1996.

BILLMEYER JUNIOR, F.W.; SATZMAN, M. **Principles of colour technology.** New York: John Wiley, 1981. 240p.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1993. 712p.

BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**, v.12, n.2, p.35-41, 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**, v.36, n.78, p.95-103, 2008.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, n.63, p.65-78, 2003.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii***. 2006. 97f. Tese (Livre Docência em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U.L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v.8, n.2, p.1-16, 2002.

BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B. Caracterização do rendimento e dos resíduos em uma laminadora através do balanço de materiais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. 13p.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

BULIGON, E.A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2011.

CANADIAN STANDARD ASSOCIATION. **CSA O112.9**. Evaluation of Adhesives for Structural Wood Products (Exterior Exposure). Ontario:2005. 53p.

CARNEIRO, A.C.O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Anadenanthera peregrina* Speg nas propriedades dos adesivos**. 2006. 158f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; DELLA LÚCIA, R.M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.715-724, 2004.

CARVALHO, A.M. **Caracterização de painéis LVL obtidos da madeira do híbrido de eucalipto *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* do Estado de São Paulo**. 2004. 80f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

CARVALHO, P.E.R. **Paricá: *Schizolobium amazonicum***. Embrapa: Colombo, 2007, 8p. (Circular Técnica 142)

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE – CIE. **Colorimetry**. 2ª ed. Central Bureau of the Commission Internationale de leclairage: Vienna, 1976. (Publication CIE n°. 15, v.2)

CORDEIRO, I.M.C.C. **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L.B. Smith) Coppens e Leal sob diferentes níveis de cultivo no município de Aurora do Pará.** 2007. 115f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural do Amazonas, Belém. 2007.

CRUZ, M.M.S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina ureia-formaldeído.** 2006. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2006.

CUNHA, A.B.; MATOS, J.L.M. Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano. **Cerne**, v.17, n.4, p.593-600, 2011.

DERNER, L.A.; TEREZO, R.T.; SZÜCS, C.A. Avaliação do módulo de elasticidade da espécie paricá através de ensaio não destrutivo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2010. Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2010.

DIAS, F.M.; ROCCO LAHR, F.A. Fabricación de madera contraplacada con adhesivo poliuretano alternativo a base de ricino. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v.5, n.2, p.163-175, 2003.

DOSSA, D. **Cultivo de eucalipto.** Embrapa: Colombo, 2003. 12p. (Circular Técnica 18)

EUROPEAN STANDARD. **EN-204.** Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. Bruxelas, 2001.

FIGUEROA, M.J.M. **Influência da temperatura sobre a resistência mecânica do paricá.** 2008, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GABRIEL, M.S.C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de pinus tropicais da região de São Paulo.** 2007, 125f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2007.

GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S.; COSTA, A.F.; VALLE, A.T. Colorimetria quantitativa: Uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, n.72, p.47-58, 2001.

GREEN, D.W.; HERNANDEZ, R. Codes and standards for structural wood products and their use in the United States. In: FOREST PRODUCTS SOCIETY ANNUAL MEETING, 1998, Yucátan. **Anais...** Yucátan: North American Forestry Commission, 14p.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, R.F.; SARTORI, C.J.; MENDES, L.M. Avaliação do rendimento de laminação da madeira de *Hevea brasiliensis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11, Londrina, 2008. **Anais...** Londrina, 2008. 6p.

GULER, C.; COPU, Y.; AKGUL, M.; BUYUKSARI, U. Some chemical, physical and mechanical properties of juvenile wood from Black pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. **Journal of Applied Sciences**, v.7, p.755-758, 2007.

HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de Tecnologia da Madeira II: Parte I.** Santa Maria: Imprensa Universitária – UFSM, 2004. 73p.

HAUBRICH, J.L.; TONET, A. **Adesivos vinílicos para madeira.** 2006. Disponível em: <[http://www.adesivoseselantes.com.br/edicao14\\_otica.asp](http://www.adesivoseselantes.com.br/edicao14_otica.asp)>. Acesso em janeiro de 2012.

HOFFMANN, R.G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA.** 2009. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

INTERAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell), *Eucalyptus maculata* (Hook) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para a produção de painéis compensados.** 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 254p.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p. 557-563, 2010a.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, v.42, n.2, p.303-308, 2010b.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**, v.9, n.11, p.413-416, 1959.

JESUS, R.C.S. **Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Duck), plantada em diferentes espaçamentos e condições ambientais no município de Aurora do Pará.** 2004. 170f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004.

KEINERT JÚNIOR, S. Atulidades e perspectivas da utilização da madeira de *Eucalyptus* spp. E *Pinus* spp. Para produção de painéis no Brasil e no exterior. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, Belo Horizonte, 1993. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1993. p.227-239.

KILIC, Y.; COLAK, N.; BAYSAL, E.; BURDURLU, E. An investigation of some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber manufactured from black alder (*Alnus glutinosa*) glued with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. **Forest Products Journal**, v.56, n.9, p.56-59, 2006.

KNOWLES, O.H. Testes de espécies novas da região foz do rio Amazonas para substituir a *Virola surinamensis* na fabricação de compensados. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 2., 1994. Belem. **Anais...** Rio de Janeiro: SENAI/DN, 1996. p.213-229.

KWOK, D.Y.; NEUMANN, A.W. Contact angle measurement and contact angle interpretation. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.81, n.3, p.167-249, 1999.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. **Database of Brazilian woods**. Brasília: IBAMA. Disponível em < <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>. Acesso em abril de 2012.

LIMA, R.M.B. Desenvolvimento de espécies florestais estabelecidas em sistemas de policultivo. In: **Recuperação de áreas degradadas e abandonadas através de sistemas de policultivo**. GASPAROTTO, L; SCHROTH, G. (Editores). Manaus: EMBRAPA, 1998, p.64-67.

LUTZ, J.F. **Techniques for peeling, slicing and drying veneer**. Ottawa: USDA. Forest Service, 1974. (FPL Research Paper, n.228).

MANESCHY, R.Q.; SANTANA, A.C.; VEIGA, J.B. Viabilidade econômica de sistemas silvipastoris com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e *Tectona grandis* no Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.49-56, 2009.

MARQUES, L.C.T.; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. **A evolução do conhecimento sobre paricá para reflorestamento no estado do Pará**. Embrapa: Belém, 2006, 5p. (Comunicado Técnico 158)

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

MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm.** 1986. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1986.

MELO, J.E.; CARVALHO, G.M.; MARTINS, V.A. **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophylla* King.)**. Brasília: IBAMA, 1989. 16p. (Série Técnica, 6).

MENDES, M.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. **Procedimento prático para cálculo de produção de lâminas de madeira por desenrolamento**. Lavras: UFLA, 2000. 21p. (Boletim Agropecuário)

MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL**. 2009. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NAUMANN, R.N.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; DELLA LUCIA, R.M.; SILVA, J.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeirade *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B.; KLOCK, U. Principais madeiras utilizadas para laminação na região de Curitiba, PR. **Scientia Agraria**, v.1, n.1-2, p.33-38, 2000.

NOGUEIRA, L.M. **Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira.** 2010. 52f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

OHASHI, S.T.; YARED, J.A.G.; FARIAS NETO, J.T. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Acta Amazônica**, v.40, n.1, p.81-88, 2010.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood. **Materials Research**, v.5, n.1, p.51-55, 2002.

PEDROSA, A.L. **Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003, 104p.

PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood.** Madison: FPS, 2002. 210p.

PIAO, C.; WINANDY, J.E.; SHUPE, T.F. From hydrophilicity to hydrophobicity: a critical review: Part I. Wettability and surface Behavior. **Wood and Fiber Science**, v.42, p.490-510, 2010.

PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** 2002. 168f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002, 168p.

PIRATELLI FILHO, A. Rugosidade superficial. In: Seminário de Metrologia, 3., 2011, Brasília. **Anais....** Brasília: UnB, 2011, 41p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives.** New York: Marcel Dekker, 1994. 289p.

RENZO, R. **Painel estrutural de laminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2008.

RICHTER, H.G.; TOMASELLI, I.; MORESCHI, J.C. Estudo tecnológico do guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.). Parte II: fabricação de compensados. **Floresta**, v.6, n.1, p.14-23, 1975.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil:** manual de dendrologia brasileira. Rio de Janeiro: Editora Blücher, 1971. 294p.

ROJAS, M.R.; MARTINA, A.M.S. **Manual de identificación de especies forestales de la Subregión Andina.** Lima: INIA, 1996. 291p.

ROSA, L.S. Características botânicas, anatómicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huberr ex Ducke). **Revista de Ciências Agrárias**, n.46, p.63-79, 2006.

ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, CP.; LIMA, R.B. Comportamento inicial de espécies florestais potenciais para plantios em áreas alteradas na Amazônia. In: SIMPÓSIO

NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4, 2000, Blumenau. **Anais...** Blumenau: SOBRADE/FURB, 2000.

SANTOS, C. B.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; BARBOSA, L. C. Efeito da variação do pH e da temperatura de síntese no desempenho de adesivos à base de creosoto vegetal desmetilado-formaldeído. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.551-559, 2003.

SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661p.

SHELDON, S.; GARDNER, D. Dynamic adhesive wettability of wood. **Wood and Fiber Science**, v.33, p.58-68, 2001.

SILVA, R.V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

SIQUEIRA, K.P.; MONTEFUSCO, A.R.; GUIMARÃES NETO, A.B.; BONDUELLE, A. Principais metodologias de mediação de estado de superfícies. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v5, n.2, p.203-210, 2003.

SIVIERO, M.A. **Paricá: uma nova solução**. 2009. 28p. Disponível em <[www.revistareferencia.com.br/arquivo/cpp.pps](http://www.revistareferencia.com.br/arquivo/cpp.pps)>. Acesso em abril de 2012.

SMULSKY, S. **Engineered Wood Products: a guide for specifiers, designers and users**. Madison: Forest Products Society, 1997. 356p.

SOARES, R.S.C.; MELO, R.R.; CORDEIRO, S.A.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; BARBOSA, J.F. Produção e comercialização nacional de painéis a base de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13, Vitória. **Anais...** Vitória, UFES, 2012. 10p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **O setor florestal brasileiro: fatos e números 2008 ano base 2007**. São Paulo: SBS, 2008, 93p.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby**. Embrapa: Colombo, 2003, 12p. (Circular Técnica 18)

SOUZA, F. **Produção de painéis de lâminas paralelas (LVL) com madeira da espécie do gênero *Pinus* sp.** 2007. 54f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não-destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) confeccionados com madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya***. 2009. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Brasília, Brasília. 2012.

SUCHSLAND, O.; JANKOWSKY, I.P.A. **Produção de lâminas de madeira por desenrolamento**. Piracicaba: IPEF, 9p. 1978. (Circular Técnica nº 33)

TEREZO, R. **Emprego da espécie paricá em vigas de madeira laminada colada**. 2010. 170f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TONELLO, K.C.; COTTA, M.K.; ALVES, R.R.; RIBEIRO, C.F.A.; POLLI, H.Q. O Destaque econômico do setor florestal brasileiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 3, 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2006.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman e Hall, 1991. 494p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, 2010. 463p.

VENTURIERI, G.C. Reproductive ecology of *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke and *Sclerolobium paniculatum* Vogel (Leg. Caesalpinioidea) and its importance in forestry management projects. In: SIMPOSIO SILVICULTURA NA AMAZONIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU/DFID, 1999. p.91-97.

VIDAURRE, G.B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K. **Comparison of several non-destructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small-diameter logs**. Madison: Forest Products Laboratory, 2001. 9p. (Research paper)

WEST FRASER. **Technical data for LVL headers, beams, columns and rim board applications for residential floor and roof systems** (Canadian version). Ontario: WEST FRASER, 2007. 35p.

# CAPÍTULO I

---

## **RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO DO PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DA TORA**

### **1. INTRODUÇÃO**

A espécie *Schizolobium amazonicum*, conhecida popularmente como paricá, apresenta como principal uso a produção de laminados e compensados. Seus plantios encontram-se concentrados principalmente nos estados do Pará e Maranhão e totalizaram em 2010 uma área superior a 85 mil ha (ABRAF, 2011). Trata-se de uma espécie de madeira tropical de rápido crescimento e, conseqüentemente, elevada produtividade (20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano). Além disso, seus plantios tem se mostrado resistentes ao ataque de pragas e doenças e, resultados satisfatórios vêm sendo encontrados quando consorciados com algumas culturas anuais ou pastagens (SOUZA et al., 2003). Ao término de seu ciclo, que ocorre entre quatro e sete anos, o paricá produz toras com pequenos diâmetros (10 - 40 cm) e madeira de baixa densidade (0,40 g/cm<sup>3</sup>), características comuns às madeiras de espécies de florestas plantadas de rápido crescimento. No entanto, tais limitações podem ser minimizadas com o emprego de tecnologias adequadas (IWAKIRI et al., 2010).

O processamento mecânico do paricá apresenta grande potencial. Dentre as características que favorecem essa atividade podem ser mencionadas o fácil descascamento, a rápida secagem, a ausência de nós e a possibilidade de laminação em tornos laminadores sem a necessidade de pré-tratamentos e arredondamento das toras. Entretanto, com o diâmetro obtido após os cinco anos de plantio o processo de laminação nos tornos tradicionais apresentava muitas perdas, as quais só foram contornadas com adaptações no maquinário. Marques et al. (2006) destacam que a inovação desse equipamento permitiu o uso de toras com menor diâmetro e proporcionou ganhos significativos em seu rendimento. Ao invés de garras fixadoras, o equipamento, apresenta fusos de tração que pressionam e giram a madeira sobre a faca, possibilitando a laminação da madeira até um diâmetro de 4 cm (rolo resto), enquanto um torno tradicional permitiria laminar apenas até 12 cm. Tal

característica, aliada a um menor fator de conicidade e a um maior diâmetro da tora, são alguns dos parâmetros desejáveis para obtenção de um maior rendimento em laminação (LUTZ, 1978).

Segundo Baldwin (1995), o rendimento do processo de laminação sofre influência de diversos fatores, dentre estes, o autor destaca que os aspectos relacionados à qualidade da matéria-prima figuram entre os mais importantes. Características como conicidade e retilinidade do fuste, diâmetro da tora, ausência de nós e ausência de fendas de topo, são consideradas primordiais para obtenção de maiores rendimentos, assim como, para produção de lâminas de qualidade. Entretanto, conforme mencionado por Lutz (1978), isoladamente, tais características não são suficientes para obtenção de rendimentos elevados, já que as condições operacionais e o tipo de equipamento empregado também são considerados fatores limitantes ao ganho em produtividade.

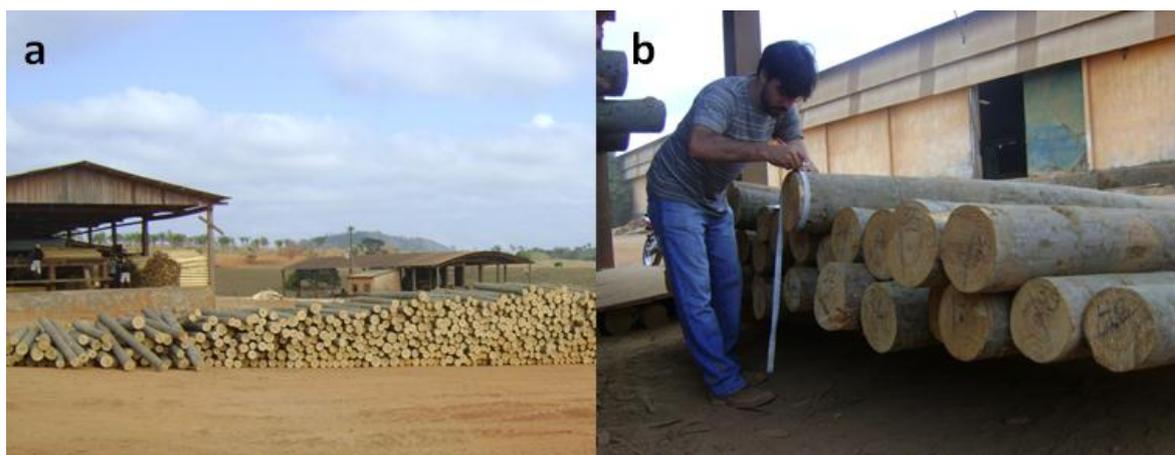
Na manufatura de painéis laminados, o processo de laminação é tido como o que proporciona as maiores perdas (HAPLA et al., 2002; BRAND et al., 2004). Deste modo, com o conhecimento das perdas geradas nessa fase, pode-se buscar o seu aperfeiçoamento, objetivando o aumento da produtividade e a diminuição dos custos de produção. Tais melhorias, além de aumentar a eficiência e tornar indústrias mais competitivas, proporcionariam um melhor aproveitamento da matéria-prima e a manufatura de produtos de melhor qualidade.

O objetivo deste capítulo foi avaliar o rendimento do processo de laminação da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e gerar estimativas deste parâmetro em função das variáveis dendrométricas da tora.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

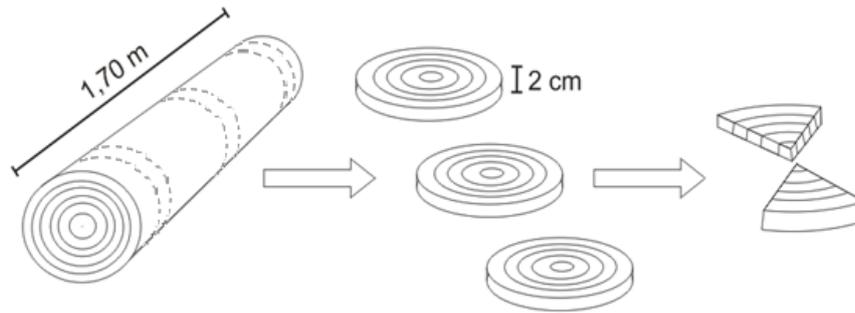
### 2.1. MATÉRIA-PRIMA

Foram selecionadas aleatoriamente 50 toras de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) com comprimento de aproximadamente 170 cm no pátio da fábrica de compensados e portas “PORTIL - Portas Itinga Limitada<sup>®</sup>”. A indústria encontra-se localizada no distrito de Bela Vista – popularmente conhecida como Itinga do Pará, município de Dom Eliseu, leste do estado do Pará e divisa com o estado do Maranhão. Os plantios que abastecem a indústria estão localizados no mesmo município, e as árvores foram abatidas com idades entre cinco e sete anos. Antes de serem laminadas, as toras foram numeradas e tomadas as circunferências nas extremidades das toras com auxílio de uma fita métrica, informações posteriormente convertidas para diâmetro (Figura 1).



**Figura 1** - Pátio da indústria PORTIL<sup>®</sup> de onde foram selecionadas as toras de paricá (a) e; mensuração das circunferências nas extremidades das toras (b).

Outras cinco toras de paricá foram utilizadas para determinação da massa específica. De cada tora, foram retirados três discos com aproximadamente dois centímetros de espessura e destes retiradas cunhas (Figura 2), as quais foram levadas ao laboratório e submersas em água até atingirem massa constante, ou seja, completa saturação das fibras. Determinou-se o volume das amostras pelo método do líquido deslocado. Em seguida, as cunhas foram levadas a estufa para secagem e posterior determinação da massa seca. A massa específica básica foi obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado, conforme sugerido NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1997).



**Figura 2.** Ilustração da retirada de cunhas para determinação da massa específica básica.

## 2.2. PREPARO DA TORA E LAMINAÇÃO

As toras de paricá seleccionadas foram laminadas ainda úmidas, menos de 72 horas após o abate. Não foi utilizado nenhum pré-tratamento de aquecimento das toras ou similar, sendo o descasque a única operação de beneficiamento utilizada antes da laminação. O descascamento foi realizado mecanicamente por um descascador de toras (Figuras 3.a-3.b).



**Figura 3** - Processo de descascamento das toras (a e b); tomada de medidas nas toras sem casca (c) e; torno desfolhador utilizado no processo de laminação (d).

Em seguida, mediram-se novamente os diâmetros das toras, agora sem a casca (Figura 3.c). O processo de laminação foi realizado em um torno desfolhador com rolos de tração e sem garras. Neste equipamento a tora não é movida por garras laterais como nos tornos convencionais, mas sim por dois rolos de tração que pressionam a tora contra a faca (Figura 3.d). Esse maquinário, que a princípio fora projetado para atender a demanda de laminação do paricá, pode ser empregado na laminação de toras com diâmetro máximo de 40 cm, e para aproveitamento dos rolos resto descartados por tornos tradicionais.

Para facilitar a coleta de dados, as toras já descascadas foram dispostas em sequência na esteira do torno laminador conforme sua numeração. O torno foi ajustado para obtenção de lâminas com 1,50 mm de espessura. As lâminas produzidas foram guilhotinadas em diferentes dimensões de acordo com a sua qualidade aparente, sendo as melhores dimensionadas com 230 cm x 170 cm e as demais com 60 cm x 170 cm (Figuras 4).

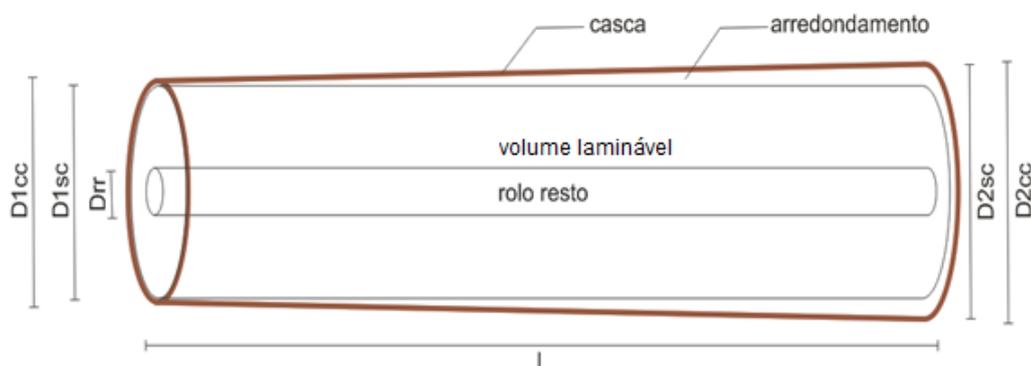


**Figura 4** - Disposição das toras em sequência na esteira do torno laminador (a); processo de laminação do paricá (b); lâminas produzidas nas diferentes dimensões (c) e; contabilização do total de lâminas produzido por cada tora (d).

Na fábrica onde foi realizado o estudo, a diferenciação na dimensão das lâminas produzidas é realizada de modo que as lâminas de maior dimensão e melhor aparência (230 cm x 170 cm) sejam utilizadas nas capas dos painéis compensados e as demais (60 cm x 170 cm) como miolo. O método utilizado para essa diferenciação foi a classificação visual, que conforme Lara Palma et al. (2012) é realizado pela indústria com base no tipo, quantidade e dimensões dos defeitos encontrados nas lâminas, atribuídos através da inspeção visual, conforme estabelecido pela prática industrial, uma vez que não existe norma específica para esta espécie de madeira. Nesse sentido, este aspecto também foi utilizado para qualificação das lâminas produzidas. Para isso, ao término da laminação de cada tora foi contabilizado o número de lâminas de capa e de miolo obtido. Para serem consideradas lâminas de capa os parâmetros pré-estabelecidos eram – ausência de defeitos (principalmente nós, rachaduras e falhas), cor uniforme, ausência da região medular, além das dimensões das lâminas.

### 2.3. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO

O rendimento em laminação (Equação 1) da madeira de paricá foi estimado para cada uma das 50 toras laminadas (Figura 5) considerando a cubagem com (Equação 2) e sem casca (Equação 3) e, o volume de laminado obtido por meio de medições da espessura, largura e comprimento das lâminas produzidas por cada tora (Equações 4 e 5). No cálculo do rendimento, foram estimadas as perdas no processo de descascamento (Equação 6), arredondamento (Equação 7) e com lâminas descartadas (Equação 8).



**Figura 5** - Desenho esquemático da tora com volume laminável e de descarte.

$$Rend = \frac{\sum_{i=1}^n VL_i}{VT_{cc}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$VT_{cc} = \frac{\pi \times \left( \frac{D1_{cc} + D2_{cc}}{2} \right)^2}{4} \times L \quad (\text{Equação 2})$$

$$VT_{sc} = \frac{\pi \times \left( \frac{D1_{sc} + D2_{sc}}{2} \right)^2}{4} \times L \quad (\text{Equação 3})$$

$$VLam_c = \sum_{i=1}^n VLC_i \quad (\text{Equação 4})$$

$$VLam_m = \sum_{i=1}^n VLM_i \quad (\text{Equação 5})$$

$$VC = VT_{cc} - VT_{sc} \quad (\text{Equação 6})$$

$$VArr = VT_{sc} - \left( \frac{\pi \times D1_{sc}^2}{4} \times L \right) \quad (\text{Equação 7})$$

$$VL_d = VT_{cc} - (VLam_c + VLam_m + VC + VArr) \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: *Rend* = rendimento em laminação da tora; *VL* = volume da lâmina; *VT<sub>cc</sub>* = volume da tora com casca; *D1<sub>cc</sub>* = diâmetro menor com casca; *D2<sub>cc</sub>* = diâmetro maior com casca; *L* = comprimento da tora; *VT<sub>sc</sub>* = volume da tora sem casca; *D1<sub>sc</sub>* = diâmetro menor sem casca; *D2<sub>sc</sub>* = diâmetro maior sem casca; *VLam<sub>c</sub>* = volume de laminas de capa; *VLC<sub>i</sub>* = volume da i-ésima lamina de capa; *VLam<sub>m</sub>* = volume de laminas de miolo; *VLM<sub>i</sub>* = volume da i-ésima lamina de miolo; *VC* = volume de casca; *VArr* = volume das perdas de arredondamento; *VL<sub>d</sub>* = volume de lâminas descartadas.

## 2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis dendrométricas das toras utilizadas no processo de laminação foram avaliados por meio de estatística descritiva. Os volumes obtidos no processo de laminação (Equações 2 a 8) foram convertidos em valores percentuais considerando como volume máximo os observados para as toras com casca. Para avaliar a influência dos diferentes parâmetros envolvidos no processo de laminação, foi realizado o teste de correlação de Pearson com todos dados utilizados na determinação do rendimento.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas características das toras utilizadas para avaliação do rendimento em laminação podem ser observadas na Tabela 1. As toras utilizadas apresentaram diâmetro médio com casca entre 13 e 25 cm, valores que representam bem a amplitude diamétrica da madeira de paricá utilizada pelas laminadoras e indústrias de compensados. Hoffmann (2009), ao realizar a caracterização dedrométrica de plantios comerciais de paricá com idades de cinco a sete anos (período de corte), observou diâmetros variando entre 11 a 29 cm para 180 árvores inventariadas, sendo apenas 12 dessas (6,67%) fora do intervalo observado no presente estudo.

**Tabela 1.** Valores de volume (Vt) e diâmetro da tora com casca (Dcc), espessura da casca (Ec), massa específica básica (MEb) e fator de forma (ff) das toras de paricá.

<b>Valores</b>	<b>Vt</b> (x100m <sup>3</sup> )	<b>Dcc</b> ..... (cm) .....	<b>Ec</b>	<b>MEb</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>ff</b> ...
Máximo	8,34	24,99	0,72	0,42	0,98
Médio	4,23	17,72	0,44	0,34	0,93
Mínimo	2,33	13,21	0,32	0,27	0,88
CV(%)	14,63	12,92	27,27	11,76	3,23
Total*	50	50	50	30	50

\*número de amostras utilizadas para obtenção dos valores médios.

Para a casca, foi observado um valor médio inferior a 0,5 cm, o que indica ser uma espécie de casca relativamente delgada. Embora seja uma característica muitas vezes desconsiderada, a proporção de casca nas árvores também é um dos parâmetros essenciais para determinação do rendimento da madeira. A exemplo disso, Bortoletto Júnior e Belini (2002) observaram para o guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), espécie com características fisiológicas semelhantes ao paricá, um ganho de rendimento em laminação superior a 8% ao comparar toras laminadas com e sem casca. No caso do guapuruvu a espessura da casca observada foi em média de 0,80 cm.

Quanto à massa específica básica, o valor médio obtido (0,34 g/cm<sup>3</sup>) foi similar ao observado por Matsubara (2003), mas, inferior aos 0,49 g/cm<sup>3</sup> apresentado pelo Laboratório De Produtos Florestais – LPF (2012). Essa diferença deve estar relacionada à idade das árvores amostradas, tendo em vista que os estudos do LPF são realizados com indivíduos adultos provenientes de florestas naturais. Colli (2007) observou que tanto a

idade (diretamente proporcional) como altura (inversamente proporcional) influenciam significativamente a massa específica do paricá. Jesus (2004) também verificou essa variabilidade com relação à procedência dos indivíduos estudados.

Ainda na Tabela 1 verifica-se que o fator de forma médio das toras laminadas foi de 0,93, resultado próximo aos encontrados para toras de espécies tradicionalmente laminadas em tornos, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Nogueira (2010) observou um fator de forma de 0,94 para toras de *P. elliottii* e Bonduelle et al. (2006) de 0,91 para *Pinus* spp. Já Almeida et al. (2004) estudando clones do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* observaram valor médio de 0,95. Outro estudo realizado considerando o fator de forma da árvore em pé também comprova a potencialidade da madeira de paricá quanto a esse aspecto - Hoffmann (2009) obteve em média um fator de 0,48 (fator de forma da árvore), valor equivalente aos observados para toras das espécies de *Pinus* spp. e superior as de *Eucalyptus* spp. (SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1998). A baixa densidade observada aliada a um fuste retilíneo fazem do paricá uma espécie de características tecnológicas adequadas à laminação, segundo critérios apontados por Baldwin (1995).

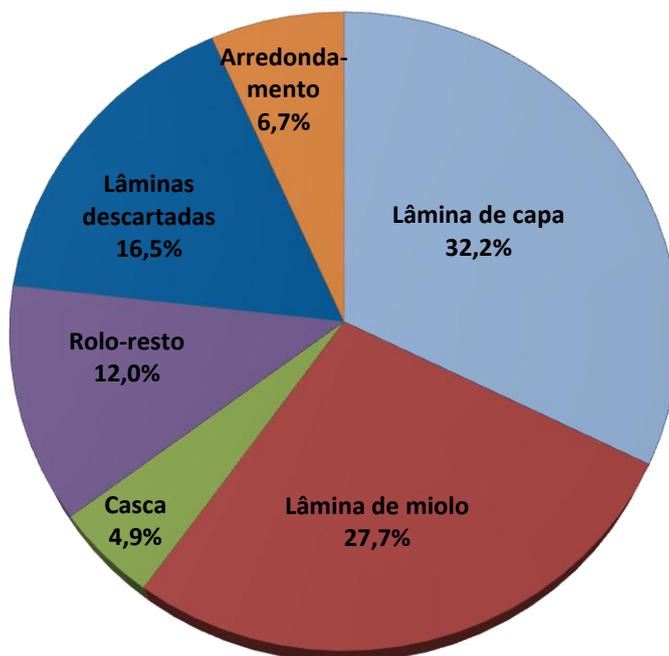
Ao todo, das 50 toras laminadas, foram obtidas 123 lâminas de capa e 362 de miolo. A diferença entre a espessura média observada ( $1,55 \pm 0,14$  mm) e a nominal pré-estabelecida (1,50 mm) foi baixa (menor que 4%), o que indica um ajuste eficiente na regulagem do torno (Tabela 2). No caso, a espessura observada foi levemente superior a nominal. Bortoletto Júnior (2008) ressalta que é desejável que as espessuras observadas sejam ligeiramente superiores às nominais, de modo que uma eventual perda em espessura das lâminas após a secagem e do painel devido à compressão do processo de prensagem sejam minimizada.

**Tabela 2.** Número e volume de lâminas de capa (lc; Vlc) e de miolo (lm; Vlm) produzidas por tora e espessura observada (el) das lâminas de paricá.

Valores	lc	lm	Vlc	Vlm	el
	...	...	(x100m <sup>3</sup> )	(x100m <sup>3</sup> )	(mm)
Máximo	7,00	17,00	4,21	2,67	1,79
Médio	2,46	7,24	1,48	1,14	1,55
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
CV(%)	78,86	45,86	79,05	45,61	9,09
Total*	123	362	123	362	150

\*número de amostras utilizadas para obtenção dos valores médios.

A laminação das toras de paricá proporcionou um rendimento de 59,92%, e conseqüentemente, perdas de 40,08% (Figura 6). Das lâminas produzidas, 53,7% apresentavam potencial para utilização como lâminas de capa, e o restante, 46,3% como miolo. Diferente disso, Rossi et al. (2003) sugeriram que do volume útil das lâminas produzidas com paricá, apenas um terço seria adequado a utilização como capas em painéis laminados.



**Figura 6.** Percentuais de perdas e rendimento em laminação do paricá.

O rendimento percentual observado neste estudo foi superior ao observado por Hoffmann (2009) para a mesma espécie e também se mostrou superior aos obtidos para espécies tradicionalmente utilizadas para laminação, como as do gênero *Pinus* (MEDINA, 1986; BONDUELLE et al., 2006; BORTOLETTO JÚNIOR, 2008) e *Eucalyptus* (KEINERT JÚNIOR, 1993; BRAND e MUÑIZ, 2003; ALMEIDA et al., 2004), o que indica ser o paricá uma espécie de elevado potencial para produção de painéis laminados. Na Tabela 3 pode ser observada a comparação entre o rendimento em laminação observado em diferentes estudos

Além do elevado rendimento, outra vantagem proporcionada pelo paricá foi a não necessidade de pré-tratamentos para o desenrolamento das toras, como ocorre para maioria das espécies (MAYER et al., 2007). A baixa massa específica média encontrada (0,34

g/cm<sup>3</sup>) favorece que as toras sejam laminadas sem a necessidade de aquecimento. Também deve ser ressaltado como ponto positivo, a ausência quase que total de nós nas lâminas produzidas, o que se deve a alta capacidade de desrama natural da espécie. Em espécies sem essa característica, como as do gênero *Pinus*, a desrama artificial é indispensável para obtenção de lâminas de qualidade. Este procedimento apresenta implicações técnicas e econômicas no processo de laminação, onerando o produto final (GIBSON et al. 2002).

**Tabela 3.** Comparação do rendimento em laminação do paricá com outras literaturas.

Fonte	Espécie	desc.	arr.	ld/m	rr	rend.
		..... (%) .....				
BORTOLETTO JR. (2008)	<i>P. merkussi</i>	13,5	15,1	5,3	8,2	57,9
MEDINA (1986)	<i>P. elliotii</i>	8,6	28,0	5,0	19,4	38,8
NOGUEIRA (2010)	<i>P. elliotii</i>	-	26,4	-	16,1	57,5
BONDUELLE et al. (2006)	<i>Pinus spp.</i>	-	35,0	4,0	13,0	49,3
BRAND e MUÑIZ (2003)	<i>P. taeda</i>	-	-	-	-	46,5
	<i>E. robusta</i>	14,1	24,5	-	12,8	48,6
	<i>E. saligna</i>	5,0	19,8	-	25,0	50,2
	<i>E. viminalis</i>	11,2	24,5	-	14,3	50,0
	<i>E. dunnii</i>	8,6	23,7	-	24,7	43,0
KEINERT JR. (1993)	<i>E. grandis</i>	5,2	20,7	-	16,3	57,8
	<i>E. urograndis</i>	12,6	19,7	-	10,9	56,8
ALMEIDA et al. (2004)	<i>E. urograndis</i>	12,6	19,7	-	10,9	56,8
GUIMARÃES JR. et al. (2008)	<i>H. brasiliensis</i>	-	-	38,9	9,7	51,4
BORTOLETTO JR. e BELINI (2002)	<i>S. parahyba</i>	8,4	22,9	6,2	9,9	52,6
HOFFMANN (2009)	<i>S. amazonicum</i>	-	-	15,27	6,4	55,7
<b>Presente estudo</b>	<b><i>S. amazonicum</i></b>	<b>4,9</b>	<b>6,7</b>	<b>16,52</b>	<b>12,0</b>	<b>59,9</b>

desc. = descascamento; arr. = arredondamento; ld/m = lâminas descartadas ou manuseio; rr = rolo resto; rend. = rendimento.

As principais perdas no processo de laminação foram observadas pelo descarte de lâminas (16,52%). Estas perdas corresponderam ao descarte de lâminas que apresentavam características indesejáveis, a guilhotinagem de partes danificadas ou ainda danos decorrentes do processo de manuseio. O valor elevado de lâminas descartadas no presente estudo possivelmente está relacionado com a baixa espessura das lâminas produzidas (1,50 mm). No entanto, Hoffman (2009) também encontrou valores elevados em seu estudo para a mesma espécie. Conforme mencionado por Bortoletto Júnior (2008), embora lâminas mais finas proporcionem maior rendimento, o número de lâminas descartadas pode aumentar consideravelmente, por serem estas menos firmes e quebrarem com maior facilidade, resistindo menos ao manuseio.

O segundo maior percentual de perdas foi observado para as sobras com rolo resto (11,99%), resultado superior aos observados por Bortoletto Júnior e Belini (2002) para o guapuruvu, Bortoletto Júnior (2008) para o *Pinus merkusii* e Almeida et al. (2004) para

clones de *Eucalyptus*. Embora nesses trabalhos a laminação tenha sido realizada em tornos convencionais com garras que proporcionam um maior cilindro de rolo resto, tal tipo de torno também difere do utilizado para o paricá por proporcionar a laminação de toras com maiores diâmetros. Deste modo, Bonduelle et al. (2006) destacam que os percentuais de sobras com rolo resto podem ser minimizados por maiores diâmetro das toras, o que pode vir a explicar a diferença observada (Figura 7). Outra justificativa pode estar na espessura das laminas produzidas, já que conforme verificado por Bortoletto Júnior (2008), lâminas de menor espessura podem produzir maiores rendimentos.



**Figura 7.** Comparações entre rolos resto – paricá laminados em tornos com fusos tracionados (a) e outras espécies nativas laminadas em tornos com garras de fixação (b).

Completam as perdas no rendimento o arredondamento com 6,68% e o descascamento das toras com 4,90%. Em estudos realizados com *P. merkussii* (BORTOLETTO JÚNIOR, 2008), *E. robusta* e *E. viminalis* (KEINERT JÚNIOR, 1993), esses foram os parâmetros que proporcionaram as maiores perdas. Cabe ressaltar que a conicidade das toras, responsável pelas perdas em arredondamento e, a espessura da casca, responsável pelas perdas em descascamento, são parâmetros intrínsecos a cada espécie. Todavia, tais características podem ser minimizadas por meio do melhoramento genético e seleção de progênies (OHASHI et al., 2010).

A matriz de correlação entre as variáveis envolvidas no processo de laminação pode ser observada na Tabela 4. O maior número de correlações (nc) significativas ( $p \leq 0,05$ ) foi obtido para os diâmetros com casca (dmcc) e para o rendimento (rend), sendo observadas 12 e 11 correlações, respectivamente, de 14 possíveis para esses parâmetros.

**Tabela 4.** Matriz de correlações entre os parâmetros utilizados na avaliação do rendimento em laminação do paricá (*Schizolobium amazonicum*).

	<b>ffcc</b>	<b>dmsc</b>	<b>ffsc</b>	<b>ec</b>	<b>vcc</b>	<b>vsc</b>	<b>desc</b>	<b>arr</b>	<b>rr</b>	<b>ld</b>	<b>lc</b>	<b>lm</b>	<b>rend</b>	<b>nc</b>
<b>dmcc</b>	0,524** <i>(0,002)</i>	0,982** <i>(&lt;0,001)</i>	0,311* <i>(0,028)</i>	0,335* <i>(0,017)</i>	0,978** <i>(&lt;0,001)</i>	0,977** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,174 <sup>NS</sup> <i>(0,226)</i>	-0,303* <i>(0,033)</i>	-0,806** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,393** <i>(&lt;0,05)</i>	0,539** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,291* <i>(0,041)</i>	0,601** <i>(&lt;0,001)</i>	12 [+7] [-5]
<b>ffcc</b>		0,380** <i>(0,007)</i>	0,778** <i>(&lt;0,001)</i>	0,022 <sup>NS</sup> <i>(0,881)</i>	0,365** <i>(0,009)</i>	0,372** <i>(0,008)</i>	-0,197 <sup>NS</sup> <i>(0,170)</i>	-0,771** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,365** <i>(0,009)</i>	-0,202** <i>(0,160)</i>	0,381** <i>(0,006)</i>	-0,204 <sup>NS</sup> <i>(0,155)</i>	0,426** <i>(0,002)</i>	9 [+5] [-4]
<b>dmsc</b>			0,266 <sup>NS</sup> <i>(0,062)</i>	0,298* <i>(0,034)</i>	0,992** <i>(&lt;0,001)</i>	0,995** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,220 <sup>NS</sup> <i>(0,120)</i>	-0,256 <sup>NS</sup> <i>(0,073)</i>	-0,816* <i>(&lt;0,001)</i>	-0,370** <i>(0,008)</i>	0,511** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,260 <sup>NS</sup> <i>(0,068)</i>	0,584** <i>(&lt;0,001)</i>	9 [+7] [-2]
<b>ffsc</b>				0,022 <sup>NS</sup> <i>(0,877)</i>	0,271 <sup>NS</sup> <i>(0,057)</i>	0,276 <sup>NS</sup> <i>(0,052)</i>	-0,129 <sup>NS</sup> <i>(0,371)</i>	-0,999** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,267 <sup>NS</sup> <i>(0,061)</i>	-0,070 <sup>NS</sup> <i>(0,627)</i>	0,228 <sup>NS</sup> <i>(0,111)</i>	-0,028 <sup>NS</sup> <i>(0,846)</i>	0,341* <i>(0,016)</i>	4 [+3] [-1]
<b>ec</b>					0,374** <i>(0,007)</i>	0,322* <i>(0,023)</i>	0,856** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,056 <sup>NS</sup> <i>(0,701)</i>	-0,219 <sup>NS</sup> <i>(0,127)</i>	-0,035 <sup>NS</sup> <i>(0,811)</i>	0,076 <sup>NS</sup> <i>(0,598)</i>	-0,115 <sup>NS</sup> <i>(0,427)</i>	0,018 <sup>NS</sup> <i>(0,899)</i>	5 [+5] [-0]
<b>vcc</b>						0,997** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,136 <sup>NS</sup> <i>(0,346)</i>	-0,266 <sup>NS</sup> <i>(0,063)</i>	-0,789** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,354* <i>(0,012)</i>	0,494** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,260 <sup>NS</sup> <i>(0,069)</i>	0,557** <i>(&lt;0,001)</i>	9 [+5] [-2]
<b>vsc</b>							-0,190 <sup>NS</sup> <i>(0,185)</i>	-0,267 <sup>NS</sup> <i>(0,060)</i>	-0,796** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,360** <i>(0,010)</i>	0,498** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,252 <sup>NS</sup> <i>(0,077)</i>	0,569** <i>(&lt;0,001)</i>	9 [+5] [-2]
<b>desc</b>								0,089 <sup>NS</sup> <i>(0,539)</i>	0,193 <sup>NS</sup> <i>(0,179)</i>	0,144 <sup>NS</sup> <i>(0,317)</i>	-0,173 <sup>NS</sup> <i>(0,231)</i>	<0,000 <sup>NS</sup> <i>(0,999)</i>	-0,277 <sup>NS</sup> <i>(0,052)</i>	1 [+1] [-0]
<b>arr</b>									0,259 <sup>NS</sup> <i>(0,070)</i>	0,066 <sup>NS</sup> <i>(0,645)</i>	-0,223 <sup>NS</sup> <i>(0,120)</i>	0,028 <sup>NS</sup> <i>(0,845)</i>	-0,331* <i>(0,019)</i>	4 [+0] [-4]
<b>rr</b>										0,592** <i>(&lt;0,001)</i>	-0,675** <i>(&lt;0,001)</i>	0,315* <i>(0,026)</i>	-0,797** <i>(&lt;0,001)</i>	9 [+7] [-2]
<b>ld</b>											-0,828** <i>(&lt;0,001)</i>	0,435** <i>(0,002)</i>	-0,923** <i>(&lt;0,001)</i>	8 [+2] [-6]
<b>lc</b>												-0,823 <i>(&lt;0,001)</i>	0,856** <i>(&lt;0,001)</i>	9 [+6] [-3]
<b>lm</b>													-0,414** <i>(0,003)</i>	5 [+2] [-3]
<b>rend</b>														11 [+7] [-4]

dmcc e dmcs = diâmetro das toras médio com e sem casca; ffcc e ffsc = fator médio das toras de forma com e sem casca; ec = espessura da casca; vcc e vsc = volume das toras com e sem casca; desc = perdas com descascamento; arr = perdas com arredondamento; rr = perdas com rolo resto; ld = lâminas descartadas; lc = lâmina de capa; lm = lâmina de miolo; rend = rendimento; nc = número de correlações total, positivas e negativas observado para variável; <sup>NS</sup> = não significativo; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5%; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

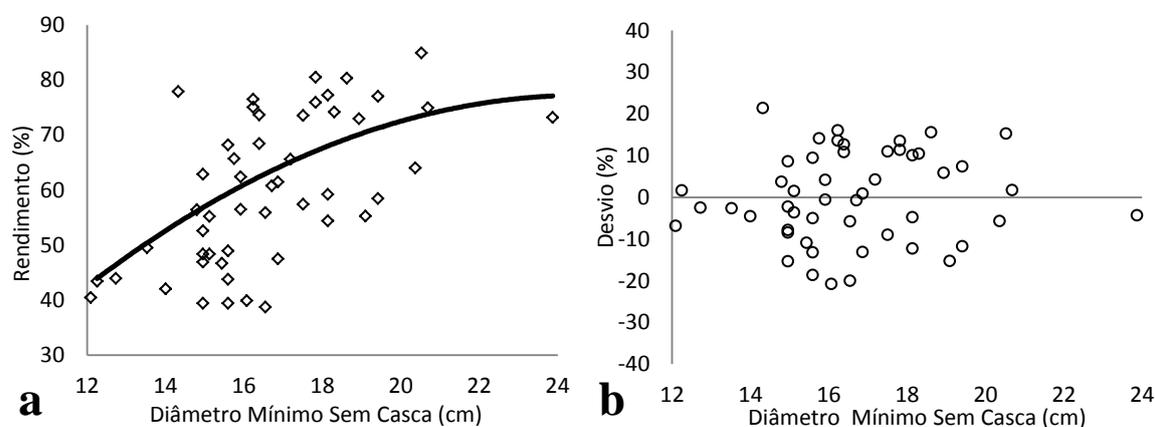
No geral, os maiores diâmetros proporcionaram correlações significativas positivas com o ganho de rendimento e negativas com as perdas em arredondamento e rolo resto. O menor número de correlações significativas foi observado para as variáveis descascamento (desc) e arredondamento (arr). As perdas em descascamento apresentaram apenas uma correlação significativa, a qual foi diretamente proporcional à espessura de casca (ec). Já para perdas em arredondamento foram encontradas quatro correlações significativas, todas negativas, com o fator de forma com casca (ffcc), espessura da casca e com os diâmetros com e sem casca (dmsc).

Cerca de dois terços do rendimento obtido na laminação do paricá foi explicado diretamente (correlação positiva) pelo aumento dos diâmetros das toras com casca. Resultados semelhantes foram observados por Hoffmann (2009), ao verificar rendimentos superiores para árvores com maior idade, e conseqüentemente, maiores diâmetros. Isso ocorre devido a um maior aproveitamento da faixa diamétrica da parte externa da tora até o rolo resto. Com relação às perdas com arredondamento das toras, foi observada correlação negativa, o que indica que quanto maior o diâmetro, mais cilíndricas foram as toras estudadas.

Os maiores diâmetros e proporcionaram ainda um maior rendimento percentual de lâminas de capa, menor de lâminas de miolo e descartadas, o que indica ser essa variável responsável não apenas por um aumento quantitativo, mas também qualitativo das lâminas produzidas. Estes resultados corroboram com o afirmado por Medina (1986) e Bonduelle (2006). Todavia Woodfin Jr. e Lane (1971) destacam que há um limite diamétrico para a melhoria dessas características, ou seja, a partir de um dado diâmetro tanto o rendimento quanto a qualidade das lâminas permanecem contínuo ou tendem a diminuir dependendo da espécie.

O fator de forma das toras também se correlacionou significativamente com o rendimento, proporcionando maior rendimento para toras de menor conicidade. Isso se deu em grande parte, por ser o fator de forma uma variável com substancial influência nas perdas por arredondamento. A conicidade das toras influi significativamente no rendimento em laminação, ou seja, quanto mais cilíndrico for a tora maior será o seu aproveitamento, o que explica o aumento de rendimento obtido para as toras de maior diâmetro (BRAND et al., 2004).

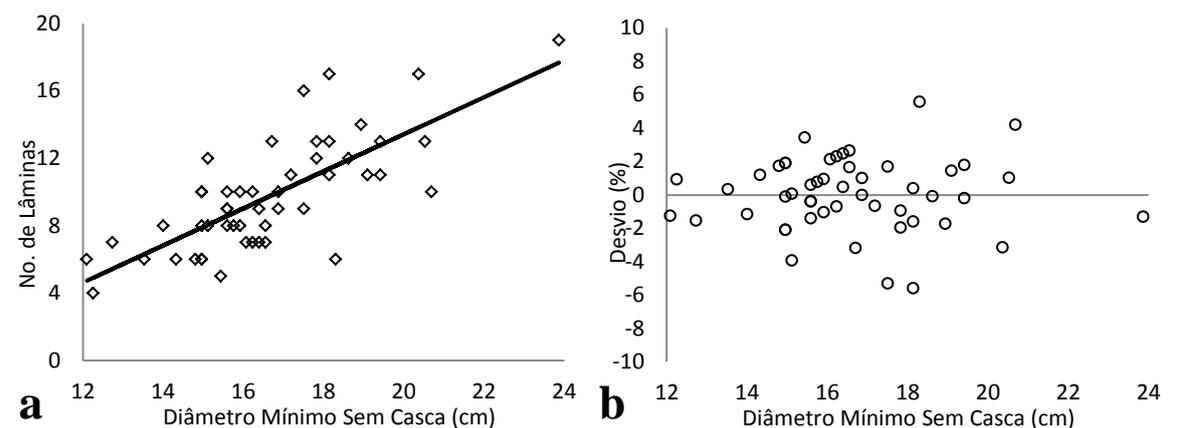
Na Figura 8 podem ser observadas a análise de resíduos e a equação gerada para prever o rendimento do paricá em laminação. O modelo selecionado agregou duas variáveis, o diâmetro mínimo sem casca e o fator de forma com casca. Foi verificado um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) de 0,48 e erro padrão da estimativa (Syx) de 9,96. Este resultado está de acordo com diversos autores (LUTZ, 1971; SELLERS, 1985; KEINERT JÚNIOR, 1993; BALDWIN, 1995; BONDUELLE et al. 2006), que afirmam que um maior diâmetro da tora e um melhor fator de forma figuram entre os principais parâmetros que proporcionam um maior rendimento em laminação. Medina (1986) menciona ainda que em menor proporção, o fator de forma pode influenciar significativamente a qualidade das lâminas, principalmente ao que se refere à disposição da grã e a rugosidade das lâminas.



Modelo Ajustado							
$Rend = b0 + (b1 \times Vsc) - \left(b2 \times \frac{1}{ffcc}\right) - (b3 \times dminsc^3)$							
b0	b1	b2	b3	F	Prob>F	$R^2_{aj.}$	Syx
134,2	1.503	-102,9	-0,005	14,51**	<,0001	0,48	9,96

**Figura 8.** Equação ajustada (a) análise de resíduos (b) para o rendimento (*Rend*) em função do volume da tora sem casca (*Vsc*), do fator de forma com casca (*ffcc*) e do diâmetro mínimo sem casca (*dminsc*).

Com os dados de diâmetro mínimo sem casca também foi possível estimar o número de lâminas produzidas por cada tora com  $R^2_{aj.}$  de 0,56 (Figura 9). A inclusão de mais variáveis no modelo não proporcionou ganhos significativos em seu ajuste. Hoffmann (2009) avaliando a produção de lâminas de paricá verificou que o DAP das árvores apresentaram  $R^2_{aj.}$  de aproximadamente 0,80 na predição do rendimento em laminação. Resultados similares foram observados por Huang et al. (2012), onde os autores verificaram para *Larix olgensis* que maiores diâmetros influenciaram diretamente o número e qualidade das lâminas obtidas.



**Modelo Ajustado**

$$Nl = -b_0 + (b_1 \times dminsc)$$

<b>b0</b>	<b>b1</b>	<b>F</b>	<b>Prob&gt;F</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>aj.</sub></b>	<b>Syx</b>
-8,551	1,099	61,34**	<,0001	0,56	2,22

**Figura 9.** Equação ajustada (a) e análise de resíduos (b) para o número de lâminas produzidas por tora (*Nl*) em função do diâmetro mínimo das toras (*dminsc*) sem casca.

#### 4. CONCLUSÕES

A madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) proveniente de plantios homogêneos, com idades entre cinco e sete anos, apresentou elevado potencial para produção de lâminas, com rendimentos superiores aos geralmente observados para espécies tradicionalmente utilizadas na laminação, como as do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

As maiores perdas do processo de laminação foram observadas no manuseio (lâminas descartadas) e nos descartes com rolo resto.

O diâmetro mínimo sem casca e o fator de forma com casca foram os parâmetros que mais influenciaram positivamente o rendimento em laminação. Essas variáveis dendrométricas da tora podem ser utilizadas com eficácia para estimar o rendimento em laminação da madeira de paricá.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G; JANKOWSKY, I.P. Produção de lâminas a partir de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.32, n.65, p.49-58, 2004.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeiras. São Paulo, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**. ABRAF: Brasília: 2011. 130p.
- BALDWIN, R.F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1995. 388p.
- BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**, v.12, n.2, p.35-41, 2006.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**, v.36, n.78, p.95-103. 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v.8, n.2, p.16-28. 2002.
- BRAND, M.A.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; SILVA, D.A. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.553-562, 2004.
- BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B. Caracterização do rendimento e dos resíduos em uma laminadora através do balanço de materiais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003.
- COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)**. 2007. 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.
- GIBSON, M.D.; CLASON, T.R.; HILL, G.L.; GROZDITS, G.A. **Influence of thinning and pruning on southern pine veneer quality**. Asheville: USDA, p.165-169. 2002. (General Technical Report, n.48)
- GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, R.F.; SARTORI, C.J.; MENDES, L.M. Avaliação do rendimento de laminação da madeira de *Hevea brasiliensis*. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: IBRAMEM, 2008.
- HAPLA, F.; MEGGERS, H.; MILITZ, H.; MAI, C. Investigation on the yield and quality of sliced veneer produced from beech trees (*Fagus sylvatica* L.) containing red heartwood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.60, n.2-3, p.440-442. 2002.
- HOFFMANN, R.G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA**. 2009. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- HUANG, S.H.; WANG, B.J.; LI, J.; LEI, Y.; DAI, C.; SUN, X. Characterizing changbai larch through veneering. Part 2: effect of diameter at breast height and radial growth. **Bioresouces**, v.7, n.3, p.3076-3092, 2012.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p.557-563, 2010.

JESUS, R.C.S. **Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Duck), plantada em diferentes espaçamentos e condições ambientais no município de Aurora do Pará**. 2004. 170f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004.

KEINERT JÚNIOR, S. Atulidades e perspectivas da utilização da madeira de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. Para produção de painéis no Brasil e no exterior. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, Belo Horizonte, 1993. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1993. p.227-239.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. **Database of Brazilian woods**. Brasília: IBAMA. Disponível em < <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>. Acesso em abril de 2012.

LARA PALMA, H.A.; ESCOBAR, J.F.; BALLARIN, A.W.; LEONELLO, E.C. Influência da qualidade das lâminas no desempenho mecânico à flexão de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.2, p.133-140, 2012.

LUTZ, J.F. **Techniques for peeling, slicing and drying veneer**. Madison: USDA Forest Service FPL, p.1-64.1974. (Research Paper, n.228)

MARQUES, L.C.T; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no estado do Pará**. Belém: Ebrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico 158).

MATSUBARA, R.K. **Caracterização dendrológica e física de cinco espécies arbóreas de ocorrência no estado de Mato Grosso**. 2003. 85f. Monografia (Especialização em Produtos Florestais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

MAYER, I.; KOCH, G.; PULS, J. Chemical investigations on boiling process waters in face veneer production. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.65, n.2, p.315-320. 2007.

MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento na produção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm.** 1986. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

NOGUEIRA, L.M. **Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira**. 2010. 52f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

OHASHI, S.T; YARED, A.G.; FARIAS NETO, J.T. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Acta Amazônica**, v.40, n.1, p.81-88. 2010.

ROSSI, L.M.B.; QUISEN, R.C.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. **Aspectos silviculturais e socioeconômicos de uma espécie de uso múltiplo: o caso de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Duck**. Disponível em: <[http://www.abeas.com.br/anuncios/8cong-/Artigos/Silvicultura/8CFNP\\_D01.doc](http://www.abeas.com.br/anuncios/8cong-/Artigos/Silvicultura/8CFNP_D01.doc)> Acesso em: 5 out. 2003.

SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 1998. 310p.

SELLERS JR., T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661p.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. **Paricá: Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber x Ducke) Barneby**. Colombo: Embrapa, 2003, 12p. (Circular Técnica 18)

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **Software computacional**. Ambiente VM. Cary: New York, USA, Versão 6.08, 1998.

WOODFIN JR., R.O.; LANE, P.H. **Veneer yield by log grade and size from black hills ponderosa pine**. Madison: USDA Forest Service FPL, 8p. 1971. (Research Paper, n.164)

## CAPÍTULO II

---

### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, MECÂNICAS E DE SUPERFÍCIE DE LÂMINAS DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A qualidade das lâminas é fundamental tanto para sua performance como no desempenho de painéis a base de madeira que a utilizem, como é o caso do compensado, LVL e demais painéis laminados (ROSS et al., 1999). Segundo Wang et al. (2001), as propriedades das lâminas que afetam significativamente a qualidade desses produtos podem ser classificadas em dois grupos, conforme a sua origem – i) relacionados a sua manufatura, como ajuste do torno, rugosidade da superfície, variação de espessura e teor de umidade e; ii) relacionados as variabilidade natural da madeira, como presença de nós, rachaduras, variação de densidade, angulo da grã, espécie e espessura dos anéis de crescimento.

As muitas variáveis envolvidas no processo fazem com que a produção de lâminas por meio de tornos desenroladores demande uma série de cuidados. Todavia, a necessidade de uma elevada produtividade muitas vezes entra em conflito com a qualidade, resultando em uma maior frequência de características indesejáveis no material produzido. Para minimizar a ocorrência destes, torna necessário buscar as principais causas de sua ocorrência e, com base nessas informações, conciliar na medida do possível uma maior produtividade com a qualidade do material (SPELTER, 1991). Na avaliação qualitativa de lâminas, Daoui et al. (2011) sugerem que sejam considerados como principais critérios além da presença de defeitos, a rugosidade superficial e variações de espessura. Tais critérios estão relacionados principalmente à qualidade da matéria-prima, a eficiência de pré-tratamentos e a um ajuste adequado do torno laminador.

A rugosidade da superfície também apresenta um papel importante na manufatura de painéis laminados, principalmente ao que diz respeito à colagem (DUNDAR et al., 2008). Esta característica depende da estrutura celular e do método de processamento. Geralmente

essa variável está intimamente relacionada com a molhabilidade, pois quanto maior a rugosidade, maior será a hidrofiliabilidade da superfície (PIAO et al., 2010). A exemplo disso, Faust e Rice (1986) observaram redução de aproximadamente um terço na qualidade da ligação de painéis LVL, ao comparar a utilização de lâminas rugosas com lâminas mais lisas. Lâminas rugosas reduzem o contato entre as camadas resultando em uma linha de cola menos resistente, ou ainda, necessitam de um maior volume de adesivo para uma colagem satisfatória.

A molhabilidade de lâminas de madeira pode ser utilizada para avaliar a sua aplicabilidade na produção de painéis. Gray (1992) define a molhabilidade como a facilidade e eficácia na qual um líquido pode se espalhar sobre uma superfície sólida. Conhecendo o comportamento desta variável pode-se melhorar a interação entre a madeira, os produtos de acabamento e colagem.

A estabilidade dimensional das lâminas também deve ser considerada no momento de manufatura dos painéis. Lâminas obtidas de lenhos de tração, compressão ou da região próxima à medula podem apresentar contrações e inchamentos elevados, comportamento que podem ser repassados para os painéis. Por outro lado, lâminas de espécie diferentes podem ser utilizadas de forma conjunta na manufatura de painéis, desde que apresentem, dentre outras características, inchamento e contrações semelhantes (ALMEIDA et al., 2004).

Alderman et al. (2004) destacam ainda como importante critério qualitativo a aparência das lâminas, principalmente para aquelas que serão utilizadas nas faces dos painéis. Os autores mencionam que lâminas de melhor aparência podem custar de 1,5 a 6 vezes mais. Na análise da qualidade visual das lâminas a disposição da grã, a ausência de defeitos (WANG et al., 2001; DAOUI et al., 2011) e a sua coloração (IAMTASNA et al., 2010; ARRUDA et al., 2011) são os principais parâmetros a serem considerados. Para Camargos e Gonzalez (2001), as características visuais (cor e figura) são os principais parâmetros avaliados para a escolha de madeiras ou de vários produtos a base de madeira, e com base nelas geralmente são formulados padrões comerciais – tais como “padrão mogno”, “padrão cerejeira”, entre outros. Nesse contexto, foram avaliadas neste capítulo as propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície das lâminas produzidas a partir da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização dos estudos foram utilizadas lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) cedidas pela empresa Rio Concrem Industrial Limitada<sup>®</sup>, localizada no município de Dom Eliseu, no estado do Pará. As análises utilizadas para qualificar as lâminas, são descritas a seguir.

### 2.1. RETRATIBILIDADE

Um dos parâmetros utilizados para qualificar as lâminas de paricá foi a sua estabilidade dimensional. O material selecionado foi levado à câmara climática (65% de umidade relativa e temperatura de 20°C) onde permaneceu até atingir o teor de umidade de equilíbrio em torno de 12% de umidade. A partir destas foram retiradas aleatoriamente 32 amostras isentas de defeitos com 0,22 cm x 4 cm x 50 cm (espessura, largura e comprimento respectivamente). A massa de cada amostra foi obtida e foram marcados pontos específicos onde foram tomadas as medições da largura, espessura e comprimento (Figuras 1). Posteriormente estas amostras foram saturadas e tiveram suas dimensões e massas retomadas, procedimento que se repetiu após uma nova estabilização das amostras em câmara climática.



**Figura 1.** Obtenção das dimensões e massa das amostras para determinação das propriedades físicas das lâminas de paricá.

Na Figura 2 podem ser observados os procedimentos adotados para saturação e secagem das amostras. Os dados obtidos foram utilizados para determinações da massa específica

(Equação 1), da porosidade (Equação 2), dos teores de umidade de equilíbrio (Equação 3) e saturado (Equação 4), das retrações lineares (longitudinal, radial e tangencial) e volumétrica (Equações 5 e 6), e do fator anisotrópico (Equação 7), conforme metodologia sugerida pela Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas – COPANT (1972) e adaptada para lâminas de madeira por Bortoletto Júnior et al. (2000).



**Figura 2.** Saturação e secagem das lâminas para determinação da estabilidade dimensional

$$\rho_b = \frac{M_o}{V_s} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\Phi = 1 - \left( \frac{\rho_b}{\rho_{pc}} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

$$TUEq = \left( \frac{M_{eq} - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$TUu = \left( \frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$$R_{(L,R,T)} = \left( \frac{D_s - D_{eq}}{D_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

$$R_V = \left( \frac{V_s - V_{eq}}{V_s} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

$$F_A = \frac{R_T}{R_R} \quad (\text{Equação 7})$$

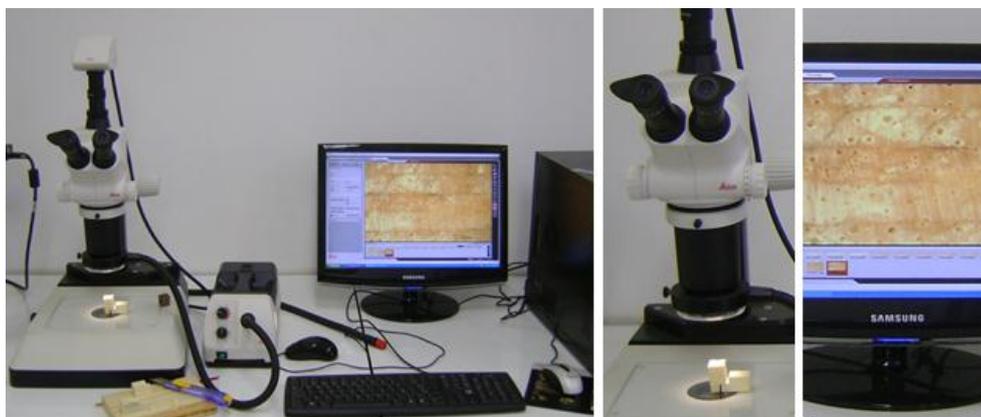
Em que:  $\rho_b$  = massa específica básica, em  $\text{g/cm}^3$ ;  $M_o$  = massa da lâmina seca, em g;  $V_s$  = volume da lâmina saturada, em  $\text{cm}^3$ ;  $\Phi$  = porosidade, em %;  $\rho_{pc}$  = massa específica da parede celular –  $1,54 \text{ g/cm}^3$ ;  $TUEq$  = teor de umidade de equilíbrio, em %;  $M_{eq}$  = massa a umidade de equilíbrio, em g;  $M_s$  = massa seca, em g;  $TUu$  = teor de umidade saturado, em %;  $M_u$  = massa saturada, em g;  $R_{(L,R,T)}$  = retratibilidade linear longitudinal, radial ou tangencial, em %;  $D_s$  = dimensão saturada, em cm;  $D_{eq}$  = dimensão ao teor de umidade de equilíbrio, em cm;  $R_V$  = retratibilidade volumétrica, em %;  $V_u$  = volume na umidade de equilíbrio, em  $\text{cm}^3$ ;  $F_A$  = fator anisotrópico.

## 2.2. PROPRIEDADES DE SUPERFÍCIE

As propriedades de superfície avaliadas foram a análise de imagem, colorimetria, rugosidade e molhabilidade. Para todas estas foram utilizadas 60 amostras com as dimensões de 0,22 cm x 4 cm x 4 cm, com a obtenção dos resultados realizada para ambas as faces das lâminas – superfície interna onde ocorre “ataque” da faca na fase de laminação e superfície externa. A seguir, serão descritos detalhadamente cada uma dessas análises.

### 2.2.1. Análise de Imagem

Foram obtidas imagens com um aumento de 80x das superfícies das lâminas. A captação das imagens foi realizada com auxílio de uma câmara acoplada ao estereomicroscópio trinocular modelo 2000 C, e a captação das imagens foi feita com o auxílio de uma câmara modelo AxioCam MRc5 de 5 megapixel acoplada ao estereomicroscópio, ambos da marca Carl Zeiss (Figura 3).

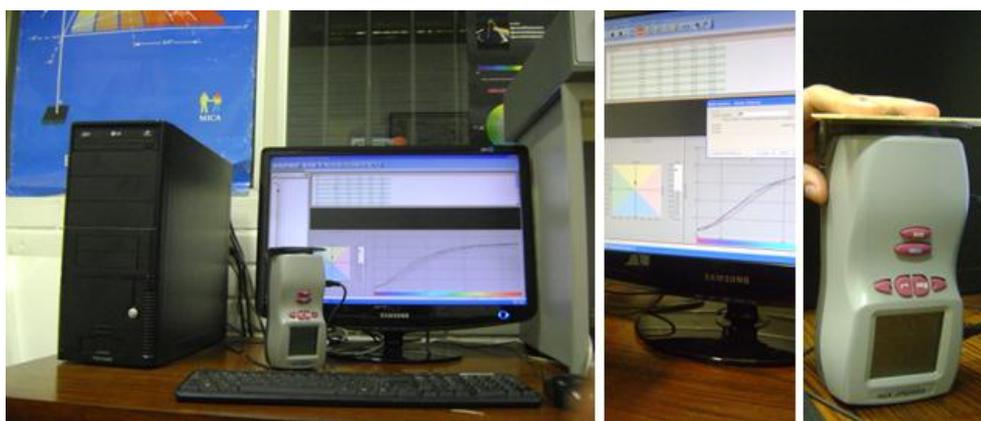


**Figura 3.** Estereomicroscópio utilizado para captação de imagens das lâminas.

### 2.2.2. Colorimetria

Para avaliar os parâmetros colorimétricos foi utilizada a técnica de reflectância difusa no intervalo visível do espectro eletromagnético, denominada espectrofotocolorimetria, conforme metodologia sugerida por Gonzalez (1993). Foi empregado o aparelho Color Eye XTH-X-RITE acoplado a um microcomputador (Figura 4). Para cada amostra foram tomadas três leituras dos parâmetros colorimétricos em ambos os lados. Antes do início dos ensaios foi feita a calibração de cores de referências fornecidas pelo equipamento

(branco total, com  $L^* = 100$  e; preto total, com  $L^* = 0$ ). Para realização dos ensaios foi utilizado o iluminante D65, composto de uma lâmpada de xenônio, o qual simula a radiação solar diurna, com um ângulo de observação de  $10^\circ$  em temperatura ambiente. A metodologia adotada para a determinação dos parâmetros colorimétricos,  $L^*$  (claridade), coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , C (saturação) e  $h^*$  (ângulo de tinta), foi o sistema CIELAB1976, conforme citado por Camargos e Gonzalez (2001). Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $h^*$  e C foram obtidos diretamente pelo espectrofotômetro.



**Figura 4.** Colorímetro utilizado para obtenção dos parâmetros colorimétricos.

### 2.2.3 Rugosidade

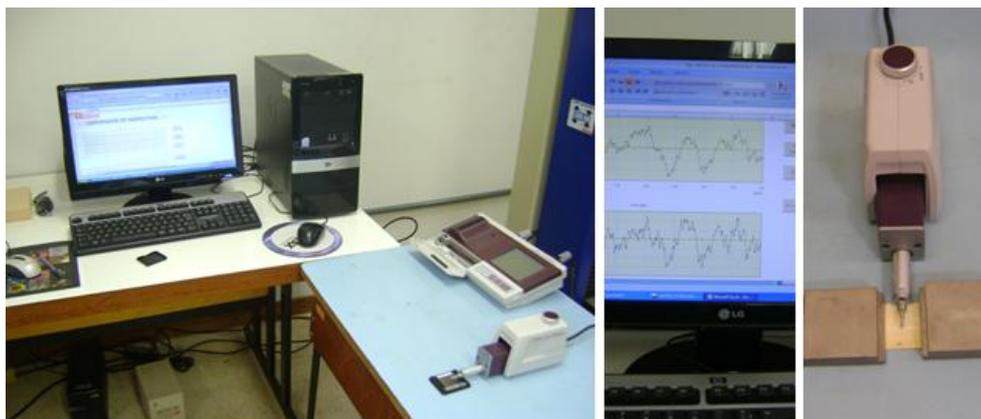
Para avaliar a rugosidade foram realizadas medições na superfície das amostras transversal às fibras utilizando o equipamento SurfTest SJ – 400 (Mitutoyo), de acordo com a norma JIS B 0601 (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD – JIS, 2001), com *cut-off* de 0,8 mm e percurso de avaliação de 8 mm (Figura 5). Os parâmetros avaliados foram  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_t$ , os quais foram determinados de acordo com as Equações 8, 9 e 10 respectivamente.

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (\text{Equação 8})$$

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_{pi} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_{vi} \quad (\text{Equação 9})$$

$$R_t = Y_p + Y_v \quad (\text{Equação 10})$$

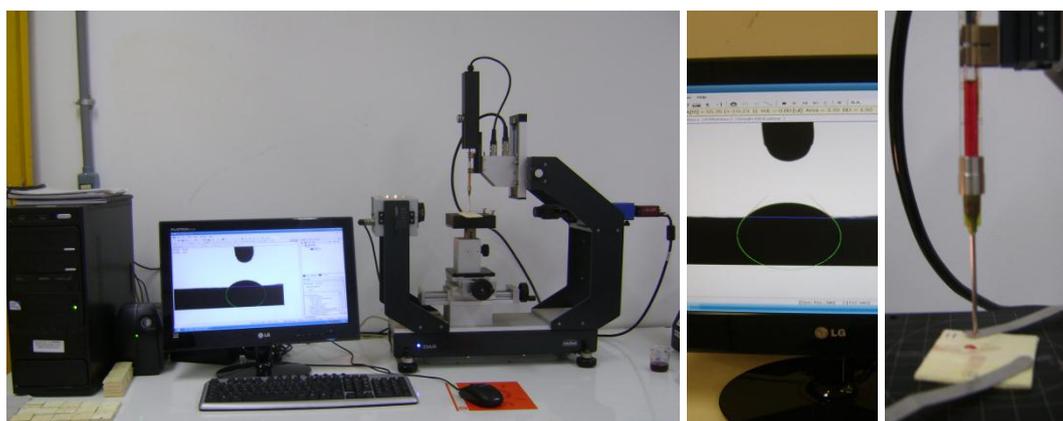
Em que:  $R_a$  = média aritmética dos desvios do perfil da linha média, em  $\mu\text{m}$ ;  $R_z$  = soma da altura média dos cinco picos mais altos e da profundidade dos cinco vales mais profundos, medidos de uma linha paralela à linha média, em  $\mu\text{m}$ ;  $R_t$  = soma da altura do pico máximo e a profundidade do vale máximo, em  $\mu\text{m}$ ;  $Y_i$  = Desvios do perfil, em  $\mu\text{m}$ ;  $Y_{pi}$  = Picos mais altos, em  $\mu\text{m}$ ;  $Y_{vi}$  = Vales mais profundos, em  $\mu\text{m}$ ;  $Y_p$  = Pico mais alto, em  $\mu\text{m}$ ;  $Y_v$  = Vale mais profundo, em  $\mu\text{m}$ .



**Figura 5.** Rugosímetro utilizado para caracterizar a superfície das lâminas de paricá.

### 2.2.4. Molhabilidade

A molhabilidade foi avaliada por meio de medições do ângulo de contato da gota séssil com o uso do Goniômetro – Krüss DSA30 e do software DSA30 (Figura 6). Foram utilizados dois líquidos: água destilada e o adesivo fenólico CR-7010 (SI Group Crios) com propriedades descritas na Tabela 1, o qual foi diluído a 5% com água destilada até atingir a viscosidade requerida para medição (menos de 400 cP). O volume da gota depositada sobre o material foi de 15  $\mu\text{L}$  e as medições realizadas a cada 1 segundo por um período de 60 segundos.



**Figura 6.** Goniômetro utilizado para realização dos ensaios de molhabilidade.

**Tabela 1.** Propriedades do adesivo fenólico CR-7010 conforme o fabricante.

Adesivo	Aparência	pH	Visc.	TS	$\rho$
	.....	.....	.... (cP) ....	.... (%) ....	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
CR-7010	Líquido viscoso vermelho	11 - 13	400 - 800	48 - 52	1,20 - 1,25

Visc. = viscosidade a 25°C; TS = teor de sólidos a 105°C;  $\rho$  = massa específica.

Para as análises da molhabilidade das lâminas o ângulo de contato foi definido considerando momentos distintos do processo de umectação. Em um primeiro momento foi obtido um ângulo de contato parcial tomado 10 segundos após a deposição da gota ( $\Theta_{10}$ ). Subsequentemente, foi obtido o ângulo final tomado aos 30 segundos após a deposição da gota ( $\Theta_f$ ). O tempo das medições foi definido com base nas análises do tempo médio necessário para a total absorção da gota pela madeira.

### 2.3. ANÁLISES QUÍMICAS

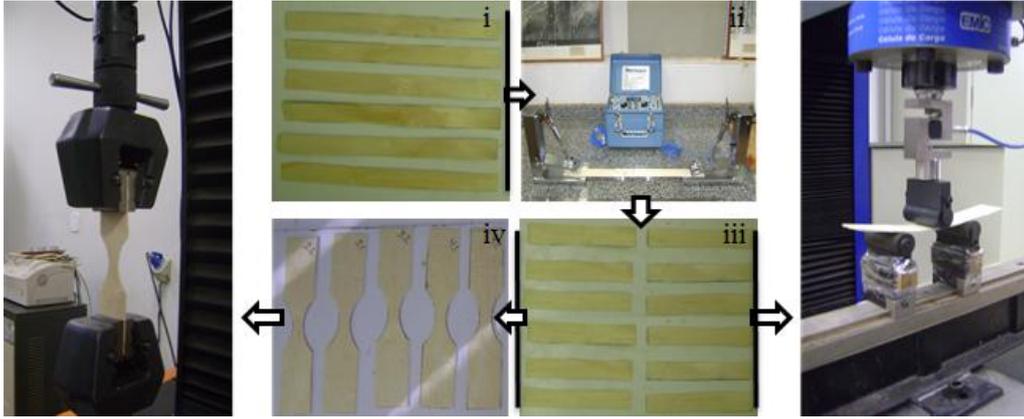
Na caracterização da composição química os corpos de prova de 2,5 cm x 2,5 cm x 0,22 cm foram transformados em palitos e, posteriormente, convertidos em serragem, ao empregar moinho de facas do tipo Willey. Subsequente, o material moído foi subdividido em três frações granulométricas, acima de 40 *mesh*, entre 40/60 *mesh* e abaixo de 60 *mesh*, conforme a norma NBR 14660 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2003). A partir da fração retida entre as peneiras de 60 e 40 *mesh*, foram realizadas as análises químicas, em triplicata, por via úmida, para determinação do teor de extrativos, teor de lignina e teor de cinzas, conforme as normas NBR 14853, NBR 7989 e NBR 13999 (ABNT, 2003), respectivamente. Com relação ao teor de holocelulose, o mesmo foi definido como sendo a diferença entre a composição química total e a composição da fração não-carboidrato (Equação 11).

$$Thol = 100 - (Text + Tlig + Tcz) \quad (\text{Equação 11})$$

Em que: *Thol* = teor de holocelulose (%); *Text* = teor de extrativos (%); *Tlig* = teor de lignina (%); *Tcz* = teor de cinzas (%).

### 2.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS LÂMINAS

Para realização dos ensaios mecânicos foram utilizadas 36 amostras 0,22 cm x 3,6 cm x 40 cm (i) e dessas obteve-se o módulo de elasticidade dinâmico por meio do *Stress Wave Time* (ii). Em seguida, as amostras foram subdivididas ao meio (0,22 mm x 3,6 cm x 20 cm), sendo metade destas destinadas ao ensaio de flexão (iii) e outra metade a tração paralela às fibras (iv) (Figura 7). Os ensaios foram realizados com base na norma COPANT (1972), com adaptações as especificidades das amostras disponíveis.



**Figura 7.** Esquema utilizado para produção das amostras utilizadas para realização dos ensaios não destrutivos (*Stress Wave*) e destrutivos (flexão e tração) das lâminas de paricá.

Para o ensaio de tração, a largura das amostras em sua parte central foi reduzida para 1,8 cm e o ensaio conduzido a velocidade de 0,6 mm/min. No ensaio de flexão foi utilizado um vão de 12 cm e velocidade de carregamento de 1,8 mm/min. O módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) foi determinado com base na velocidade de propagação da onda (Equações 12 e 13) e na massa específica da lâmina. Para determinação dos módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) em flexão estática foram utilizadas as Equações 14 e 15 respectivamente. A resistência à tração ( $f_{t,0}$ ) foi calculada pela Equação 16.

$$V_0 = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (\text{Equação 12})$$

$$E_{md} = \frac{V_0^2 \times \rho}{g} \times 10^{-5} \quad (\text{Equação 13})$$

$$E_m = \frac{1}{4} \times \left( \frac{P_2 - P_1}{D_2 - D_1} \right) \times \frac{L^3}{b \times h^3} \quad (\text{Equação 14})$$

$$f_m = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2} \quad (\text{Equação 15})$$

$$f_{t,0} = \frac{P}{A} \quad (\text{Equação 16})$$

Em que:  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação da onda, m/s;  $L$  = distância percorrida pela onda, m;  $t$  = tempo de trânsito da onda,  $\mu$ s;  $\rho$  = massa específica aparente,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  = aceleração da gravidade,  $9,804 \text{ m/s}^2$ ;  $E_m$  = módulo de elasticidade em flexão, MPa;  $f_m$  = módulo de ruptura em flexão, MPa;  $P$  = carga máxima, N;  $P_1$  e  $P_2$  = cargas dentro do limite proporcional, N;  $D_1$  e  $D_2$  = deformações dentro do limite proporcional, N;  $L$  = vão entre apoios, mm;  $a$  = distância entre aplicadores de carga, mm;  $b$  = largura do corpo-de-prova, mm;  $h$  = espessura do corpo-de-prova, mm;  $\Delta$  = deformação da peça, mm;  $f_{t,0}$  = resistência a tração paralela, MPa;  $A$  = área do corpo-de-prova submetido ao esforço,  $\text{mm}^2$ .

## 2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

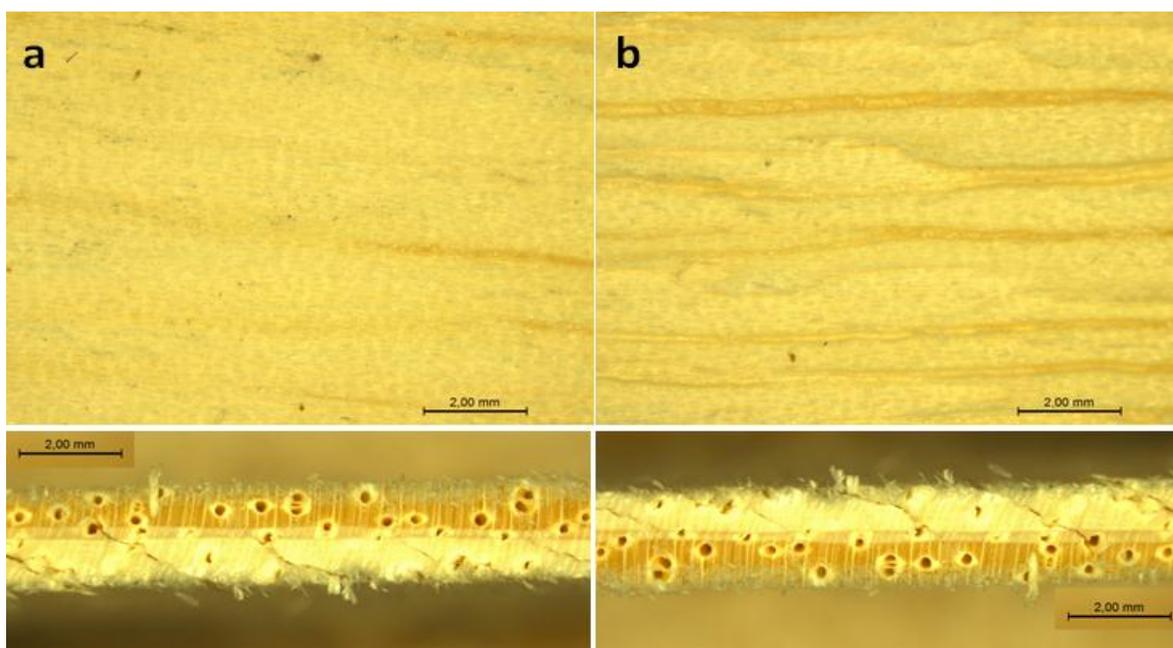
Para os ensaios de molhabilidade foi avaliada a variabilidade do ângulo de contato por meio do delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial. Os fatores avaliados foram líquido utilizado com dois níveis (água e fenol-formaldeído) e face da lâmina também com dois níveis (interna e externa). Para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste de F ( $p < 0,05$ ) foi realizado a comparação de médias pelo teste de *Skott-Knott* ( $p < 0,05$ ). As comparações foram feitas com base em um ângulo de contato parcial tomado aos 10 segundos após a deposição da gota ( $\Theta_{10}$ ) e no ângulo de contato final tomado aos 30 segundos após a deposição da gota ( $\Theta_f$ ).

Os demais parâmetros estudados (análise visual e colorimétrica, estabilidade dimensional, rugosidade e caracterização mecânica) foram avaliados por meio de estatística descritiva (valores mínimo, médio, máximo e variabilidade). Foi realizada ainda análises de correlação linear separadamente para os parâmetros relacionados as propriedades físicas, mecânicas e de superfície.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO VISUAL

Nas imagens obtidas por meio de estereomicroscópio (Figura 8) fica evidente a maior ocorrência de fendas de laminação em uma das faces das lâminas, especificamente a face interna, onde ocorre o ataque da faca para produção das lâminas. Conforme mencionado por Suchsland e Jankowski (1978), o aparecimento dessas fendas na face interna das lâminas é comum durante o processo de laminação em torno desenrolador, e sua causa pode ser atribuída à pressão proporcionada na parte interior das lâminas. Iwakiri (2005) destaca que a utilização de uma compressão adequada da barra de pressão sobre a madeira pode minimizar consideravelmente o aparecimento dessas fendas.



**Figura 8.** Imagens das superfícies das faces – externa (a) e interna (b) e, das bordas das lâminas produzidas com a madeira de paricá.

Os parâmetros colorimétricos obtidos para lâminas de paricá podem ser observados na Tabela 2. Considerando o agrupamento dos parâmetros colorimétricos sugeridos por Camargos e Gonzalez (2001), a cor observada para as lâminas de paricá foi a branca acinzentada, característica obtida principalmente pela alta claridade ( $L^*$ ), presença marcante do pigmento amarelo e baixa presença do pigmento vermelho. O ângulo de tinta

elevado ( $h^*$ ) posiciona a cor desta madeira próximo ao eixo  $b^*$  confirmando a grande influência da coordenada  $b^*$  na caracterização da cor da madeira estudada. Resultados similares foram observados por Arruda et al. (2011) para a mesma espécie. Quase todos os parâmetros obtidos por aqueles autores foram similares ao deste estudo, com exceção para o valor da coordenada  $a^*$  que foi inferior no presente trabalho. Segundo Mori et al. (2005) o padrão de coloração de uma madeira pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro, quase preto – dentro destas variações podem ser encontradas madeiras amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas.

**Tabela 2.** Parâmetros colorimétricos observados para as lâminas de paricá.

Valores	$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	$h^*$
Máximo	89,64	1,59	35,16	35,16	93,23
Média	87,51	-0,30	27,56	27,57	90,68
Mínimo	83,02	-1,32	21,16	21,17	87,28
CV(%)	1,27	92,11	11,60	11,60	1,33
Total*	120	120	120	120	120

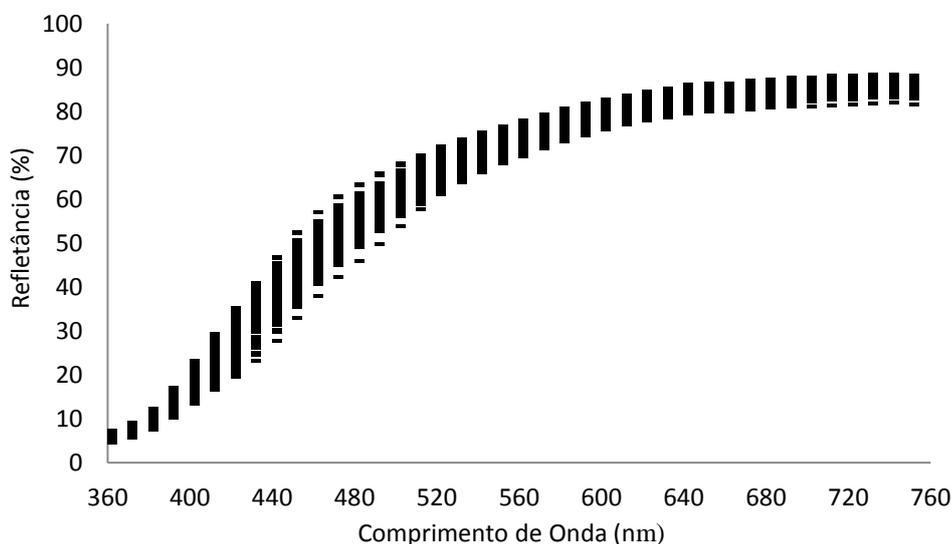
Segundo Stangerlin (2012) a combinação entre os elevados valores observados para coordenada  $L^*$  e os baixos valores observados para coordenada  $a^*$ , podem ser um indicativo da pouca quantidade de extrativos presentes na madeira. O autor destaca ainda que isoladamente, um baixo valor da coordenada  $L^*$  pode ser um indicativo que a espécie apresenta uma baixa massa específica. A cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema – taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e outros, substâncias que conferem cores diferenciadas ao lenho.

Não foram observadas correlações significativas entre a massa específica e os parâmetros colorimétricos (Tabela 3), o que pode ser atribuído a uma elevada homogeneidade na cor das amostras avaliadas. Os demais parâmetros analisados apresentaram correlações significativas entre si, com as maiores correlações observadas para interações entre a coordenada  $b^*$  e a saturação (C) ( $r = 0,999$ ), coordenada  $a^*$  e ângulo de tinta ( $h^*$ ) ( $r = 0,969$ ) e a claridade ( $L^*$ ) com o ângulo de tinta ( $r = 0,669$ ). Na relação entre a refletância e o comprimento de onda (Figura 9) observa-se que há uma tendência de estabilização da curva entre 560 a 590 nm, comprimento onde se situa à coloração amarela.

**Tabela 3.** Correlações entre a massa específica e os parâmetros colorimétricos para lâminas de paricá.

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C</b>	<b>h*</b>	<b>nc</b>
<b>ρ</b>	-0,033 <sup>NS</sup> (0,717)	0,114 <sup>NS</sup> (0,215)	0,139 <sup>NS</sup> (0,131)	0,138 <sup>NS</sup> (0,132)	-0,100 <sup>NS</sup> (0,284)	0 [+0] [-0]
<b>L*</b>		-0,635** (<0,001)	-0,559** (<0,001)	-0,559** (<0,001)	0,669** (<0,001)	4 [+1] [-3]
<b>a*</b>			0,218* (0,017)	0,217* (0,017)	-0,993** (<0,001)	4 [+2] [-2]
<b>b*</b>				0,999** (<0,001)	-0,260** (0,004)	4 [+2] [-2]
<b>C</b>					0,260** (<0,001)	4 [+3] [-1]
<b>h*</b>						4 [+2] [-2]

ρ = massa específica; L\*, a\*, b\*, C\* e h<sup>0</sup> = parâmetros colorimétricos; nc = número de correlações total, positivas e negativas observado para variável; <sup>NS</sup> = não significativo; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5%; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.



**Figura 9.** Relação entre a refletância e comprimento de onda observada para as lâminas.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados obtidos por meio das análises químicas da madeira de paricá podem ser observados na Tabela 4. Os teores de lignina e de cinzas observados foram similares aos verificados por Vidaurre (2010). Já para os teores de extrativos, estes autores ao estudarem indivíduos de 5 a 11 anos observaram índices inferiores a 3%, enquanto no presente trabalho a média foi de 5,3%. Apesar da diferença, para ambos os estudos, o teor de extrativos pode ser considerado baixo, em se tratando de uma espécie nativa tropical (PAES et al., 2009).

**Tabela 4.** Percentuais dos constituintes químicos observados para madeira de paricá.

<b>Holocelulose</b>	<b>Lignina</b>	<b>Extrativos</b>	<b>Cinzas</b>
..... (%) .....			
68,5	25,6	5,3	0,6

A baixa concentração de extrativos no paricá pode ser atribuída ao uso de indivíduos jovens, e ainda sem a presença de cerne, já que reconhecidamente é nessa região onde se encontra as maiores quantidades de extrativos (ROWELL, 2005). A composição química da madeira (principalmente o teor de extrativos) é responsável por inúmeras interações com a adsorção e desorção de umidade, retração volumétrica (JANKOWSKY e GALVÃO, 1979) e molhabilidade (CRUZ, 2006). Esses componentes ocupam uma parte do espaço da parede celular que normalmente seria ocupado pela água, logo, sua existência pode deixar madeiras mais ou menos permeáveis.

Paes et al. (2009) verificaram, ao estudar algumas espécies nativas, teores extrativos superiores a 10%, como foi o caso da *Myracrodruon urundeuva* (14,34%), *Amburana cearenses* (18,02%) e *Schinopsis brasiliensis* (21,46%). O baixo teor de extrativos comparado a outras espécies tropicais, em contrapartida, pode favorecer o processo de colagem de lâminas, pois a presença deles pode interferir na polimerização da resina (IWAKIRI, 2005). Entretanto, assim como no estudo realizado por Vidaurre (2010), no presente estudo não foram identificados quais os extrativos, apenas a participação percentual destes na composição da madeira. Logo, a existência de alguma classe de extrativo que possa interferir no processo de colagem, mesmo em pequenas concentrações, não deve ser descartada.

A composição química da madeira está intimamente relacionada com sua utilização. Características como adequabilidade para a produção de papel, durabilidade natural, trabalhabilidade, cor, resistência mecânica, higroscopicidade, poder energético e grande parte das características físico-mecânicas da madeira são mais ou menos influenciadas pela qualidade e proporção relativa dos diferentes componentes químicos de sua estrutura (ROWELL, 2005). Apenas a partir das características desses componentes e o papel que cada um deles exerce, é possível dar à madeira a utilização mais conveniente, explorando todo o seu potencial.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

#### 3.3.1. Estabilidade Dimensional

As lâminas de paricá avaliadas apresentaram baixa massa específica, elevada porosidade e conseqüentemente alta capacidade de absorção de água (Tabela 5).

**Tabela 5.** Propriedades físicas observadas para as lâminas de paricá.

Valores	TUeq	$\phi$	$\rho$
	(%)		(g/cm <sup>3</sup> )
Máximo	14,32	72,08	0,43
Média	12,68	79,22	0,32
Mínimo	11,31	82,47	0,27
CV(%)	7,02	15,67	12,50
Total*	32,00	32,00	32,00

TUeq = teor de umidade de equilíbrio;  $\phi$  = porosidade;  $\rho$  = massa específica básica; \*número de amostras utilizadas para obtenção dos valores médios.

Os valores de retratibilidade tangencial e volumétrica observados para as lâminas de paricá (Tabela 6) foram próximos aos observados por Bortoletto Júnior e Belini (2002) para lâminas de guapuruvu. Já para retrações radiais e o coeficiente anisotrópico, os resultados do presente estudo foram menores. O LPF (2012) apresenta como valores de referência para madeira de paricá 5,1%, 4,3%, 11,1% e 1,2 para contrações tangencial, radial, volumétrica e coeficiente anisotrópico respectivamente. Contudo, esses resultados foram obtidos para madeira de indivíduos adultos e partir de blocos de madeira, cuja forma e dimensões utilizadas para os ensaios são absolutamente diferentes da forma e dimensões das amostras de lâminas avaliadas neste trabalho.

**Tabela 6.** Valores de retratibilidade linear, volumétrica e coeficiente anisotrópico observado para lâminas de paricá.

Valores	Lg	Rd	Tg	Rv	T/R
	(%)				
Máximo	0,80	6,20	9,02	13,74	5,60
Média	0,42	3,17	7,24	10,55	2,94
Mínimo	0,20	1,16	5,56	7,55	1,12
CV(%)	40,48	50,16	11,19	17,81	50,68
Total*	32	32	32	32	32

Lg, Rd e Tg = retratibilidade linear longitudinal, radial e tangencial; Rv = retratibilidade volumétrica; T/R = coeficiente anisotrópico; \*número de amostras utilizadas para obtenção dos valores médios.

Ainda na Tabela 6 observa-se que as retrações longitudinal, radial e o coeficiente anisotrópico apresentaram elevado coeficiente de variação. Essa variabilidade nos resultados pode ser atribuída à utilização de lâminas de diferentes regiões radiais – externas (próximo à casca) e interna (próximo à medula), características que reconhecidamente influenciam a estabilidade dimensional da madeira (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

Almeida et al. (2004) também observaram para lâminas de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* valores de retrações superiores, mas, com um coeficiente anisotrópico menor. De acordo com a classificação sugerida por Nock et al. (1975), a qual leva em consideração a relação entre retrações tangenciais e radiais, o elevado coeficiente anisotrópico obtido para a madeira de paricá ( $T/R > 2$ ), indicam ser as lâminas avaliadas consideravelmente instáveis. Todavia, isoladamente, esse aspecto não pode ser considerado limitante para seu uso, tendo em vista as inúmeras técnicas existentes que visam melhorar a estabilidade de madeiras e painéis de madeiras, como tratamentos termomecânicos, alteração química, laminação cruzada, preenchimento, revestimento, dentre outros, conforme citados por Del Menezzi (2006).

Para Bortoletto Júnior et al. (2000) o conhecimento da retratibilidade de lâminas é fundamental na manufatura de painéis laminados. Segundo esses autores, até mesmo lâminas de espécies diferentes podem ser utilizadas para produzir painéis sem que sua qualidade seja prejudicada, desde que, em seu processo de manufatura sejam produzidas com lâminas que apresentem, dentre outras características, desempenho físico e mecânico similares. Tal aspecto possibilitaria um maior aproveitamento da matéria-prima além de uma maior flexibilidade na escolha da matéria-prima para produção industrial.

Os parâmetros massa específica, porosidade e o teor de umidade de equilíbrio observados para as lâminas de paricá não influenciaram os índices (retratibilidade longitudinal, radial, tangencial e volumétrica) utilizados para quantificar a estabilidade dimensional (Tabela 7). O maior número de correlações significativas foi observado para retratibilidade volumétrica ( $R_v$ ), que obteve 4 correlações de 8 possíveis, com destaque para correlações de 0,90 com a retratibilidade radial ( $R_d$ ) e de 0,80 com o coeficiente anisotrópico ( $T/R$ ). No geral, os valores de retratibilidade lineares, volumétrica e o coeficiente anisotrópico apresentaram correlação significativa apenas entre os mesmos.

Ainda na Tabela 7, é visto que o teor de umidade saturado obteve correlação significativa negativa com a massa específica. Segundo Melo et al. (2007) isso explica-se por ser a massa específica uma medida de quantidade de parede celular presente em uma determinada espécie de madeira. O mesmo autor esclarece ainda que sendo a massa específica da parede celular aproximadamente constante, independente da espécie florestal, a porosidade da madeira que será o principal determinante desta variável. Isso significa que quanto maior o volume de espaços vazios (poros) menor será a massa específica e vice-versa, o que conseqüentemente promoveu maiores teores de umidade nas amostras de massa específicas menos elevadas.

**Tabela 7.** Matriz de correlações entre os parâmetros utilizados na avaliação qualitativa das lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*).

	<b>Tg</b>	<b>Rd</b>	<b>Rv</b>	<b>TUs</b>	<b>TUeq</b>	<b>ρ</b>	<b>φ</b>	<b>T/R</b>	<b>nc</b>
<b>Lg</b>	0,338 <sup>NS</sup> (0,059)	0,173 <sup>NS</sup> (0,344)	0,356* (0,046)	0,455** (0,008)	0,180 <sup>NS</sup> (0,323)	0,060 <sup>NS</sup> (0,743)	-0,048 <sup>NS</sup> (0,793)	-0,254 <sup>NS</sup> (0,161)	2 [+2] [-0]
<b>Tg</b>		0,258 <sup>NS</sup> (0,153)	0,654** (<0,001)	0,248 <sup>NS</sup> (0,171)	0,110 <sup>NS</sup> (0,549)	-0,051 <sup>NS</sup> (0,781)	0,047 <sup>NS</sup> (0,796)	-0,047 <sup>NS</sup> (0,796)	1 [+1] [-0]
<b>Rd</b>			0,901** (<0,001)	0,119 <sup>NS</sup> (0,518)	-0,141 <sup>NS</sup> (0,786)	-0,024 <sup>NS</sup> (0,897)	0,036 <sup>NS</sup> (0,818)	-0,911** (<0,001)	2 [+1] [-1]
<b>Rv</b>				0,231 <sup>NS</sup> (0,203)	-0,050 <sup>NS</sup> (0,786)	-0,034 <sup>NS</sup> (0,855)	0,042 <sup>NS</sup> (0,818)	-0,800** (<0,001)	4 [+3] [-1]
<b>TUs</b>					0,134 <sup>NS</sup> (0,465)	-0,602** (<0,001)	0,617** (<0,001)	-0,057 <sup>NS</sup> (0,756)	3 [+2] [-1]
<b>TUeq</b>						0,033 <sup>NS</sup> (0,860)	-0,060 <sup>NS</sup> (0,746)	0,078 <sup>NS</sup> (0,664)	0 [+0] [-0]
<b>ρ</b>							-0,998** (<0,001)	-0,217 <sup>NS</sup> (0,233)	2 [+0] [-2]
<b>φ</b>								<0,204 <sup>NS</sup> (0,263)	2 [+1] [-3]
<b>T/R</b>									2 [+0] [-2]

Lg, Rd, Tg e Rv = retratibilidade linear longitudinal, radial e tangencial e retratibilidade volumétrica; TUs = teor de umidade saturado; TUeq = teor de umidade de equilíbrio; ρ = massa específica básica; φ = porosidade; T/R = coeficiente anisotrópico; nc = número de correlações total, positivas e negativas observado para variável; <sup>NS</sup> = não significativo; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5%; números em *italico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

### 3.3.2. Rugosidade

Foram observadas variações significativas entre os parâmetros de rugosidade para face externa e interna das lâminas. A média dos desvios do perfil ( $R_a$ ), a soma dos cinco menores com os cinco maiores picos ( $R_z$ ) e a soma do maior pico com o maior vale ( $R_t$ ), foram superiores para face interna das lâminas (Tabela 8). Esse comportamento é tido como padrão para lâminas produzidas em tornos desenroladores (Figura 10) e, segundo

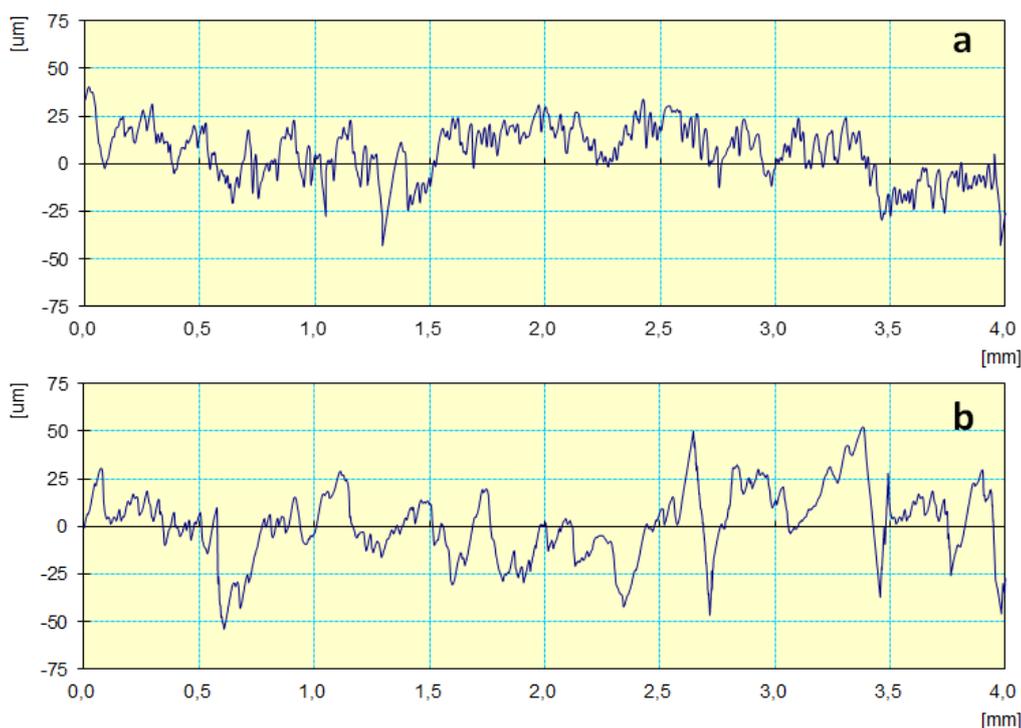
Suchsland e Jankowsky (1978) e Iwakiri (2005), é ocasionado pela pressão e flexionamento exercido sob a parte interna da lâmina.

**Tabela 8.** Parâmetros de rugosidade das faces externa e interna das lâminas de paricá.

	$R_a$	$R_z$	$R_t$
Face externa	$10,56 \pm 2,61$ b	$59,73 \pm 11,72$ b	$92,42 \pm 20,59$ b
Face interna	$12,67 \pm 2,92$ a	$70,18 \pm 13,74$ a	$110,69 \pm 30,08$ a

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si – teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Arruda (2012) verificou resultados semelhantes para lâminas produzidas com amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.), assim como, Daoui et al. (2011) para lâminas de beech (*Fagus sylvatica*), em que a face externa das lâminas apresentaram menor rugosidade. Em média, os valores de rugosidade observado para o paricá foi inferior aos observados para o *Fagus* sp. (BEKHTA e MARUTZKY, 2007) e *Trattinnickia burseraefolia* (ARRUDA, 2012).



**Figura 10.** Perfis típicos observados para as faces externa (a) e interna (b) das lâminas de paricá.

Uma menor rugosidade é desejável para produção de painéis laminados, por possibilitarem um íntimo contato entre as peças proporcionando uma melhor aderência entre as lâminas, o

que por sua vez, aumenta a resistência da linha de cola (PIAO et al., 2008). Tal aspecto faz com que a rugosidade seja um dos principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade de lâminas (DUNDAR et al., 2008). Entretanto, vale ressaltar, que a rugosidade das lâminas não pode ser considerada limitante para produção de painéis, tendo em vista que a existência de técnicas que objetivam sua redução (TANRITANIR et al., 2006; BEKHTA e MARUTZKY, 2007; ARRUDA, 2012).

A massa específica das lâminas apresentou correlação negativa e significativa para todos os parâmetros de rugosidade, evidenciando haver uma tendência de redução da rugosidade com aumento da massa específica (Tabela 9). Esse comportamento, também foi verificado por Cruz (2006), podendo ser explicado por uma maior resistência das fibras ao “ataque” da faca do torno desenrolador no processo de manufatura das lâminas o que proporciona um menor aparecimento de fissuras. O  $R_a$  foi o parâmetro que melhor se correlacionou com a massa específica ( $r = 0,37$ ). Os demais parâmetros também obtiveram correlações significativas entre si, sendo estas diretas.

**Tabela 9.** Correlações entre a massa especifica e os parâmetros de rugosidade.

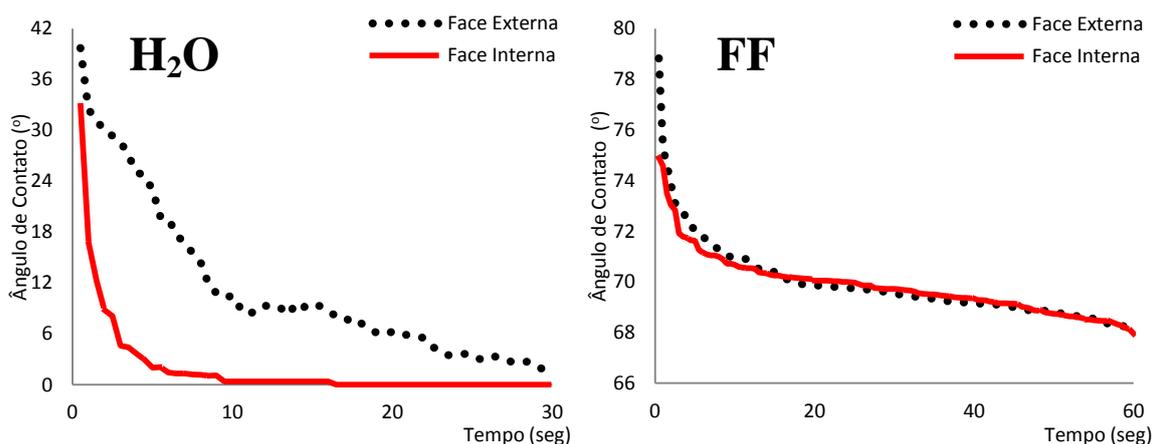
	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>R<sub>z</sub></b>	<b>R<sub>t</sub></b>	<b>nc</b>
<b>ρ</b>	-0,366** ( <i>&lt;0,001</i> )	-0,184* ( <i>0,044</i> )	-0,190* ( <i>0,038</i> )	3 [+0] [-3]
<b>R<sub>a</sub></b>		0,854** ( <i>&lt;0,001</i> )	0,699** ( <i>&lt;0,001</i> )	3 [+2] [-1]
<b>R<sub>z</sub></b>			0,838** ( <i>&lt;0,001</i> )	3 [+2] [-1]
<b>R<sub>t</sub></b>				3 [+2] [-1]

ρ = massa específica; Ra, Rz e Rt = parâmetros do ensaio de rugosidade; nc = número de correlações total, positivas e negativas observado para variável; <sup>NS</sup> = não significativo; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5%; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

### 3.3.3. Molhabilidade

Para ambos os líquidos analisados, inicialmente, o ângulo de contato diminuiu rapidamente (fase de espalhamento) até atingir um ponto de equilíbrio onde a redução se deu de forma mais lenta (fase de difusão) (Figura 11). Em um primeiro contato entre o líquido e a superfície da madeira há uma maior energia livre da superfície, ocasionando um rápido espalhamento e penetração do líquido (SHELDON e GARDNER, 2001). Devido à alta variabilidade inicial, sugere-se que análise da molhabilidade se dê com comparações entre ângulos após essa fase.

Uma clara diferenciação entre os ângulos foi observada entre as faces interna e externa das lâminas, quando o líquido utilizado foi à água, com uma redução mais acentuada para face mais rugosa das lâminas (interna). Quando o líquido utilizado foi o adesivo, os valores dos ângulos para ambas as faces foram similares, exceto no início do ensaio. Logo, a diferença de rugosidade entre as superfícies não influenciou a variação do ângulo, resultado que pode ser atribuído a uma maior viscosidade da resina fenol-formaldeído.



**Figura 11.** Variação dos ângulos de contato médios em função do tempo para os líquidos água (H<sub>2</sub>O) e fenol-formaldeído (FF), nas faces interna e externa das lâminas.

A análise de molhabilidade para diferentes faces e adesivos indicou para todos os casos que quando se utilizou água o ângulo de contato foi menor que o obtido para o adesivo (Tabela 10). Embora diversos fatores intrínsecos ao substrato (rugosidade, topografia, morfologia e composição química do material) influenciem o grau de molhabilidade, neste estudo esse comportamento pode ser atribuído principalmente à diferença de viscosidade e tensão superficial dos líquidos. Conforme relatado por Cruz (2006), quanto menor for à viscosidade do líquido mais rapidamente ocorrerá a sua penetração na madeira – fato ocorrido quando o líquido utilizado foi à água. Esta característica também foi evidenciada por Brisolari (2008) comparando a molhabilidade usando água e etileno glicol.

Com relação à comparação entre as faces, constatou-se diferença significativa apenas quando o líquido utilizado foi à água. Esse resultado corrobora com o observado por Arnold (2010), que afirma que quanto maior a rugosidade, menor o ângulo de contato e consequentemente maior a molhabilidade da madeira. No entanto, Gray (1992), destaca haver um limite para esse comportamento, pois, segundo o autor, o excesso de rugosidade

na superfície pode oferecer resistência à penetração do adesivo devido à presença de ar em suas cavidades. Ainda na Tabela 10 observa-se um padrão similar de variação comparando o ângulo de contato parcial com o ângulo de contato final.

**Tabela 10.** Comparação entre valores médios do ângulo de contato parcial e final, observados para os diferentes líquidos e faces das lâminas.

<b>Superfície da Lâmina</b>	<b>Água (<math>\theta_{10}</math>)</b>	<b>Fenol (<math>\theta_{10}</math>)</b>
Face Externa	10,53 aB	70,91 aA
Face Interna	0,39 bB	70,17 aA
<b>Superfície da Lâmina</b>	<b>Água (<math>\theta_f</math>)</b>	<b>Fenol (<math>\theta_f</math>)</b>
Face Externa	1,73 aB	69,38 aA
Face Interna	0,00 bB	69,77 aA

$\theta_{10}$  = ângulo de contato parcial tomado aos 10 segundos;  $\theta_f$  = ângulo de contato final tomado aos 30 segundos. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada seção, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Não foi constatada correlação significativa entre a massa específica das amostras e ângulo de contato seja parcial ou final, para qualquer das faces das lâminas, líquidos utilizados ou para o conjunto dos dados.

### 3.4. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

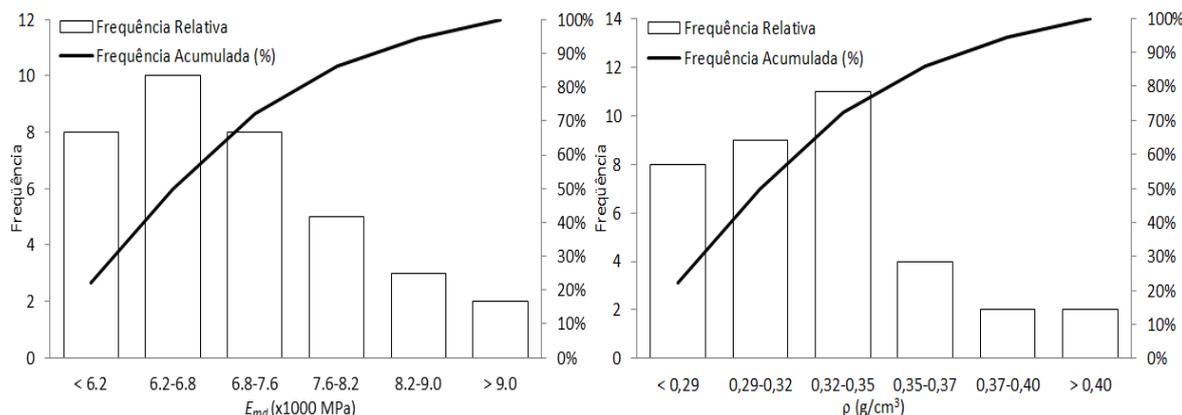
Os valores do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) observados para as lâminas de paricá ficaram entre 5000 a 10000 MPa com maior frequência (76%) para as três primeiras classes, com valores entre 5500 e 7600 MPa (Figura 12). Diferente disso, Iwakiri et al. (2010) observaram para lâminas da mesma espécie e com massa específica similar valores variando entre 3.000 e 6.000 MPa. Essa alta variabilidade pode ser atribuída a diversos fatores, seja devido a características genéticas, fenotípicas ou até mesmo silviculturais (OHASHI et al., 2010). A exemplo disso, pode-se destacar a idade em que a árvore é abatida para laminação, a qual pode variar de quatro a sete anos, dependendo da qualidade do sítio ou da demanda do setor industrial (MARQUES et al., 2006).

Para a massa específica, foram observados valores variando entre 0,27 a 0,43 g/cm<sup>3</sup>, com distribuição similar à observada para o  $E_{md}$ , com maior frequência (74%) para três primeiras classes, com valores entre 0,76 a 0,35 g/cm<sup>3</sup> (Figura 12). Os resultados dos ensaios mecânicos e da massa específica podem ser observados na Tabela 11, conjuntamente com valores de massa específica das amostras ensaiadas.

**Tabela 11.** Resultados dos ensaios mecânicos realizados.

Valores	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{md}$ (MPa)	$E_m$ (MPa)	$f_m$ (MPa)	$f_{t,0}$ (MPa)
Máximo	0,43	9540	8830	32,19	24,74
Média	0,32	7015	5975	20,63	16,84
Mínimo	0,27	5597	3271	11,06	12,63
CV(%)	12,26	14,32	24,80	30,21	18,30
Total*	36	36	36	36	36

$\rho$  = massa específica;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico;  $E_m$  e  $f_m$  = módulos de elasticidade e ruptura em flexão estática;  $f_{t,0}$  = tração paralela as fibras.



**Figura 12.** Histograma com os valores do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) e massa específica ( $\rho$ ) observados para as amostras ensaiadas.

Dentre os parâmetros avaliados, o  $E_{md}$  foi o único que obteve correlação significativa com todas as variáveis analisadas influenciando diretamente os parâmetros avaliados (Tabela 12). No geral, o aumento da resistência das amostras foi diretamente proporcional ao aumento do  $E_{md}$  e da  $\rho$ . Estes resultados estão de acordo com diversos autores, que afirmam ser o uso de ferramentas com tecnologias acústicas (MATOS, 1997; PELLERIN e ROSS, 2002; WANG et al., 2007; LARA PALMA et al., 2012) ou da massa específica (MATOS, 1997; MÜLLER, 2009), aceitáveis na predição das propriedades, controle de qualidade e classificação das lâminas. Tais características possibilitam a utilização dessas variáveis como indicativo de qualidade das lâminas e, conseqüentemente, o seu uso para seleção e posicionamento das lâminas no processo de manufatura de painéis laminados.

A velocidade de propagação das ondas pelo *Stress Wave* apresentou correlação significativa apenas com o  $E_{md}$ . Os maiores coeficientes de correlação foram observados entre  $E_{md}$  x massa específica ( $\rho$ ) (0,92), módulo de elasticidade ( $E_m$ ) x módulo de ruptura ( $f_m$ ) (0,64),  $E_{md}$  x  $f_m$  (0,63) e  $\rho$  x tração paralela as fibras ( $f_{t,0}$ ) (0,57). Também foi observada correlação significativa entre a resistência em  $f_m$  x  $f_{t,0}$  (0,38).

**Tabela 12.** Correlações entre as propriedades mecânicas avaliadas.

	$V_0$	$E_{md}$	$E_m$	$f_m$	$f_{t,0}$	nc
$\rho$	0,158 <sup>NS</sup> (0,359)	0,916** (<0,001)	0,478** (0,003)	0,621** (<0,001)	0,573** (<0,001)	4 [+4] [-0]
$V_0$		0,533** (<0,001)	0,044 <sup>NS</sup> (0,799)	0,239 <sup>NS</sup> (0,160)	0,167 <sup>NS</sup> (0,330)	1 [+1] [-0]
$E_{md}$			0,418* (0,011)	0,634** (<0,001)	0,538** (<0,001)	5 [+5] [-0]
$E_m$				0,640** (<0,001)	0,291 <sup>NS</sup> (0,089)	3 [+3] [-0]
$f_m$					0,379* (0,036)	4 [+4] [-0]
$f_{t,0}$						3 [+2] [-0]

$\rho$  = massa específica;  $V_0$  = velocidade de propagação das ondas;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico;  $E_m$  e  $f_m$  = módulos de elasticidade e ruptura em flexão estática;  $f_{t,0}$  = tração paralela as fibras; nc = número de correlações total, positivas e negativas observado para variável; <sup>NS</sup> = não significativo; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5%; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

## 4. CONCLUSÕES

As lâminas da madeira de *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke (paricá) apresentam coloração branco-acinzentada, baixa concentração de extrativos, baixa estabilidade dimensional, pouca rugosidade e alta molhabilidade.

A maior presença de fendas de laminação na face interna das lâminas influenciou o grau de molhabilidade quando o líquido utilizado foi à água. Já quando utilizou-se o fenol-formoldeído, não foi constatada diferença significativa para o ângulo de contato nas diferentes faces das lâminas.

O módulo de elasticidade dinâmico obtido por *Stress Wave* e massa específica das lâminas se correlacionam diretamente com o aumento da resistência, podendo ser utilizado com eficácia na classificação e predição de suas propriedades mecânicas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDERMAN, D.; WIEDENBECK, J.; PETER, P.; BRINBERG, D. Key attributes associated with veneer quality timber that may be impacted by forest management practices. In: Central Hardwood Forest Conference, 14, 2004, Wooster. **Proceedings...** Wooster, p.140-147. 2004.

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G; JANKOWSKY, I.P. Produção de lâminas a partir de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia**

**Forestalis**, v.32, n.65, p.49-58. 2004.

ARNOLD, M. Planing and sanding of wood surfaces – effects on surface properties and coating performance. In: International Woodcoatings Congress, 7, Amsterdam, 2010. **Proceeding...** Amsterdam, 2010. 15p.

ARRUDA, L. M.; GONÇALEZ, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; MELO, R. R. Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecânicamente. **Ciência da Madeira**, v.2, n.1, p.29-42, 2011.

ARRUDA, L.M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7989**: Pastas celulósicas e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2003.

BEKHTA, P.; MARUTZKY, R. Reduction of glue consumption in the plywood production by using previously compressed veneer. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.65, n.1, p.87-88, 2007.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U.L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v.8, n.2, p.1-16, 2002.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; FRANCISCO, F.M.L.H.; CAVALCANTE, M.G.; BELINI, U.L.; CALDAS, V.F. Shrinkage in veneer sheets of *Eucalyptus* wood. In: Reunión sobre investigación y desarrollo de productos forestales, 9, Concepción, 2000. **Anais...** Concepción: Infor, 2000, p.95-97.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

CAMARGOS, J.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v.20, n.71, p.30-41, 2001.

COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 462**: Madeiras: método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972.

CRUZ, M.M.S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina ureia-formaldeído**. 2006. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos). Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2006.

DAOUI, A.; DESCAMPS, C.; MARCHAL, R.; ZERIZER. Influence of veneer quality on beech LVL mechanical properties. **Maderas Ciencia y tecnologia**, v.13, n.1, p.69-83, 2011.

DEL MENEZZI, C.H.S. **Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção**. Brasília-DF: UnB, 2006. 37p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.8, n.2).

DUNDAR, T.; AYRILMIS, N.; CANDAN, Z. Evaluation of surface roughness of laminated veneer lumber (LVL) made from beech veneers treated with various fire retardants and dried at different temperatures. **Forest Products Journal**, v.58, n.1/2, p.71-76, 2008

FAUST, T.D.; RICE, J.T. Effect of veneer surface roughness on glue bond quality in Southern pine plywood. **Forest Products Journal**, v.36, n.4, p.57-62, 1986.

GONÇALEZ, J.C. **Caracterization technologique de quatre espèces peu connues de la Forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 444f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) – École Nationale du Gêne Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

GRAY, V.R. The wettability of wood. **Forest Products Journal**, v.12, n.9, p.452-461, 1992.

IAMTASNA, B.; PIYASOMBATKUL, T.; PRICHANONT, S.; MUANGNAPOH, C. Use of hemicellulase in sequence with hydrogen peroxide and laccase for improvement of teak veneer surface color. **Journal of Wood Science**, v.56, p.184-188, 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. 247p. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p.557-563, 2010.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, n.18, p.1-33, 1979.

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD – JIS. **JIS B 0601: Geometrical Products Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters**. Tokyo: JIS, 2001.

LARA PALMA, H.A.; ESCOBAR, J.F.; BALLARIN, A.W.; LEONELLO, E.C. Influência da Qualidade das Lâminas no Desempenho Mecânico à Flexão de Painéis Compensados de *Hevea brasiliensis*. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.2, p.133-140, 2012.

MARQUES, L.C.T; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no estado do Pará**. Belém, Embrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico, n.158)

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

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; MÜLLER, M.T.; TREVISAN, R.; GATTO, D.A. Correlação entre massa específica e número de anéis para a madeira de *Araucaria angustifolia*. In: Congresso Nordeste de Engenharia Florestal, 1, 2007. **Anais...** Recife, 2007, 3p.

MORI, C.L.S.O. et al. caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v.11, n.2, p.137-146, 2005.

MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL.** 2009. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

NOCK, H.P.; RICHTER, H.G.; BURGER, L.M. **Tecnologia da madeira.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1975. 216p.

OHASHI, S.T.; YARED, A.G.; FARIAS NETO, J.T. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Acta Amazônica**, v.40, n.1, p.81-88. 2010.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

PAES, J.B.; MORAIS, V.M.; LIMA, C.R.; SANTOS, G.J.C. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simulares de campo. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.515-520, 2009.

PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood.** Madison: FPS. 2002, 210p.

PIAO, C.; WINANDY, J.E.; SHUPE, T.F. From hydrophilicity to hydrophobicity: a critical review: Part I. Wettability and surface Behavior. **Wood and Fiber Science**, v.42, p.490-510, 2010.

ROSS, R.J.; WILLITS, S.W.; SEGEN, W.N.; BLACK, T.; BRASHAW, B; PELLERIN, R.F. A stress wave based approach to nde of logs for assessing potential veneer quality. Part 1. Small-diameter ponderosa pine. **Forest Products Journal**, v.49, n.11/12, p.60-62, 1999.

ROWELL, R.M. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. 487p.

SHELDON, S.; GARDNER, D. Dynamic adhesive wettability of wood. **Wood and Fiber Science**, v.33, p.58-68, 2001.

SPELTER, H. **Recent developments in veneer peeling confront quality variables.** Madison: USDA/FPL, p.54-65, 1991. (Technical Report).

STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores.** 2012. 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Brasília, Brasília. 2012.

SUCHSLAND, O.; JANKOWSKY, I.P.A. Produção de lâminas de madeira por desenrolamento. **IPEF**, n.33, 1978, 9p.

TANRITANIR, E.; HIZIROGLU, S.; AS, N. Effect of steaming time on surface roughness of beech veneer. **Building and Environment**, v.41, n.11, p.1294-1497, 2006.

VIDAURRE, G.B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

WANG, J.; BIERNACKI, J.M.; LAM, F. Nondestructive evaluation of veneer quality using acoustic wave measurements. **Wood Science and Technology**, v.34, p.505-516, 2001.

## CAPÍTULO III

---

### INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS LÂMINAS NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)

#### 1. INTRODUÇÃO

O Laminated Veneer Lumber (LVL) é um produto engenheirado de madeira de elevado desempenho para o uso na construção civil. Por outro lado, esse material apresenta como inconveniente a grande quantidade de adesivo utilizado para sua manufatura, que pode chegar à razão de até 20% de sua massa total. Este aspecto faz com que o balanço ecológico do LVL seja rebaixado e desfavorável ao ser comparado à madeira sólida (DAOUI et al., 2011). Além disso, o adesivo é um componente com implicações técnicas e econômicas significativas na utilização dos produtos à base de madeira (PIZZI, 1994), com o seu custo podendo chegar até metade do preço total do produto final (CARNEIRO et al., 2004). Nesse sentido, aumentar a espessura da lâmina seria uma das alternativas para diminuir o consumo de adesivo desses painéis.

A definição da espessura das lâminas é feita no momento de sua produção por meio de ajustes geométricos da faca e da barra de compressão, os quais podem influenciar diretamente na qualidade e no rendimento do material produzido (LUTZ, 1974). A exemplo disso, Bortoletto Júnior (2008) destaca que lâminas mais finas proporcionam um maior rendimento. Em contrapartida, nestes casos, o número de lâminas descartadas pode aumentar consideravelmente, por serem estas menos firmes e quebrarem com maior facilidade, resistindo menos ao manuseio.

Segundo Daoui et al. (2011) muitas pesquisas avaliando a influência da espessura das lâminas nos painéis LVL foram desenvolvidas na América do Norte no período de ajustamento do produto para sua produção em escala industrial. Estas tinham como principal objetivo a redução do consumo de adesivo sem prejudicar a resistência mecânica das peças estruturais. Em estudos realizados para madeira de *Fagus sylvatica* os autores

observaram que há uma redução não significativa na resistência mecânica de painéis LVL com o aumento da espessura das lâminas utilizadas. Por outro lado, também foi verificado que lâminas mais espessas apresentam maior rugosidade na superfície e quantidade de fendas de laminação, o que pode exigir uma maior quantidade de adesivo na manufatura dos compostos laminados.

Kilic et al. (2006) observaram que o aumento da espessura das lâminas de 2 para 4 mm proporcionam uma redução da massa específica e da resistência mecânica em painéis LVL confeccionados com *Alnus glutinosa*. A exemplo disso, Cristescu (2006) sugere haver em painéis laminados uma redução na eficiência da ligação com o aumento da espessura das lâminas. Resultados semelhantes também foram observados por Schaffer et al. (1972). Os autores atribuíram esse resultado a um maior número de linhas de cola nos painéis produzidos com lâminas mais finas, já que a linha de cola após a cura, em geral, apresenta maior massa específica que as das lâminas de madeira geralmente empregadas.

Estudos avaliando a influência da espessura e a qualidade das lâminas nos atributos mecânicos de painéis LVL foram realizados por Youngquist et al. (1984). De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que a resistência à flexão diminuiu à medida que a espessura das lâminas aumentou. Já o módulo de elasticidade, não foi afetado. Diferente disso, Marx e Moody (1982) não verificaram influência significativa no desempenho quanto à resistência e rigidez de vigas laminadas de *Pinus taeda* produzidas com lâminas de diferentes espessuras.

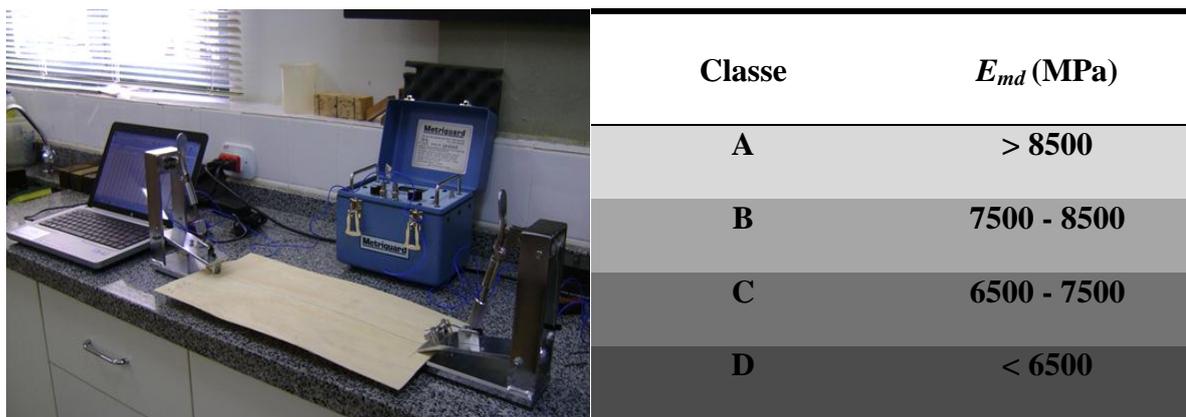
Matos (1997) observou para lâminas de *Pinus taeda* massa específica e módulo de elasticidade superior para as lâminas espessas. Segundo o autor essa variabilidade pode ser atribuída ao fato de que, ao se laminar toras em lâminas de maior espessura porções de lenho tardio e inicial, que se apresentam em transição entre anéis de crescimento, seriam incorporadas em maior proporção nas lâminas. Em lâminas mais finas, as porções de lenho inicial e tardio, seriam melhor distribuídas. Já Bortoletto Júnior (2008) não observou diferença significativa ao estudar lâminas de *Pinus merkusii* com espessuras de 2 e 3 mm.

No presente capítulo foi avaliada a influência da espessura das lâminas nas propriedades de painéis LVL produzidos com paricá (*Schizolobium amazonicum*).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS

Para produção dos painéis foram utilizadas lâminas de *Schizolobium amazonicum* (paricá) com espessuras de 2,71 mm e 1,54 mm, doadas pela empresa Rio Concrem Industrial Limitada<sup>®</sup>, localizada no município de Dom Eliseu, estado do Pará. A massa específica média observada para as lâminas foi de  $0,41 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$ . As lâminas isentas de defeitos foram selecionadas e redimensionadas em amostras de 25 cm x 50 cm, as quais foram numeradas e utilizadas para obtenção da velocidade de propagação das ondas (Equação 1) por meio de *Stress Wave* e posterior cálculo do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) (Equação 2), onde foi observado o valor médio de  $7896 \pm 1334 \text{ MPa}$ . Em seguida, as lâminas foram separadas em quatro classes (A, B, C e D) de acordo com o  $E_{md}$  observado (Figura 1).



**Figura 1.** Obtenção do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) das lâminas com *Stress Wave* e classes estabelecidas para montagem dos painéis com as lâminas de paricá.

$$V_0 = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$E_{md} = \frac{V_0^2 \times \rho}{g} \times 10^{-5} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação da onda, m/s;  $L$  = distância percorrida pela onda, m;  $t$  = tempo de trânsito da onda,  $\mu\text{s}$ ;  $\rho$  = massa específica aparente,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  = aceleração da gravidade,  $9,804 \text{ m/s}^2$ .

## 2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS E CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS

Os painéis LVL foram produzidos em três tratamentos diferentes considerando a espessura das lâminas. Para cada tratamento foram produzidos sete painéis, com dimensões aproximadas de 25 cm x 2,2 cm x 50 cm (largura x espessura x comprimento), perfazendo um total de 21 painéis para todo experimento. Para reduzir a variabilidade dos painéis, a montagem destes foi feita por meio das classes de resistência em função do  $E_{md}$ , com as lâminas apresentando valores de  $E_{md}$  decrescente da superfície para o centro (Figura 2). A seleção das lâminas dentro de cada classe para montagem dos painéis se deu por meio de sorteio.

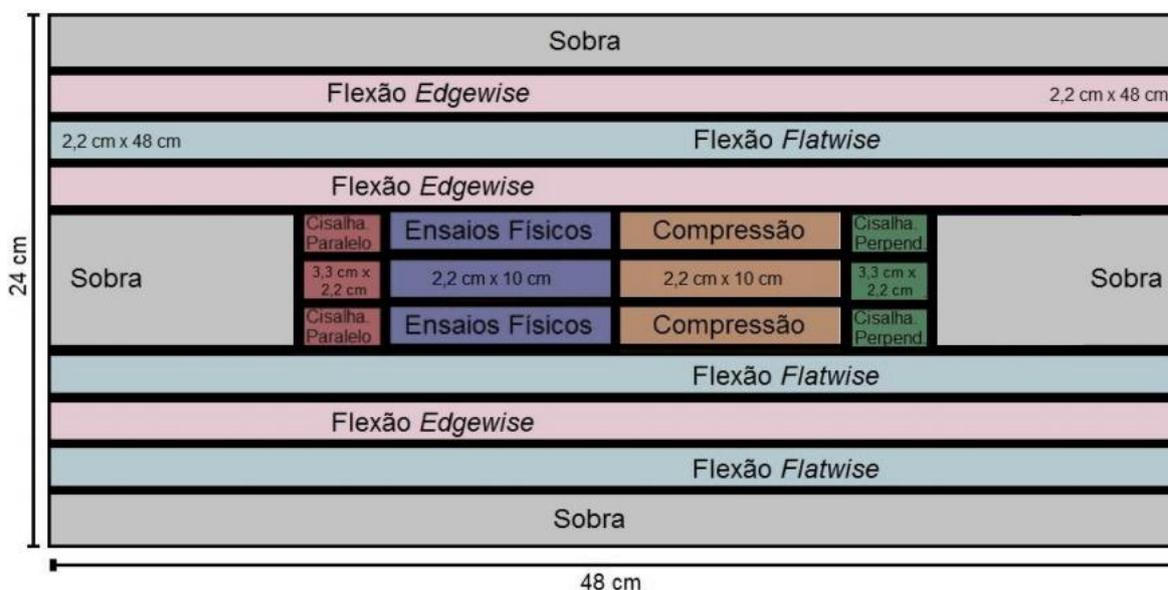
Espessura de 1,54 mm			Espessura Mista (média de 2,32 mm)			Espessura de 2,71 mm		
Ordem	Espessura	Classe	Ordem	Espessura	Classe	Ordem	Espessura	Classe
1	1,54	A	1	2,71	A	1	2,71	A
2	1,54	A	2	2,71	B	2	2,71	B
3	1,54	B	3	2,71	C	3	2,71	C
4	1,54	B	4	1,54	D	4	2,71	D
5	1,54	C	5	1,54	D	5	2,71	D
6	1,54	C	6	1,54	D	6	2,71	C
7	1,54	D	7	2,71	C	7	2,71	B
8	1,54	D	8	2,71	B	8	2,71	A
9	1,54	C	9	2,71	A			
10	1,54	C						
11	1,54	B						
12	1,54	B						
13	1,54	A						
14	1,54	A						

**Figura 2.** Esquema de montagem dos painéis LVL considerando diferentes espessuras e classes para o módulo de elasticidade dinâmico obtido por *Stress Wave*.

O adesivo utilizado para produção dos LVL foi uma emulsão de acetato de polivinila *crosslinking* (PVAc) bicomponente da marca Multibond X-080 com o catalizador TSA, da *Franklin International*. As propriedades observadas para resina foram – teor de sólidos de 52%, pH 4,5 e viscosidade de 4500 cP, conforme boletim técnico do fabricante (FRANKLIN INTERNATIONAL, 2010). Após a aplicação manual do adesivo (200 g/m<sup>2</sup>) com auxílio de uma espátula os painéis foram prensados em prensa hidráulica (1,0 MPa) a temperatura ambiente por um período de 12 horas.

Ao término da prensagem os painéis foram acondicionados em câmara climatizada, com temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5%, até atingirem massa constante. Subsequentemente os painéis foram esquadrejados em 24 cm x 48 cm e retirados corpos-de-prova para os ensaios físicos (massa específica, absorção de água, inchamento em

espessura e inchamento residual) e mecânicos (flexão estática *flatwise* e *edgewise*, compressão paralela, cisalhamento paralelo e perpendicular) (Figura 3).



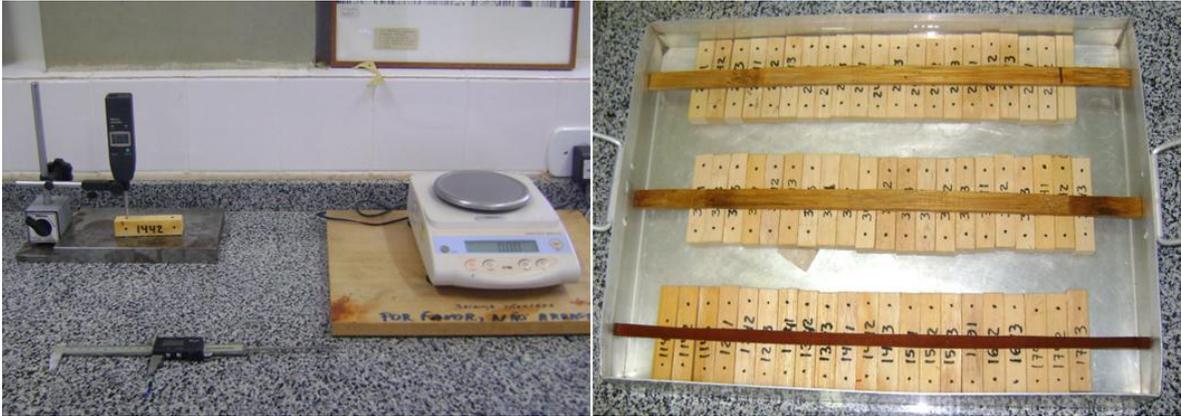
**Figura 3.** Esquema da retirada dos corpos-de-prova para cada painel produzido.

## 2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES

### 2.3.1. Propriedades Físicas

Na avaliação das propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual) foram utilizadas recomendações da norma ASTM D 1037 (1999). Foram utilizadas 21 amostras de madeira por tratamento, nas dimensões 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm.

Os corpos-de-prova foram climatizados ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa) até atingirem massa constante, quando suas dimensões e massa foram tomadas. Em seguida foram submersos em água e tiveram suas dimensões e massas retomadas às 2, 24 e 96 horas após a imersão (Figura 4). Ao término do ensaio, foram novamente conduzidos à câmara climática e após a estabilização tiveram suas dimensão e massa obtidas novamente. A determinação dos percentuais de absorção de água e inchamento em espessuras as 2, 24 e 96 horas, e do inchamento residual foi feita por meio das Equações 3, 4 e 5 respectivamente.



**Figura 4.** Realização dos ensaios para determinação das propriedades físicas dos painéis LVL confeccionados com lâminas de paricá.

$$AB = \left( \frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$IE = \left( \frac{e_f - e_i}{e_i} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$$IR = \left( \frac{e_c - e_i}{e_i} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:  $AB$  = absorção de água, %;  $m_i$  = massa inicial, anterior à imersão em água, g;  $m_f$  = massa final, posterior à imersão em água, g;  $IE$  = *inchamento em espessura*, em %;  $e_i$  = espessura inicial, anterior à imersão em água, em mm;  $IR$  = *inchamento residual*, em %;  $e_f$  = espessura final, posterior à imersão em água (mm);  $e_c$  = espessura observada após a reumatização das amostras, mm.

### 2.3.2. Propriedades Mecânicas

Os ensaios mecânicos foram conduzidos conforme recomendações da norma ASTM D 5456 (2006) (Figura 5). Para o ensaio de resistência a flexão foram avaliadas as posições *flatwise* (linha de cola perpendicular à força) e *edgewise* (linha de cola paralela à força). Foram utilizados 21 corpos-de-prova por tratamento/posição, nas dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 40 cm. A velocidade de aplicação de carga foi aproximadamente 2,5 mm/min para um vão de 36 cm de comprimento. A determinação do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) foi feito por meio das Equações 6 e 7 respectivamente.



**Figura 5.** Máquina de universal de ensaios empregada no experimento e realização dos ensaios de flexão, compressão e cisalhamento.

$$E_m = \frac{P' \times a \times (3L^2 - 4a^2)}{4 \times b \times h^3 \times \Delta} \quad (\text{Equação 6})$$

$$f_m = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:  $P$  = carga máxima, N;  $P'$  = carga no limite proporcional, N;  $L$  = vão entre apoios, mm;  $a$  = distância entre aplicadores de carga, mm;  $b$  = largura do corpo-de-prova, mm;  $h$  = espessura do corpo de prova;  $\Delta$  = deformação da peça, mm.

Na resistência à compressão utilizaram-se 21 corpos-de-prova por tratamento com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As dimensões de cada corpo-de-prova foram determinadas pela máxima relação comprimento/raio de giração (17 vezes) permitida pela norma. Com a velocidade do ensaio de 1 mm/min, determinou-se a resistência à compressão das amostras pela relação entre a força aplicada e área sujeita ao esforço (Equação 8).

$$f_{c,0} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 8})$$

Em que:  $f_{c,0}$  = compress\~{a}o paralela as fibras, MPa;  $P_{m\acute{a}x}$  = carga m\~{a}xima, N;  $A$  = \c{a}rea sujeita ao esfor\c{c}o, mm<sup>2</sup>.

Para avaliar a resist\~{e}ncia ao cisalhamento paralelo e perpendicular \c{a} linha de cola, tamb\~{e}m foram empregados 21 corpos-de-prova por tipo de ensaio, nas dimens\~{o}es de 2,2 cm x 2,2 cm x 3,3 cm, com uma \c{a}rea destinada a aplica\c{c}\~{a}o do esfor\c{c}o cisalhante. O c\c{a}lculo da resist\~{e}ncia ao cisalhamento paralelo e perpendicular foi feito por meio das Equa\c{c}\~{o}es 9 e 10 respectivamente.

$$f_{gv,0} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 9})$$

$$f_{gv,90} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 10})$$

Em que:  $f_{gv,0}$  = cisalhamento paralelo a linha de cola, MPa;  $f_{gv,90}$  = cisalhamento perpendicular a linha de cola, MPa;  $P_{m\acute{a}x}$  = carga m\~{a}xima, N;  $A$  = \c{a}rea submetida ao esfor\c{c}o, mm<sup>2</sup>.

## 2.4. AN\c{A}LISE DOS RESULTADOS

Foi avaliado o desempenho das propriedades f\~{i}sicas e mec\~{a}nicas dos diferentes tipos de pain\~{e}is produzidos (Tabela 1). Os resultados foram avaliados por meio de an\c{a}lise de vari\~{a}ncia com posterior compara\c{c}\~{a}o pelo teste de *Tukey* ( $p > 0,05$ ), com delineamento inteiramente casualizado. Adicionalmente foi avaliada a efici\~{e}ncia relativa para cada um dos tratamentos, a qual foi obtida por meio da rela\c{c}\~{a}o entre valores dos ensaios f\~{i}sico-mec\~{a}nicos e a quantidade de adesivo empregada para as amostras (Equa\c{c}\~{a}o 11).

**Tabela 1.** Caracter\~{i}sticas dos diferentes tratamentos avaliados.

$E_L$ (mm)	$E_P$ (mm)	N	$Q_A$ (g)
1,54	21,56	7	350
2,32*	20,88	7	225
2,71	21,68	7	200

$E_L$  = espessura das l\~{a}minas utilizada na produ\c{c}\~{a}o dos pain\~{e}is;  $E_P$  = espessura aproximada dos pain\~{e}is, desconsiderando a linha de cola; N = n\~{u}mero de pain\~{e}is produzidos por tratamento;  $Q_A$  = quantidade de adesivo utilizada por painel; \* = espessura m\~{e}dia observada para os pain\~{e}is mistos (jun\c{c}\~{a}o de l\~{a}minas de 1,54 mm e 2,71 mm).

$$E_R = \frac{D}{Q_A} \quad (\text{Equação 11})$$

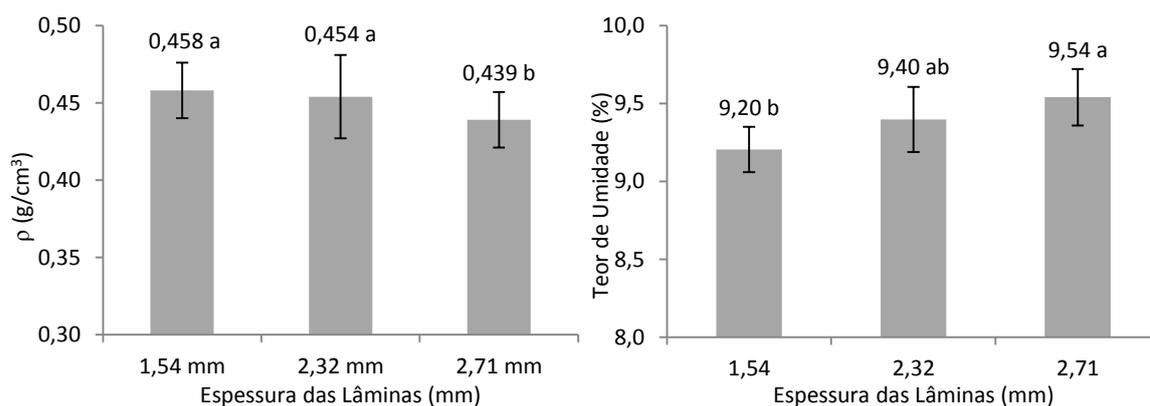
Em que:  $E_R$  = eficiência relativa, (% ou MPa ou MPa)/g;  $D$  = desempenho obtidos por meio de ensaios físico ou mecânicos, % ou MPa;  $Q_A$  = quantidade de adesivo utilizado na amostra, g.

Para os ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura, e mecânicos de flexão estática foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial. No caso dos ensaios físicos foram avaliados os seguintes fatores – tempo de imersão das amostras em água com três níveis (as 2, 24 e 96 horas); espessura das lâminas com três níveis (1,54 mm, 2,71 mm e misto); e a interação entre estes. Já para o ensaio de flexão os fatores avaliados foram – tipo de ensaios com dois níveis (*flatwise* e *edgewise*); espessura das lâminas com três níveis (1,54 mm, 2,71 mm e misto); e a interação entre estes. Quando detectada variação significativa pelo teste de F, os fatores ou a sua interação foram analisados pelo teste de *Scott-Knott* ( $p > 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

A massa específica dos painéis aumentou com a redução da espessura das lâminas (Figura 6). Esse padrão pode ser atribuído ao aumento do número de linhas de cola, as quais, geralmente apresentam densidade superior às lâminas de madeira (MÜLLER, 2009). Cristescu (2006) destaca ainda que essas alterações não ocorrem apenas com o aumento da quantidade do adesivo, mas também devido a alterações físicas e anatômicas que ocorrem na região da colagem. Daoui et al. (2011) observaram resultados semelhantes ao produzir painéis LVL de *Fagus sylvatica* utilizando lâminas com diferentes espessuras. Os autores observaram um incremento de até 26% na massa específica dos painéis ao comparar lâminas com espessura de 1 mm, 3 mm e 5 mm.



**Figura 6.** Variação da massa específica ( $\rho$ ) e do teor de umidade de equilíbrio nos painéis LVL de paricá produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

Os teores de umidade de equilíbrio (TUEq) dos painéis também variaram significativamente entre os tratamentos, o que pode ser atribuído às variações de massa específica e na quantidade de resina utilizada no processo de manufatura. Os resultados obtidos estão de acordo com Kelly (1977) que afirma que o aumento da massa específica do painel promove a redução em seu teor de umidade de equilíbrio. Outro aspecto mencionado pelo autor é que o uso de adesivos pode bloquear parcialmente os sítios de adsorção, contribuindo assim para redução da higroscopicidade do painel.

Para todos os tratamentos o TUEq observado foi inferior ao TUEq proporcionado pela câmara climática (aproximadamente 12%). Silva et al. (2006) afirmam ser o TUEq de painéis reconstituídos de madeira diferentes em relação a madeira maciça. Além da menor anisotropia, estes produtos geralmente estabilizam-se a uma umidade inferior, quando comparada à madeira sólida, exposto em condições de temperatura e umidade semelhante. Segundo Wu (1999), isto se deve a níveis de higroscopicidade diferentes, que segundo o autor é causado por redução da madeira em lâminas com posterior incorporação de aditivos, como resinas, parafina, entre outros. Além desses, outro aspecto que contribui para a redução da higroscopicidade destes produtos é a utilização de altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel (DEL MENEZZI, 2006).

Os painéis produzidos com lâminas mais espessas apresentaram maior absorção de água independente do tempo de imersão em água. Com relação ao tempo de imersão não se verificou estabilização na absorção 24 h após o início dos ensaios, sendo observada diferença significativa para todos os tratamentos entre este período e as 96 h após a imersão (Tabela 1). Os valores percentuais de absorção dos LVL de paricá foram superiores aos observados para painéis produzidos com *Eucalyptus grandis* (PIO, 2002), *Eucalyptus saligna*, *Pinus taeda* (MÜLLER, 2009), *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya* (SOUZA et al., 2011). Os elevados valores de absorção do LVL de paricá podem ser atribuídos à baixa massa específica observada para os painéis. Assim como para as madeiras, painéis com menor massa específica tendem a absorver mais água por apresentarem menor quantidade de parede celular para um mesmo volume (SUCHSLAND, 2004).

O inchamento em espessura apresentou diferença significativa até as 24 h após a imersão para os LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras. Ao término dos ensaios (96 h), os inchamentos percentuais se equivaleram para todos os tratamentos. Verificou-se uma estabilização no inchamento após as 24 h de imersão, de modo que uma maior absorção de água às 96 h não proporcionou aumento no inchamento. Essa característica pode ser atribuída por todas as amostras atingirem o ponto de saturação das fibras (PSF) já às 24 h, e a água absorvida posteriormente ter ocupado os lúmens das células, não apresentando influencia sobre o inchamento dos painéis (SIAU, 1971).

**Tabela 2.** Comparações entre o tempo de imersão versus a espessura das lâminas, para absorção de água e inchamento em espessura em cada seção.

<b>Absorção de Água (%)</b>			
Tempo (h)	Espessura das Lâminas (mm)		
	1,54	2,32	2,71
2	22,58 cB	22,47 cB	30,44 cA
24	37,08 bC	40,57 bB	45,21 bA
96	46,96 aC	49,69 aB	53,37 aA

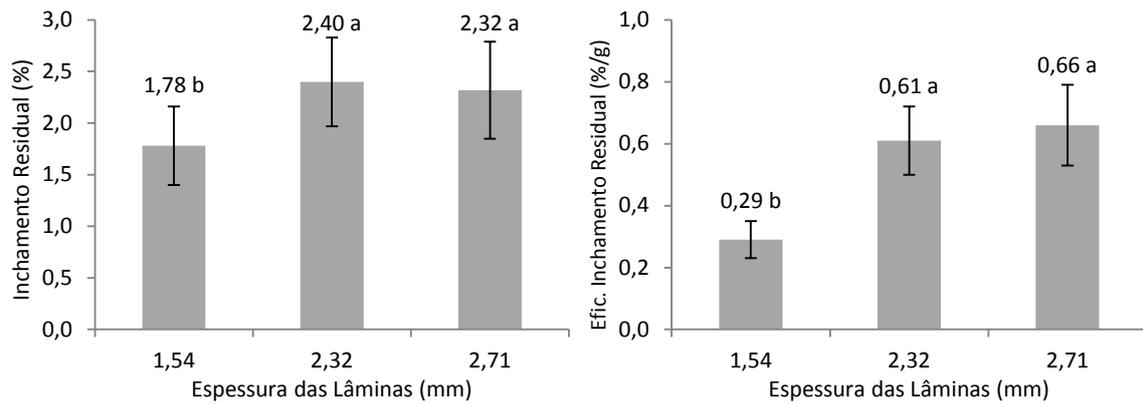
<b>Inchamento em Espessura (%)</b>			
Tempo (h)	Espessura das Lâminas (mm)		
	1,54	2,32	2,71
2	1,36 bC	3,85 aA	3,19 bB
24	3,21 aB	3,71 aA	3,93 aA
96	3,60 aA	4,05 aA	4,00 aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, em cada seção, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 95% de probabilidade.

O inchamento em espessura dos painéis de madeira é dado pela soma de dois fatores principais, um relacionado à natureza higroscópica da madeira, e outro à liberação de tensões de compressão. Após a secagem, o inchamento higroscópico é recuperado, já o inchamento devido às tensões de compressão é definitivo e irreversível (DEL MENEZZI, 2006). Esse processo geralmente é acompanhado pela perda de resistência do painel, já que este, após a secagem apresenta um maior volume e uma massa semelhante àquela antes da exposição, o que acarretará uma redução da massa específica (LEE e WU, 2002).

Houve uma redução significativa do inchamento residual para os painéis produzidos com lâminas mais finas, o que pode ser atribuído a um maior número de linhas de cola nestes painéis, as quais funcionaram como barreiras e minimizaram o inchamento das amostras (Figura 7). A maior quantidade de adesivo também pode ter contribuído para este comportamento. A exemplo disso, Kelly (1977) observou para chapas aglomeradas que existe uma relação inversa entre a quantidade de adesivo e o inchamento residual destes.

Ainda na Figura 7 pode ser observada a eficiência dos diferentes tratamentos para o parâmetro inchamento residual. Verifica-se, que embora os painéis confeccionados com lâminas de 1,54 mm tenham apresentado um menor inchamento residual, estes apresentaram uma eficiência inferior aos demais tratamentos, considerando a relação entre o percentual de inchamento residual e a quantidade de adesivo utilizado na amostra.



**Figura 7.** Variação do inchamento residual e eficiência deste parâmetro para os painéis LVL de paricá produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

### 3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

No ensaio de flexão estática, a análise fatorial detectou interação significativa entre o tipo de ensaio realizado e espessura das lâminas utilizadas na manufatura dos painéis para o módulo de elasticidade ( $E_m$ ). Para o módulo de ruptura ( $f_m$ ) não foi verificada interação entre estes fatores. O tipo de ensaio (*flatwise* ou *edgewise*) e a espessura das lâminas influenciaram significativamente o desempenho mecânico dos painéis quando submetidos aos esforços de flexão (Tabela 3). Este resultado está de acordo com o descrito por Wahab et al. (2008) e Kiliç (2011), que afirmam ser o desempenho em flexão de painéis LVL fortemente influenciáveis pela posição (*flatwise* ou *edgewise*) em que as amostras são ensaiadas.

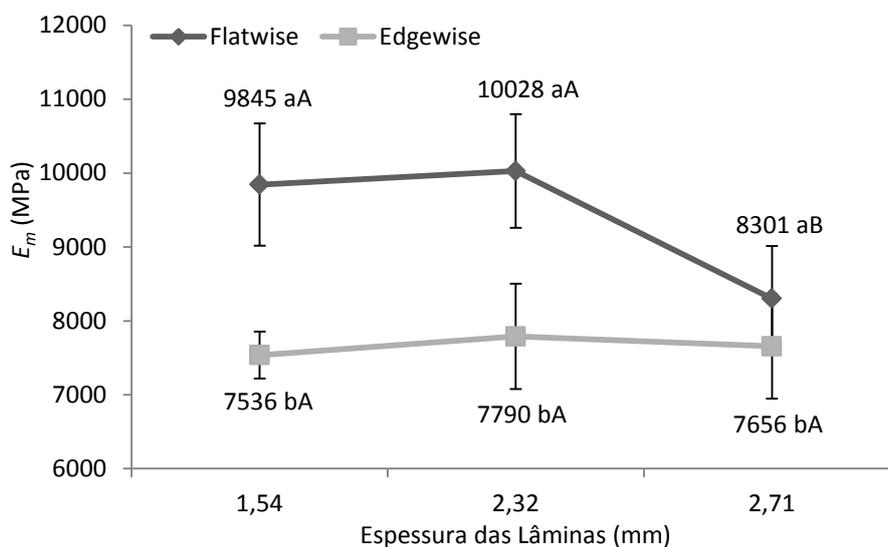
**Tabela 3.** Resumo dos resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e de ruptura ( $f_m$ ).

F.V.	G.L.	$E_m$	$f_m$
F1: Tipo do Ensaio (Flat e Edge)	1	**	**
F2: Espessura das Lâminas	2	**	**
Interação F1xF2	2	**	NS
Resíduo	120		

\*\* significativo ao nível de 99% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade; <sup>NS</sup> não significativo ( $p \geq 0,05$ );

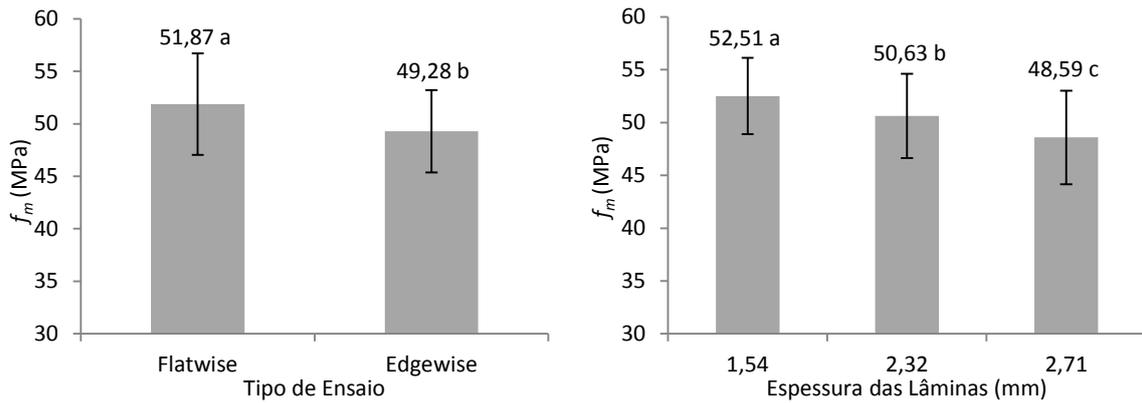
Foi observado para todos os tratamentos que o ensaio *flatwise* obteve valores do  $E_m$  superiores aos ensaios realizados na posição *edgewise* (Figura 8). Resultados semelhantes foram observados para painéis LVL produzidos com *Fagus orientalis* (BURDURLU et al. 2007), *Populus nigra* (KILIÇ, 2011), *Pinus merkusii* (BORTOLETTO JÚNIOR, 2009),

*Pinus oocapa* e *Pinus kesyia* (SOUZA et al., 2011). Com relação às espessuras das lâminas, constatou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas para amostras ensaiadas na posição *flatwise*, onde foi observado um maior  $E_m$  para painéis produzidos com as lâminas de menor espessura. Já o tratamento em que foi realizada mistura de lâminas com diferentes espessuras foi equivalente ao que utilizou lâminas finas.



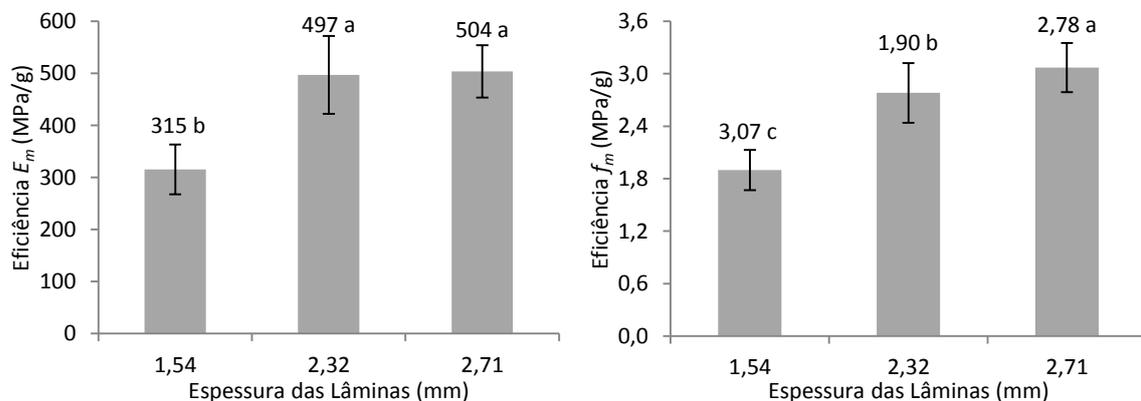
**Figura 8.** Comparações do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) para interações entre o tipo de ensaio (*flatwise* e *edgewise*) e a espessura das lâminas utilizadas na fabricação dos painéis. (Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre o tipo de ensaio e maiúscula entre os painéis produzidos com lâminas de diferentes espessuras, em cada seção, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 95% de probabilidade).

Painéis testados na posição *flatwise* apresentaram resistência à flexão superior aos ensaiados na posição *edgewise* (Figura 9). Iwakiri et al. (2010) verificaram comportamento inverso para painéis LVL produzidos com lâminas de paricá disposta aleatoriamente. Essa divergência pode ser atribuída ao método de montagem dos painéis. Conforme observado por Lara Palma e Ballarin (2011) o desempenho em flexão estática na posição *flatwise* é mais sensível à qualidade das lâminas quando comparado ao *edgewise*. Essa característica foi comprovada por Müller (2009) ao avaliar painéis LVL confeccionados com a junção de lâminas de espécies com massa específica diferente (*Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*). Deste modo, a produção de painéis com uso de lâminas mais resistentes nas capas e contracapas, pode ter proporcionado uma melhor resistência dos LVL em ensaios de flexão realizados na posição *flatwise*.



**Figura 9.** Variação do módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio (*flatwise* e *edgewise*) e entre os painéis produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

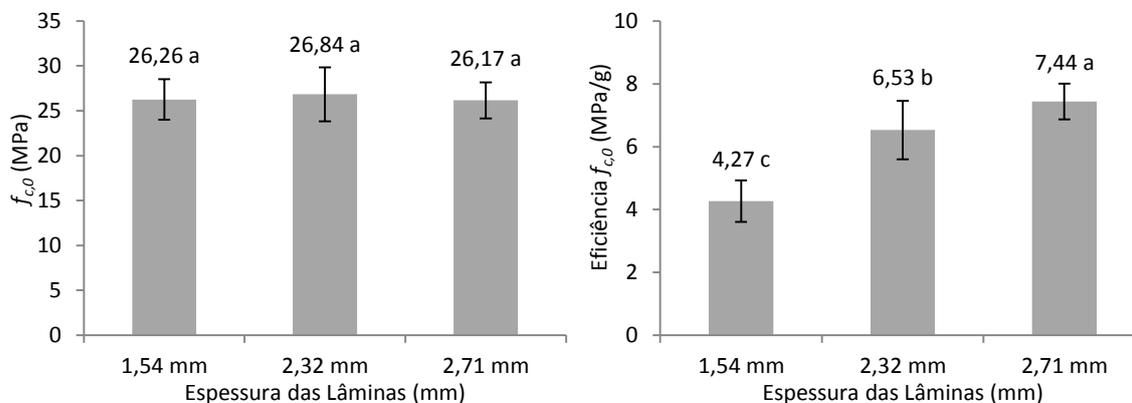
Foi observado um aumento do módulo de ruptura em flexão ( $f_m$ ) estática com a redução da espessura das lâminas. Alguns autores, dentre eles Leicester e Bunker (1969), Schaffer et al. (1972), Cristescu (2006) e Kilic et al. (2006), observaram ou sugeriram esse comportamento para o LVL. Entretanto, a redução da espessura das lâminas, também acarreta uma maior quantidade de adesivo, o que pode vir a encarecer ou inviabilizar a manufatura do produto. Daoui et al. (2011) destacam ser imprescindível a busca de um ponto de equilíbrio, em que seja possível utilizar lâminas de maior espessura sem promover a perda de resistência do painel, reduzindo a quantidade de adesivo a ser utilizada. Neste sentido, avaliou-se a eficiência dos tratamentos com base na relação entre a resistência e a rigidez observada e o conteúdo de resina utilizado em cada amostra (Figura 10).



**Figura 10.** Eficiência (resistência/quantidade de adesivo) para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

Embora os painéis produzidos com lâminas de menor espessura (1,54 mm) tenham proporcionado maiores valores de resistência e rigidez, estes foram considerados menos eficientes comparando com os demais tratamentos. Isso indica que o ganho de resistência apresentado não é satisfatório se for considerado a quantidade superior de adesivo utilizada nestes painéis. Deste modo, torna-se fundamental a busca de uma melhor relação

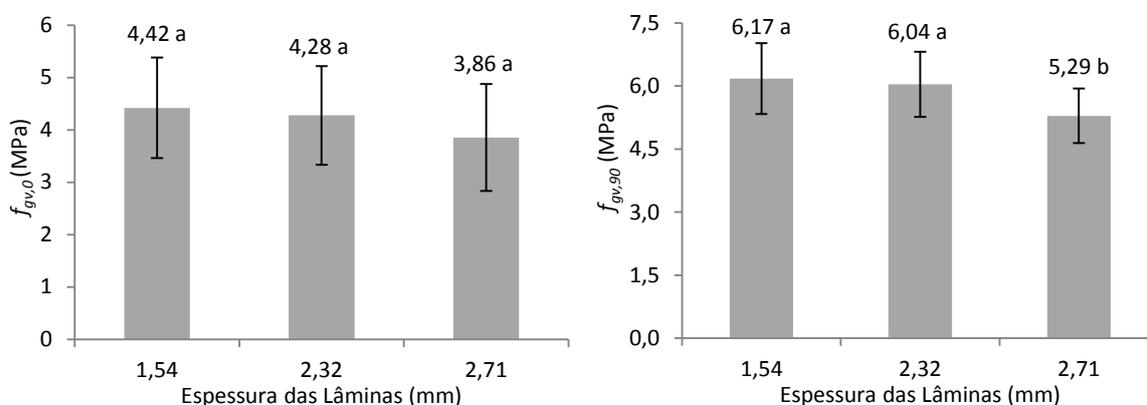
A resistência à compressão não apresentou influência da espessura das lâminas utilizadas na manufatura dos painéis LVL (Figura 11). Os valores observados foram inferiores aos de LVL produzidos com *Hevea brasiliensis* (KAMALA et al., 1999), *Fagus orientalis*, *Eucalyptus camaldulensis*, (AYDIN et al., 2004), *Eucalyptus grandis* (PIO, 2002; RENZO, 2008), *Pinus merkusii* (BORTOLETTO JÚNIOR, 2009), *Pinus oocapa* e *Pinus kesiya* (SOUZA et al., 2011). Entretanto, cabe ressaltar que essas espécies apresentam massa específica superior quando comparadas à madeira de paricá, o que contribuiu de forma significativa para a maior resistência mecânica dos painéis LVL (IWAKIRI et al., 2010). Com relação à eficiência, os painéis produzidos com lâminas de maior espessura obtiveram os melhores resultados.



**Figura 11.** Resistência e eficiência (resistência/quantidade de adesivo) em ensaios de compressão ( $f_{c,0}$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

Os tratamentos avaliados não se diferenciaram quanto à resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ). A não diferenciação para a resistência ao  $f_{gv,0}$  pode ser atribuída por estes apresentarem a mesma quantidade de adesivo por linha de cola submetida ao esforço cisalhante (200 g/m<sup>2</sup>), o que pode ter contribuído na obtenção de resultados estatisticamente similares (Figura 12). Já para o cisalhamento perpendicular ( $f_{gv,90}$ ),

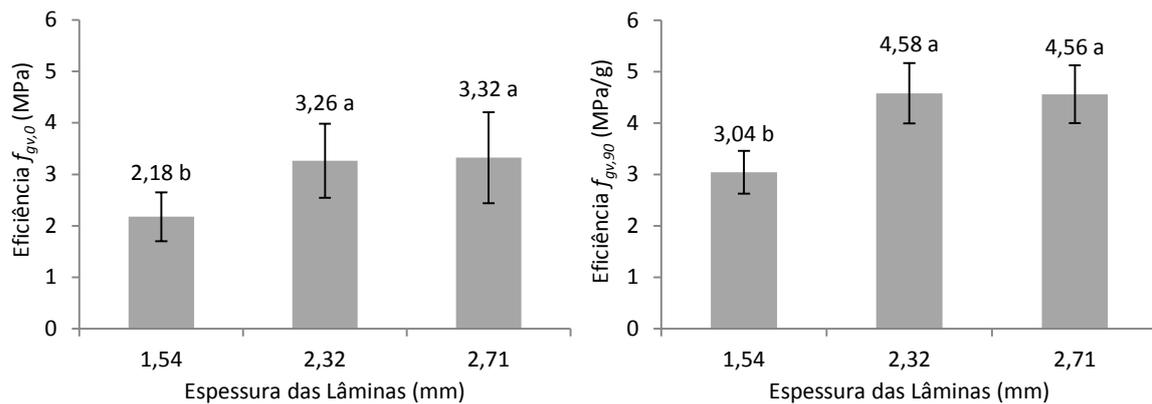
verificou-se que painéis produzidos com lâminas de menor espessura apresentaram maior resistência.



**Figura 12.** Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola, dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

A diferenciação observada entre os tratamentos para o  $f_{gv,90}$  pode ser atribuída por ser este ensaio realizado perpendicular a linha de cola, fazendo neste caso, que os painéis apresentassem quantidades de linhas de cola diferentes (painéis com lâminas de 1,54 mm – 14 linhas e 350 g de adesivo; painel misto com lâminas de 2,71 mm e 1,54 mm – 225 g de adesivo; painéis com lâminas de 2,71 mm – 8 linhas e 200 g de adesivo). Painéis produzidos com lâminas mais finas apresentaram maior número de linhas adesivas e consequentemente maior quantidade de adesivo submetida ao esforço cisalhante. Logo, uma maior quantidade de adesivo e taxas de compressão diferentes proporcionaram maiores valores de massa específica nos painéis produzidos com lâminas mais finas.

A resistência ao cisalhamento observada para os painéis de paricá foi superior aos valores observados por Iwakiri et al. (2010) também para compostos LVL produzidos com lâminas da mesma espécie. No entanto, as lâminas utilizadas no presente estudo apresentaram valores do  $E_{md}$  superiores aos observados por esses autores. Com relação à eficiência, os cisalhamentos  $f_{gv,0}$  e  $f_{gv,90}$  obtiveram o mesmo padrão de variação entre os tratamentos, onde os painéis produzidos com lâminas de 2,71 mm se diferenciaram significativamente dos demais, apresentando uma maior eficiência (Figura 13).



**Figura 13.** Eficiência (resistência/quantidade de adesivo) ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) dos LVL produzidos com lâminas de diferentes espessuras.

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de lâminas de diferentes espessuras influenciou no desempenho das propriedades físico-mecânico dos painéis LVL confeccionados com paricá. Lâminas mais finas (1,54 mm) proporcionaram aos painéis um menor inchamento residual, maior resistência à flexão estática (*flatwise*) e ao cisalhamento perpendicular. Para todos estes casos, ao se considerar a maior quantidade de adesivo utilizada, estes painéis foram considerados menos eficientes de que aqueles produzidos com lâminas de maior espessura (2,71 mm). Dentre as espessuras avaliadas, a utilização de lâminas com maior espessura se apresentou como a mais adequada para produção de LVL com a madeira de paricá.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037**. Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999. 30p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5456**. Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. Philadelphia, 2006. 14p.

AYDIN, I.; COLAK, S.; ÇOLAKOĞLU, G.; SALIH, E. A comparative study on some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) produced from Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. veneers. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.62, n.3, p.218-220, 2004.

- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**, v.36, n.78, p.95-103, 2008.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkusii*. **Revista Forestal Venezolana**, v.53, n.2, p.191-195, 2009.
- BURDURLU, E.; KILIC, M.; ILCE, A.C.; UZUNKAVAK, O. The effects of ply organization and loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL) obtained from beech (*Fagus orientalis* L) and lombardy poplar (*Populus nigra* L). **Construction Building Materials**, v.21, p.1720-1725, 2007.
- CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; DELLA LÚCIA, R.M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.715-724, 2004.
- CRISTESCU, C. Bonding of laminated veneers with heat and pressure only. In: International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products, 2. **Anais...** Portugal: Porto, 2006, 10p.
- DAOUI, A.; DESCAMPS, C.; MARCHAL, R.; ZERIZER. Influence of veneer quality on beech LVL mechanical properties. **Maderas Ciencia y tecnologia**, v.13, n.1, p.69-83, 2011.
- DEL MENEZZI, C.H.S. **Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção**. Brasília-DF: UnB, 2006. 37p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.8, n.2).
- FRANKLIN INTERNATIONAL. **Boletim técnico – Multibond X-080**. Caxias do Sul: Frakilin Adhesives and Polimers, 2010. 3p.
- IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p.557-563, 2010.
- KAMALA, B.S.; KUMAN, P.; RAO, R.V.; SHARMAN, S.N. Performance test of laminated veneer lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.57, p.144-116, 1999.
- KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: USDA-FPL, 1977. 66p. (General Technical Report FPL, n.10).
- KILIÇ, M. The effects of the force loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL). **BioResources**, v.6, n.3, p.2805-2817, 2011.
- KILIC, Y.; COLAK, N.; BAYSAL, E.; BURDURLU, E. An investigation of some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber manufactured from black alder (*Alnus glutinosa*) glued with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. **Forest Products Journal**, v.56, n.9, p.56-59, 2006.
- LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.21, p.559-566, 2011.

- LEICESTER R.H.; BUNKER P.C. Fracture of butt joints in laminated pine. **Forest Products Journal**, v.19, n.1, p.59-60, 1969.
- LEE, J.N.; WU, Q. In-plane dimensional stability of three-layer oriented strandboard. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 77-95. 2002.
- LUTZ, J.F. **Techniques for peeling, slicing and drying veneer**. Madison: USDA Forest Service FPL, p.1-64.1974. (Research Paper, n.228)
- MARX, C.M.; MOODY R.C. Effects of lumber width and tension laminated quality on the bending strength of four ply laminated beams. **Forest Product Journal**, v.32, n.1, p.45-52, 1982.
- MATOS, J.L.M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL.** 2009. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.
- PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** 2002. 168f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- PIZZI, A. **Advanced wood adhesives**. New York: Marcel Dekker, 1994. 289p.
- RENZO, R. **Painel estrutural de laminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- SCHAFFER, E.L.; JOKERST, R.W.; MOODY, R.C.; PETERS, C.C.; TSCHERNITZ, J.L.; ZAHNJ, J. **Feasibility of producing a high-yield laminated structural product**. Madison: USDA-FPL, 1972, 18p. (Research paper FPL n.175)
- SIAU, J.F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131p.
- SILVA, G.A. et al. Estimativa de umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Scientia Forestalis**, n.70, p.23-29, 2006.
- SOUZA, F.; DEL MENEZZI, C.H.S.; BORTOLLETO JÚNIOR, G. Material properties and nondestructive evaluation of laminated veneer lumber (LVL) made from *Pinus oocarpa* and *Pinus kesiya*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.69, n.2, p.183-192, 2011.
- SUCHSLAND, O. **The swelling and shrinking of wood**. Madison: Forest Products Society, 2004, 189p.
- WAHAB, R.; SAMSI, H.W.; MOHAMED, A.; SULAIMAN, O. Utilization potential of 30 year-old oil palm trunks laminated veneer lumbers for non-structural purposes. **Journal of Sustainable Development**, v.1, n.3, p.109-113, 2008.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p.227-239, 1999.

YOUNGQUIST, J.A.; LAUFENBERG, T.L.; BRYANT, B.S. End jointing of laminated veneer lumber for structural use. **Forest Products Journal**, v.34, n.11-12, p.25-32, 1984.

## CAPÍTULO IV

---

### INFLUÊNCIA DO TIPO DE ADESIVO NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)

#### 1. INTRODUÇÃO

A seleção do adesivo ideal para a produção de compostos estruturais de madeira depende de diversos aspectos, dentre eles destacam-se – o custo, a destinação de uso do produto, as condições de exposição, método de produção, tecnologia e equipamentos disponíveis, utilização ou não de tratamentos, dimensões e forma dos produtos (KURT, 2010). As características dos adesivos utilizados na produção de painéis LVL desempenham um importante papel na qualidade do produto final, a qual é estabelecida principalmente com base nas propriedades físicas e mecânicas destes painéis. Logo, a utilização do adesivo adequado deve possibilitar propriedades aceitáveis de acordo com o uso que o painel for destinado (UYSAL, 2005; KURT et al., 2011; HASHIN et al., 2011).

Tradicionalmente, os adesivos estruturais de madeira são resinas sintéticas com condições de proporcionar elevada durabilidade, resistência e rigidez aos compostos estruturais produzidos. As resinas mais empregadas na produção do LVL de uso exterior são as fenólicas, incluindo o fenol-formaldeído e em menor escala, o resorcionol-formaldeído (SERRANO e KALLÄNDER, 2005; KOL et al., 2010). Estes adesivos se destacam por apresentarem propriedades como elevada resistência à umidade, durabilidade e resistência ao ataque de microrganismos, possibilitando, portanto, produtos colados mais duráveis (SKEIST, 1990; SANTOS, 2003).

Não menos importante, a utilização de adesivos não fenólicos para produção de LVL é fundamental, principalmente para peças que apresentem aplicações semiestructural e não estrutural. Neste sentido, o aprimoramento dos adesivos já existentes, assim como, o desenvolvimento de novos adesivos tem sido realizado considerando sua aplicação em produtos destinados a ambientes secos ou úmidos. Tal aspecto possibilita, por exemplo, a

manufatura de compostos de uso interior ou exterior limitado com qualidade satisfatória e menor custo, já que para estes seria desnecessária a aplicação de uma resina com elevada resistência à umidade, que geralmente apresentam maior custo (UYSAL, 2005). Nessa classe os mais empregados na produção de painéis LVL são a ureia-formaldeído, melamina-ureia-formaldeído (ÇOLAK et al., 2004; KURT, 2010), o acetato de polivinila *crosslinking* (PVAc) e resinas a base de poliuretanos (KILIC et al., 2006; KILIÇ, 2011).

Outro fator relevante na escolha do tipo de adesivo é a necessidade ou não de elevadas temperaturas para a cura. Colagens a quente, como as necessárias para os adesivos fenol-formaldeído e ureia-formaldeído, envolvem custos adicionais na manufatura dos painéis (DIAS e LARH, 2004), em contrapartida, aceleram o processo de cura. Colagens a frio (temperatura ambiente), utilizadas para adesivos resorcinol-formaldeído, poliuretanos e PVAc, já vem sendo empregadas em nível industrial para produção de compostos estruturais e tem apresentando resultados satisfatórios (RENZO, 2008). Dentre as principais resinas utilizadas na produção de compostos estruturais, o fenol formaldeído e principalmente o resorcinol-formaldeído e a ureia-formaldeído vêm apresentando diversas restrições ao uso, devido a liberação de formaldeído mesma após a solidificação do adesivo (ÇOLAK et al., 2004)

Uma gama de colas à base de PVA podem ser formulados para se adequar às necessidades e especificações para vários produtos (HASHIN et al., 2011). O uso do PVAc em compostos LVL obteve bons resultados em estudos realizados por Aydin et al. (2004) e Shukla e Kamdem (2008). Segundo Kim e Kim (2006) há um crescente interesse na utilização de adesivos de PVAc, devido aos riscos de saúde associados com adesivos que apresentam formaldeído em sua composição. Os adesivos de poliuretano (PU) são encontrados como mono ou bi componente e pode ser formulado de modo que seja obtido desempenho satisfatório quanto à velocidade de cura, tipo do substrato, resistência à umidade e a esforços mecânicos, além de não apresentar formaldeído em sua composição. Estudos realizados por Kilic (2006), Kiliç (2011) e Bal e Bektas (2012), apontaram que painéis LVL produzidos com resina à base de poliuretano obtiveram bom desempenho.

No presente capítulo foi avaliada a influência do tipo de adesivo nas propriedades físico mecânicas de painéis LVL confeccionados com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS

Foram utilizadas lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) de aproximadamente 2,71 mm x 85 cm x 115 cm (espessura, largura e comprimento respectivamente), doadas pelas empresas PORTIL<sup>®</sup> – Portas Itinga Limitada e Rio Concrem Industrial Limitada<sup>®</sup>, ambas localizadas no município de Dom Eliseu, estado do Pará. As lâminas isentas de defeitos foram selecionadas e redimensionadas em amostras de 2,71 mm x 25 cm x 50 cm. Em seguida, as amostras foram climatizadas e tiveram suas massas e dimensões aferidas para posterior cálculo da massa específica aparente. Nesta etapa, também se obteve a velocidade de propagação das ondas por meio de *Stress Wave* a qual, conjuntamente com os valores da massa específica ( $\rho$ ) e a aceleração da gravidade ( $g$ ), foi utilizada para determinação do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ).

### 2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS E CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS

Os painéis LVL foram produzidos em três tratamentos diferentes considerando o tipo de adesivo utilizado (acetato de polivinila *crosslinking*, fenol-formaldeído e poliuretano). Para cada tratamento foram produzidos sete painéis, com dimensões aproximadas de 25 cm x 2,2 cm x 50 cm (largura x espessura x comprimento), perfazendo um total de 21 painéis para todo experimento. Para reduzir a variabilidade nas propriedades, os painéis foram montados por meio das classes de resistência em função do  $E_{md}$ , com as lâminas apresentando valores de  $E_{md}$  decrescente da capa para o miolo (lâminas mais resistentes nas faces e menos resistentes no miolo). A seleção das lâminas dentro de cada classe para montagem dos painéis se deu por meio de sorteio.

Para todos os adesivos utilizados foi empregada a gramatura de 200 g/m<sup>2</sup> aplicados de forma manual com o auxílio de uma espátula. Na prensagem dos painéis foi empregada uma pressão de 1,0 MPa. Os painéis confeccionados com PVAc e PU foram prensados em prensa hidráulica a temperatura ambiente por um período de 12 horas. No caso do FF, após a aplicação do adesivo foi realizada uma pré-prensagem a frio dos painéis com auxílio de

blocos de concretos durante 30 minutos. Em seguida, os painéis foram levados à prensa hidráulica e prensados por 12 minutos à 140°C.

### **2.3. ADESIVOS UTILIZADOS**

As especificações e características para cada uma das resinas utilizadas para produção dos painéis são descritas a seguir.

O acetato de polivinila *crosslinking* (PVAc) bicomponente da marca Multibond X-080 com o catalizador TSA, da *Franklin International*<sup>®</sup>. As propriedades observadas para a resina foram – teor de sólidos de 52%, pH 4,5 e viscosidade de 4500 cP, conforme boletim técnico da produtora (FRANKLIN INTERNATIONAL, 2010).

O fenol-formaldeído (FF) foi o CR-7010 formulado nas proporções 100:5:8:7 de resina, farinha de trigo, farinha de coco e água respectivamente, conforme ficha técnica fornecida pelo fabricante (*SI Group Crios*<sup>®</sup>). A viscosidade observada para a mistura foi de aproximadamente 840 cP a temperatura ambiente medida com um viscosímetro digital, o pH de 11,4 obtido com pHmetro e o teor de sólidos de 49%.

A resina a base de Poliuretano (PU) utilizada foi a Cascola PU monocomponete da Henkel<sup>®</sup>, que segundo o fabricante é ideal para colagens em ambientes externos, uma vez que é a prova d'água, tem resistência a ação de intempéries e as mais variadas temperaturas. Segundo o fabricante, a resina apresenta viscosidade de 6000 cP, pH de 7,0 e teor de sólidos de aproximadamente 100% (HENKEL, 2012).

### **2.4. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES**

Na avaliação das propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual) dos painéis LVL produzidos com paricá foram utilizadas recomendações da norma ASTM D 1037 (1999). Foram utilizadas 28 amostras por tratamento, nas dimensões 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As amostras foram climatizadas ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa) até atingirem massa constante, quando suas dimensões e massa foram tomadas. Em seguida os corpos-de-prova foram submersos em água e tiveram suas dimensões e massas retomadas às 2, 24 e 96 horas após

a imersão. Ao término do ensaio, as amostras foram novamente levadas à câmara climática e após a estabilização tiveram suas dimensão e massa obtidas novamente.

Os ensaios mecânicos foram conduzidos conforme recomendações da norma ASTM D 5456 (2006). Para o ensaio de resistência a flexão foi avaliada as posições *flatwise* e *edgewise*. Foram utilizadas 21 amostras/tratamento/posição, nas dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 40 cm. A velocidade de aplicação de carga foi aproximadamente 2,5 mm/min para um vão de 36 cm de comprimento (18 vezes a espessura).

Na resistência à compressão utilizaram-se 21 amostras por tratamento com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As dimensões dos corpos-de-prova foram determinadas pela máxima relação comprimento/raio de giração (17 vezes) permitida pela norma. A velocidade do ensaio foi de 1 mm/min. A resistência a compressão das amostras foi determinada pela relação entre a força aplicada e área sujeita ao esforço. Para resistência ao cisalhamento paralelo e perpendicular à linha de cola foram avaliadas 21 amostras com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 3,3 cm e um área destinada a aplicação do esforço cisalhante.

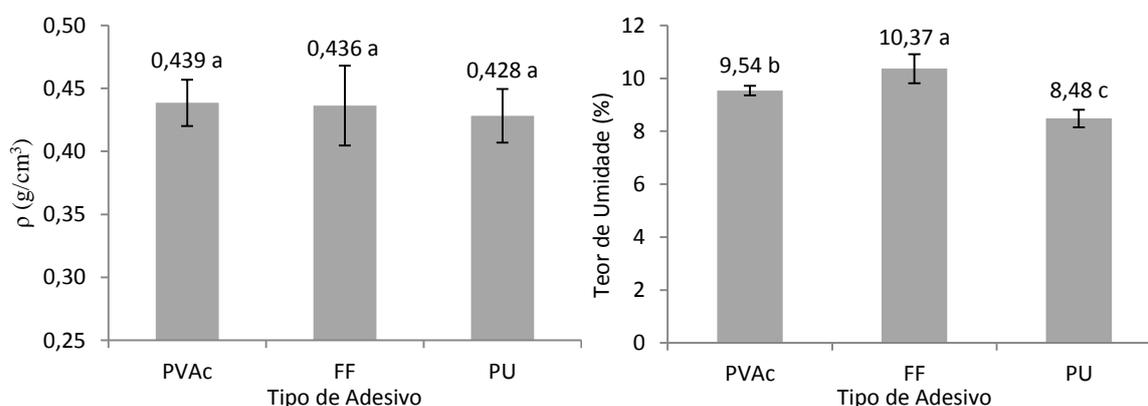
## **2.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para os ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura, e mecânicos de flexão estática foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial. Quando detectada variação significativa pelo teste de F, os fatores ou a sua interação foram analisados pelo teste de *Scott-Knott* ( $p > 0,05$ ). Os demais resultados foram avaliados por meio de análise de variância com posterior comparação pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ), também com delineamento inteiramente casualizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

O emprego dos diferentes adesivos na produção dos LVL não influenciou a massa específica dos painéis (Figura 1). Isso pode ser atribuído à pré-classificação realizada nas lâminas com base no  $E_{md}$  e a mesma quantidade de resina empregada ( $200 \text{ g/m}^2$ ) para todos os tratamentos. A massa específica observada foi superior aos valores obtidos por Iwakiri et al. (2010) para LVL de paricá produzidos com diferentes estratégias de montagens e colados com FF, onde foram observados valores variando entre  $0,37 \text{ g/cm}^3$  e  $0,41 \text{ g/cm}^3$ .



**Figura 1.** Valores da massa específica ( $\rho$ ) e teor de umidade de equilíbrio observado para os painéis LVL confeccionados com diferentes adesivos.

Quanto ao teor de umidade de equilíbrio, os LVL produzidos com resinas se diferenciaram estatisticamente, tendo o emprego do FF proporcionado teores mais elevados, seguido pelo PVAc e finalmente, o PU. Renzo (2008) ao estudar diferentes formulações de adesivos utilizando o resorcinol-formaldeído (RF), tanino e PU a base de mamona, também observou que a resina utilizada influenciou significativamente o teor de umidade de equilíbrio de painéis LVL produzidos com *Eucalyptus grandis*. Conforme Silva et al. (2006) além dos fatores inerentes à própria madeira, os aspectos relacionados a manufatura dos painéis também influenciaram no teor de umidade de equilíbrio dos painéis. Dentre estes, os autores mencionam – o tipo e a quantidade de resina empregada, o tempo e a temperatura de prensagem – fatores que se diferiram entre os tratamentos, e que podem ter influenciado os resultados obtidos. Os mesmos autores mencionam ainda que a

umidade de equilíbrio para produtos reconstituídos de madeira geralmente é menor quando comparada à madeira maciça para uma mesma condição de temperatura e umidade.

O menor teor de umidade observado para os painéis colados com adesivo PU pode ser explicado por este tipo de adesivo utilizar a água presente na madeira como solvente em seu processo de cura, tendo em vista que o teor de sólidos destes adesivos são de aproximadamente 100%. Esse processo se dá por meio da reação dos seus grupos isocianato com umidade presente na madeira (PROPERZI et al., 2003). Quanto ao menor teor de umidade de equilíbrio observado para o PVAc quando comparado ao FF pode ser atribuído as formações das ligações cruzadas (*crosslinking*) entre as pontes de hidrogênio e a resina de polivinila (CONNER, 2001).

Para todos os tratamentos, o teor de umidade de equilíbrio observado foi inferior ao da câmara climática, pre-estabelecido em 12%. Comportamento similar foi observado por Hashim et al. (2011) para LVL produzidos com *Hevea brasiliensis*. Segundo Wu (1999) esse comportamento deve-se a diferenças de higroscopiedades existente entre os produtos reconstituídos de madeira em relação à madeira maciça, em decorrência da redução da madeira em lâminas e a posterior incorporação de resinas, parafinas, entre outros produtos. Outro aspecto que contribui para a redução da higroscopicidade destes produtos é a utilização de altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel.

O desempenho dos painéis aos ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura não apresentaram interação significativa para os fatores avaliados (Tabela 1), os quais foram desdobrados e analisados separadamente.

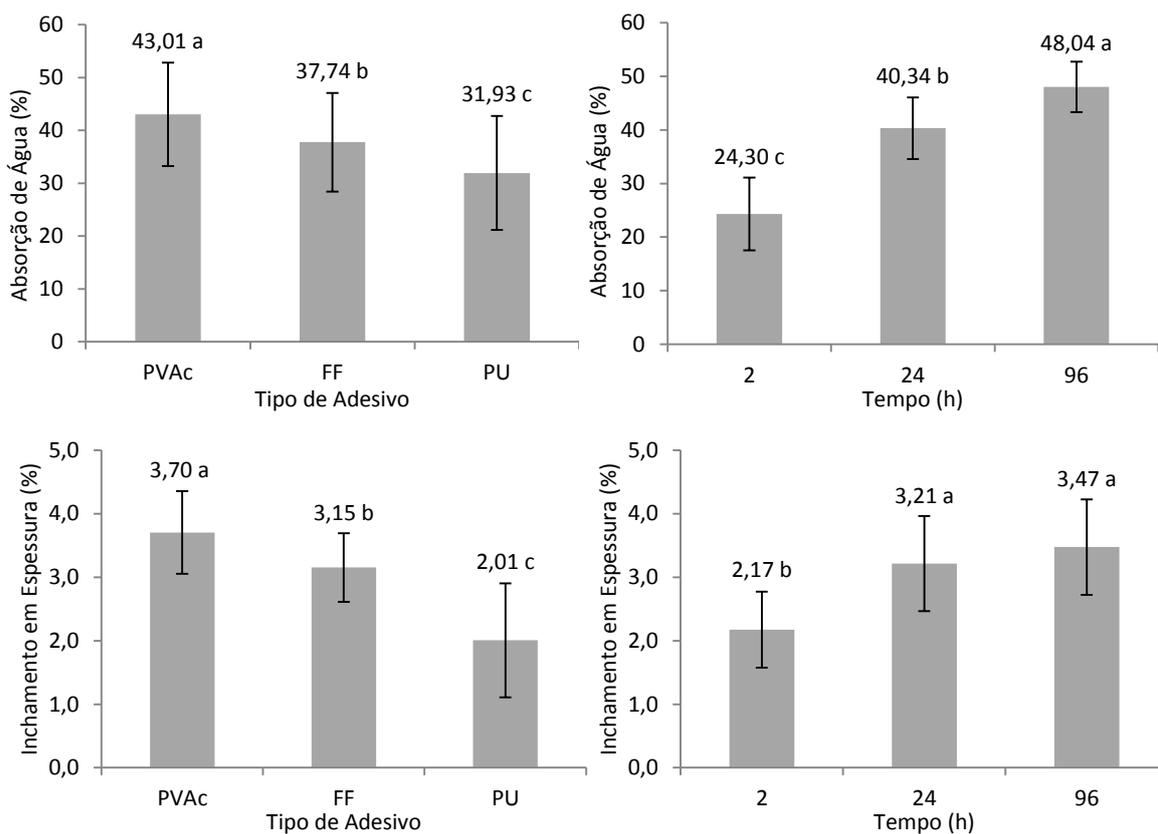
**Tabela 1.** Resumo dos resultados das análises fatoriais para os percentuais de absorção de água (AB) e inchamento em espessura (IE).

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>AB</b>	<b>IE</b>
F1: Tipo de Adesivo	2	**	**
F2: Tempo	2	**	**
Interação F1xF2	4	NS	NS
Resíduo	180		

\*\*significativo ao nível de 99% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade; <sup>NS</sup>não significativo ( $p \geq 0,05$ );

A maior estabilidade dimensional foi observada para os LVL confeccionados com PU seguido daqueles que utilizaram o FF (Figura 2). Renzo (2008) também comprovou a

eficiência de adesivos PU na estabilidade dimensional de painéis LVL, ao observar que painéis manufacturados com este tipo de resina apresentaram menores percentuais de absorção de água e inchamento em espessura quando comparados ao que utilizaram resinas tânicas, resorcinólicas ou a mistura destas. Já Uysal (2005) ao comparar o adesivo PU (D-VTKA) com outros tipos de resinas (UF, FF e PVAc), evidenciou um melhor desempenho para o FF, com o PU apresentando resultados similares aos obtidos pelo PVAc.

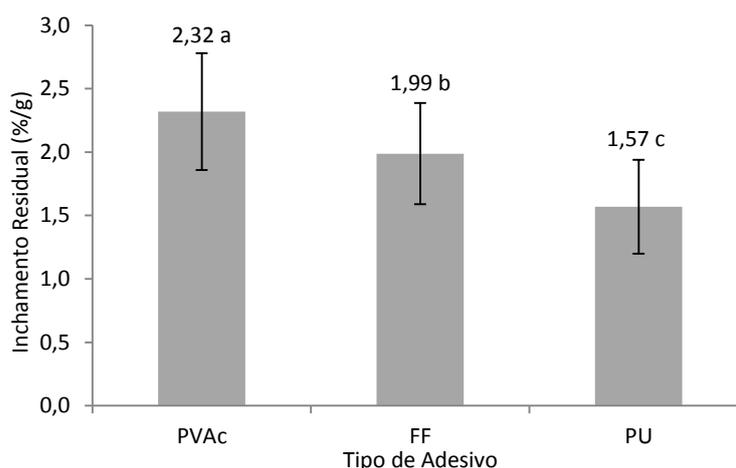


**Figura 2.** Influencia do tempo de imersão na absorção de água e inchamento em espessura para os painéis produzidos com diferentes adesivos.

Não foi observada uma estabilização na absorção de água para o período de tempo avaliado. Na comparação entre os adesivos, painéis produzidos com PU obtiveram os menores percentuais de absorção. Os painéis produzidos com PVAc absorveram mais água nos periodo estudado, e os que utilizaram FF apresetaram resultados intermediários (Figura 2). Diferente disso, em estudos realizados por Uysal (2005) o autor observou para LVL produzidos com *Pinus sylvestris* que painéis colados com FF absorveram menos água quando comparado aos que utilizaram os adesivos PU, PVAc e ureia-formaldeído (UF).

Para o inchamento em espessura foi observado uma estabilização a partir das 24 após a imersão das amostras, o que pode ser atribuído a estes terem alcançado o ponto de saturação das fibras (PSF), onde a absorção de água adicional ocorrida após esse período não apresentou mais nenhuma interferência na estabilidade dimensional do composto (SUCHSLAND, 2004).

O uso dos diferentes tipos de adesivos proporcionou variação significativa no inchamento residual dos painéis LVL produzidos com paricá. Repetindo os resultados observados para o inchamento em espessura, os compostos que utilizaram PU apresentaram um menor inchamento residual. A interligação entre estes parâmetros também foi evidenciada por Souza (2009), que afirma haver uma íntima relação entre os parâmetros absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual para painéis LVL produzidos com diferentes espécies de *Pinus*.



**Figura 3.** Inchamento residual para os painéis produzidos com diferentes adesivos.

Segundo Del Menezzi (2006) o inchamento residual é representado pelas tensões de compressão (*springback*) a que as amostras foram submetidas no processo de manufatura. Como a pressão utilizada na produção dos painéis dos diferentes tratamentos foi a mesma (1,0 MPa), os resultados indicam que parte desse inchamento também seja representada pela perda de qualidade da adesão em decorrência do prolongado período que amostras ficaram imersas em água. Entretanto, em outros estudos, a exemplo do desenvolvido por Mendes et al. (2007), a utilização de diferentes adesivos não proporcionou diferenças no inchamento residual de painéis produzidos com eucalipto.

### 3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Não foi observada interação significativa para a resistência e rigidez a flexão dos LVL de paricá entre fatores tipo de adesivos (PVAc, FF e PU) e tipos de ensaios (*flatwise* e *edgewise*) realizados. Isoladamente estes fatores influenciaram significativamente o desempenho dos painéis (Tabela 2).

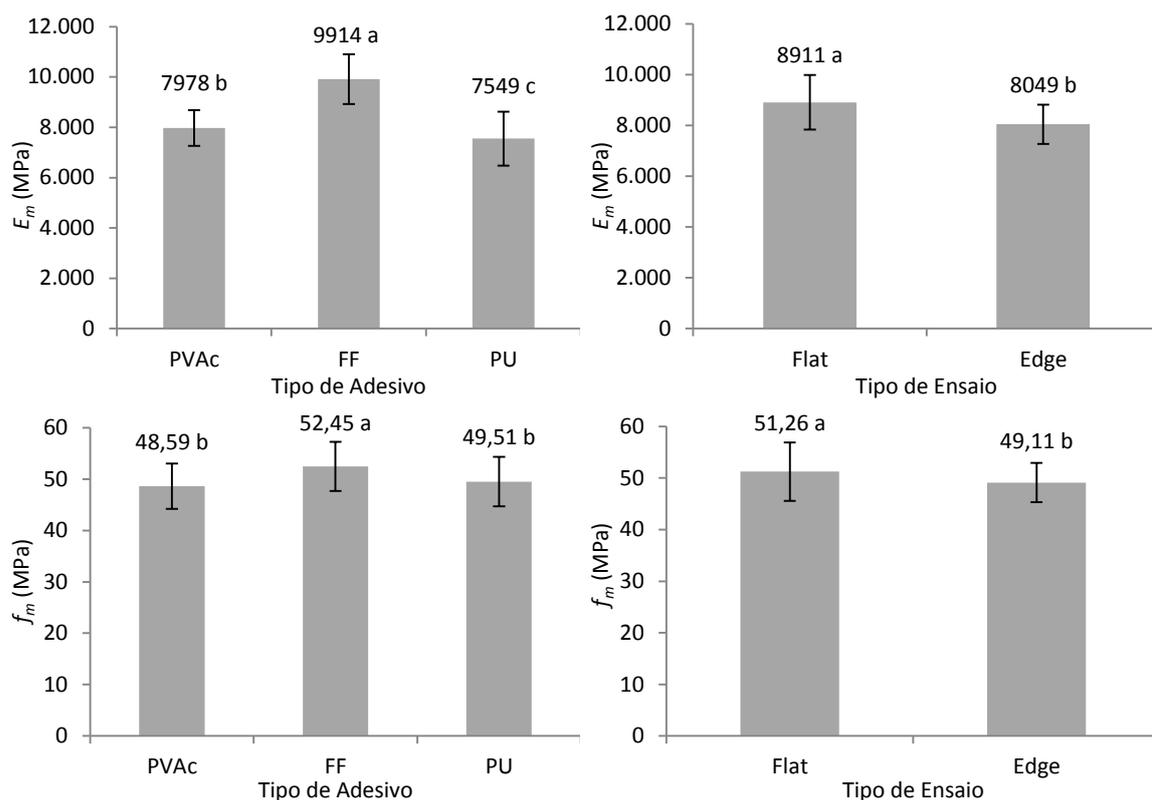
**Tabela 2.** Resumo dos resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ).

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b><math>E_m</math></b>	<b><math>f_m</math></b>
F1: Tipo de Adesivo	1	**	**
F2: Tipo de Ensaio	2	**	**
Interação F1xF2	2	NS	NS
Resíduo	120		

\*\*significativo ao nível de 99% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade; <sup>NS</sup>não significativo ( $p \geq 0,05$ );

Dentre os tipos de adesivos empregados o FF foi o que proporcionou significativamente os maiores valores para o  $E_m$ , seguido pelo PVAc. Já os painéis que utilizaram o PU foram os que apresentaram a menor módulo de elasticidade (Figura 4). Segundo Broughton e Hutchinson (2001) essa maior elasticidade é comum para adesivos PU, por estes apresentarem uma linha de ligação menos rígida, geralmente em forma de espuma, ocasionada pela reação entre o adesivo e a umidade da própria madeira, produzindo CO<sub>2</sub>.

Observa-se que para o  $f_m$  o FF foi o adesivo que proporcionou a maior resistência em flexão, com os demais adesivos apresentando resistência equivalente (Figura 4). Senay (1996) ao estudar compostos laminados produzidos com PVAc e PU, observou uma maior resistência dos atributos mecânicos e tecnológicos dos painéis que utilizaram adesivos PU. Kilic et al. (2006) observaram para LVL produzidos com *Alnus glutinosa*, que o uso do PVA proporcionou resistência mecânica superior quando comparado com o adesivo PU, mas, para a propriedade física de resistência a umidade foi observado comportamento inverso. No entanto, segundo os autores, esse resultado não inviabilizam o uso do PVA para fins estruturais, desde que estes sejam aplicados em estruturas de ambientes internos. Já para uso externo, o PU deve ser preferido quando comparado ao PVA.



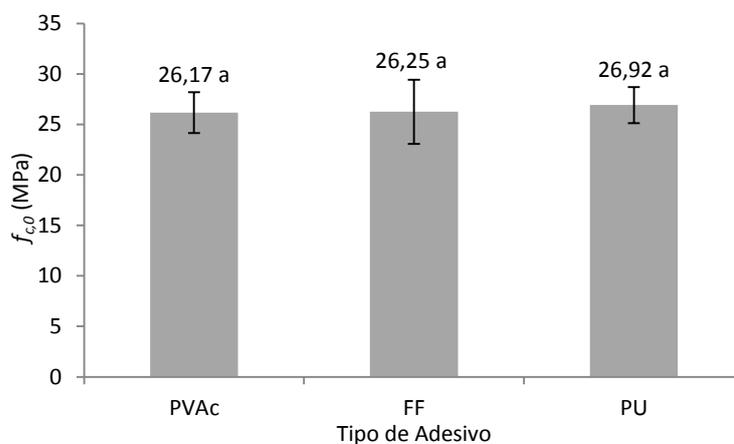
**Figura 4.** Valores do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) e módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio e para os painéis produzidos com diferentes adesivos.

As amostras ensaiadas na posição *flatwise* apresentaram módulo de elasticidade ( $E_m$ ) e módulo de ruptura ( $f_m$ ) superior as ensaiadas na posição *edgewise* (Figura 4). Esse resultado pode ser atribuído ao sistema de classificação das lâminas e montagem dos painéis, que priorizaram as lâminas mais resistentes nas camadas mais externas dos LVL. Conforme mencionado por Bodig e Jayne (1993) em sistemas laminados horizontais (*flatwise*) submetidos à flexão, o posicionamento de lâminas de maior resistência próximo às superfícies torna-as mais eficientes, resultando em uma maior resistência do composto laminado.

Iwakiri et al. (2010) observaram que LVL mistos produzidos com lâminas de paricá (miolo) e *Eucalyptus saligna* (capas), foram mais resistentes a flexão em ambas as disposições de ensaios (*flatwise* e *edgewise*) que painéis produzidos exclusivamente com lâminas de paricá. Segundo estes autores, a disposição das lâminas de maior massa específica nas faces dos painéis, onde ocorrem maiores tensões de tração e compressão nos ensaios de flexão estática, foram as responsáveis pelos melhores desempenhos. No mesmo estudo foi evidenciado ainda que a disposição de lâminas mais resistentes no miolo, não

contribuiu para o aumento da resistência e rigidez na posição *flatwise*. Müller (2009) observaram resultados semelhantes para painéis LVL mistos, produzidos com lâminas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna*. Isso ocorre porque, em ensaios de flexão estática, em que o elemento multilaminado dispõe-se apoiado nas extremidades e recebe carga aplicada no centro do vão, as lâminas dispostas mais próximas à superfície são as que sofrem as maiores solicitações de esforços de tração (face inferior) compressão (face superior).

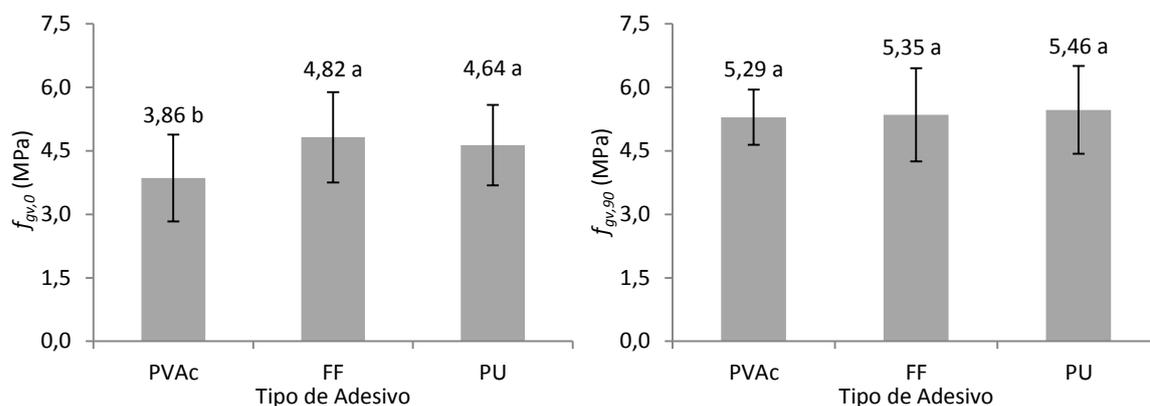
O tipo de adesivo utilizado não influenciou a resistência a compressão paralela ( $f_{c,0}$ ) dos painéis LVL (Figura 5). Em estudos realizados por Kilic et al. (2006), ao compararem o uso de adesivos PVAc e PU, os autores verificaram que dentre as resinas utilizadas para produção dos LVL, o PVAc proporcionou os melhores resultados quando as amostras foram submetidas a esforços de  $f_{c,0}$ . Ao comparar o desempenho em compressão de LVL produzidos com adesivos tanicos, resorcinólicos, poliuretanos ou diferentes composições com a mistura deles, Renzo (2008) observou maior resistência a compressão para os que utilizaram o PU-100%.



**Figura 5.** Resistência a compressão ( $f_{c,0}$ ) para os painéis produzidos com diferentes adesivos.

A análise da resistência dos painéis ao cisalhamento paralelo à linha de cola ( $f_{gv,0}$ ) apontou o FF e PU como as resinas que proporcionaram as ligações mais resistentes (Figura 6). Estes resultados indicam ser a escolha do adesivo adequado uma condição essencial para a boa qualidade da linha de cola, podendo refletir diretamente no desempenho dos painéis para a resistência ao cisalhamento paralelo. A exemplo disso, Shukla e Kamden (2008) utilizaram o adesivo PVAc para confeccionar painéis LVL produzidos com madeira de três

espécies e, observaram valores de  $f_{gv,0}$  variando de 1,8 a 2,5 MPa. Com relação ao cisalhamento perpendicular a linha de cola ( $f_{gv,90}$ ), observa-se também na Figura 6, que o tipo de adesivo utilizado não influenciou a resistência dos painéis. Esse resultado pode ser atribuído à homogeneização das amostras proporcionada pela pré-classificação das lâminas e a uma menor influência do adesivo para esse tipo de ensaio.



**Figura 6.** Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola para os painéis produzidos com diferentes adesivos.

Lopes (2008) ao avaliar a resistência da linha de cola de painéis de madeiras colados lateralmente (EGP) observou ao comparar os adesivos PU, PVAc e emulsão polimérica de isocianato (EPI), que as ligações feitas com o PU foram as mais resistentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Uysal (2005) ao analisar painéis LVL confeccionados com *Pinus silvestris* e colados com diferentes tipos de adesivos, que observou maior  $f_{gv,0}$  para adesivos PU, seguidos do FF, UF e finalmente pelo PVAc. Os valores médios observados pelo autor foram de 5,36 MPa (PU), 4,89 MPa (FF), 4,77 MPa (UF) e 4,48 MPa (PVAc), em teste de resistência após fervura. Kilic et al. (2006) compararam a resistência ao cisalhamento paralelo a linha de cola de LVL confeccionados com PVA e PU, e concluíram ser o primeiro o que proporcionou melhor resistência aos painéis.

Os valores observados para as propriedades mecânicas avaliadas ( $E_m$ ,  $fm$ ,  $f_{c,0}$ ,  $f_{gv,0}$  e  $f_{gv,90}$ ) dos LVL de paricá podem ser considerados baixos se comparados aos obtidos para a mesma variedade de painéis, produzidos com diferentes espécies e colados com diversos tipos de resinas (KAMALA et al., 1999; JESUS et al., 2000; PIO, 2002; UYSAL, 2005; VITAL et al., 2006; LOPES, 2008; SOUZA, 2009). Cabe ressaltar que a resistência ao cisalhamento seja paralelo ou perpendicular à linha de cola, não depende apenas da

qualidade do adesivo, mas também de características da própria madeira empregada na manufatura dos painéis. Deste modo, conforme observado por Gungor et al. (2006) e Shukla e Kamden (2008), mesmo com a utilização de adesivos estruturais a obtenção de baixos valores de resistência pode ocorrer.

Por ser o paricá uma espécie com madeira de baixa massa específica, principalmente em se tratando de indivíduos abatidos jovens (4 a 7 anos) geralmente utilizados na produção comercial de lâminas e laminados, as amostras de madeira desta espécie apresentaram baixos valores de resistência aos esforços cisalhantes. Segundo Serpa et al. (2003) para obtenção de madeira mais resistente dentro de uma população é necessário realizar a colheita das árvores mais velhas, pois estas tendem a possuir uma porcentagem maior de madeira adulta, e conseqüentemente, apresentarem geralmente uma maior massa específica. A exemplo disso, Pio (2002) ao estudar propriedades de LVL confeccionados com lâminas de *Eucalyptus grandis* obtidas de árvores com diferentes idades (15 e 20 anos), comprovou que a utilização de lâminas provenientes de árvores mais velhas proporcionaram um melhor desempenho em suas propriedades mecânicas.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os diferentes adesivos utilizados influenciaram significativamente o desempenho das propriedades físico-mecânicas dos painéis LVL produzidos com paricá (*Schizolobium amazonicum*).

Com relação as propriedades físicas, o adesivo de poliuretano apresentou os melhores resultados, proporcionando aos painéis menores percentuais de absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual.

Para as propriedades mecânicas, na análise conjunta dos resultados, o fenol-formaldeído foi dentre os adesivos utilizados o que proporcionou a maior resistência, já que obteve os melhores desempenhos quando submetido a esforços de flexão e cisalhamento paralelo e, foi equivalente aos demais nos outros ensaios.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037**. Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999. 30p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5456**. Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. Philadelphia, 2006. 14p.

AYDIN, I.; COLAK, S.; ÇOLAKOĞLU, G.; SALIH, E. A comparative study on some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) produced from Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. veneers. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.62, n.3, p.218-220, 2004.

BAL, B.C.; BEKTAS, I. The effects wood species, load direction, and adhesives on bending properties of laminated veneer lumber. **BioResources**, v.7, n.3, p.3104-3112, 2012.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 736p.

BROUGHTON, J.G.; HUTCHINSON, A.R. Adhesive systems for structural connections in timber. **International Journal of Adhesion e Adhesives**, v.21, p.177-186, 2001.

ÇOLAK, S.; AYDIN, Ü.; DEMÜRKIR, C.; OLAKOĞLU, G. Some technological properties of laminated veneer lumber manufactured from pine (*Pinus sylvestris* L.) veneers with melamine added - UF resins. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.28, p.109-113, 2004.

CONNER, A. H. **Wood Adhesives. Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. USA: Elsevier Science, 2001.

DEL MENEZZI, C.H.S. **Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção**. Brasília-DF: UnB, 2006. 37p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.8, n.2).

DIAS, F.; LAHR, F.A.R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, v.7, n.3, p.413-420, 2004.

FRANKLIN INTERNATIONAL. **Boletim técnico – Multibond X-080**. Caxias do Sul: Frakilin Adhesives and Polimers, 2010. 3p.

GUNGOR, N. M.; AYRILMIS, N.; KANTAY, R. Selected physical and mechanical properties of LVL made from *Pterocarya fraxinifolia* (Clam) Spach. **Forest Products Journal**, v.56, n.5, p. 82-85, 2006.

HASHIN, R.; SARMIN, S.N.; SULAIMAN, O.; YUSOF, L.H.M. Effects of cold setting adhesives on properties of laminated veneer lumber from oil palm trunks in comparison with rubberwood. **European Journal of Wood Products**, v.69, p.53-61, 2011.

HENKEL. **Boletim técnico – Cascola PU monocomponente**. Henkel Adesivos, 2012. 4p.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M. Produção de

painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p.557-563, 2010.

JESUS, J.M.H.; CALIL JR, C.; CHIERICE, G.O. Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano à base de mamona: parâmetros de colagem. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 7, 2000, São Carlos. **Anais ...** São Carlos: EESC-USP, 2000.

KAMALA, B.S.; KUMAN, P.; RAO, R.V.; SHARMAN, S.N. Performance test of laminated veneer lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.57, p.144-116, 1999.

KILIÇ, M. The effects of the force load direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL). **BioResources**, v.6, n.3, 2805-2817, 2011.

KILIC, Y.; COLAK, M.; BAYSAL, E.; BURDURLU, E. An investigation of some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber manufactured from black alder (*Alnus glutinosa*) glued with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. **Forest Products Journal**, v.56, n.9, p.56-59, 2006.

KIM, S.; KIM, H.J. Study of miscibility of melamine-formaldehyde resin and poly(vinyl acetate) blends for use as adhesives in engineered flooring. **Journal of Adhesive Science and Technology**, v.20, p.209-219, 2006.

KOL, H.S.; OZBAY, G.; KÖSE, L.; KURT, S. Effects of some impregnation chemicals on combustion characteristics of laminated veneer lumber (LVL) produced with oak and poplar veneers. **BioResources**, v.5, n.1, p.70-80, 2010.

KURT, R. Suitability of three hybrid poplar clones for laminated veneer lumber manufacturing using melamine urea formaldehyde adhesive. **BioResources**, v.5, n.3, p.1868-1878, 2010.

KURT, R.; CIL, M.; ASLAN, K.; CAVUS, V. Effect of pressure duration on physical, mechanical, and combustibility characteristics of laminated veneer lumber (LVL) made with hybrid poplar clones. **BioResources**, v.6, n.4, p.4886-4894, 2011.

LOPES, M.C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 2008, 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

MENDES, S.A.; MENDES, L.M.; CHAVES, M.D.; MORI, F.A.; SILVA, J.R.; TRUGILHO, P.F. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v.13, n.3, p.257-263, 2007.

MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL**. 2009. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2009.

PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2002. 168f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PROPERZI, M., PIZZI, A., UZIELLI, L. Comparative wet wood glueing performance of different types of Glulam wood adhesives. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.61, n.1, p.77-78, 2003.

- RENZO, R. **Painel estrutural de laminas paralelas (PLP) de Eucalyptus grandis utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- SANTOS, C.B.; PIMENTA, A.S.; VITAL, B.R.; BARBOSA, L.C.A.B. Efeito da variação do pH e da temperatura de síntese no desempenho de adesivos à base de creosoto vegetal desmetilado-formaldeído. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.551-559, 2003.
- SENAY, A. **Technological properties of laminated wood material.** 1996, 120f. Tese (Ph.D. Dissertation) – Istanbul University, Istanbul, 1996.
- SERPA, P.N.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.723-733, 2003.
- SERRANO, E.; KÄLLANDER, B. Building and construction – timber. In: **Adhesive Bonding, Scienc, Technology and Applications**, ADAMS, R.D. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 2005.
- SHUKLA S.; KAMDEM D. Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species: effect of the pressure duration. **Holz Roh-Werkst**, v.66, n.2, p.119-127, 2008.
- SILVA, G.A.; MENDES, L.M.; CALEGÁRIO, N.; MORI, F.A.; SILVA, J.R.M. Estimativa de umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Scientia Forestalis**, n.70, p.23-29, 2006.
- SKEIST, I. **Handbook of adhesives.** New Jersey: Chapman e Hall, 1980. 779p.
- SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) Confeccionados com Madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya*.** 2009. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- SUCHSLAND, O. **The swelling and shrinking of wood.** Madison: Forest Products Society, 2004. 189p.
- UYSAL, B. Bonding strength and dimensional stability of laminated veneer lumbers manufactured by using different adhesives after the steam test. **International Journaul of Adhesion and Adhesives**, v.25, n.5, p.395-403, 2005.
- VITAL, B.R.; MACIEL, A.S.; DELLA LUCIA, R.M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.637-644, 2006.
- WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p.227-239, 1999.

## CAPÍTULO V

---

### **EFEITO DA PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Como etapa anterior ao processo de montagem dos compostos estruturais de madeira do tipo LVL, o uso de sistemas de classificação das lâminas em classe de resistência, tem sido considerada uma prática eficiente para assegurar a resistência requerida por esses produtos. A partir dessa técnica é possível se estabelecer uma melhor estratégia de montagem dos painéis, de modo que lâminas de melhor qualidade sejam posicionadas em regiões onde serão exigidos os maiores esforços, assim como, lâminas menos resistentes sejam posicionadas nas camadas menos solicitadas (MÜLLER, 2009). Essa classificação das lâminas pode conferir propriedades de resistência mais seguras e precisas aos painéis (BULIGON, 2011).

O uso de lâminas previamente classificadas em um painel LVL, priorizando a utilização das que apresentem a maior resistência, possibilita a manufatura de exemplares de elevada performance (MENDES, 2010). Por outro lado, esse sistema de classificação pode ocasionar um elevado número de lâminas descartadas, por estas, não atenderem o padrão de resistência desejado para manufatura do painel. Tammela (1998) menciona como alternativa para reduzir o descarte de lâminas e a manufatura de produtos de baixa qualidade, dispor uniformemente as lâminas de menor qualidade entre as demais. Essa técnica não objetivaria a obtenção de painéis com máxima resistência, e sim a redução na ocorrência de peças com baixa resistência. Outra alternativa sugerida por Bodig e Jayne (1993) seria uma composição mais racional dos painéis, com o posicionamento das lâminas menos resistentes na região menos solicitadas (centro dos painéis), o que minimizaria a influência destas no desempenho final destes compostos.

A distribuição de tensões nas diferentes camadas dos LVL possibilitam uma maximização da resistência dos painéis e um melhor aproveitamento da matéria-prima (IWAKIRI et al., 2010). Em compostos laminados submetidos a esforços de flexão perpendicular a linha adesiva (*flatwise*), as lâminas posicionadas nas camadas mais externas apresentam maior contribuição sobre a resistência e a rigidez da viga, quando comparadas aquelas posicionadas nas camadas mais internas (BODIG e JAYNE, 1993). Matsunaga (1995) e Shupe et al. (1997) destacam ainda que as lâminas submetidas ao esforço de tração, posicionadas na parte inferior da viga, apresentam maior influência sobre a resistência mecânica que aquelas submetidas ao esforço de compressão, posicionadas na parte superior da viga.

A pré-classificação de lâminas de madeira é feita geralmente utilizando métodos não destrutivos que obtém resultados por meio de leituras indiretas, como as que medem a velocidade de propagação de ondas acústicas, a qual pode ser empregada para estimar o módulo de elasticidade dinâmico do material (HAN et al., 2006). Esse parâmetro é considerado o mais utilizado para pré-classificação de lâminas, e tem sua aplicabilidade garantida pelas indústrias do setor por apresentarem praticidade e rapidez, permitindo a estimativa das propriedades mecânicas dos compostos estruturais em linha de produção (PELLERIN e ROSS, 2002).

A utilização da massa específica quantificada individualmente para cada lâmina, também pode ser empregada como parâmetro para definição da estratégia de montagem dos painéis laminados, em função de sua relação direta com resistência mecânica da madeira e compostos de madeira. Como vantagem, a obtenção dessa propriedade dispensa o uso de equipamentos especializados, podendo ser facilmente estimada por meio da massa e do volume das amostras. A massa específica aparente das lâminas foi utilizada com sucesso por Müller (2009) na estratégia de montagem de painéis LVL produzidos com *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*.

Nem sempre a pré-classificação proporciona maiores resistências aos painéis, podendo esta ser desnecessária quando o lote de lâminas a ser utilizado apresentar elevada homogeneidade. Em estudos realizados por Harding e Orange (1998), em LVL produzidos com *Pinus radiata*, os autores observaram que as diferentes configurações de montagem não influenciaram significativamente no desempenho físico-mecânico dos painéis.

Resultados similares foram observados por Lara Palma e Ballarin (2011) para LVL produzidos com *Eucalyptus grandis*, onde os autores verificaram não haver influência das lâminas de qualidade inferior posicionadas na capa e contracapa. Gabriel et al. (2008) ao estudarem compostos LVL confeccionados com espécies de pinus tropicais também não observaram diferença significativa quanto à resistência dos painéis para os métodos de montagem testados. Nestes casos, a montagem aleatória do posicionamento das lâminas nos painéis seria o método mais viável, pois dispensaria gastos desnecessários com sistemas e métodos de classificação, além de tornar mais ágil o processo industrial da manufatura desses compostos estruturais.

Baseado no exposto, no presente capítulo objetivou-se avaliar a influência de diferentes métodos de pré-classificação das lâminas nas propriedades físico-mecânicas de painéis LVL produzidos com paricá (*Schizolobium amazonicum*).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS

Foram utilizadas lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) de aproximadamente 0,271 cm x 85 cm x 115 cm em espessura, largura e comprimento, obtidas na empresa PORTIL<sup>®</sup> – Portas Itinga Limitada, localizada no município de Dom Eliseu, estado do Pará. As lâminas selecionadas foram levadas ao laboratório e redimensionadas em amostras de 2,71 mm x 25 cm x 50 cm isentas de defeitos (Figura 1). Em seguida as amostras foram climatizadas e tiveram suas massas e dimensões aferidas para posterior cálculo da massa específica aparente. Nesta etapa, também se obteve a velocidade de propagação das ondas por meio *Stress Wave* a qual, conjuntamente com os valores da massa específica ( $\rho$ ), foi utilizada para determinação do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ).



**Figura 1.** Redimensionamento e seleção das lâminas.

### 2.2. MANUFATURA DOS PAINÉIS

Para manufatura dos painéis, as lâminas foram subdivididas em quatro classes (A, B, C e D) de acordo com os valores de massa específica ou do módulo de elasticidade dinâmico. A divisão das classes foi estabelecida em função da amplitude dos dados para cada um dos parâmetros (Tabela 1). Ao todo foram produzidos 21 painéis com dimensões aproximadas de 2,2 cm x 25 cm x 50 cm (espessura x largura x comprimento), sendo 7 para cada tratamento.

**Tabela 1.** Valores do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) e da massa específica ( $\rho$ ) das lâminas pré-estabelecidos para as diferentes classes de resistência.

Classe	$E_{md}$ (MPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
A	> 8.500	> 0,40
B	7.500 - 8.500	0,35 - 0,40
C	6.500 - 7.500	0,30 - 0,35
D	< 6.500	< 0,30

No estudo foram produzidos painéis considerando três diferentes estratégias de montagem dos painéis – montagem aleatória das lâminas (i); montagem racionalizada com as lâminas de maior  $E_{md}$  posicionadas nas capas e redução gradual até o miolo (ii); montagem racionalizada com as lâminas de maior massa específica posicionadas nas capas e redução gradual até o miolo (iii). No tratamento i, a posição de cada lâmina foi definida por sorteio independente de sua classe de resistência. Para os tratamentos ii e iii, a seleção das lâminas dentro de cada classe para montagem dos painéis se deu por meio de sorteio. A estratégia de montagem utilizada para os diferentes tratamentos pode ser visualizada na Figura 2.

Aleatório	Classes em função do $E_{md}$	Classe em função da $\rho$
A/B/C/D	A	A
A/B/C/D	B	B
A/B/C/D	C	C
A/B/C/D	D	D
A/B/C/D	D	D
A/B/C/D	C	C
A/B/C/D	B	B
A/B/C/D	A	A

**Figura 2.** Estratégias utilizadas na montagem dos LVL nos diferentes tratamentos.

Antes da manufatura dos painéis as lâminas foram levadas a estufa durante 2 horas a temperatura de 50°C, para redução do teor de umidade. Para produção dos painéis LVL foi empregado à resina fenol-formaldeído (CR-7010) na gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>, formulado nas proporções 100:5:8:7 (resina; farinha de trigo; farinha de coco; e água). A farinha de trigo e a de coco foram usadas de acordo com a ficha técnica da resina fornecida pela empresa *SIGroup Crios*, fabricante do adesivo. A viscosidade observada para a mistura foi de 840 cP, medida à temperatura ambiente com um viscosímetro digital da marca Fungilab, e o teor de sólidos foi de 59% determinado por meio de uma termobalança.

Após a aplicação manual do adesivo com auxílio de uma espátula foi realizada uma pré-prensagem a frio dos painéis com auxílio de blocos de concretos durante 30 minutos. Em seguida, os painéis foram levados à prensa hidráulica e prensados por 12 minutos com pratos aquecidos a 140°C e pressão de 1,0 MPa (Figura 3). Ao término da prensagem, esperou-se o resfriamento dos painéis, para então estes serem conduzidos à câmara climatizada, com temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem massa constante. Subsequentemente os painéis foram esquadrejados em 24 cm x 48 cm e retirados corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos.



**Figura 3.** Aplicação do adesivo, montagem e prensagens a frio e quente dos painéis LVL produzidos com paricá.

### 2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Na avaliação das propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual) dos painéis LVL produzidos com paricá foram utilizadas recomendações da norma ASTM D 1037 (1999). Foram utilizadas 28 amostras de madeira por tratamento, nas dimensões 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As

amostras foram climatizadas ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa) até atingirem massa constante, quando suas dimensões e massa foram tomadas. Em seguida os corpos-de-prova foram submersos em água e tiveram suas dimensões e massas retomadas 2, 24 e 96 horas após a imersão. Ao término do ensaio, as amostras foram novamente levadas à câmara climática e após a estabilização tiveram suas dimensão e massa obtidas novamente.

Os ensaios mecânicos foram conduzidos conforme recomendações da norma ASTM D 5456 (2006). Para o ensaio de resistência a flexão foi avaliada as posições *flatwise* e *edgewise*. Foram utilizadas 21 amostras por tratamento/posição, nas dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 40 cm. A velocidade de aplicação de carga foi aproximadamente 2,5 mm/min para um vão de 36 cm de comprimento.

Na resistência à compressão utilizaram-se 21 amostras por tratamento com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As dimensões dos corpos-de-prova foram determinadas pela máxima relação comprimento/raio de giração permitida pela norma (17 vezes). Com a velocidade do ensaio de 1 mm/min, determinou-se a resistência a compressão das amostras pela relação entre a força aplicada e área sujeita ao esforço. Para resistência ao cisalhamento paralelo e perpendicular a linha de cola foram avaliadas 21 amostras com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 3,3 cm e uma área destinada a aplicação do esforço cisalhante.

## **2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para os ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura, e mecânicos de flexão estática foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial. Quando detectada variação significativa pelo teste de F, os fatores ou a sua interação foram analisados pelo teste de *Scott-Knott* ( $p > 0,05$ ). Os demais resultados foram avaliados por meio de análise de variância com posterior comparação pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ), com delineamento inteiramente casualizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

As lâminas de paricá selecionadas para manufaturas dos painéis LVL apresentaram os valores médio de  $7739 \pm 1282$  MPa para o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) e de  $0,335 \pm 0,057$  g/cm<sup>3</sup> para massa específica ( $\rho$ ). Os resultados obtidos são inferiores aos geralmente utilizados pelas indústrias norte americanas produtoras de painéis LVL, que segundo Kretschmann et al. (1993) utilizam lâminas com  $E_{md}$  de aproximadamente 14.000 MPa. Lâminas de paricá com maior massa específica poderiam ser obtidas em rotações mais longas que as empregadas atualmente (4 a 6 anos), já que árvores mais velhas geralmente produzem células de paredes mais espessas o que influencia diretamente na massa específica (GATTO et al., 2010).

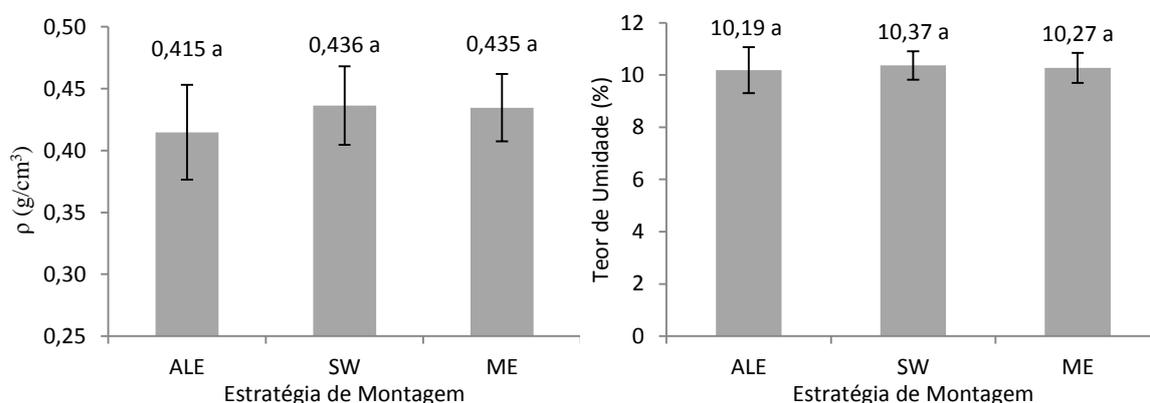
Na Tabela 2 pode ser observada a distribuição das lâminas selecionadas para as diferentes classes de resistência estabelecidas com base no  $E_{md}$  e na  $\rho$ . As lâminas selecionadas com base no  $E_{md}$  apresentaram uma maior frequência (54,2%) nas classes centrais B e C. Quando se utilizou o parâmetro  $\rho$ , a maior frequência (61,8%) foi observada para classes A e B. Iwakiri et al. (2010) observaram para lâminas de paricá com massa específica média de 0,32 g/cm<sup>3</sup> valores de  $E_{md}$  variando de 3000 a 7000 MPa. Já Matos (1997) observou para lâminas de *Pinus taeda* com massa específica variando entre 0,41 a 0,46 g/cm<sup>3</sup> valores do  $E_{md}$  entre 6000 e 10000 MPa.

**Tabela 2.** Distribuição das lâminas para as diferentes classes, considerando o módulo de elasticidade dinâmico obtido por *Stress Wave* e a massa específica.

Classe	$E_{md}$ (MPa)	n	%	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	n	%
A	> 8500	78	20,5	> 0,40	105	27,6
B	7500 - 8500	101	26,6	0,35 - 0,40	130	34,2
C	6500 - 7500	105	27,6	0,30 - 0,35	83	21,9
D	< 6500	96	25,3	< 0,30	62	16,3
<b>Total</b>	-	<b>380</b>	<b>100,0</b>	-	<b>380</b>	<b>100,0</b>

Não foi observada diferença significativa para a massa específica e o teor de umidade de equilíbrio dos LVL nos diferentes tratamentos (Figura 4). Estes resultados proporcionam uma maior confiabilidade para avaliar o efeito da estratégia de montagem na resistência dos painéis, já que ambos os parâmetros influenciaram diretamente o desempenho das

propriedades mecânicas (MELO et al. 2009; BAL e BEKTAS, 2012). Em estudos realizados por Mendes (2010) com o guapuruvu e por Gabriel (2007) com pinus tropicais, as diferentes estratégias de montagem dos painéis proporcionaram influência significativa para a massa específica dos LVL produzidos. No entanto, dentre as estratégias avaliadas pelos autores havia composição de painéis exclusivamente com as lâminas de maior  $E_{md}$ . Embora esse tipo de montagem propicie a produção de painéis com melhor desempenho, o número de lâminas descartadas nesse método pode aumentar consideravelmente, por estas não atenderem as especificações desejadas.



**Figura 4.** Valores da massa específica ( $\rho$ ) e teor de umidade de equilíbrio observado para os painéis LVL confeccionados com diferentes estratégias de montagem – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).

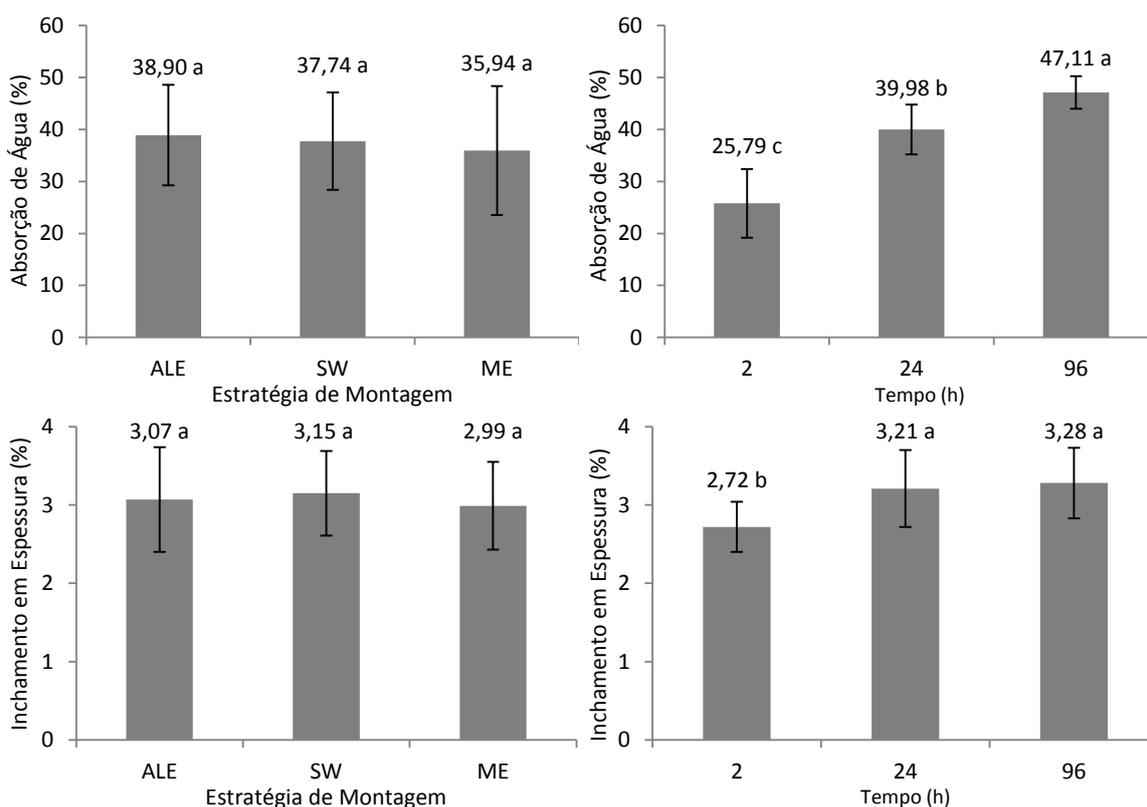
A análise fatorial para a absorção de água e inchamento em espessura indicou não haver interação entre os parâmetros tempo de imersão e as diferentes estratégias de montagem dos painéis (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo dos resultados das análises fatoriais para os percentuais de absorção de água (AB) e inchamento em espessura (IE).

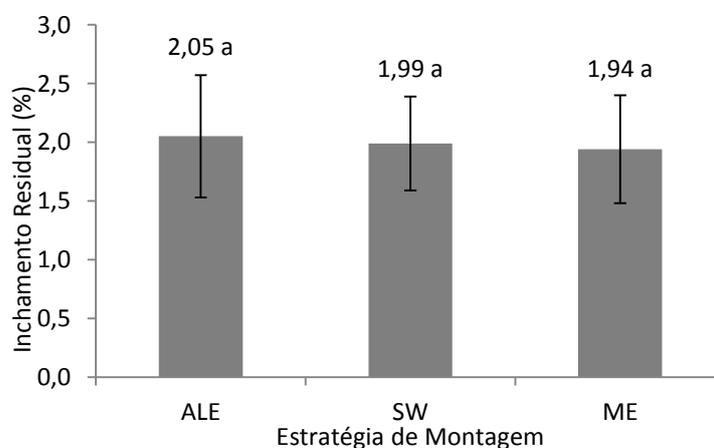
F.V.	G.L.	AB	IE
F1: Estratégia de Montagem	2	NS	NS
F2: Tempo	2	**	**
Interação F1xF2	4	NS	NS
Resíduo	180		

\*\*significativo ao nível de 99% ( $p < 0,01$ ) de probabilidade; NS não significativo ( $p \geq 0,05$ );

Analisado os fatores isoladamente, apenas o fator tempo de imersão proporcionou variação significativa para os parâmetros analisados (Figura 5). Os valores observados para o inchamento em espessura dos LVL confeccionados com paricá foram inferiores aos painéis produzidos com *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya* (SOUZA, 2009), *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna* (MÜLLER, 2009) e *Eucalyptus grandis* (PIO, 2002). Também não foi observada diferença significativa para avaliação do inchamento residual (Figura 6).



**Figura 5.** Influência do tempo de imersão na absorção de água e inchamento em espessura para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).



**Figura 6.** Valores do inchamento residual para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).

### 3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Não foi detectada interação significativa entre os fatores avaliados para o módulo de elasticidade ( $E_m$ ) no ensaio de flexão estática (Tabela 4). Quanto às estratégias de montagem dos painéis, a montagem racional, utilizando o módulo de elasticidade dinâmico obtido por *Stress Wave* ou a massa específica, obtiveram os maiores resultados (Figura 7), indicando que a escolha adequada do método de montagem pode proporcionar maior rigidez a esses compostos estruturais. Cha (1990) descreve como uma das principais vantagens dos painéis LVL a sua composição feita por camadas de lâminas distintas, o que possibilita o controle da variabilidade e resistência dos compostos estruturais produzidos por meio da seleção adequada de cada uma destas camadas. Basicamente, a redução na variabilidade e aumento da resistência em comparação a madeira sólida se dá pela minimização da influência dos defeitos conjuntamente com a seleção de lâminas de melhor qualidade, possibilitando a estes compostos desempenho pré-estabelecido e elevada performance. Com relação ao tipo de ensaio, amostras submetidas a ensaios na posição *flatwise* apresentaram os maiores valores de  $E_m$ . Esse resultado pode ser atribuído ao uso de lâminas com maior  $E_{md}$  nas regiões com maiores solicitações dos esforços – lâminas de capa e contracapa.

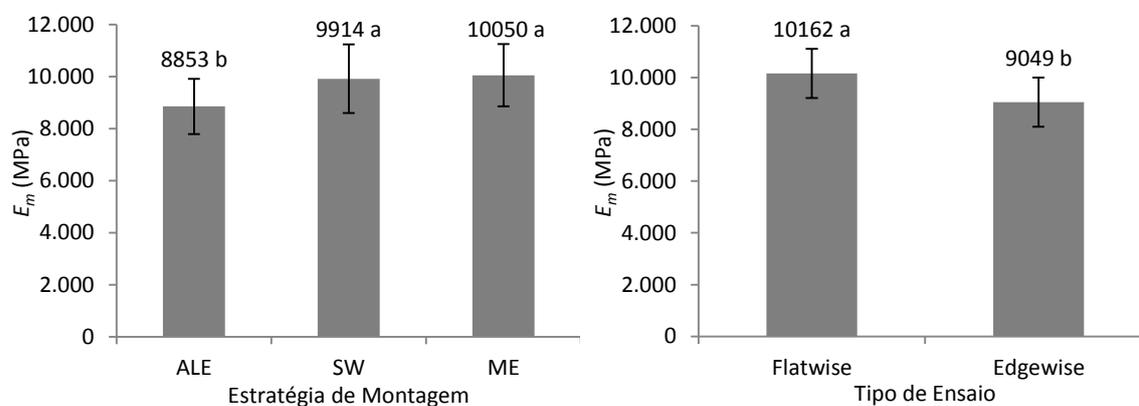
**Tabela 4.** Resumo dos resultados das análises fatoriais para os módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e de ruptura ( $f_m$ )

F.V.	G.L.	$E_m$	$f_m$
F1: Estratégia de Montagem	2	**	**
F2: Tipo de Ensaio (Flat e Edge)	1	**	NS
Interação F1xF2	2	NS	*
Resíduo	120		

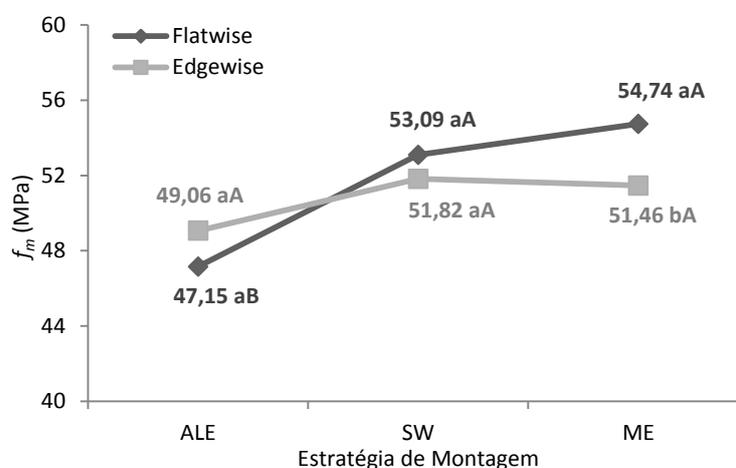
\*\* e \*significativo ao nível de 99% ( $p < 0,01$ ) e 95% ( $p < 0,05$ ) de probabilidade; <sup>NS</sup>não significativo ( $p \geq 0,05$ );

Para o módulo de ruptura ( $f_m$ ) foi detectada interação entre os fatores avaliados (Tabela 4). Nos ensaios realizados na posição *edgewise* não foi observada variação significativa entre os tratamentos. Já para posição *flatwise* a montagem racional dos painéis, seja utilizando o módulo de elasticidade ou a massa específica, proporcionou maior resistência aos painéis (Figura 8). Estes resultados estão de acordo com Lara Palma e Ballarin (2011) que afirma que o desempenho à flexão *flatwise* é mais sensível à qualidade das lâminas utilizadas. Segundo os autores, em um processo de produção com disposição aleatória das lâminas, no mais desfavorável dos casos (lâminas de qualidade inferior na capa e contracapa), pode

haver comprometimento significativo do desempenho à flexão *flatwise*, em relação ao desempenho na flexão *edgewise*. Contrariamente, num processo industrial racionalizado, a disposição de lâminas de melhor desempenho na capa e contracapa pode promover ganho significativo de resistência na flexão *flatwise* em relação à flexão *edgewise*.



**Figura 7.** Valores do módulo de elasticidade ( $E_m$ ) para o tipo de ensaio e as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).

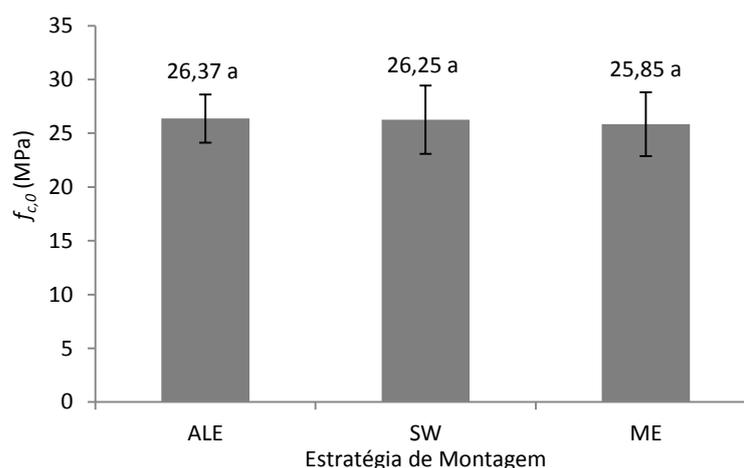


**Figura 8.** Valores do módulo de ruptura ( $f_m$ ) para o tipo de ensaio e as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME). (Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre o tipo de ensaio e maiúscula entre os painéis produzidos com diferentes estratégias de montagem, em cada seção, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 95% de probabilidade).

Com relação à comparação entre os tipos de ensaios para cada um dos tratamentos, observou-se diferença significativa apenas para os painéis confeccionados com base nos

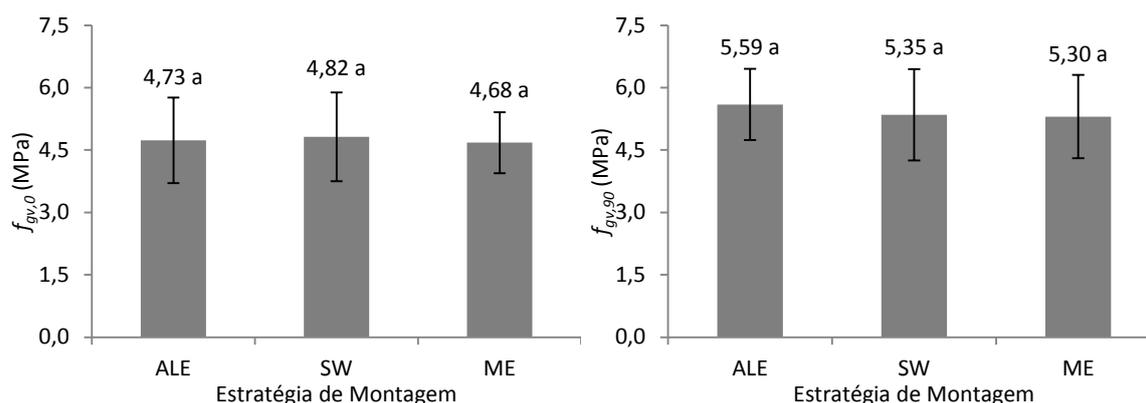
valores da massa específica. Para estes casos, ensaios realizados na posição *flatwise* se apresentaram como os mais resistentes. Para Wang et al. (2003) e Xue e Hu (2012) estes resultados sugerem que a montagem racional de painéis LVL pode proporcionar aumento significativo na resistência quando submetidas em esforços de flexão com carregamento perpendicular a linha de cola (*flatwise*). Essa característica é especialmente importante para estes compostos, por eles apresentarem como principal aplicabilidade o uso para vigamentos na construção civil.

Não foi observada diferença significativa na resistência à compressão paralela ( $f_{c,0}$ ) para os diferentes tratamentos avaliados (Figura 9). O desempenho em  $f_{c,0}$  dos LVL produzidos com paricá foram baixos, se comparados aos observados para painéis produzidos com *Hevea brasiliensis* (KAMALA et al., 1999), *Fagus orientalis* (AYDIN et al., 2004), ou ainda com diferentes espécies de *Pinus* (GABRIEL, 2007; SOUZA, 2009) e *Eucalyptus* (PIO, 2002; AYDIN et al., 2004; RENZO, 2008). No entanto, os valores obtidos para todos os tratamentos foram superiores aos requeridos para dimensionamento estrutural utilizando compostos estruturais do tipo LVL. As sugestões de resistência estabelecidas pelo United States Department of Agriculture – USDA (2010) são que estes painéis apresentem  $f_{c,0}$  superior a 22 MPa. Já Green e Hernandez (1998) sugerem uma tensão mínima de aproximadamente 19 MPa.



**Figura 9.** Resistência a compressão ( $f_{c,0}$ ) para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).

As diferentes estratégias de montagem dos painéis não afetaram significativamente a resistência aos cisalhamentos paralelo e perpendicular dos LVL (Figura 10). Resultados semelhantes foram observados por Gabriel (2007) para painéis LVL confeccionados com pinus tropicais, colados com fenol-formaldeído e com lâminas pré-classificadas com ultrassom. A autora verificou que a resistência ao cisalhamento paralelo de painéis confeccionados com lâminas de maior  $E_{md}$  foi estatisticamente igual aos painéis que utilizaram lâminas de menor  $E_{md}$ . A autora observou ainda que a distribuição racional das lâminas (lâminas de maior resistência nas faces) não proporcionou ganho significativo na resistência ao cisalhamento dos painéis, quando comparado a painéis produzidos com alternância de lâminas de maior e menor  $E_{md}$ . Diferente disso, em estudos realizados por Iwakiri et al. (2010), os autores evidenciaram que a estratégia de montagem influenciou significativamente na resistência ao cisalhamento paralelo de painéis LVL confeccionados com paricá.



**Figura 10.** Resistência ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) a linha de cola para as diferentes estratégias de montagem dos painéis – aleatória (ALE), com base no módulo de elasticidade obtido por *Stress Wave* (SW) ou na massa específica (ME).

No presente estudo, os valores observados para todos os tratamentos foram superiores as tensões admissíveis propostas por Green e Hernandez (1998) para cálculos estruturais com LVL, que são de 1,96 MPa para  $f_{gv,0}$  e 5,17 MPa para  $f_{gv,90}$ . Iwakiri et al. (2010) observaram valores para o cisalhamento paralelo a linha de cola para LVL confeccionados com paricá e colados com fenol-formaldeído variando de 1,81 a 2,47 MPa, resultados que representam aproximadamente a metade da resistência obtida para o presente estudo. Utilizando o mesmo adesivo, Kamala et al. (1999) verificaram para LVL confeccionados com lâminas de seringueira (*Hevea brasiliensis*) cisalhamento de 9,4 MPa paralelo à linha

de cola e 10,5 MPa perpendicular a linha de cola. Em LVL produzidos com *Eucalyptus grandis*, Pio (2002) observou valores de resistência ao cisalhamento paralelo e perpendicular de 11,64 e 11,91 MPa, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

As propriedades físicas (massa específica, teor de umidade de equilíbrio, absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual) dos compostos estruturais LVL produzidos com lâminas de paricá não foram influenciadas pelas diferentes estratégias de pré-classificação das lâminas.

Quanto às propriedades mecânicas (resistência à flexão *flatwise* e *edgewise*, compressão, cisalhamento paralelo e perpendicular), apenas a resistência à flexão das amostras ensaiadas na posição *flatwise* foi influenciada pela pré-classificação das lâminas. Para este caso, a utilização de lâminas com maiores valores do módulo de elasticidade dinâmico ou da massa específica nas faces apresentam resistência superior àqueles confeccionados sem a prévia classificação das lâminas (sistema aleatório).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037**. Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999. 30p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – **ASTM D 5456**. Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. Philadelphia, 2006. 14p.

AYDIN, I.; COLAK, S.; ÇOLAKOĞLU, G.; SALIH, E. A comparative study on some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) produced from Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. veneers. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.62, n.3, p.218-220, 2004.

BAL, B.C.; BEKTAS, I. The effects wood species, load direction, and adhesives on bending properties of laminated veneer lumber. **BioResources**, v.7, n.3, p.3104-3112, 2012.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. Van Nostrand Reinhold, New York, 736p. 1993.

BULIGON, E.A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CHA, J.K. Properties of 3-layered laminated veneer lumber with crack and grain angle from stress wave tested veneers. **Mogjæ Gonghak**, v.18, n.3, p.17-25, 1990.

GABRIEL, M.S.C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de pinus tropicais da região de São Paulo**. 2007, 125f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

GABRIEL, M.S.C.; BALLARIN, A.W.; PALMA, H.A.L. Desempenho à flexão no eixo de maior inércia de vigas LVL de Pinus tropicais – efeito da classificação e arranjo das lâminas. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeiras, 11, Londrina. **Anais...** Londrina, 2008.

GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R.; BULIGON, E.A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch por meio de parâmetros anatômicos da madeira. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p.675-682, 2010.

GREEN, D.W.; HERNANDEZ, R. 1998. Codes and standards for structural wood products and their use in the United States. In: Forest Products Society Annual Meeting, 1998, Yucátan. **Anais...** Yucátan: North American Forestry Commission, 14p.

HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood based panels: effect of moisture, product type, and material direction. **Forest Products Journal**, v. 56, n. 1, p. 28-33, 2006.

HARDING O.V.; ORANGE R.P. The effect of juvenile wood and layup practices on various properties of radiata pine laminated veneer lumber. **Forest Products Journal**, v.48, n.7-8, p.63-70, 1998.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M. Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v.16, n.4, p.557-563, 2010.

KAMALA, B.S.; KUMAN, P.; RAO, R.V.; SHARMAN, S.N. Performance test of laminated veneer lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.57, p.144-116, 1999.

KRETSCHMANN, D.E.; MOODY, R.C.; PELLERIN, R.F.; BENDTSEN, B.A.; CAHILL, J.M.; MCALISTER, R.H. ; SHARP, D.W. **Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber**. Madison: USDA Forest Service, p1-31, 1993. (Research Paper, FPL-521)

LARA PALMA, H.A.; BALLARIN, A.W. Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.21, p.559-566, 2011.

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

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.** 1995, 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

MENDES, L.F. **Propriedades mecânicas de painéis lvl produzidos com lâminas de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vellozo) Blake) pré-classificadas por um método não destrutivo.** 2010. 56f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

MELO, R.R.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; STANGERLIN, D.M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, v.19, n.4, p.449-460, 2009.

MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2009, 165p.

PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood.** Madison: FPS. 2002, 210p.

PIO, N.S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** 2002. 168f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

RENZO, R. **Painel estrutural de laminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SHUPE, T.H.; HSE, C.Y.; GROOM, L.H.; CHOONG, E.T. Effect of silvicultural practice and veneer grade lay-up on some mechanical properties of loblolly pine LVL. **Forest Products Journal**, v.47, n.9, p.63-69, 1997.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) Confeccionados com Madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya*.** 2009. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

TAMMELA, K. Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing. In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1998. p.162-168.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Wood Handbook: wood as engineering material.** Washington: USDA, 1999. 473p.

WANG, X.; ROSS, R.J.; BTASHAW, B.K.; VERHEY, S.A.; FORSMAN, J.W.; ERICKSON, J.R. **Flexural properties of laminated veneer lumber manufactured from ultrasonically rated red maple veneer –a pilot study.** Madison: USDA-FPL, 2003, 7p. (Research Note FPL-RN 0288)

XUE, B.; HU, Y. Mechanical properties analysis and reliability assessment of laminated veneer lumber (LVL) having different patterns of assembly. **BioResources**, v.17, n.2, p.1617-1632, 2012.

## CAPÍTULO VI

---

### UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NA ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS LVL PRODUZIDOS COM PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)

#### 1. INTRODUÇÃO

Na indústria de produtos florestais o uso de tecnologias não destrutivas de materiais, podem auxiliar na implementação de programas de classificação de compostos estruturais de madeira, resultando em um material engenheirado, com desempenho e características bem definidas (HAN et al., 2006). A previsibilidade quanto à performance estrutural dessa classe de produtos é indispensável para o tipo de uso que lhe é atribuído e, pode ser atingida utilizando diferentes técnicas já consolidadas de avaliações não destrutivas (*nondestructive testing* – NDT), as quais possibilitam estimar as propriedades dos materiais e auxiliam nas definições de uso adequado desses (ROSS et al., 1998).

Os métodos de avaliação não destrutivos (NDT) podem ser definidos como aqueles que identificam as propriedades dos materiais sem alterar suas características estruturais e, conseqüentemente, sua capacidade de uso final. Com vantagens proporcionadas por esses métodos podem ser citados – a estimativa das propriedades sem a destruição de peças; a obtenção de informações que possam ser utilizadas para tomada de decisão no uso adequado de peças estruturais; adequabilidade para uso em linhas de produção; rapidez e praticidade na obtenção dos resultados (PELLERIN e ROSS, 2002). Tais aspectos fazem das técnicas de NDT importantes ferramentas na caracterização da madeira e compostos de madeira, podendo ser empregados pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos produtos por meio de uma maior uniformidade na matéria-prima e em seus derivados (ERIKSON et al. 2000).

Existem diversos tipos de NDT e quase a totalidade destes se adequam à utilização em madeiras e compostos de madeira, sendo a sua escolha definida em função dos recursos disponíveis e, das características e peculiaridades do material. A caracterização visual,

ensaios de deflexão, ondas acústicas, propriedades elétricas, radiações gama, espectroscopia no infravermelho próximo, método de raios X, dentre outros, são alguns dos exemplos de NDT que podem ser utilizados. Destes, os mais comumente empregados são os que utilizam ondas acústicas obtidas por meio de aparelhos como o *Stress Wave* e ultrassom (BODIG, 2001). A medição da velocidade de propagação das ondas sonoras em uma peça estrutural permite a determinação do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) o qual pode ser utilizado para estimar o módulo de elasticidade estático ( $E_m$ ) final esperado por ela (BODIG e JAYNE, 1993).

No *stress wave* as ondas são geradas pela vibração produzida por um impacto na peça em estudo. O método utiliza baixos movimentos moleculares de tensão para medir duas propriedades fundamentais dos materiais: a energia armazenada e a dissipação. A energia armazenada manifesta-se pela velocidade com a qual a onda percorre o material, enquanto a taxa sob a qual a onda é atenuada é uma indicação de dissipação de energia. O uso do ultrassom apresenta aspectos similares aos mencionados para o *stress wave*, com as seguintes diferenças – são utilizadas frequências mais altas e as ondas são induzidas por transdutores e não por impacto (MORALES, 2006).

Vários pesquisadores têm estudado o uso da técnica de ondas acústicas na estimativa das propriedades de painéis LVL, seja por meio do *stress wave* (JUNG, 1982; CHA e PEARSON, 1994; MATOS, 1997; BORTOLETTO JÚNIOR, 2006; GABRIEL, 2007; SOUZA et al., 2011) ou do ultrassom (KRESTSCHMANN et al., 1993; KIMMEL e JANOWIAK, 1995; GABRIEL, 2007; ROSS et al., 2004; VALLANCE, 2009). Os resultados obtidos tem demonstrado a existência de elevadas correlações entre a determinação do módulo de elasticidade mecânico e o módulo de elasticidade estimado por meio de ondas acústicas. Além disso, Matos (1997) destaca que a montagem dos LVL utilizando lâminas previamente classificadas e agrupadas por classe de qualidade, tem demonstrado eficiência, conferindo elevadas propriedades mecânicas finais aos painéis.

O presente capítulo teve como objetivo estimar as propriedades físico-mecânicas de painéis LVL produzidos com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) utilizando técnicas de avaliação não destrutivas, assim como, avaliar a eficácia das diferentes ferramentas utilizadas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS E MANUFATURA DOS PAINÉIS**

Foram utilizadas lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) de aproximadamente 0,271 cm x 85 cm x 115 cm em espessura, largura e comprimento, obtidas na empresa “PORTIL - Portas Itinga Limitada<sup>®</sup>”, localizada no município de Dom Eliseu, estado do Pará. Lâminas isentas de defeitos foram selecionadas e levadas ao laboratório e redimensionadas em amostras de 0,271 cm x 25 cm x 50 cm. Antes da manufatura dos painéis as lâminas foram levadas a estufa durante 2 horas a temperatura de 50°C, para redução do teor de umidade.

Para produção dos painéis LVL foi empregado à resina fenol-formaldeído (CR-7010) na gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>, formulado nas proporções 100:5:8:7 (resina; farinha de trigo; farinha de coco; e água). A farinha de trigo e a de coco foram usadas de acordo com a ficha técnica da resina fornecida pela empresa *SIGroup Crios*, fabricante do adesivo. A viscosidade observada para a mistura foi de 840 cP, medida a temperatura ambiente com um viscosímetro digital, e o teor de sólidos foi de 59%.

Após a aplicação manual do adesivo com auxílio de uma espátula foi realizada uma pré-prensagem a frio dos painéis com auxílio de blocos de concretos durante 30 minutos. Em seguida, os painéis foram levados à prensa hidráulica e prensados por 12 minutos com pratos aquecidos a 140°C e pressão de 1,0 MPa. Ao todo foram produzidos 21 painéis com dimensões aproximadas de 25 cm x 2,2 cm x 50 cm (largura x espessura x comprimento). Ao término da prensagem, esperou-se o desaquecimento dos painéis e, em seguida, foram conduzidos a câmara climática com temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5%.

### **2.2. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

Depois de climatizados, os painéis foram esquadrejados nas dimensões 24 cm x 48 cm (largura x comprimento) e novamente conduzidos ao laboratório para serem tomadas suas massas e dimensões, as quais foram utilizadas no cálculo da massa específica. Na mesma

ocasião foram determinadas a velocidade de propagação de ondas ( $V_0$ ) obtida em um ponto central do painel utilizando os aparelhos de *Stress Wave* e ultrassom (Figura 1). Estes valores foram utilizados para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) por meio das Equações 1 e 2.



**Figura 1.** Esquadrejamento dos painéis (a), obtenção das dimensões e massa dos painéis (b), determinação da velocidade de propagação das ondas utilizando *Stress Wave* (c) e ultrassom (d).

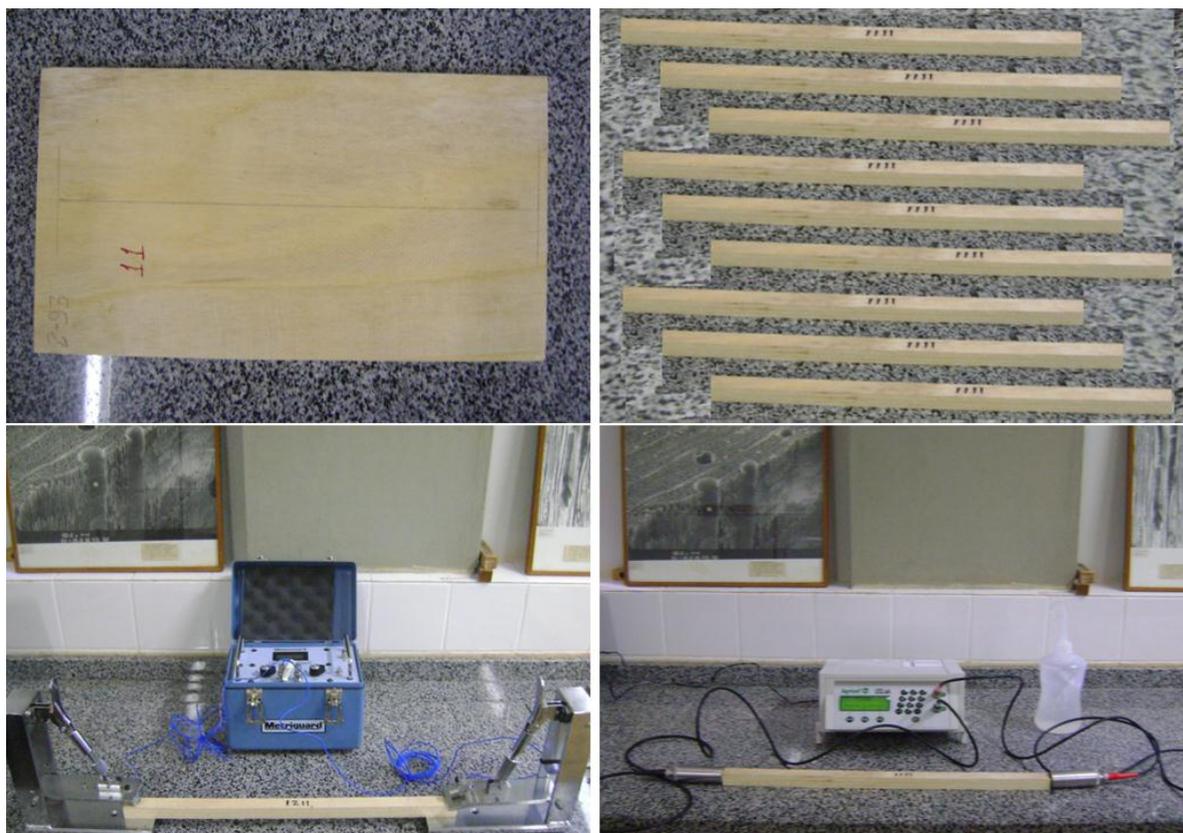
$$V_0 = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$E_{md} = \frac{V_0^2 \times \rho}{g} \times 10^{-5} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação da onda obtido pelo *Stress Wave*, m/s;  $L$  = distância percorrida pela onda, m;  $t$  = tempo de trânsito da onda,  $\mu$ s;  $\rho$  = massa específica aparente,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  = aceleração da gravidade,  $9,804 \text{ m/s}^2$ .

Em seguida, os painéis retornaram à marcenaria para retirada das amostras destinadas a realização dos ensaios físicos e mecânicos. De cada painel foram obtidas 9 amostras com

dimensões aproximadas de 2,2 cm x 2,2 cm x 40 cm (espessura x largura x comprimento) por meio de cortes longitudinais dos painéis. Todas estas foram utilizadas para determinação da  $V_0$  via *Stress Wave* e ultrassom (Figura 2), sendo os dados do *Stress Wave* obtidos nas posições *flatwise* e *edgewise* de cada amostra. Posteriormente 6 das 9 amostras foram destinadas aos ensaios de flexão estática (3 *flatwise* e 3 *edgewise*). De cada uma das 3 amostras restantes foram retirados corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos – compressão e cisalhamento.



**Figura 2.** Painéis LVL produzidos com paricá (a); amostras obtidas de cada painel (b); obtenção da velocidade de propagação das ondas nas amostras ensaiadas utilizando *Stress Wave* (c) e ultrassom (d);

### 2.3. DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Antes da realização dos ensaios físicos e mecânicos as amostras foram levadas a câmara climática com temperaturas de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa, onde permaneceram até atingirem massa constante (Figura 3).

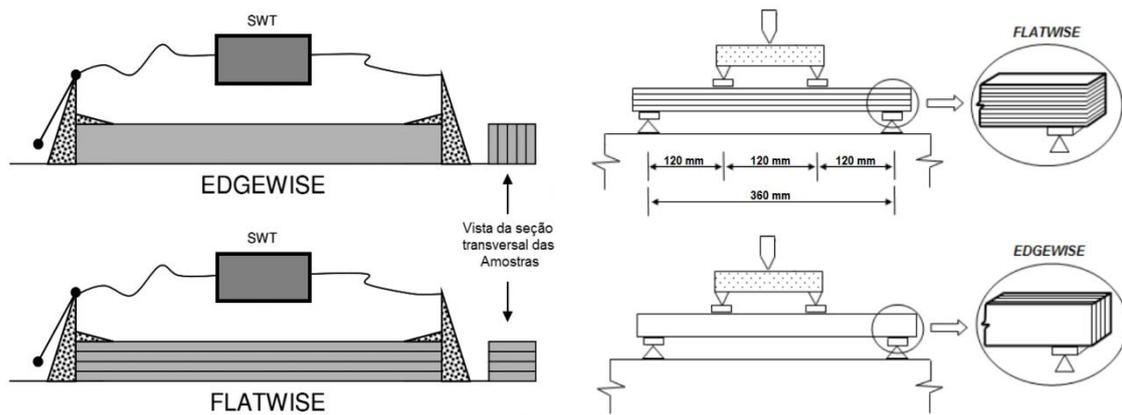


**Figura 3.** Climatização das amostras utilizadas nos ensaios físicos e mecânicos.

Na avaliação das propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e inchamento residual) dos painéis LVL produzidos com paricá foram utilizadas recomendações da norma ASTM D 1037 (1999). Foram utilizadas 21 amostras de madeira por tratamento, nas dimensões 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As dimensões e massa dos corpos-de-prova foram tomadas após a climatização. Em seguida foram submersos em água durante 96 horas, quando tiveram suas dimensões e massas retomadas. Ao término do ensaio, as amostras foram novamente conduzidas à câmara climática e, após a estabilização, tiveram suas dimensão e massa obtidas novamente.

Os ensaios mecânicos foram conduzidos conforme recomendações da norma ASTM D 5456 (2006). Para o ensaio de resistência a flexão foi avaliada as posições *flatwise* e *edgewise* (Figura 4). Foram utilizadas 21 amostras/tratamento/posição, nas dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 40 cm. A velocidade de aplicação de carga foi aproximadamente 2,5 mm/min para um vão de 36 cm de comprimento.

Na resistência à compressão utilizaram-se 21 amostras por tratamento com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm. As dimensões dos corpos-de-prova foram determinadas pela máxima relação comprimento/raio de giração (17 vezes) permitida pela norma. Com a velocidade do ensaio de 1 mm/min, determinou-se a resistência a compressão das amostras pela relação entre a força aplicada e área sujeita ao esforço. Para o cisalhamento paralelo e perpendicular a linha de cola foram avaliadas 21 amostras com dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 3,3 cm e um área destinada a aplicação do esforço cisalhante.



**Figura 4.** Procedimentos realizados nos ensaios não destrutivos com *Stress Wave Timer* (SWT) e destrutivos das amostras submetidas a ensaios de flexão estática (adaptado de SOUZA, 2009).

## 2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados buscou-se o ajuste de equações lineares que visavam estimar o desempenho dos painéis quanto as suas propriedades físicas (absorção de água; inchamento em espessura; e inchamento residual) e mecânicas (resistência e rigidez a flexão estática *flatwise*; resistência e rigidez a flexão estática *edgewise*; resistência à compressão paralela; e resistência ao cisalhamento paralelo e perpendicular) observadas nos ensaios destrutivos, em função da velocidade de propagação das ondas e do módulo de elasticidade dinâmico obtidos pelos diferentes métodos não destrutivos (*Stress Wave* com propagação de ondas no sentido *flatwise*; *Stress Wave* com propagação de ondas no sentido *edgewise*; e ultrassom). Também foi estimada a relação entre o  $E_{md}$  observado nos painéis e para a média das amostras retiradas de cada painel, obtidos pelas diferentes ferramentas de NDT.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores da velocidade de propagação das ondas ( $V_0$ ) e do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ,  $C_{LL}$ ) utilizando as diferentes ferramentas de avaliação não destrutiva (NDT) podem ser observados na Tabela 1. A  $V_0$  utilizando o *Stress Wave* foi maior no sentido paralelo (*flatwise*) que no sentido perpendicular (*edgewise*), o que pode ser atribuído as propriedades anisotrópicas destes produtos ao longo de sua espessura. Resultados similares foram observados por Souza et al. (2008) para painéis LVL e por Han et al. (2006) para painéis OSB. O fato de a velocidade de propagação das ondas ser menor na direção paralela em relação à perpendicular, como observado no presente estudo, indica que a camada superficial do painel apresentou uma maior influência e promovendo maior rapidez na propagação destas ao longo das amostras (HAN et al., 2006). No caso dos LVL, as extremidades do painel geralmente apresentam uma sutil compactação das lâminas, promovendo uma densificação nesta região, devido às altas pressões e temperaturas no processo de manufatura. Isso não ocorre em grande intensidade nas porções mais internas do painel, pois a ação do calor não é tão intensa, devido ao não contato com os pratos quentes da prensa (CARVALHO et al., 2004).

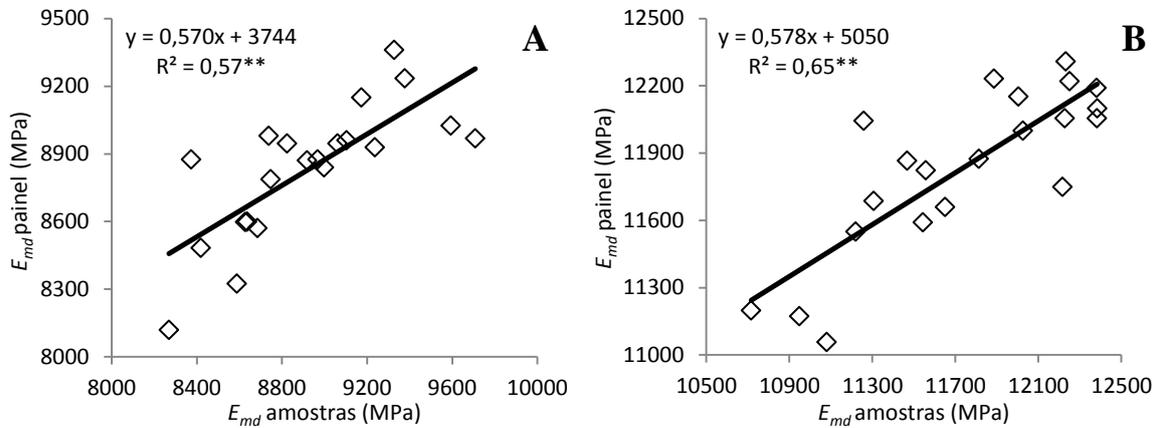
**Tabela 1.** Valores da velocidade de propagação de ondas ( $V_0$ ) e do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ,  $C_{LL}$ ) observados para os LVL de paricá utilizando as diferentes ferramentas de avaliação não destrutiva.

Valores	<i>Stress Wave Flat</i>		<i>Stress Wave Edge</i>		Ultrassom	
	$V_0$ (m/s)	$E_{md}$ (MPa)	$V_0$ (m/s)	$E_{md}$ (MPa)	$V_0$ (m/s)	$E_{md}$ (MPa)
Máximo	4704	10252	4592	10175	5388	13347
Médio	4457	8913	4415	8739	5170	11762
Mínimo	4245	7604	4091	7545	4968	9952
CV(%)	1,92	6,06	2,11	6,74	1,58	5,99
Total*	198	198	198	198	198	198

\*número de amostras utilizadas para obtenção dos valores médios.

Na Figura 5 podem ser observadas as relações entre o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido para os painéis e os valores médios utilizando *Stress Wave* e ultrassom. Verifica-se que o uso do ultrassom proporcionou um melhor ajuste. Apesar das equações geradas serem estatisticamente significativas ao nível de 99% probabilidade, os valores observados para os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram menores que os comumente observados na literatura (0,57 *stress wave* e 0,63 ultrassom), o que indica a variabilidade

ao longo da superfície de cada painel. Gabriel (2007) em análise semelhante observou ajustes superiores a 0,80 tanto para determinações que utilizaram o *stress wave* como para aquelas que utilizaram o ultrassom.



**Figura 5.** Relação entre o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) observado nos painéis e nas amostras utilizando *Stress Wave* (A) e ultrassom (B).

A estimativa dos parâmetros físicos dos LVL de paricá utilizando os diferentes métodos de NDT podem ser observadas na Tabela 2. Embora diversas pesquisas venham demonstrado a eficácia dos NDT na estimativa das propriedades mecânicas de painéis LVL (MATOS, 1997; BORTOLETTO JÚNIOR, 2006; GABRIEL, 2007; ROSS et al., 2004; VALLANCE, 2009), poucos estudos tem sido desenvolvidos visando a utilização destas ferramentas na predição de parâmetros relacionados a estabilidade dimensional destes produtos. No presente estudo, tanto com o uso do *Stress Wave* como o do ultrassom foi possível estimar de forma significativa os percentuais de absorção de água e inchamento em espessura dos LVL.

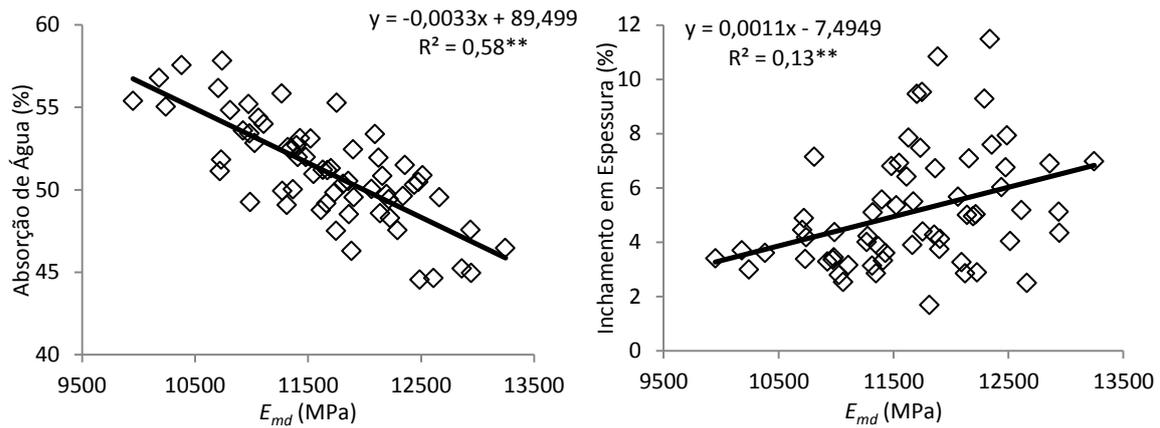
Dentre as variáveis independentes avaliadas o  $E_{md}$  apresentaram maior eficiência para a predição dos percentuais de absorção de água e inchamento em espessura. Com a utilização dos diferentes NDT não foi possível prever de forma significativa o inchamento residual observado para os painéis. Esse resultado pode ser atribuído, por ser este um parâmetro decorrente principalmente da liberação das tensões de compressão (DEL MENEZZI, 2006), tendo uma menor influência da composição física do material (propriedades morfológicas e anatômicas) que é o principal aspecto dignosticado pelos métodos não destrutivos (SHIMOYAMA, 2005).

**Tabela 2.** Modelos ajustados para predição das propriedades físicas dos painéis LVL em função da velocidade de propagação das ondas e do módulo de elasticidade dinâmico.

NDT	y	x	Equação	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}$	F
SWF	AA	$E_{md}$	$y = 73,83 - 0,003x$	0,27	2,70	22,02**
		$V_0$	$y = -9,54 + 0,014x$	0,17	2,86	12,61**
	IE	$E_{md}$	$y = -2,43 + 0,001x$	0,06	2,09	4,04*
		$V_0$	-	-	-	NS
IR	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS	
SWE	AA	$E_{md}$	$y = 70,82 - 0,002x$	0,27	2,68	22,85**
		$V_0$	-	-	-	NS
	IE	$E_{md}$	$y = -3,00 + 0,001x$	0,10	2,05	6,62*
		$V_0$	-	-	-	NS
IR	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS	
US	AA	$E_{md}$	$y = 89,50 - 0,003x$	0,58	2,03	84,86**
		$V_0$	$y = -0,35 + 0,010x$	0,06	3,04	4,12*
	IE	$E_{md}$	$y = -7,50 + 0,001*x$	0,13	2,01	9,38**
		$V_0$	$y = 44,97 - 0,008*x$	0,08	2,07	5,33*
IR	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS	

SWF = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *flatwise*; SWE = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *edgewise*; US = ensaio utilizando ultrassom; y = variável dependente; x = variável independente; AA = absorção de água após 96 horas de imersão, em %; IE = inchamento em espessura após 96 horas de imersão, em %; IR = inchamento residual, em %;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação das ondas, em m/s; NS = não foram observadas correlações significativas ao nível de 95% de probabilidade; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5% erro; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

Ainda na Tabela 2 observa-se que para as ferramentas utilizadas, o ultrassom foi a que possibilitou as melhores estimativas na predição dos percentuais de absorção de água e inchamento em espessura. Na absorção de água, foi observada uma tendência de redução com o aumento do  $E_{md}$ , enquanto, no inchamento em espessura ocorreu o inverso (Figura 6). Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que em madeiras ou compostos de madeiras as variáveis  $E_{md}$  serem diretamente proporcional a sua massa específica (ROSS et al., 1998). Deste modo, conforme observado por Melo e Del Menezzi (2010), uma maior absorção de água observadas para as amostras com menor  $E_{md}$  pode ser atribuída ao maior volume de espaços vazios destas, que possam ser ocupados por água. Por outro lado, para o inchamento em espessura, amostras mais densas têm maior material e assim a contribuição do inchamento higroscópico é maior. Entretanto, Suchsland (1973) destaca que esta relação não é bem definida, e que diferente do que ocorre para a madeira sólida, em que peças mais densas geralmente apresentam inchamento superior, no caso dos compostos de madeira isto não ocorre necessariamente.



**Figura 6.** Estimativa da absorção água (A) e inchamento em espessura (B) em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio do ultrassom.

O ajuste de equações das amostras submetidas à flexão estática na posição *flatwise*, apontou que o  $E_{md}$  pode ser utilizado na predição da resistência e rigidez dos LVL produzidos com paricá independente do tipo de equipamento utilizado, sendo observados para todos os casos, coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{aj.}$ ) superiores a 0,40 (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Xue e Bu (2010) e Almeida (2011) ao avaliarem a utilização de diferentes métodos de avaliação não destrutiva. Já o uso do  $V_0$  não apresentou boas correlações com as propriedades avaliadas.

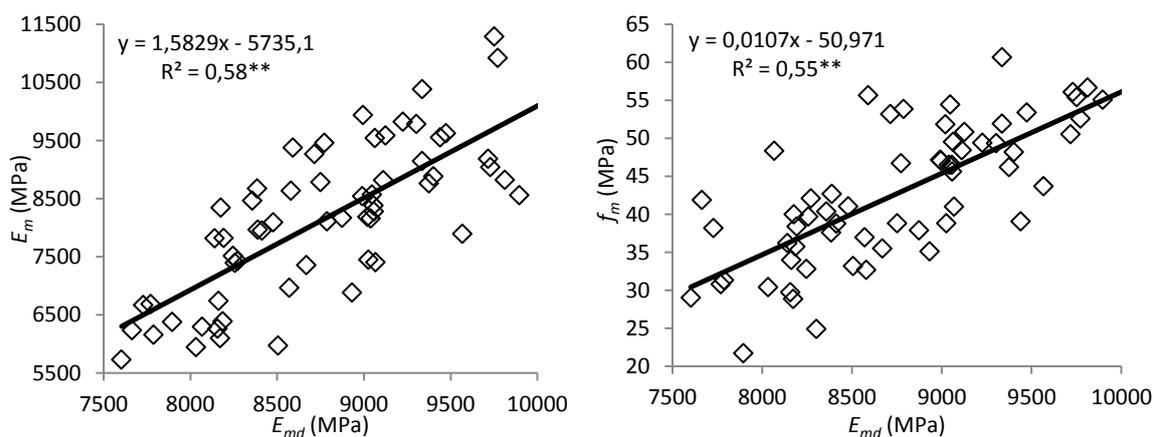
**Tabela 3.** Modelos ajustados para predição resistência e rigidez dos LVL de paricá na posição *flatwise* em função dos diferentes NDT avaliados.

NDT	y	x	Equação	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}$	F
SWF	$E_m$	$E_{md}$	$y = -5.504,60 + 1,47x$	0,41	1.008,69	42,49**
		$V_0$	-	-	-	NS
	$f_m$	$E_{md}$	$y = -46,12 + 0,010x$	0,39	7,07	39,77**
		$V_0$	-	-	-	NS
SWE	$E_m$	$E_{md}$	$y = -5.746,13 + 1,58x$	0,58	854,03	83,99**
		$V_0$	-	-	-	NS
	$f_m$	$E_{md}$	$y = -50,98 + 0,011x$	0,55	6,06	76,40**
		$V_0$	$y = -91,89 + 0,030x$	0,11	8,44	7,46**
US	$E_m$	$E_{md}$	$y = -5.895,46 + 1,19x$	0,48	944,98	57,42**
		$V_0$	-	-	-	NS
	$f_m$	$E_{md}$	$y = -48,72 + 0,008x$	0,45	6,61	50,78**
		$V_0$	-	-	-	NS

SWF = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *flatwise*; SWE = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *edgewise*; US = ensaio utilizando ultrassom; y = variável dependente; x = variável independente;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade em flexão, em MPa;  $f_m$  = módulo de ruptura em flexão, em MPa;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação das ondas, em m/s; NS = não foram observadas correlações significativas ao nível de 95% de probabilidade; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5% erro; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

Na comparação entre os ajustes das equações para o módulo de elasticidade ( $E_{md}$ ) e módulo de ruptura ( $f_m$ ) em flexão estática no sentido *flatwise*, foi observado para  $E_{md}$  os melhores ajustes, independente do tipo do método utilizado. Segundo Stangerlin et al. (2011) esse comportamento se deve ao fato de que a tensão induzida durante os ensaios dinâmicos é pequena, ou seja, as medições dinâmicas são baseadas nas propriedades mecânicas apenas no limite elástico. O módulo de ruptura acontece em maior tensão e depois do limite elástico resultando, conseqüentemente, em predições menos eficazes por meio dos ensaios não-destrutivos. Grabiél (2007), Santos (2008) e Souza (2009) também observaram esse comportamento em painéis LVL produzidos com lâminas de diferentes espécies florestais.

Dentre os métodos empregados, o uso do *stress wave* com propagação de ondas no sentido *edgewise* foi o que proporcionou a definições de modelos com os melhores ajustes, tanto para o  $E_m$  como para  $f_m$  (Figura 7).



**Figura 7.** Estimativa dos módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) na posição *flatwise* em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de *Stress Wave* com propagação das ondas no sentido *edgewise*.

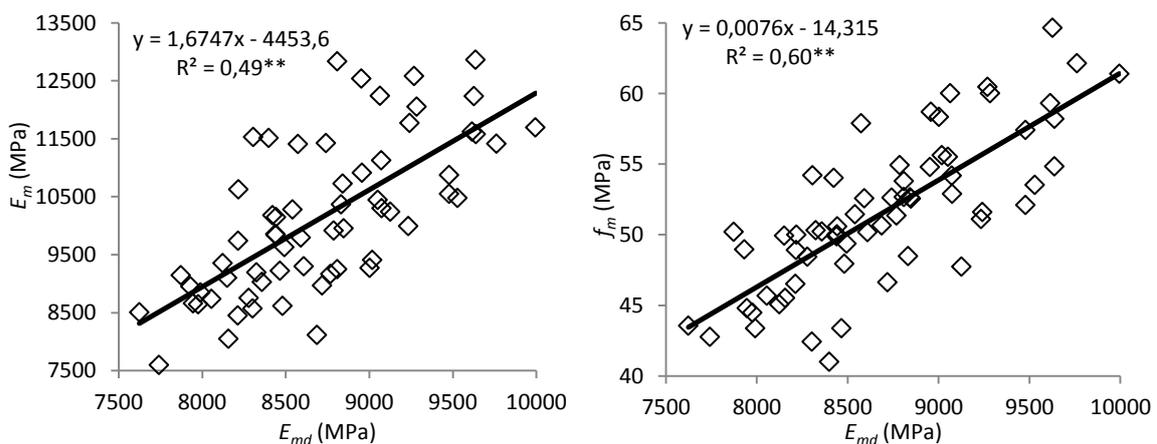
Na Tabela 4 são apresentados ajuste de modelos para estimativa do  $E_m$  e  $f_m$  em flexão estática na posição *edgewise* apresentou para todos os NDT avaliados, um melhor ajuste para o  $f_m$  que os observados para o  $E_m$ , resultado oposto ao observados para os ensaios de flexão na posição *flatwise*. Nos ensaios de flexão, assim como para as amostras submetidas ao esforços na posição *flatwise*, na posição *edgewise* o uso do *Stress Wave* com propagação de ondas no sentido *edgewise* foi o que proporcionou a definições de modelos

com os melhores ajustes, tanto para o  $E_m$  como para  $f_m$  (Figura 8). Também de forma semelhante, o uso da  $V_0$  como variável independente não proporcionou a criação de modelos com ajuste de eficazes para predição dos módulos de elasticidade e ruptura, indicando ser a velocidade de propagação de ondas, isoladamente, inadequada para estimar as propriedades de LVL produzidos com paricá em ensaios de flexão estática. Todavia, alguns autores como Halabe et al. (1997) e Souza et al. (2011) apontam a potencialidade de uso deste parâmetro na predição das propriedades de madeiras ou compostos de madeira.

**Tabela 4.** Modelos ajustados para predição resistência e rigidez dos LVL de paricá na posição *edgewise* em função dos diferentes NDT avaliados.

NDT	y	x	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	F
SWF	$E_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = -4.319,05 + 1,63x$ -	0,40 -	1.035,88 -	39,91** NS
	$f_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = -16,15 + 0,008x$ -	0,53 -	3,73 -	67,89** NS
SWE	$E_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = 4.455,71 + 1,67x$ -	0,49 -	953,07 -	58,21** NS
	$f_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = -14,33 + 0,008x$ $y = -16,14 + 0,015x$	0,60 0,07	3,41 5,23	93,15** 4,34*
US	$E_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = -4.889,22 + 1,28x$ -	0,39 -	1.043,35 -	38,47** NS
	$f_m$	$E_{md}$ $V_0$	$y = -19,56 + 0,006x$ -	0,53 -	3,73 -	67,67** NS

SWF = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *flatwise*; SWE = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *edgewise*; US = ensaio utilizando ultrassom; y = variável dependente; x = variável independente;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade em flexão, em MPa;  $f_m$  = módulo de ruptura em flexão, em MPa;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação das ondas, em m/s; NS = não foram observadas correlações significativas ao nível de 95% de probabilidade; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5% erro; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.



**Figura 8.** Estimativa dos módulos de elasticidade ( $E_m$ ) e ruptura ( $f_m$ ) na posição *edgewise* em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de *Stress Wave* com propagação das ondas no sentido *edgewise*.

Os resultados referentes a resistência a compressão paralela ( $f_{c,0}$ ) e ao cisalhamento paralelo ( $f_{gv,0}$ ) e perpendicular ( $f_{gv,90}$ ) podem ser observados na Tabela 5. O uso do  $E_{md}$  possibilitou a geração de modelos satisfatórios para determinação da resistência a  $f_{c,0}$ . Este resultado está de acordo com outros autores (JUNG, 1982; CHA e PEARSON, 1994; KRESTSCHMANN et al., 1993; KIMMEL e JANOWIAK, 1995) que tem comprovado a eficiência dos métodos não destrutivos para determinação das constantes elásticas para compostos estruturais de madeira.

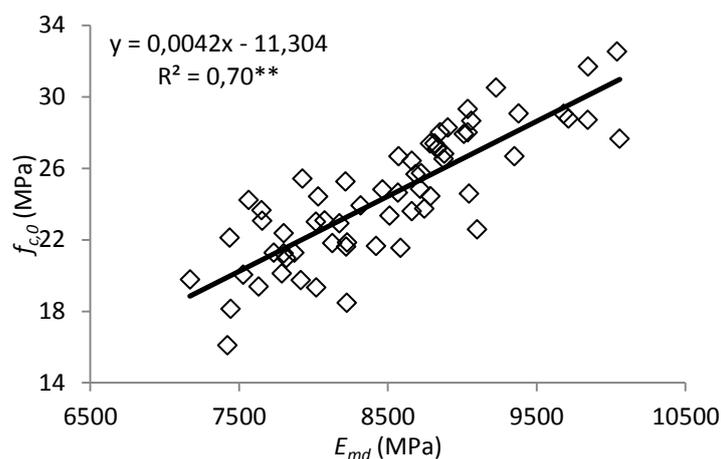
**Tabela 5.** Modelos ajustados para predição resistência a compressão e cisalhamento paralelo ou perpendicular dos LVL de paricá em função dos diferentes NDT avaliados.

NDT	y	x	Equação	$R^2_{ai}$	$S_{yx}$	F
SWF	$f_{c,0}$	$E_{md}$	$y = -11,80 - 0,004x$	0,57	2,37	79,66**
		$V_0$	-	-	-	NS
	$f_{gv,0}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS
	$f_{gv,90}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS
SWE	$f_{c,0}$	$E_{md}$	$y = -11,30 - 0,004x$	0,70	1,96	140,37**
		$V_0$	$y = -36,58 + 0,014x$	0,11	3,26	7,52**
	$f_{gv,0}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS
	$F_{gv,90}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS
US	$f_{c,0}$	$E_{md}$	$y = -7,88 - 0,003x$	0,36	2,85	34,20**
		$V_0$	-	-	-	NS
	$f_{gv,0}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS
	$f_{gv,90}$	$E_{md}, V_0$	-	-	-	NS

SWF = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *flatwise*; SWE = ensaio utilizando *Stress Wave* na posição *edgewise*; US = ensaio utilizando ultrassom; y = variável dependente; x = variável independente;  $f_{c,0}$  = resistência a compressão, em MPa;  $f_{gv,0}$  = resistência ao cisalhamento paralelo a linha de cola, em MPa;  $f_{gv,90}$  = resistência ao cisalhamento perpendicular, em MPa;  $E_{md}$  = módulo de elasticidade dinâmico, em MPa;  $V_0$  = velocidade de propagação das ondas, em m/s; NS = não foram observadas correlações significativas ao nível de 95% de probabilidade; \*\* e \* = significativo ao nível de 1 e 5% erro; números em *itálico*, abaixo do valor de cada correlação, representam sua probabilidade.

O ajuste de equação para estimar a resistência ao  $f_{gv,0}$  e  $f_{gv,90}$  não foi possível para a probabilidade mínima pré-estabelecida (95%). Isso pode ser explicada pela variabilidade das amostras, já que foi pequena a dimensão das amostras ensaiadas destrutivamente frente as que foram utilizadas nos ensaios NDT. Especificamente no caso do  $f_{gv,0}$  outro aspecto que pode ter contribuído para esse resultado é o fato de ser o adesivo o principal componente que fornece a resistência nesse tipo de ensaio. Neste sentido, para os fatores observados pelo NDT ( $E_{md}$  e  $V_0$ ) não é possível estimar características relacionadas a qualidade da ligação e, conseqüentemente, com o emprego destes parâmetros não foi gerar equações para predição da resistência neste tipo de ensaio (UYSAL, 2005).

Para o ensaio de  $f_{c,0}$  o  $E_{md}$  obtido pelo método de ondas de tensão com propagação no sentido *edgewise* foi o que obteve o maior  $R^2_{aj.}$  (0,70) (Figura 9). Nogueira e Ballarin (2008) ao estudarem a qualificação mecânica da madeira de *Eucalyprus* sp. por diferentes métodos não destrutivos (ondas de tensão, ultrassom vibração transversal), evidenciaram que as melhores estimativas foram obtidas quando utilizado ondas de tensão.



**Figura 9.** Estimativa da resistência a compressão paralela as fibras ( $f_{c,0}$ ) em função do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) obtido por meio de *Stress Wave* com propagação das no sentido *edgewise*.

No geral, o uso da  $V_0$  como variável independente não possibilitou o ajuste de modelos estatisticamente significativos para estimar as propriedades dos LVL produzidos com paricá. Embora o aumento da  $V_0$  sofra influência direta da massa específica da madeira ou compostos de madeira (OLIVEIRA e SALES,2000) e esta por sua vez esteja intimamente relacionada com a resistência destes materiais, diversos autores indicam que a velocidade de propagação das ondas é muito mais afetada pela estrutura anatômica da espécie do que por sua densidade (TEREZO, 2004; SHIMOYAMA, 2005). Este aspecto faz com que, por exemplo, madeira de coníferas que são normalmente menos densas, apresentam, em geral, velocidade maiores do que as dicotiledôneas. Isto ocorre porque as coníferas, em sua maioria, apresentam estrutura mais homogênea e um maior comprimento dos fibrotraqueóides, o que por sua vez possibilitam uma maior velocidade na propagação de ondas (BUCUR, 2006).

## 4. CONCLUSÕES

Os métodos de avaliação não destrutiva utilizando *Stress Wave* ou ultrassom podem ser utilizados na predição das propriedades dos painéis LVL produzidos com paricá. Entretanto, exceções foram observadas para o inchamento residual e a resistência a esforços de cisalhamento paralelo ou perpendicular, onde o uso das ferramentas NDT não possibilitaram ajustes de modelos significativos. Para ambas as ferramentas utilizadas o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{md}$ ) foi o parâmetro que melhor adequou-se para estimar as propriedades dos painéis. Já a velocidade de propagação das ondas ( $V_0$ ), na maioria dos casos, não permitiu o ajuste de modelos estatisticamente significativos. O uso do ultrassom possibilitou uma melhor estimativa das propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura. Quanto às propriedades mecânicas, o uso do *Stress Wave* com as amostras ensaiadas não destrutivamente na posição *edgewise* proporcionou os modelos com os melhores ajustes.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.F.A.M. **Uso de avaliação não destrutiva em vigotas de angelim vermelho**. 2011. 43f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037**. Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999. 30p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5456**. Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. Philadelphia, 2006. 14p.

BODIG, J. The process of NDE research for wood and wood composites. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v.26, n.3, 2001.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 736p.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii***. 110f. 2006. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. 2ª ed. Basileia: Birkhäuser. 2006. 393p.

CARVALHO, A.M.; LAHR, F.A.R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Use of Brazilian eucalyptus to produce LVL panels. **Forest Products Journal**, v.54, n.11, p.61-64, 2004.

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

DEL MENEZZI, C.H.S. **Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, conseqüências e prevenção**. Brasília-DF: UnB, 2006. 37p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.8, n.2).

ERIKSON, R.G.; GORMAN, T.M.; GREEN, D.W.; GRAHAM, D. Mechanical grading of lumber sawn from small-diameter lodge pole pine, ponderosa pine and grand fir trees from northern Idaho. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.59-65. 2000.

GABRIEL, M.S.C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de pinus tropicais da região de São Paulo**. Botucatu 2007. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, 2007.

HALABE, U.B.; BIDIGALU, G.M.; GANGARAO, H.V.S.; ROSS, R.J. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. **Materials Evaluation**, v.55, n.9, p.1013-1018, 1997.

HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood based panels: effect of moisture, product type, and material direction. **Forest Products Journal**, v.56, n.1, p. 28-33, 2006.

JUNG, J. Properties of parallel laminated veneer from stress-wave-tested veneers. **Forest Products Journal**, v.32, n.7, p.30-35, 1982.

KIMMEL, J.D.; JANOWIAK, J.J. Red maple and yellow-poplar LVL from ultrasonically rated veneer. **Forest Products Journal**, v.45, n.7/8, p54-58, 1995.

KRETSCHMANN, D.E.; MOODY, R.C.; PELLERIN, R.F.; BENDTSEN, B.A.; CAHILL, J.M.; MCALISTER, R.H. ; SHARP, D.W. **Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber**. Madison: USDA. Forest Service, p1-31, 1993. (Research Paper, FPL-521)

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

MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v.18, n.1, p.59-73, 2010.

MORALES, E.A.M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB**. 2006. 94f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

NOGUEIRA, M.; BALLARIN, A.W. Efeito da idade na qualificação mecânica da madeira serrada de Eucalyptus sp. com uso de ensaios não-destrutivos. **Revista Energia na Agricultura**, v.23, n.3, p.74-94, 2008.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood. **Materials Research**, v. 5, n. 1, p. 51-55. 2002.

PELLERIN, R.F.; ROSS, J.R. **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: FPS. 2002, 210p.

ROSS, R.J.; ERICKSON, J.R.; BRASHAW, B.K.; WANG, X.; VERHEY, S.A.; FORSMAN, J.W.; PILON, C.L. Yield and ultrasonic modulus of elasticity of red maple veneer. **Forest Products Journal**, v.54, n.12, p.220-225, 2004.

SANTOS, A.M.L. **Avaliação teórica e experimental de vigas em “I” pré-fabricadas de madeira com flange de painéis de lâminas paralelas (LVL) e alma de painéis de partículas orientadas (OSB) e compensado**. 2008, 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de Pinus taeda através do método não-destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando à geração de produtos de alto valor agregado**. 2005. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) confeccionados com madeira de Pinus oocarpa e Pinus kesiya**. 2009. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SOUZA, F.; DEL MENEZZI, C.H.S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Material properties and nondestructive evaluation of laminated veneer lumber (LVL) made from Pinus oocarpa and P. kesiya**. *European Journal of Wood and Wood Products*, v.69, 183-192, 2011.

SOUZA, F.; DEL MENEZZI, C.H.S.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; SANTOS, A.M.L. Influência da espécie e do eixo estrutural na velocidade de propagação de ondas de tensão em painéis de lâminas paralelas (LVL). **In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**, 5, Brasília. Anais... Brasília, v.1, p.409-419, 2008.

STANGERLIN, D.M.; CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; VIVIAN, M.A.; MODES, K.S. Propagação indireta e semidireta de ondas ultrassônicas na estimativa de propriedades mecânicas da madeira. **Ciência da Madeira**, v.02, n.02, p.85-95, 2011.

SUCHSLAND, O. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. **Forest Products Journal**, v.23, n.7, p.26-30, 1973.

TEREZO, R.F. **Propriedades mecânicas de madeiras utilizadas em estruturas históricas e contemporâneas estimadas por meio de ultra-som**. 2004. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UYSAL, B. Bonding strength and dimensional stability of laminated veneer lumbers manufactured by using different adhesives after the steam test. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v.25, n.5, p.395-403, 2005.

VALLANCE, D.B. **Non-destructive evaluation of veneer using optical scanning and ultrasonic stress wave analysis systems**. 2009, 279f. Tese (Doutorado em Wood Science) – Oregon State University, Corvallis, 2009.

XUE, B.; HU, Y. Nondestructive testing of mechanical properties of pine laminated veneer lumber. **Advanced Materials Research**, v.150/151, n.10, p.1435-1428, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

### CONCLUSÕES GERAIS

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) apresentou um rendimento em laminação elevado o qual pode ser estimado por meio das variáveis dendrométricas das toras. As lâminas produzidas por esta espécie apresentaram uma coloração clara, baixa massa específica e baixa estabilidade dimensional.

Quanto aos LVL produzidos, o uso de lâminas de menor espessura proporcionou aos painéis mais resistentes à flexão (*flatwise*) e ao cisalhamento perpendicular, em contrapartida, pela maior quantidade de adesivo utilizado esses painéis se apresentaram como menos eficientes. Dentre os adesivos utilizados, o fenol-formaldeído apresentou o melhor desempenho para a maioria dos ensaios. A pré-classificação de lâminas, com uso das lâminas de maior resistência nas capas e contracapas, proporcionaram maiores resistência e rigidez dos painéis submetidos a esforços de flexão estática. O uso dos métodos não destrutivos pode ser utilizado para estimar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

No geral, a espécie apresenta potencial para produção de painéis estruturais do tipo LVL sendo a qualidade destes influenciada pelas diferentes variáveis tecnológicas envolvidas em seu processo de manufatura. Dentre estas, a qualidade das lâminas, o método de montagem, o tipo de adesivo utilizado e a interação desses fatores, refletem diretamente sobre as propriedades físicas e mecânicas destes painéis.

## RECOMENDAÇÕES

Visando o aprofundamento do tema, recomenda-se avaliar adicionalmente os seguintes parâmetros:

- Produzir e analisar painéis LVL de paricá em peças com dimensões estruturais e ensaiá-las em condições similares as que estariam sujeitas em ambientes normais de uso;
- Avaliar a viabilidade econômica da produção e uso de painéis LVL no Brasil e sua competitividade com as peças estruturais atualmente empregadas;
- Comparar a viabilidade técnica e econômica da produção de painéis LVL de paricá com os produzidos por espécies tradicionalmente utilizadas para este fim, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*;
- Avaliar as características das lâminas obtidas de árvores de paricá de diferentes idades, incluindo lâminas de indivíduos com idade superior as utilizadas no presente estudo (superior a sete anos);