

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

**ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE
Eucalyptus benthamii Maiden et Cabbage PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE
(PCL)**

SABRINA ANDRADE MARTINS

ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 157/2011

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO – 2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* Maiden
et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE
(PCL)**

SABRINA ANDRADE MARTINS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Orientador)

Profa. Dra. Graciela Inês Bolzon de Muñiz (Universidade Federal do Paraná, UFPR);
(Examinadora externa)

PhD. Divino Eterno Teixeira (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente);
(Examinador externo)

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador suplente)

Brasília, 23 de fevereiro de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, SABRINA ANDRADE

Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL) [Distrito Federal] 2011.

xviii, 96 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, Ciências Florestais, 2011). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal.

1. *Eucalyptus benthamii*

2. *Edge glued panel* (EGP)

3. Colagem

4. Acabamento

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARTINS, S. A. (2011). **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação: PPGEFL.DM – 157/2011, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Sabrina Andrade Martins

TÍTULO: Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL).

GRAU: Mestre

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser produzida sem autorização por escrito do autor.

Sabrina Andrade Martins
SQN 209 Bloco C apartamento 115,
70854-030 Brasília – DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me deu forças para alcançar esse objetivo.

Aos meus pais, Celso e Marita, que me ensinaram os verdadeiros valores da vida e sempre me incentivaram em todas as suas fases.

As minhas queridas irmãs, Elaine, pelo incentivo, apoio e carinho, e Patrícia pelo estímulo e valiosos comentários.

De forma especial ao meu marido, Gustavo, co-responsável pelo meu crescimento intelectual e profissional, pela compreensão e carinho.

Ao Dr. Cláudio Del Menezzi, mestre e orientador, pela atenção dedicada, e pelos ensinamentos que proporcionou.

Aos meus sogros, José e Inês, pelo carinho e constante estímulo, e ao José Henrique pelo apoio na impressão do trabalho.

A Klabin S.A. unidade de Otacílio Costa, em especial ao Romullo, pela concessão do material utilizado no trabalho.

A Franklin International, em especial ao Clênio Tortelli, e a National, em especial à Merielen Lopes, pelo fornecimento dos adesivos utilizados neste estudo.

Ao Laboratório de Produtos Florestais pela infraestrutura necessária para a realização dos ensaios, especialmente ao Ricardo, João e Fernando, pela colaboração e por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos pesquisadores do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, especialmente Dr. Divino Eterno Teixeira e Dr. Mário Rabelo de Souza, pelo auxílio no desenvolvimento dos ensaios.

A Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento – FUNTEC, pela compra das fresas utilizadas nesse estudo.

A amiga Joana Ferraz, pela dedicação e ajuda na execução de todas as etapas deste trabalho, pela companhia nas longas horas em laboratório, obrigada pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

A amiga Cristiane Santos, obrigada pelo auxílio, apoio e amizade.

A Polícia Federal em especial na pessoa do Marcelo Garcia, pela disposição e auxílio no uso de equipamentos.

Ao professor Dr. Ildeu Martins, pelo apoio e disposição em atender e esclarecer dúvidas durante todo o período de mestrado.

As amigas Juliana de Oliveira e Martha Brand por estarem sempre dispostas a ajudar.

Ao colega, Alexsandro Cunha, pelo fornecimento de informações importantes na execução deste trabalho.

Aos professores membros da banca por estarem presentes nesta etapa.

A UnB como instituição de ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a conquista desta etapa tão importante da minha vida, muito obrigada!

RESUMO

ADEQUAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (PCL)

Autor: Sabrina Andrade Martins

Orientador: Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, fevereiro de 2011.

A espécie *E. benthamii* vem se destacando pela produtividade florestal, mas sobretudo pela adaptabilidade ao clima da região Sul do Brasil. Com isso, vem provocando uma grande expectativa, de modo que plantios da espécie estão sendo inseridos na região. Nesse contexto a pesquisa tecnológica da espécie se mostra de grande importância, contribuindo para o desenvolvimento do setor florestal e industrial. Assim, o objetivo principal do trabalho foi avaliar o desempenho da madeira de *E. benthamii* para a produção de painéis colados lateralmente, através da avaliação da resistência de colagem e aderência de acabamentos. Peças de madeira, com superfícies preparadas com plaina e lixa grão 60, foram coladas empregando-se os adesivos à base de PVAc e PUR, sob pressões de 0,7 MPa e 1,0 MPa. Para a colagem longitudinal (*finger joint*) foram empregados os mesmos adesivos a uma pressão de 1,5 MPa. A resistência de colagem foi determinada através do ensaio de cisalhamento para a colagem lateral, e do ensaio de flexão estática para a colagem longitudinal. Para o teste de acabamento, peças preparadas com 3 sequências de lixas diferentes (150-220-280, 120-180-220, 100-150-180), foram pintadas com verniz poliuretano, e submetidas ao teste de aderência do filme de acabamento. A resistência ao cisalhamento obtida pelo adesivo PVAc foi independente da pressão e da preparação da superfície empregada, enquanto para o adesivo PUR a resistência foi influenciada pelas pressões e usinagens empregadas no estudo. Todos os tratamentos atingiram os valores mínimos exigidos pela norma, no entanto, a maior resistência de colagem foi encontrada nas amostras coladas com adesivo PUR, com pressão de 1,0 MPa e superfície lixada. O maior módulo de ruptura (f_M) no teste de flexão foi obtido em amostras coladas com o adesivo PVAc, enquanto, o módulo de elasticidade (E_M) foi independente do tipo de adesivo. Ambos os tratamentos atingiram os valores mínimos exigidos pela norma. A aderência do verniz à base de poliuretano apresentou um ótimo desempenho, independentemente da sequência de lixas empregadas. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a madeira de *E. benthamii* é adequada para a produção de painel colado lateralmente, quanto às suas propriedades tecnológicas estudadas no presente trabalho.

ABSTRACT

TECHNOLOGICAL SUITABILITY OF *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage WOOD FOR EDGE GLUED PANELS (EGP) PRODUCTION

Eucalyptus benthamii has been planted since it presents high forest productivity and also good adaptability to the cold climate conditions of the Southern Brazil. Therefore, it has been caused great expectation since plantations have been introduced in the region. In this context, the technological research of the species acquires great importance, thus contributing to the development of forestal and industrial sectors. The main purpose of this study was to evaluate the *E. benthamii* wood performance for edge glued panel (EGP) production, through the assessment of bonding strength and coating adhesion. Wood pieces, whose surfaces were planed and sanded with 60-grit, were bonded with PVAc and PUR based adhesives, under 0.7 MPa and 1.0 MPa of assembly pressure. These adhesives were also employed for finger jointing bending testing, but 1.5 MPa assembly pressure was applied. The bonding strength was determined through shear test for edge gluing, and through the bending test for finger jointing. For the coating test, pieces were processed according to three sanding programs (150-220-280, 120-180-220, 100-150-180). Afterwards, they were coated with polyurethane varnish, and submitted to coating adhesion test. The gluing shear strength obtained with the PVAc adhesive was not affected by the pressure or machining applied, whilst with the PUR adhesive it was affected by both. All treatments met the minimum values required by the standard. However, the highest bonding strength was obtained in the samples glued with PUR adhesive, 1.0 MPa assembly pressure and sanded surface. The highest modulus of rupture was achieved in the samples glued with PVAc, while the modulus of elasticity was not affected by the adhesive. Both treatments met the minimum requirements of the standard. Adherence of polyurethane based varnish presented excellent performance, regardless of sanding program applied. Considering these results, it can be concluded that *E. benthamii* wood is suitable for EGP production.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES	xvii
1 – INTRODUÇÃO GERAL	1
2 – OBJETIVO GERAL.....	3
2.1 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 – REVISÃO GERAL DE LITERATURA	3
3.1 – <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage	3
3.2 – PAINEL COLADO LATERALMENTE (PCL)	6
4 – METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO.....	7
4.1 – LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANTIO.....	7
4.2 – AMOSTRAGEM E DESDOBRO DAS TORAS.....	8
CAPÍTULO 1	10
AVALIAÇÃO DA COLAGEM DE <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE	10
1 – INTRODUÇÃO.....	10
2 – OBJETIVO	11
3 – REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 – ADESIVOS	11
3.2 – COLAGEM DE MADEIRAS	15
3.2.1 – Fatores que influenciam na colagem de madeiras	15
3.2.1.1 – Características físico-químicas do adesivo.....	15
3.2.1.2 – Composição e características da madeira	16
3.2.2 – Parâmetros de controle no processo de colagem.....	17
3.2.2.1 – Gramatura	17
3.2.2.2 – Pressão de prensagem.....	19
3.2.2.3 – Superfície de colagem	21
3.2.3 – Emendas dentadas	25
4 – METODOLOGIA.....	28
4.1 – TESTES DE RESISTÊNCIA DE COLAGEM.....	28
4.1.1 – Colagem lateral.....	28

4.1.1.1 – Preparação das peças	28
4.1.1.2 – Medição da rugosidade da superfície colada.....	30
4.1.1.3 – Análise de imagem	31
4.1.1.4 – Colagem das peças.....	32
4.1.1.5 – Análise de imagem	34
4.1.1.6 – Ensaio de resistência ao cisalhamento.....	34
4.1.2 – Colagem longitudinal (<i>finger joint</i>).....	35
4.1.2.1 – Preparação das peças	35
4.1.2.2 – Colagem das peças.....	37
4.1.2.3 – Ensaio de resistência à flexão estática.....	38
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1 – COLAGEM LATERAL	41
5.1.1 – Características físicas	41
5.1.2 – Rugosidade	43
5.1.3 – Análise de imagem	45
5.1.3.1 – Imagens das superfícies de colagem.....	45
5.1.3.2 – Imagens da linha de cola das peças coladas	47
5.1.4 – Resistência ao cisalhamento	48
5.1.4.1 – Análise geral	48
5.1.4.2 – Análise fatorial	51
5.1.5 – Porcentagem de falha na madeira.....	57
5.2 – COLAGEM LONGITUDINAL (<i>FINGER JOINT</i>)	60
5.2.1 – Características físicas	60
5.2.2 – Teste de flexão estática.....	60
6 – CONCLUSÕES.....	65
CAPÍTULO 2.....	66
AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DE ACABAMENTOS NA MADEIRA DE <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE.....	66
1 – INTRODUÇÃO.....	66
2 – OBJETIVO	67
3 – REVISÃO DE LITERATURA	67
3.1 – PROCESSO DE LIXAMENTO.....	67
3.2 – PRODUTOS DE ACABAMENTO	70

4 – METODOLOGIA.....	72
4.1 – PREPARAÇÃO DAS PEÇAS	72
4.2 – MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE LIXADA	73
4.3 – APLICAÇÃO DO ACABAMENTO	73
4.4 – ENSAIO DE ADERÊNCIA DO FILME	74
4.5 – ANÁLISE DOS DADOS	75
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.1 – RUGOSIDADE	76
5.2 – ENSAIO DE ADERÊNCIA DO FILME	78
6 – CONCLUSÃO.....	81
CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊNDICES	91
A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA AS PROPRIEDADES AVALIADAS DE ACORDO COM O TRATAMENTO.....	92
B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES AVALIADAS DE ACORDO COM O TRATAMENTO.....	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 3.1 – Exigências quanto às colagens dentro dos grupos D1 – D4 (EN 204, 2001)	12
Tabela 3.2 – Resumo das variáveis utilizadas e resultados encontrados nos trabalhos	18
Tabela 3.3 – Pressões sugeridas para diferentes densidades de madeira	19
Tabela 3.4 – Comparações entre as médias das resistências das juntas coladas com madeira de pinus e eucalipto (NASCIMENTO et al., 2002)	19
Tabela 4.1 – Propriedades físicas dos adesivos (PURBON, 2007; FRANKLIN INTERNATIONAL, 2004) e condições de prensagem	32
Tabela 4.2 – Identificação dos tratamentos, adesivos, e valores de gramatura e pressão empregados	33
Tabela 4.3 – Tratamento para o teste de colagem de topo	39
Tabela 5.1 – Densidade aparente dos sarrafos submetidos à colagem	42
Tabela 5.2 – Densidade básica de <i>E. benthamii</i> segundo alguns autores	42
Tabela 5.3 – Densidade básica de <i>E. grandis</i> segundo alguns autores	43
Tabela 5.4 – Valores dos parâmetros encontrados no teste de rugosidade	44
Tabela 5.5 – Resumo do resultado da análise de variância para as variáveis estimadas	51
Tabela 5.6 – Valores médios de resistência ao cisalhamento segundo algumas literaturas para o gênero <i>Eucalyptus</i> com adesivo PVAc	52
Tabela 5.7 – Valores médios de porcentagem de falha na madeira, segundo algumas literaturas para o gênero <i>Eucalyptus</i> com adesivo PVAc	58
Tabela 5.8 – Média da densidade aparente dos tratamentos testados	60
Tabela 5.9 – Valores médios de módulo de elasticidade (E_M), segundo algumas literaturas no teste de flexão	64

CAPÍTULO 2

Tabela 4.1 –	Tipos de tratamento para o teste de acabamento	72
Tabela 4.2 –	Gradação da área ensaiada (NBR 14535, 2000)	75
Tabela 5.1 –	Valores dos parâmetros encontrados no teste de rugosidade	77

APÊNDICES

Tabela A.1 –	Estatística descritiva da densidade aparente (ρ_{12}) dos sarrafos submetidos à colagem lateral	92
Tabela A.2 –	Estatística descritiva dos parâmetros de rugosidade das superfícies lixadas e aplainadas submetidas à colagem lateral..	92
Tabela A.3 –	Estatística descritiva do ensaio de cisalhamento	92
Tabela A.4 –	Falha na madeira	92
Tabela A.5 –	Estatística descritiva da densidade aparente (ρ_{12}) dos CPs submetidos ao ensaio de flexão estática	93
Tabela A.6 –	Estatística descritiva do módulo de ruptura (f_M) obtidos no ensaio de flexão estática	93
Tabela A.7 –	Estatística descritiva do módulo de elasticidade (E_M) obtido no ensaio de flexão estática	93
Tabela A.8 –	Estatística descritiva dos parâmetros de rugosidade dos tratamentos submetidos ao ensaio de aderência	93
Tabela A.9 –	Gradações segundo os avaliadores para cada tratamento	93
Tabela B.1 –	Análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente dos sarrafos submetidos à colagem lateral	94
Tabela B.2 –	Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de rugosidade das superfícies aplainadas e lixadas	94
Tabela B.3 –	Análise de variância (ANOVA) para a tensão de ruptura dos tratamentos	95
Tabela B.4 –	Análise de variância (ANOVA) do efeito do adesivo, da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos tratamentos ...	95
Tabela B.5 –	Análise de variância (ANOVA) do efeito da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos CPs colados com adesivo PVAc	95

Tabela B.6 –	Análise de variância (ANOVA) do efeito da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos CPs colados com adesivo PUR	95
Tabela B.7 –	Análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente (ρ_{12}) dos tratamentos submetidos ao ensaio de flexão	96
Tabela B.8 –	Análise de variância (ANOVA) para as propriedades mecânicas dos tratamentos submetidos ao ensaio de flexão	96
Tabela B.9 –	Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de rugosidade dos tratamentos submetidos ao ensaio de aderência	96

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO GERAL DE LITERATURA

Figura 3.1 – Mapa de distribuição natural de <i>Eucalyptus benthamii</i> na Austrália (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005).....	4
Figura 4.1 – Localização da cidade de Otacílio Costa (ABREU, 2006)	8
Figura 4.2 – Desdobro tangencial com serra fita simples (A), serra circular múltipla (B), serra fita horizontal (C) e refiladeira dupla (D).....	9

CAPÍTULO 1

Figura 3.1 – Efeito da pressão na resistência à tração da madeira de <i>Picea mariana</i> com emendas <i>finger joint</i> (BUSTOS et al., 2003).....	21
Figura 3.2 – Variação na resistência ao cisalhamento da colagem em função da rugosidade da superfície (HERNÁNDEZ; MOURA, 2002).....	22
Figura 3.3 – Imagem da superfície lixada (a) e imagem da superfície aplainada (b) (HERNÁNDEZ; COOL, 2008b).....	23
Figura 3.4 – Emendas dentadas (<i>finger joint</i>) (SERRANO, 2009).....	25
Figura 3.5 – Parâmetros geométricos das emendas dentadas (SERRANO, 2009).....	27
Figura 4.1 – Sistema utilizado para lixamento das peças (a) e plaina utilizada para aplainar as peças (b).....	30
Figura 4.2 – Equipamento utilizado para medir a rugosidade da superfície - Surfrest SJ – 301.....	30
Figura 4.3 – Aplicação do adesivo PVAc (a) e do adesivo PUR (b).....	33
Figura 4.4 – Prensagem das peças coladas de madeira	33
Figura 4.5 – CP segundo a norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado)	34
Figura 4.6 – Ensaio de cisalhamento das peças coladas	34
Figura 4.7 – Geometria dos dentes	36
Figura 4.8 – Conjunto de fresas (a) e processo de corte dos dentes da união dentada (b)	36

Figura 4.9 – Lote de peças produzidas (a) e detalhe dos conjuntos macho e fêmea (b)	37
Figura 4.10 – Processo utilizado para aplicar o adesivo PVAc (a) e para o adesivo PUR (b)	37
Figura 4.11 – Prensa hidráulica utilizada (a) detalhe da peça sendo prensada (a) .	38
Figura 4.12 – CP segundo ASTM D5572 – 95 (ASTM D5572, 1995)	39
Figura 4.13 – Ensaio de flexão em máquina de ensaio	40
Figura 5.1 – Perfil típico da superfície aplainada (a) e lixada (b) de <i>E. benthamii</i>	43
Figura 5.2 – Imagens das superfícies lixadas de <i>E. benthamii</i> (50x)	46
Figura 5.3 – Imagens das superfícies aplainadas de <i>E. benthamii</i> (50x)	46
Figura 5.4 – Superfície de <i>Acer saccharum</i> aplainada (a) e lixada (b) (MOURA; HERNÁNDEZ, 2005)	47
Figura 5.5 – Linha de cola apresentada pelas peças lixadas (a) e linha de cola apresentada pelas peças aplainadas (b)	48
Figura 5.6 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) para os diferentes tratamentos e o valor exigido pela norma ASTM D5751	49
Figura 5.7 – Valores de resistência ao cisalhamento 9 (MPa) obtidos em cada CP e o valor exigido pela norma ASTM D5751	50
Figura 5.8 – Valores médios de acordo com o adesivo, a pressão e a superfície..	51
Figura 5.9 – Comportamento dos adesivos nas diferentes superfícies	53
Figura 5.10 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) em cada variável analisada para o adesivo PVAc	54
Figura 5.11 – Comportamento geral ocorrido com a resistência de colagem para o adesivo PVAc	55
Figura 5.12 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) em cada variável analisada para o adesivo PUR	56
Figura 5.13 – Comportamento geral ocorrido com a resistência de colagem para o adesivo PUR	56
Figura 5.14 – Percentual de falha na madeira em cada tratamento	58
Figura 5.15 – Valores de porcentagem de falha na madeira obtidos em cada CP e o valor exigido pela norma ASTM D5751	59
Figura 5.16 – Valores de módulo de ruptura para os tratamentos PUR e PVAc	60

Figura 5.17 – Gráfico gerado pela máquina universal de ensaios no teste de flexão estática de um CP colado com adesivo PVAc	62
Figura 5.18 – Gráfico gerado pela máquina universal de ensaios no teste de flexão estática de um CP colado com adesivo PUR	62
Figura 5.19 – Valores de módulo de ruptura obtidos em cada CP no tratamento PUR e o valor exigido pela norma ASTM D5572	63
Figura 5.20 – Valores de módulo de ruptura obtidos em cada CP no tratamento PVAc e o valor exigido pela norma ASTM D5572	63
Figura 5.21 – Valores de módulo de elasticidade para os tratamentos PUR e PVAc	64

CAPÍTULO 2

Figura 4.1 – Lixamento das peças	73
Figura 4.2 – Aplicação dos produtos de acabamento (a) e secagem final das peças (b)	74
Figura 4.3 – Material utilizado no teste de aderência do filme (a) e detalhe da área ensaiada (b)	75
Figura 5.1 – Perfil típico da superfície obtido no tratamento T1 (a), no tratamento T2 (b) e no tratamento T3 (c)	76
Figura 5.2 – Resultados médios do teste de aderência para os tratamentos T1, T2 e T3	78
Figura 5.3 – Frequência de graduações para os tratamentos T1, T2 e T3	79

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

A_c	- área a ser colada
A_t	- área total dos pistões
b	- largura do CP
cm^2	- centímetros quadrados
cm^3	- centímetros cúbicos
cPs	- centipoise
CP	- corpo-de-prova
CV	- coeficiente de variação
CV_{Ui}	- valor da contração volumétrica da madeira saturada
DAP	- diâmetro à altura do peito
D_b	- densidade básica
EGP	- <i>edge glued panel</i>
E_M	- módulo de elasticidade
$f_{gv,0}$	- resistência ao cisalhamento a 12% de umidade
f_M	- módulo de ruptura
$f_{U\%}$	- resistência ao cisalhamento obtida no ensaio
g	- gramas
h	- altura do CP
IMA	- incremento médio anual
kgf	- quilograma força
L	- comprimento do vão
m	- metros
m_{12}	- massa da madeira a 12% de umidade
MDF	- painel de fibras de média densidade, <i>medium density fiberboard</i>
m_i	- massa inicial da madeira
MLC	- madeira laminada colada
mm	- milímetros
MPa	- megapascal
m_s	- massa da madeira seca
N	- newton
OSB	- painel de partículas orientadas, <i>oriented strandboard</i>
PCL	- painel colado lateralmente

P_e	- pressão específica
P_{LP}	- carga no limite proporcional
P_m	- pressão manométrica lida na prensa
PMVA	- produtos de maior valor agregado
P_{rup}	- carga de ruptura
PUR	- poliuretano
PVA	- poliacetato de vinila
PVAc	- poliacetato de vinila “crosslinking”
R_a	- média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil
rpm	- rotações por minuto
R_t	- soma da altura do pico máximo e a profundidade do vale máximo
R_z	- soma da altura média dos cinco picos mais altos e a profundidade dos cinco vales mais profundos
U	- teor de umidade
U%	- porcentagem de umidade
U_i	- teor de umidade da densidade aparente
V_{12}	- volume da madeira a 12% de umidade
VAM	- acetato de vinila
Y_i	- desvios do perfil
Y_p	- pico mais alto
Y_{pi}	- picos mais altos
Y_v	- vale mais profundo
Y_{vi}	- vales mais profundos
ρ_{12}	- densidade aparente a 12% de umidade
μm	- micrômetro
Δ	- deformação no limite proporcional

1 – INTRODUÇÃO GERAL

A região Sul é a única do Brasil onde a área plantada de pinus é maior que a área plantada de eucalipto. Isso talvez se deva a baixa resistência oferecida pela maioria das espécies de eucalipto frente ao clima da região Sul, associada à forte relação de algumas espécies de pinus à indústria madeireira, a qual é expressiva nessa região.

Segundo STCP (2010), a área de florestas plantadas de eucalipto na região Sul em 2008 era de 497.190 ha, apresentando um crescimento no ano de 2009 chegando a 530.040 ha. Enquanto para o gênero *Pinus* houve uma redução da área plantada, de 1.439.270 ha em 2008 para 1.417.850 ha em 2009. Embora essa redução da área plantada seja atribuída aos efeitos da crise econômica global, esses dados expressam também o crescimento significativo do gênero *Eucalyptus* na região Sul. Enquanto o crescimento médio anual da área plantada de eucalipto no Brasil foi de 4,4%, a média anual apresentada na região Sul foi de 6,6%, evidenciando o forte crescimento do gênero na região.

É notadamente clara a vantagem apresentada pelo eucalipto em relação ao pinus quanto à produtividade florestal, porém quando se trata da madeira como matéria-prima para a indústria de madeira sólida, aquela apresenta algumas desvantagens. As dificuldades apresentadas pelo eucalipto estão relacionadas com a qualidade da madeira, que influenciam seu processamento mecânico e seu uso, como elevada retratibilidade, susceptibilidade ao colapso e à presença de tensões de crescimento.

O setor de madeira sólida detém o domínio da tecnologia para a madeira de pinus, a qual foi estabelecida e conquistada através de anos de dedicação em estudos e pesquisas pelas universidades, pelas instituições de pesquisa e pelos próprios produtores. Esse processo já vem sendo feito para o eucalipto, atualmente muitos pesquisadores têm como objeto de pesquisa a qualidade da madeira de várias espécies de *Eucalyptus*. Dentre as espécies do gênero, o *Eucalyptus grandis* tem se destacado como uma das mais plantadas no Brasil e no mundo, e sua madeira considerada versátil é indicada para múltiplos usos.

A região do Planalto Catarinense apresenta um clima desfavorável para a plantação de eucalipto, principalmente pela incidência de geadas. Entretanto algumas espécies como *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* têm apresentado resistência significativamente superior comparada a outras espécies do gênero. A espécie *E. benthamii* foi plantada experimentalmente em Santa Catarina em 1988 pela Embrapa Florestas, a qual importou sementes da Austrália e obteve a partir destas uma área de produção de sementes. Já em

1992, a Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) iniciou o desenvolvimento do cultivo da espécie na região.

Considerada de rápido crescimento, apresenta incremento médio anual (IMA) superior a 45 m³/ha/ano, destacando-se também em função da forma e capacidade de rebrota (LIMA, 2007). A resistência à geada é outro fator positivo já que a perda não ultrapassa os 4%, enquanto outras espécies do gênero atingem 90% de perda, o que torna essa espécie ainda mais visada para o cultivo na região Sul do Brasil, em especial no Planalto Catarinense.

Por essas vantagens apresentadas, a espécie está sendo inserida em plantios por órgãos de pesquisa e empresas madeireiras e papeleiras da região, provocando uma grande expectativa. A espécie está sendo considerada a precursora do terceiro ciclo da madeira na região, que dá continuidade aos dois primeiros: o da araucária e o do pinus (BERETTA, 2007). Em decorrência disso se faz necessário o estudo dessa espécie, uma vez que poucas pesquisas foram realizadas em relação à qualidade da madeira, bem como sobre as propriedades tecnológicas apresentadas.

Sendo a indústria madeireira significativa na região Sul, e visando à agregação de valor ao produto primário, os produtos de maior valor agregado (PMVA), que é uma tendência que muitas empresas brasileiras vêm buscando nos últimos anos (ABIMCI, 2010), podem ser uma alternativa de uso para a espécie *E. benthamii*.

Os PMVAs produzidos a partir da madeira sólida são considerados de processamento secundário. Neste grupo de produtos estão os *clears*, *blocks*, e *blanks*, que são utilizados na produção de molduras, portas, escadas, pisos de madeira, e os painéis colados lateralmente (PCL). Os PMVAs que mais se destacam economicamente são aqueles utilizados pelo setor de móveis, assim como o PCL, os quais são empregados especificamente na produção de móveis. Grande parte do consumo de PCL ocorre no mercado doméstico, com destaque para o pólo moveleiro de São Bento do Sul – SC, o qual é um grande produtor de móveis fabricados com painéis de madeira sólida de pinus.

A grande vantagem do PCL é a utilização de toras de pequenos diâmetros, que podem ser oriundas de primeiro desbaste, e o aproveitamento de resíduos de outros processos. A madeira empregada com maior intensidade na produção desse painel ainda é a madeira de pinus, embora já existam PCL produzidos com madeira de eucalipto e de teca (*Tecnona grandis*).

Nesse contexto a pesquisa tecnológica da espécie *Eucalyptus benthamii* se mostra de grande necessidade, dada as poucas informações tecnológicas existentes, a sua

adaptabilidade à região, ao crescimento rápido apresentado, e à necessidade de busca de novas alternativas. Além disso, a aplicação da madeira oriunda dessa espécie para a produção de PCL poderá ser uma alternativa econômica e sustentável para o setor, além de gerar informações científico-tecnológicas ainda inéditas para a espécie.

2 – OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage para a produção de painéis colados lateralmente.

2.1 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito de diferentes adesivos, pressões e preparações da superfície de colagem sobre a resistência de colagem;

- Avaliar o efeito da preparação da superfície sobre a aderência de acabamentos.

3 – REVISÃO GERAL DE LITERATURA

3.1 – *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage

Originário da Austrália, o *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage é encontrado ao oeste da cidade de Sidney (Figura 3.1), em áreas limitadas de planícies ao longo do rio Nepean e seus afluentes (PRYOR¹, 1981 citado por HIGA; PEREIRA, 2003).

A espécie ocorria originalmente nas partes planas de sedimentação de rios onde os solos eram férteis, com latitude aproximada de 34° S e altitudes inferiores a 100 m. A temperatura média mínima e máxima nessa região é de 4° C e 26° C respectivamente, com ocorrência de geadas leves, e precipitação anual de 1100 mm com picos moderados no verão e outono (PRYOR¹, 1981 citado por HIGA; PEREIRA, 2003).

¹ PRYOR, L.D. **Australian endangered species: *Eucalyptus***. Canberra: Commonwealth of Australia, 1981, 139 p.

Com a construção da represa de Warragamba e com a formação de pastagens, a maior parte da população original foi cortada ou inundada, e por ter preferência por solos férteis, se tornou vulnerável durante a expansão da fronteira agrícola e foi considerada em extinção (PRYOR¹, 1981 citado por HIGA; PEREIRA, 2003). Além disso, três incêndios distintos ocorridos em 1957, 1979 e 1981 afetaram a população natural de *E. benthamii*, sendo que os dois últimos incêndios queimaram diferentes partes da população (BENSON², 1985 citado por HIGA; PEREIRA, 2003).

Informações recentes indicam uma pequena população e alguns indivíduos isolados ao longo dessas regiões, sendo 10.000 indivíduos em Kedumba Valley, 400 em Bents Basin e 18 em Camden (SKINNER, 2003). A população existente em Bents Basin está localizada dentro da Área de Recreação Estadual de Bents Basin (Bents Basin State Recreation Area), o qual é controlado pelo NPWS (National Parks and Wildlife Service). A maior população de Kedumba Valley ocorre nas terras controladas pela Sydney Water (NSW, 2000).

O *E. benthamii* é considerado como uma espécie vulnerável na Austrália, recebendo cuidados especiais de órgãos governamentais naquele país (NSW, 2000).

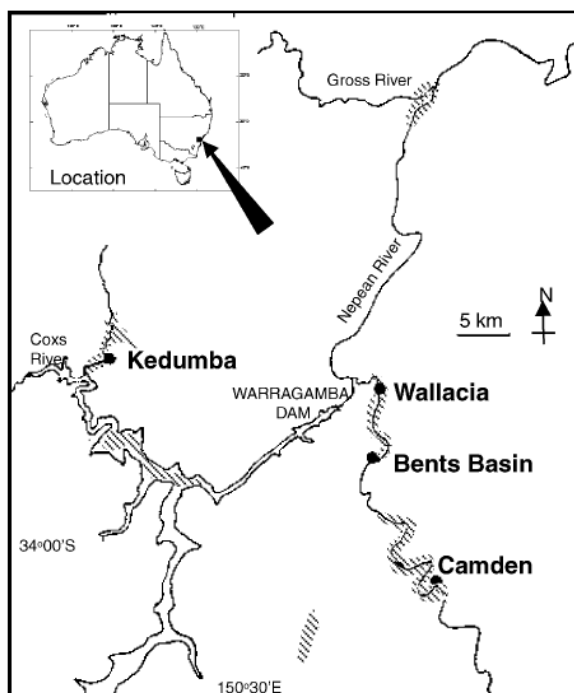


Figura 3.1 – Mapa de distribuição natural de *Eucalyptus benthamii* na Austrália (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005).

² BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species *Eucalyptus benthamii* at Bents Basin, Wallacia. *Cunninghamia*, v. 1, n. 3, p. 371-383, 1985.

Resistente ao frio, a espécie ocorre em áreas com temperaturas mínimas do mês mais frio variando de -1°C a 3°C, sendo tolerante a geadas e a secas (JOVANOVIC; BOOTH, 2002). Segundo Paludzyszyn Filho; Santos; Ferreira (2006), o *E. benthamii* é indicado para plantios em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -10°C, sob temperaturas abaixo desse limite, podem ocorrer atrasos no desenvolvimento em altura de plantas, porém são pouco expressivos.

Condições favoráveis ao crescimento são encontradas na África do Sul, China e Brasil (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006). Na África do Sul a espécie foi incluída no programa de melhoramento do ICFR (Institut for Commercial Forestry Research) por ser considerada potencial para plantios em regiões de ocorrência de geadas (SWAIN, 1997). No norte da Argentina, a espécie apresentou uma taxa de sobrevivência de 85% e produtividade de 34 m³ ha/ano aos sete anos de idade (MENDOZA, 1983).

No Brasil o *E. benthamii* tem mostrado crescimento satisfatório, e como esperado, resistência à geadas em plantios experimentais no estado de Santa Catarina (HIGA; PEREIRA, 2003). No estado do Paraná, na cidade de Colombo, árvores com 7 anos de idade apresentaram altura média de 21,7 m e diâmetro à altura do peito (DAP) médio de 18,2 cm (PEREIRA; SCHAITZA; SHIMIZU, 1997). Na cidade de Dois Vizinhos, também no Paraná, as árvores apresentaram altura média de 16 m e DAP médio de 15 cm aos 45 meses de idade, com isso os autores concluíram que a espécie merece atenção especial (HIGA; CARVALHO, 1990).

Segundo Nisgoski; Muñiz; Klock (1998) a madeira de *E. benthamii* apresenta como características gerais: densidade básica de 0,47 g/cm³, sendo considerada moderadamente dura, cerne e alburno distintos, cerne de cor marrom avermelhada e alburno amarelo rosado, textura fina a média, grã irregular, cheiro e gosto imperceptíveis, superfície levemente brilhante em luz adequada, e anéis de crescimento indistintos.

Os principais caracteres anatômicos do xilema secundário do *E. benthamii* são comuns nas Mirtáceas e atestam alto grau de evolução. Os vasos são visíveis a olho nu, solitários e arredondados. Apresenta porosidade difusa quanto à disposição em relação aos anéis de crescimento, e arranjo dos poros em diagonal. As células de parênquima axial são distintas somente sob lente, e surgem no lenho de forma paratraqueal vasicêntrico e vasicêntrico confluyente. Os raios são homogêneos, formados apenas por células procumbentes, unisseriados, às vezes localmente bisseriados, e as fibras são libríformes, não septadas, muito curtas a curtas (NISGOSKI; MUÑIZ; KLOCK, 1998).

De acordo com Higa; Pereira (2003) a madeira de *E. benthamii* é dimensionalmente instável, com índices elevados de contração volumétrica e de coeficiente de anisotropia, explicando a alta intensidade de defeitos observada na madeira serrada, mesmo em condições amenas de secagem. No entanto, os autores advertem que os estudos foram feitos com um pequeno número de amostras e, portanto, devem ser usados com ressalvas, sendo que futuros programas de melhoramento genético podem resolver em parte esses fatores restritivos.

3.2 – PAINEL COLADO LATERALMENTE (PCL)

Os PCLs, chamados de *Edge Glued Panel* (EGP) na língua inglesa, são painéis formados por um conjunto de peças de madeira (sarrafos) coladas lateralmente. Os sarrafos podem ser inteiros, ou apresentar união de topo, do tipo *finger joint*. A maior parte da produção nacional é feita em madeira de pinus, embora sejam encontrados painéis colados lateralmente fabricados em madeira de folhosas tropicais e em madeira de eucalipto (ABIMCI, 2008).

Pela alta demanda da madeira, este tipo de painel está ganhando espaço por utilizar pedaços de madeira, que seriam resíduos, para a confecção de painéis, gerando assim um produto final de grande valor agregado. Além disso, o que era inutilizado se transforma em produto valioso, sendo a técnica bastante ecoeficiente e sustentável (FOELKEL, 2008).

Uma das vantagens do PCL é a utilização de árvores de pequenos diâmetros, como as de primeiro desbaste de reflorestamentos de *Pinus* (FOELKEL, 2008). Por outro lado, essa madeira por ser oriunda de árvores jovens é composta basicamente por lenho juvenil, o qual apresenta baixa densidade, traqueóides curtos, parede celular delgada, e consequentemente menor resistência mecânica (KLOCK et al., 2005).

Esses painéis são colados com adesivos à base de poliacetato de vinila (PVAc), e dependendo do uso à que se destinam, esses adesivos podem ser de grupo D3 ou D4 (classificação conforme EN 204) quanto à resistência à umidade. O que define o tipo de adesivo é o local onde o móvel será exposto, já que a principal utilização do painel colado lateralmente é para a fabricação de móveis.

Geralmente não são aplicados revestimentos ao painel, pois o efeito decorativo é dado pelo próprio desenho da madeira e/ou pelas emendas (ABIMCI, 2008), porém na

fabricação dos móveis são aplicados seladores, vernizes ou ceras, acabamentos que realçam a cor natural da madeira.

Nos últimos anos esse painel tem apresentado um crescimento considerável tanto em produção, quanto em exportações. Segundo STCP (2008) a produção de 255 mil m³ em 1998, passou para 503 mil m³ em 2007, o que significa um crescimento médio anual de 7,8% ou 97,3% nesse intervalo de tempo. Para o consumo, esses valores são um pouco menores, 61,3% de crescimento nos últimos 10 anos ou de 5,5% ao ano.

As exportações brasileiras de PCL apresentaram leve aumento de aproximadamente 0,6% em 2007 (US\$ 119,8 milhões) frente à 2006 (US\$ 119,1 milhões). Já para o período de 1998 a 2007 o crescimento foi de 540,4% ou crescimento anual médio de 22,9%. O principal destino das exportações brasileiras de PCL são os EUA, com 73% das exportações em 2007, seguidos por França (7%) e Alemanha (4%) (STCP, 2008).

4 – METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO

4.1 – LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANTIO

O material utilizado no trabalho foi fornecido pela empresa Klabin SA, e é proveniente de área de plantio experimental no município de Otacílio Costa, Santa Catarina (Figura 4.1), situado a 884 m de altitude, com coordenadas geográficas 27°28'58"S e 50°07'19"O. Segundo Köppen o clima na região é mesotérmico úmido, com verões frescos, apresentando temperatura média de 15,9°C e uma precipitação total entre 1.300 a 1.400 mm.

A área de coleta do material foi implantada no ano de 1995, com sementes de procedência geográfica de Dorrigo – Austrália, e o espaçamento do povoamento era de 2,5m x 3,0m. No momento do corte as árvores apresentavam 12 anos de idade.

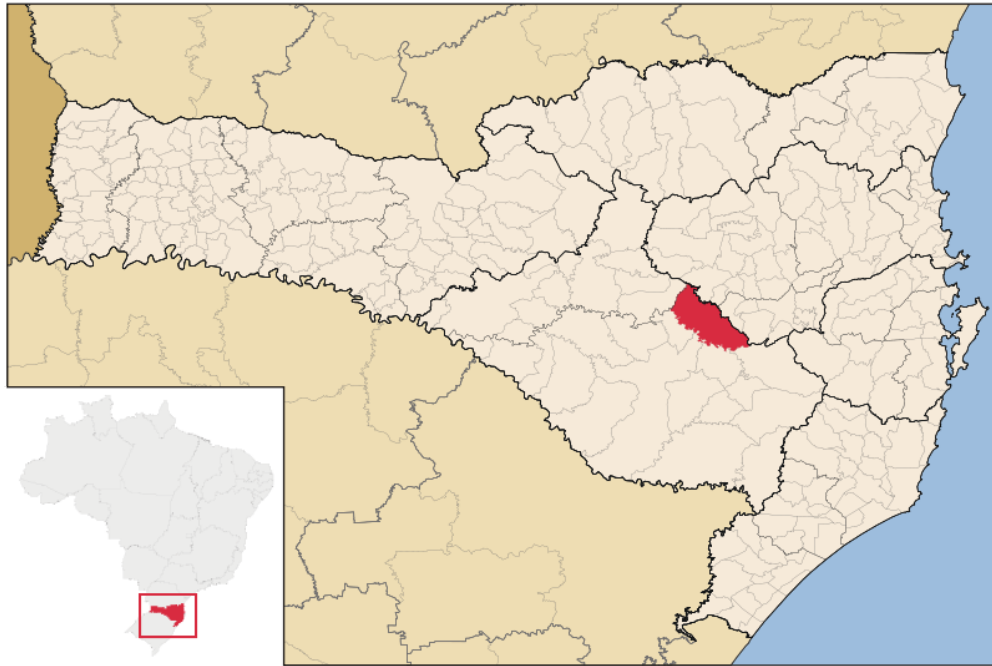


Figura 4.1 – Localização da cidade de Otacílio Costa (ABREU, 2006)

4.2 – AMOSTRAGEM E DESDOBRO DAS TORAS

Foram abatidas 50 árvores de *E. benthamii*, dessas foram utilizadas as primeiras toras para o processo de desdobro, as quais apresentavam em média três metros de comprimento. As toras apresentaram duas distribuições diamétricas, sendo as toras mais finas com DAP de 20 a 25 cm e as toras mais grossas com DAP de 26 a 30 cm. Na Figura 4.2 é apresentado o diagrama de desdobro, de onde foram obtidas tábuas com faces tangenciais.

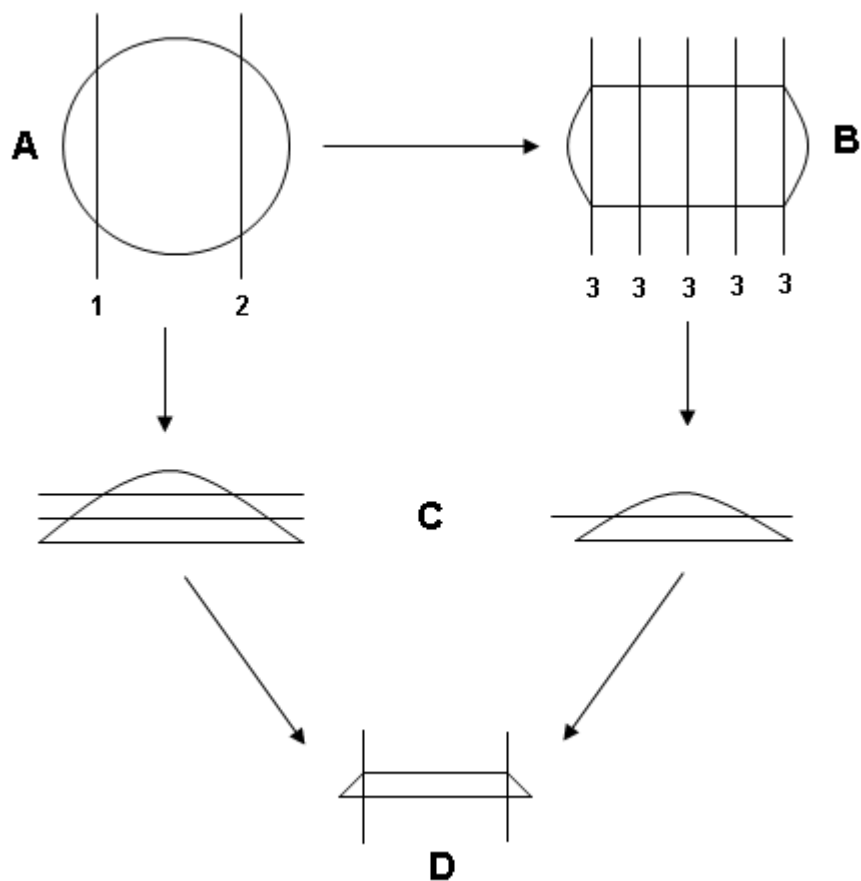


Figura 4.2 – Desdobro tangencial com serra fita simples (A), serra circular múltipla (B), serra fita horizontal (C) e refiladeira dupla (D).

Para os ensaios deste trabalho foram utilizadas 30 tábuas de face tangencial com dimensões de 3 m de comprimento, 40 mm de espessura e larguras variáveis, as quais foram selecionadas por apresentarem menor incidência de defeitos de secagem como empenamentos e rachaduras. O material previamente seco em estufa permaneceu sob climatização (temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$) por um período de 6 meses.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DA COLAGEM DE *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE

1 – INTRODUÇÃO

A madeira é um dos mais completos materiais gerados pela natureza. Relativamente leve, apresenta boa resistência mecânica e várias propriedades favoráveis, quando comparado aos materiais sintéticos como o aço, o concreto e o nylon. Entretanto, apresenta limitações quanto às dimensões das peças serradas, anisotropia, e defeitos naturais.

As dimensões das peças serradas (largura e comprimento) estão condicionadas às dimensões das árvores. Já a anisotropia (propriedade inerente a todas as espécies de madeira) pode apresentar valores restritivos para alguns usos. Assim, foram desenvolvidas algumas tecnologias de transformação da tora em produtos recompostos de madeira, como compensados, aglomerados, sarrafeados, PCL, OSB, MDF, vigas laminadas, etc.

A grande maioria dessas tecnologias de transformação, que dão origem aos produtos recompostos de madeira, necessita de um componente com características adesivas para viabilizar esse processo. No caso dos painéis colados lateralmente o adesivo empregado com maior intensidade ainda é o PVAc, porém devido ao avanço da química, o desenvolvimento da tecnologia de novos adesivos é grande, sendo necessário o estudo dos adesivos que melhor se adaptem aos diferentes tipos de madeira (LIMA et al., 2008). Além disso, no uso dos adesivos deve-se também levar em consideração o aspecto econômico, uma vez que em alguns processos o seu custo é fator limitante no desenvolvimento de produtos. Por exemplo, no Brasil, o grande fator limitante para a produção de madeira laminada colada (MLC) é o custo do adesivo (PLASTER et al., 2008).

O processo de colagem de madeiras é influenciado por vários fatores, que podem estar relacionados às características do adesivo, às características da madeira, assim como, com os parâmetros de controle do processo. O número de pesquisas relacionadas ao

assunto é significativo, sendo que os tópicos mais abordados são quanto à resistência de colagem frente a diferentes espécies de madeira, com destaque para as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, diferentes níveis de densidade, diferentes gramaturas e pressões empregadas na colagem (LIMA et al., 2008, PLASTER et al., 2008, LOBÃO; GOMES, 2006, NASCIMENTO et al., 2002, SERRANO, 2009).

As pesquisas relacionadas à preparação da superfície para a colagem, ainda são escassas, principalmente no Brasil. Em outros países as pesquisas se resumem na avaliação da rugosidade da superfície frente a diferentes métodos de usinagem, sendo que algumas relacionam essa propriedade à aplicação de produtos de acabamento, e não à resistência de colagem (HERNÁNDEZ; COOL, 2008a, KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006, BURDURLU et al., 2005, OZDEMIR; HIZIROROGLU, 2007, SULAIMAN et al., 2009, HERNÁNDEZ; COOL, 2008b).

Na maioria das indústrias o processo de usinagem da superfície a ser colada é feito em plainas, embora muitas empresas estejam usando o lixamento como alternativa à esse processo. Essa opção é feita através do conhecimento empírico, no qual acredita-se que o processo de lixamento abre as células da madeira e facilita a penetração do adesivo no substrato. Esse assunto pode ser considerado de grande importância em termos práticos, diante da forma empírica como a escolha do tipo de usinagem é realizada na indústria, devido à ausência de um suporte científico e tecnológico.

2 – OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes adesivos, pressões e preparações da superfície de colagem sobre a resistência à colagem lateral, e o efeito de diferentes adesivos sobre a resistência à colagem longitudinal.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – ADESIVOS

Os adesivos vinílicos são resultantes da polimerização (em dispersão aquosa) do acetato de vinila (VAM), convertendo-o no poliacetato de vinila (PVAc). Esses adesivos são normalmente termoplásticos, ou seja, a colagem ocorre pela simples evaporação do

solvente (água), resultando numa colagem de baixa resistência a temperatura e a umidade. Entretanto, podem também ser termofixos, nos quais além de ocorrer a evaporação do solvente, ocorre também uma polimerização, e posterior cura, resultando numa colagem com excelente resistência à água e à temperatura (CORRÊA, 1997).

Existem normas para classificar os adesivos conforme suas resistências para utilização dos mesmos em aplicações específicas. A norma mais utilizada é a Norma Europeia EN-204 como referência para a classificação da resistência das colagens, e classifica os adesivos em quatro grupos conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Exigências quanto às colagens dentro dos grupos D1 – D4 (EN 204, 2001).

Classes de durabilidade	Exemplos de condições climáticas e campos de aplicação
D1	Uso interior, onde o conteúdo de umidade da madeira não exceda 15%.
D2	Uso interior com exposição ocasional e por curto período de tempo à água ou vapor, e/ou exposição ocasional à elevada umidade do ar, contanto que a umidade da madeira não exceda 18%.
D3	Uso interior com exposição frequente, por curtos períodos de tempo à água ou vapor, e/ou exposição à elevada umidade. Também pode ser usado para aplicações exteriores sem exposição ao tempo.
D4	Uso interior com exposição frequente, e por longos períodos à água ou vapor. Uso exterior com exposição ao tempo, mas com adequada proteção por um acabamento.

Dentro dessa classificação de resistência, os adesivos vinílicos termoplásticos atendem as exigências da norma EN 204 dentro das classificações D1 e D2, e os termofixos dentro das classificações D3 e D4. Os adesivos termofixos que se classificam como D3 são monocomponentes, enquanto os adesivos que se enquadram como D4 são bicomponentes, ou seja, necessitam da adição de um catalisador para que tenham o desempenho esperado (CORRÊA, 1997).

Com o avanço observado em sua tecnologia de produção, os adesivos à base de poliuretano (PUR) têm-se mostrado de grande eficiência, já que possuem a vantagem de não emanarem formaldeído, além de proporcionarem um produto com alta resistência à umidade, de manipulação à temperatura ambiente e grande resistência mecânica (DIAS; AZAMBUJA; OLIVEIRA JUNIOR, 2006).

O adesivo poliuretano (PUR) requer a umidade contida na madeira, e não apresenta solvente ou formaldeído em sua formulação. No processo de colagem, a água contida no

substrato reage com uma parte do isocianato liberando dióxido de carbono (CO₂) e formando uma amina, o que faz com que o adesivo expanda-se ligeiramente. Em seguida a amina reage muito rapidamente com um outro grupo isocianato, resultando uma estrutura reticulada como nos sistemas bicomponentes (BAYER MATERIALSCIENCE, 2010). Os adesivos poliuretanos apresentam uma cura rápida, com colagens de alta resistência à umidade e temperatura. Recomendado para aplicações em pisos de madeira laminada, painéis e estruturas de madeira para uso exterior (PURBOND, 2007).

A escolha do adesivo mais adequado deve ser feita levando-se em conta o ambiente ao qual a peça será exposta e as variáveis de produção. Mas ainda é objeto de pesquisa, sendo que muitos pesquisadores buscam respostas sobre o adesivo que oferece o melhor desempenho de colagem. O efeito do adesivo na resistência de colagem foi significativo na maior parte da literatura consultada, com destaque para as colagens de emendas dentadas, como pode ser observado abaixo.

Özçifçi; Yapıcı (2008a) pesquisaram a resistência da colagem das espécies *Fagus orientalis*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* e *Abies bornmülleriana* coladas com os adesivos fenol-formaldeído, PVAc, poliuretano e uréia-formaldeído. Os autores encontraram diferença significativa quando analisaram o fator adesivo separadamente. O adesivo PVAc apresentou melhor desempenho de colagem, seguido pelo adesivo uréia-formaldeído, fenol-formaldeído, e o menor desempenho foi obtido pelo adesivo PUR.

Resultado similar foi observado por Vital; Maciel; Della Lucia (2006), quando avaliaram o desempenho de colagem entre os adesivos PVAc e resorcinol-formaldeído nas espécies *E. grandis* e *E. saligna*. As maiores médias de resistência ao cisalhamento foram observadas em peças coladas com adesivo PVAc.

Lima et al. (2008), investigando a resistência da colagem em *E. urophylla* e *camaldulensis*, observaram que a resistência ao cisalhamento foi igual estatisticamente entre os adesivos. No entanto, esses valores foram considerados baixos e inferiores a outros trabalhos. Para a porcentagem de falha na madeira, o adesivo que obteve o melhor desempenho foi o de uréia-formaldeído, seguido pelo resorcinol-formaldeído e por último o adesivo PVAc. Observações semelhantes foram feitas por Plaster et al. (2008), quando avaliaram a resistência de colagem de *Eucalyptus* sp. em diferentes densidades. Os valores de resistência das juntas mostraram-se equivalentes à resistência ao cisalhamento da madeira sólida, e não apresentaram diferenças quando comparados os adesivos PVAc e resorcinol-formaldeído, embora esse último tenha apresentado maiores valores para falha

na madeira. Serrano (2009) avaliou a resistência ao cisalhamento de *E. grandis* colado com adesivo à base de elastômeros, PVAc, resorcinol-formaldeído e à base de isocianato. A autora não encontrou nenhuma diferença significativa entre os adesivos utilizados.

Em colagens longitudinais do tipo *finger joint* foi avaliada a resistência à flexão nas espécies *Fagus orientalis*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* e *Abies bornmülleriana*, utilizando o adesivo PUR e o adesivo PVAc. Os resultados tanto para módulo de elasticidade como para módulo de ruptura não foram influenciados pelo tipo de adesivo (ÖZÇİFÇİ; YAPICI, 2008b).

Ainda para emendas dentadas, Dias; Azambuja; Oliveira Junior (2006) realizaram uma análise comparativa entre adesivos poliuretanos frente ao resorcinol-formaldeído em ensaios de tração para a espécie *E. grandis*. Foi encontrada diferença significativa apenas entre o resorcinol-formaldeído e o PUR, o qual obteve os maiores valores na resistência da emenda dentada. Por outro lado, o adesivo poliuretano de óleo de mamona, e o adesivo à base de isocianato, não apresentaram diferença frente ao resorcinol-formaldeído.

Já no trabalho de Serrano (2009) onde foi determinada a resistência à tração também em *E. grandis*, os resultados foram diferentes. O adesivo resorcinol-formaldeído apresentou resistência superior aos adesivos PVAc e à base de isocianato, os quais não foram diferentes estatisticamente entre si.

Quando comparados dois adesivos PVA de diferentes grupos (segundo EN 204) em uniões dentadas de *Quercus cerris*, os resultados mostraram que as amostras coladas com adesivo D2 apresentaram valores maiores de módulo de ruptura que as amostras coladas com adesivo D1 (KARASTERGIU; BARBOUTIS; VASSILIOU, 2006).

No estudo de Ayarkwa et al. (2000) foram avaliadas as propriedades de tração e flexão nas emendas dentadas de três espécies tropicais africanas de diferentes densidade (*Triplochiton scleroxylon*, *Tieghemella heckelii*, e *Baillonella toxisperma*). Os adesivos utilizados foram: resorcinol-formaldeído, melamina-formaldeído e isocianato. Os resultados indicaram que geralmente o tipo de adesivo empregado teve efeito significativo sobre as propriedades de flexão e tração, embora nenhum efeito significativo foi observado para o módulo de elasticidade tanto para a flexão, quanto para tração. Para a espécie de baixa densidade os três adesivos obtiveram desempenhos semelhantes na resistência à flexão, já na resistência à tração o adesivo isocianato foi significativamente superior. Nas madeiras de média e alta densidade, maiores resistências à flexão e à tração com o adesivo melamina-formaldeído foram apresentados.

González et al. (2004) submeteram madeiras de *Gmelina arboea* coladas através de uniões dentadas com adesivos PVAc e PUR à testes de tração. Quando os testes foram realizados na condição seca, o adesivo PVAc apresentou resistência significativamente superior ao adesivo PUR. Porém, quando submetidos às condições saturada e de fervura, o adesivo PUR apresentou resistências superiores ao PVAc. Com isso, os autores concluíram que o adesivo PVAc não apresenta bom desempenho para componentes estruturais.

3.2 – COLAGEM DE MADEIRAS

3.2.1 – Fatores que influenciam na colagem de madeiras

3.2.1.1 – Características físico-químicas do adesivo

Dentre as características dos adesivos a viscosidade é a que tem maior influência na colagem de madeiras. Segundo Iwakiri (2005), quanto maior a viscosidade menor a penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, formando linha de cola mais espessa, ocasionando insuficiente interligação no sistema madeira-adesivo-madeira, e uma conseqüente qualidade inferior na colagem. Por outro lado, quanto menor a viscosidade maior a penetração do adesivo e sua absorção pela madeira. Isso pode ser observado no estudo feito por Vital; Maciel; Della Lucia (2006), onde avaliaram a resistência ao cisalhamento de peças de *E. saligna* e *E. grandis* coladas com adesivos PVAc de diferentes viscosidades. Para ambas as espécies a resistência de colagem foi superior para o adesivo de menor viscosidade.

Outra característica importante é o teor de sólidos, que é a quantidade de massa que corresponde à parte não volátil de um produto, e atua diretamente sobre a tensão de descolamento. A variação deste parâmetro influencia ainda, outras propriedades como aderência, viscosidade, tempo aberto, etc. (BORRACHA ATUAL, 2003).

A colagem também é influenciada pelo pH do adesivo, implicando na solidificação da linha de cola. Foi verificado que álcalis ou ácidos extremos reduzem a resistência da ligação e, materiais celulósicos como a madeira, são particularmente afetados. Portanto, o pH influencia a solidificação do adesivo, e pode ser controlado (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975). Conforme Iwakiri (2005), os limites de pH do adesivo devem estar entre 2,5 a 11, valores fora dessa faixa podem causar a degradação das fibras da madeira, além

disso, pH muito baixo pode gerar uma formação excessiva de espuma, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo.

3.2.1.2 – Composição e características da madeira

A colagem da madeira não é afetada somente pelas propriedades da superfície do aderente madeira, mas também por suas propriedades físicas, particularmente, densidade, porosidade, conteúdo de umidade e alterações dimensionais (USDA, 1999). A densidade deste material apresenta uma relação inversa com a porosidade e a capacidade de penetração de adesivos na estrutura lenhosa. Para madeira de baixa densidade, ocorre maior penetração do adesivo e poderá resultar em linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005). Enquanto que as madeiras de alta densidade são difíceis de colar por possuírem paredes de células espessas e lúmens pequenos, então a penetração do adesivo é limitada a uma ou duas células de profundidade (USDA, 1999).

Lobão; Gomes (2006) pesquisaram a qualidade da adesão da madeira de *Eucalyptus* sp. em diferentes densidades (0,82 e 0,58 g/cm³). Os resultados mostraram que nas madeiras de menor densidade, não houve diferença significativa entre os valores de resistência obtidos nos corpos-de-prova (CPs) sólidos e das juntas coladas. No entanto, nas madeiras de alta densidade os valores de resistência entre as amostras coladas e sólidas foram diferentes estatisticamente. Com isso, os autores constataram que madeiras de alta densidade são de difícil colagem, por essas permitirem pouca penetração do adesivo, ocasionando assim, uma junta de qualidade inferior às obtidas com madeiras de densidades menores.

No estudo de Ayarkwa et al. (2000), citado anteriormente, os autores observaram que o desempenho dos três adesivos estava relacionado com a densidade da madeira, apresentando maiores eficiências em baixa densidade, eficiência moderada em média densidade, e menor eficiência na madeira de alta densidade. Por outro lado, no estudo de Özçifçi; Yapici (2008a) foram obtidos resultados contraditórios aos acima citados. Quando foi analisada a resistência de colagem entre espécies de diferentes densidades, tanto para o adesivo PVAc quanto para o PUR, os maiores valores encontrados ocorreram nas espécies de maior densidade. Já para Plaster et al. (2008) que avaliaram a resistência de colagem de *Eucalyptus* sp., encontraram valores menores para madeira de alta densidade levando em consideração apenas os valores de falha na madeira, pois os valores para a resistência das juntas mostraram-se semelhantes, e em alguns casos maiores.

A influência do conteúdo de umidade da madeira na formação da ligação adesiva está relacionada com a quantidade e o ritmo de absorção do adesivo líquido pela madeira. Portanto, quanto menor o conteúdo de umidade da madeira, maior será a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo (IWAKIRI, 2005).

Segundo Wengert (2002), não há um conteúdo de umidade padrão na indústria de manufaturados de madeira, o importante é ter a umidade da madeira próxima da umidade de equilíbrio das condições ambientais. Como regra geral, cada 4% de umidade pode alterar as dimensões da madeira em 1%, mas essa alteração ocorre apenas na largura e espessura, pois a contração da madeira no sentido longitudinal não é significativa.

A maioria das madeiras de folhosas é colada e trabalhada melhor em torno de 6,5 a 8% de umidade, e madeiras de coníferas, em torno de 8 a 10%. Se a madeira estiver com o teor de umidade acima de 10% o adesivo vai levar maior tempo para curar, e pode também resultar em uma colagem menos resistente (WENGERT, 2002).

O conteúdo de umidade ideal da madeira para a colagem segundo Corrêa (1997), depende da densidade, mas geralmente está em torno de 4,1% a 13%. Jokerst (1981) considera que melhores aderências de emendas dentadas são obtidas entre 6% e 17% de umidade.

3.2.2 – Parâmetros de controle no processo de colagem

3.2.2.1 – Gramatura

A quantidade de cola a ser aplicada na junção das peças deve ser suficiente para preencher todo o espaço entre as duas superfícies, porém sem excessos (CORRÊA, 1997). Aplicação de adesivo em excesso ou aplicação insuficiente, podem ter efeito negativo sobre a resistência da junta colada (MUENCHOW, 2002), por isso a quantidade de cola a ser usada numa colagem, está em função do tipo de adesivo utilizado, e da densidade da madeira colada. Para adesivos PVAc e PUR são recomendadas gramaturas em torno de 150 a 200 g/m² (CORRÊA, 1997, PURBOND, 2007).

Santos; Del Menezzi (2010) verificaram a influência da gramatura do adesivo resorcinol-formaldeído na resistência de colagem das espécies *Allantoma lineata* e *Simarouba amara*. Os autores observaram que a resistência ao cisalhamento da linha de cola foi influenciada pela gramatura. As gramaturas 300 g/m² e 400 g/m² atingiram o requisito da norma, porém a maior resistência se deu para a gramatura 300 g/m². Enquanto

a colagem com gramatura de 200 g/m² não se mostrou eficiente para as duas espécies estudadas.

Observando a Tabela 3.2, que traz informações de trabalhos realizados com eucalipto, percebe-se uma diferença na resistência de colagem entre o trabalho de Lima et al. (2008) e Plaster et al. (2008). Os autores usaram os mesmos adesivos e a mesma pressão na colagem. A média para a resistência ao cisalhamento e falha na madeira das amostras testadas por Lima et al. (2008) foi de 7,96 MPa e 31,97% respectivamente, enquanto que para Plaster et al. (2008) foi encontrado 13,77 MPa de resistência na colagem e 70,18% de falha na madeira. Esses valores encontrados no trabalho de Plaster et al. (2008) podem ser explicados pela gramatura utilizada, a qual é maior que a utilizada no trabalho de Lima et al. (2008).

Já no estudo de Nascimento et al. (2002), onde avaliaram a resistência de colagem em madeiras de pinus e eucalipto, com gramaturas de 300 g/m² e 600 g/m², houve melhora na resistência da colagem com o aumento da gramatura somente na madeira de pinus. Os autores concluíram que gramatura de 300 g/m² pode ser considerada satisfatória, pois, no pinus, a resistência da junta colada sempre ultrapassou a resistência ao cisalhamento da madeira sólida. O mesmo pode ser considerado para o eucalipto, pois quando se compara a resistência das juntas em diferentes taxas de aplicação do adesivo, estas diferenças não se mostram significativas.

Os autores acrescentam ainda que a utilização de 600 g/m² implica em desperdício de adesivo, pois, mesmo utilizando-se diluições, há aumento do custo percentual do adesivo no custo final das estruturas coladas.

Tabela 3.2 – Resumo das variáveis utilizadas e resultados encontrados nos trabalhos.

Espécie	Adesivo	Gramatura (g/m ²)	Pressão (MPa)	RC (MPa)	FM (%)	Referência
<i>E.urophylla</i> e <i>E.camaldulensis</i>	PVAc	250	1,18	7,57	19,35	Lima et al., 2008
<i>E.urophylla</i> e <i>E.camaldulensis</i>	Resorcinol	250	1,18	8,34	44,58	Lima et al., 2008
<i>Eucalyptus sp.</i>	PVAc	300	1,18	13,75	65,94	Plaster et al., 2008
<i>Eucalyptus sp.</i>	Resorcinol	300	1,18	13,78	74,41	Plaster et al., 2008

FM – Falha na madeira

RC – Resistência ao cisalhamento

3.2.2.2 – Pressão de prensagem

A pressão é necessária para obter contato próximo entre as duas superfícies coladas, e a mesma está em função da densidade da madeira (RIVER; OKKONEN, 1991), pois a pressão adequada é extremamente importante para uma colagem bem sucedida. Pressão insuficiente ou excessiva pode ter um grande impacto nos resultados da colagem (MUENCHOW, 2002). A Tabela 3.3 apresenta os valores sugeridos de pressão para cada faixa de densidade da madeira segundo alguns autores.

Tabela 3.3 – Pressões sugeridas para diferentes densidades de madeira.

Madeira de baixa densidade (< 0,50 g/cm ³)	Madeiras de média densidade (0,50 a 0,75 g/cm ³)	Madeiras de alta densidade (> 0,75 g/cm ³)	Referência
Pressão (MPa)			
0,6 a 1,0	1,0 a 1,3	1,3 a 2,0	Corrêa, 1997
0,7 a 1,0	0,9 a 1,2	1,2 a 1,7	Muenchow, 2002
0,6 a 1,0	1,0 a 1,3	1,3 a 1,7	River; Okkonen, 1991

Nascimento et al. (2002) fizeram teste de adesão em madeira de *Pinus taeda*, *P. elliottii* e *E. citriodora* coladas com adesivo resorcinol-formaldeído com diferentes níveis de gramatura e diferentes níveis de pressão. A madeira de *E. citriodora*, em nenhuma situação, conseguiu atingir as exigências da norma quanto à falha na madeira, o que o autor aponta ser causado pela alta densidade da madeira. A Tabela 3.4 apresenta os resultados obtidos no trabalho.

Tabela 3.4 – Comparações entre as médias das resistências das juntas coladas com madeira de pinus e eucalipto (NASCIMENTO et al., 2002).

Pressão (MPa)	Madeira de <i>Pinus</i> (Densidade - 0,506 g/cm ³)		Madeira de <i>E. citriodora</i> (Densidade - 1,017 g/cm ³)	
	Gramatura (g/m ²)			
	300	600	300	600
0,6	11,1	14,8	18,7	16,3
1,0	12,1	17,1	17,3	19,0
1,4	11,8	14,9	18,3	16,6

Segundo os autores, o efeito da pressão de colagem para a madeira de *Pinus* só foi verificado na taxa de 600 g/m² onde a melhor pressão de colagem foi de 1,0 MPa. Para o *E. citriodora*, as diferenças entre pressões de colagem também só foram verificadas na taxa de aplicação de 600 g/m², e as melhores pressões foram 1,0 e 1,4 MPa.

Nesse estudo foi constatado também que na madeira de *Pinus*, a resistência média das juntas coladas de todos os tratamentos foi sempre superior à madeira sólida. No caso do *E. citriodora*, apenas as juntas confeccionadas com pressão de 1,0 MPa tiveram o mesmo desempenho da madeira sólida. Com os resultados obtidos no trabalho, os autores concluíram que a melhor pressão para a madeira de *Pinus* é de 1,0 MPa, o que também pode ser considerado para o *E. citriodora* já que somente os CPs colados com essa pressão tiveram o desempenho esperado.

Em relação às emendas dentadas, essas devem ser coladas sob pressão que depende do comprimento do dente e da densidade da madeira, observando que a pressão empregada não exceda o limite que provoque fissura de extensão superior a 0,5 cm no fundo dos dentes (SERRANO, 2009).

A norma alemã DIN 68-140 estabelece pressões mínimas admissíveis, 120 kg/cm² (11,77 MPa) para *finger joint* com comprimento do dente de 10 mm, e 20 kg/cm² (1,96 MPa) para *finger joint* com dentes de 60 mm de comprimento. Em nenhum caso a pressão deve ser menor que 10 kg/cm² (0,98 MPa) (JOKERST, 1981, BUSTOS et al., 2003).

Ayarkwa; Hirashima; Sasaki, (2000), avaliaram o comportamento das emendas dentadas em ensaios de flexão em 3 pressões diferentes (4, 8 e 12 MPa). A pressão não teve influência significativa tanto para módulo de ruptura quanto para módulo de elasticidade. Já no trabalho de Bustos et al. (2003) em que foram empregadas diferentes pressões (1,3 MPa, 2,2 MPa, 2,8 MPa, 3,7 MPa, 4,0 MPa e 4,9 MPa) na colagem de emendas dentadas de *Picea mariana*, o resultado foi diferente. Embora a correlação encontrada tenha sido baixa ($R^2=0,22$) a relação entre a pressão e a resistência à tração do *finger joint* foi estatisticamente significativa (Figura 3.1). Os autores concluíram que a maior resistência foi obtida com pressão de 3,43 MPa, e que pressões inferiores ou superiores podem resultar em uma menor resistência à tração.

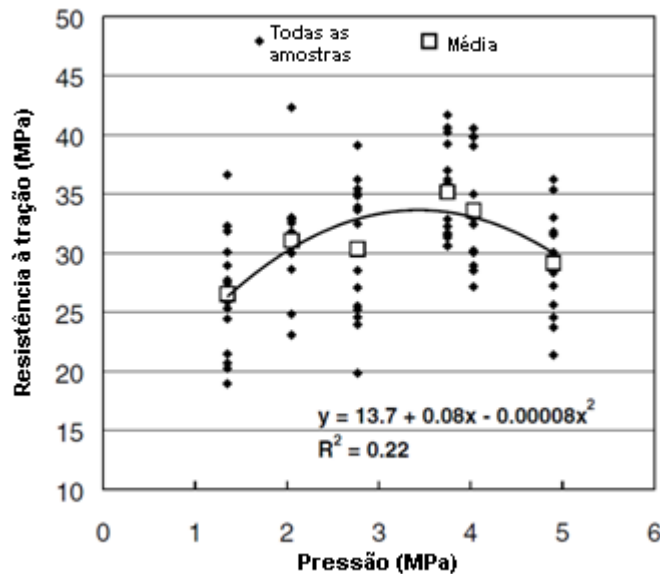


Figura 3.1 – Efeito da pressão na resistência à tração da madeira de *Picea mariana* com emendas *finger joint* (BUSTOS et al., 2003).

3.2.2.3 – Superfície de colagem

A qualidade da superfície de produtos de madeira sólida é uma das propriedades mais importantes no processo de acabamento e na resistência de colagem (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006). As razões para preparar a superfície antes da colagem são: promover um contato adequado entre os aderentes, e produzir uma superfície com corte recente, e mecanicamente perfeita (RIVER; VICK; GILLESPIE, 1991).

Uma das formas de avaliar a qualidade da superfície é por meio da medição da rugosidade, porém irregularidades superficiais em madeira maciça, tradicionalmente, não são medidas, tanto quanto para outros materiais engenheirados. Embora a rugosidade da superfície da madeira possa ser facilmente determinada em termos técnicos, nenhum método padrão foi estabelecido para essa finalidade. Rugosímetros de agulha, perfilometria óptica, análise de imagens técnicas usando câmera de vídeo, pneumática, ultrassom, e microscopia são alguns dos métodos utilizados para avaliar a rugosidade superficial de produtos de madeira. No entanto, mesmo com a disponibilidade de todos esses métodos, não existe registro de uso frequente na indústria (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006).

A rugosidade da superfície da madeira é influenciada pela estrutura anatômica, grã, largura dos anéis de crescimento, raios, nós, madeira de reação, e relação de lenho inicial e lenho tardio (TAYLOR; CARRANO; LEMASTER, 1999). Associado a isso o tipo de

usinagem empregado durante o processamento, também é responsável pela qualidade do produto final (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006).

As informações existentes na literatura são um tanto controversas quanto à rugosidade da superfície e às propriedades de aderência. Ozdemir; Hiziroglu (2007) afirmam que em geral a resistência da adesão aumenta com o aumento da rugosidade do substrato, enquanto Burdurlu et al. (2005) relatam que com a redução da rugosidade da superfície, os problemas de colagem e acabamento são reduzidos.

Segundo Hernández; Cool (2008a), a rugosidade e as propriedades de umectação podem dar informações úteis na capacidade de adesão, adicionalmente Moura; Hernández (2005) relatam que as melhores propriedades de umectação estão associadas com rugosidade superficial maior. Sulaiman et al. (2009) acrescentam que normalmente superfícies ásperas absorvem mais líquidos.

Hernández; Moura (2002) encontraram uma correlação significativa entre a resistência ao cisalhamento da colagem e a rugosidade da superfície, como pode ser visualizado na Figura 3.2. Pode-se observar que a resistência de colagem aumenta na medida em que a rugosidade aumenta, porém essa relação ocorre até certo ponto, onde a tendência é diminuir a resistência ao passo que a rugosidade aumenta.

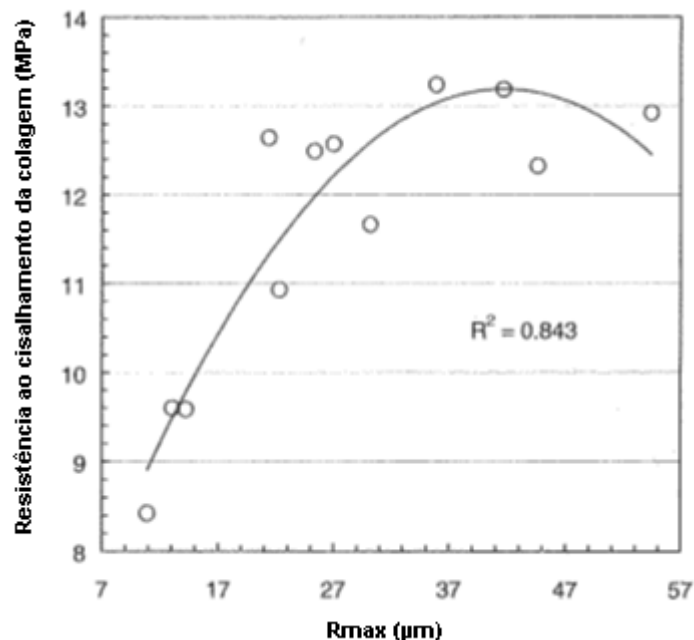


Figura 3.2 – Variação na resistência ao cisalhamento da colagem em função da rugosidade da superfície (HERNÁNDEZ; MOURA, 2002).

De acordo com Sulaiman et al. (2009) as propriedades e características da superfície da madeira lixada diferenciam-se muito daquelas obtidas em plainas. As superfícies lixadas são caracterizadas pela presença de microfibrilas arrancadas e levantadas (fibrilação) das paredes das células pela ação abrasiva. Além disso, a umectação da superfície é acelerada na direção das ranhuras produzidas pelo abrasivo, enquanto a compressão superficial impede a penetração de líquidos (MOURA; HERNÁNDEZ, 2005). Outra característica típica é que o lúmen das células pode ser preenchido com o pó produzido pelo processo de lixamento (MEIJER; THURICH; MILITZ, 1998, SULAIMAN et al., 2009).

No trabalho realizado por Hernández; Cool (2008b), imagens microscópicas de superfícies preparadas com lixa e plaina foram analisadas. Na superfície lixada foram observadas ranhuras típicas, produzidas pela ação do grão da lixa. Além disso, os lúmens das células foram preenchidos pelo pó produzido pelo processo de lixamento, o qual impede a penetração de adesivos e produtos de acabamento (Figura 3.3a). Em relação à superfície aplainada, os autores relataram que as células apresentaram baixos danos, com relativamente mais células abertas como vasos e fibras (Figura 3.3b).

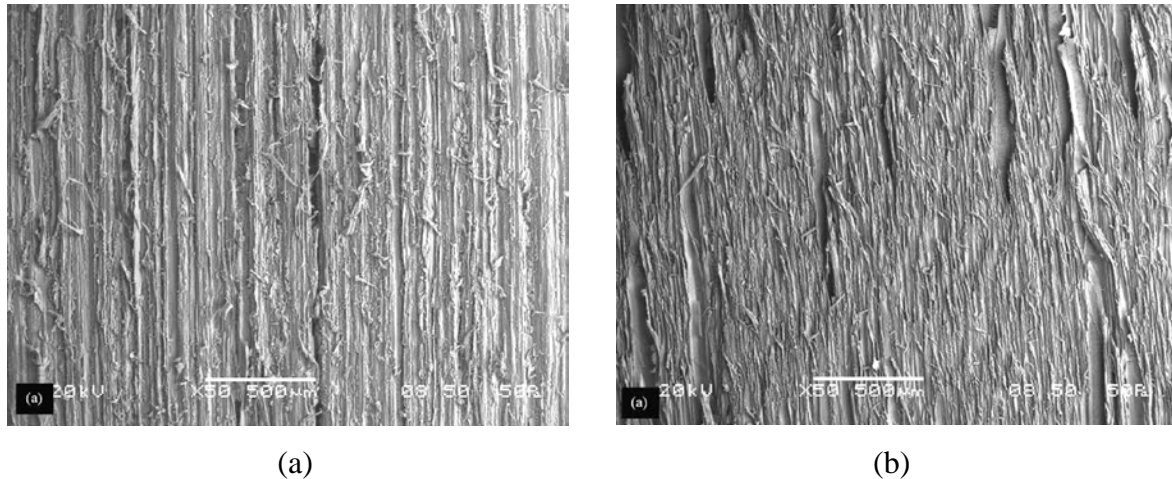


Figura 3.3 – Imagem da superfície lixada (a) e imagem da superfície aplainada (b) (HERNÁNDEZ; COOL, 2008b).

De acordo com Muenchow (2002) a superfície a ser colada deve estar no esquadro, sem marcas de plaina ou serras, e livre de fibras soltas. Quando se optar pelo lixamento na preparação da superfície das peças, o autor recomenda utilizar lixa grã 50 a 70, pois grãos menores causam o rompimento das fibras da madeira, resultando em colagem de baixa resistência. Por outro lado, lixas com grãos maiores ocasionam superfícies polidas, ou vitrificadas, as quais dificultam a penetração do adesivo na madeira. Sulaiman et al. (2009)

citam também que no processo de lixamento, além das características da madeira, o tamanho do grão e o tipo de abrasivo são importantes para a rugosidade. Em geral, quando o tamanho do grão diminui, a rugosidade também diminui (BURDURLU et al., 2005).

Isso pode ser comprovado pelo trabalho de Kilic; Hizioglu; Burdurlu (2006), onde estudaram o efeito de várias técnicas de usinagem na rugosidade da superfície de *Fagus orientalis* e *Populus tremula*. Nenhuma diferença estatística foi observada entre as características da rugosidade das superfícies tangencial e radial. Os autores observaram também que para ambas as espécies, a rugosidade das amostras diminuiu significativamente com o aumento do número do grão da lixa.

Özçifçi; Yapici (2008a) determinaram o efeito de diferentes métodos de usinagem (serra circular, serra fita e plaina) na resistência de colagem. Para esse estudo foram utilizadas cinco espécies coladas com os adesivos fenol-formaldeído, PVAc, poliuretano e uréia-formaldeído. Quando os autores avaliaram a variável método de usinagem isoladamente, encontraram valores de resistência de colagem superiores para a superfície preparada em plaina, seguidos pelos métodos serra circular e serra fita.

No estudo de Burdurlu et al. (2005) foi avaliado o efeito de diferentes números de facas e diferentes grãos de lixas na rugosidade da superfície de madeiras obtidas de *Populus nigra* e *Pinus nigra*. Diferentemente de Kilic; Hizioglu; Burdurlu (2006), os autores observaram uma diferença significativa entre a face radial e tangencial da madeira. A usinagem na face tangencial produziu uma superfície mais lisa que na face radial.

Ainda sobre o mesmo estudo, quando foi avaliado somente o efeito da preparação da superfície, os autores perceberam que houve diferença significativa para a rugosidade entre as diferentes lixas usadas. A diferença também foi significativa entre as superfícies preparadas com lixa daquelas preparadas com plaina. Já quando comparadas as superfícies preparadas com diferentes números de facas, não foi observado diferença.

Outra observação feita pelos autores corrobora com o resultado de Kilic; Hizioglu; Burdurlu (2006). Com o aumento do número da lixa, superfícies menos rugosas foram obtidas. No entanto, o lixamento com a lixa 180 produziu uma superfície mais lisa comparada com a superfície lixada com lixa 220.

Como citado anteriormente são muitos os equipamentos disponíveis para a medição da rugosidade superficial, cada um com suas vantagens e desvantagens. O método com agulha tem sido muito usado para determinar a rugosidade da superfície de madeira sólida, e compostos de madeira, apresentando bons resultados (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006; BURDURLU et al., 2005; HIZIROGLU; JARUSOMBUTI;

FUEANGVIVAT, 2004; OZDEMIR; HIZIROGLU, 2007; SUMAIMAN et al., 2009). Uma das principais vantagens desse método é a possibilidade de obter o real perfil da rugosidade da superfície, e os parâmetros numéricos padrão, que podem ser calculado a partir do perfil. Qualquer tipo de irregularidade e magnitude da rugosidade sobre a superfície pode ser objetivamente quantificada pelo presente método (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006).

3.2.3 – Emendas dentadas

A união longitudinal dos sarrafos, que formam o PCL é feita geralmente por emendas dentadas em forma de dedos ou dentes, chamadas de *finger joint* (Figura 3.4). Esse tipo de emenda foi projetado para obter maiores resistências de colagem em emendas longitudinais, já que superfícies de topo não devem ser coladas diretamente devido às dificuldades encontradas (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

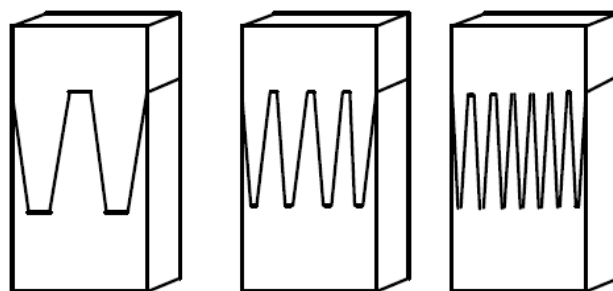


Figura 3.4 – Emendas dentadas (*finger joint*) (SERRANO, 2009)

As razões pelas quais as superfícies de topo não devem ser coladas estão relacionadas à alta porosidade apresentada, acarretando excessiva penetração e a consequente formação de linha de cola faminta (MARRA³, 1992 citado por ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Segundo Albuquerque; Latorraca (2000), a colagem de madeiras por meio de *finger joint*, não pode ser considerada uma colagem de topo. Com essa técnica novas superfícies de colagem são criadas, sendo que a posição dessas superfícies se torna próxima do eixo longitudinal, proporcionando assim colagens fortes.

³ MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

Produtos com emendas do tipo *finger joint* permitem a utilização de madeiras com defeitos, como nós, e outras irregularidades da grã, através da remoção dos mesmos. Ao mesmo tempo, admitem o uso de peças de pequenas dimensões para a fabricação de produtos estruturais e não estruturais. Além disso, se manufaturadas adequadamente, as emendas dentadas podem atingir resistências de pelo menos 75% da resistência da madeira sólida em muitas espécies (USDA, 1999).

Segundo Jokerst (1981), as emendas dentadas são classificadas em estrutural e não estrutural. Essa classificação é feita de acordo com o uso a que se destina, e com os parâmetros geométricos da emenda, que afetam a capacidade de transferência das tensões. O *finger joint* não estrutural geralmente apresenta dentes curtos e largura da ponta do dente maior, enquanto o *finger joint* estrutural é formado de dentes longos com a largura da ponta menor. Sistemas de emendas não estruturais são usados quando a resistência não é o principal objetivo da junção, sendo usados para unir peças de vários comprimentos, onde os defeitos indesejáveis foram removidos. Esses são empregados principalmente em molduras, componentes para portas, estrutura para janelas, dentre outros (JOKERST, 1981).

Quando a resistência é fundamental em uma emenda, então o *finger joint* estrutural é empregado. Esses podem ser usados para componentes estruturais como vigas laminadas, onde o comprimento da viga excede o comprimento das peças disponíveis. As emendas dentadas também podem ser usadas para remover defeitos que limitam a classificação das vigas (JOKERST, 1981).

Além dos fatores que influenciam a colagem de madeiras apresentados anteriormente, em uniões dentadas a geometria da emenda é um dos fatores que mais fortemente influenciam a resistência da colagem desse sistema (SERRANO, 2009). A performance da colagem está altamente relacionada com a geometria do *finger joint*. Esses parâmetros são interdependentes, de forma que a mudança de uma das dimensões ocasionará mudança nas outras, dificultando a investigação dos efeitos sobre a resistência de quaisquer dos elementos (JOKERST, 1981).

Os parâmetros geométricos da união dentada são comprimento do dente (L), largura do dente (p), largura da ponta do dente (b) e inclinação (α), e estão ilustrados na Figura 3.5.

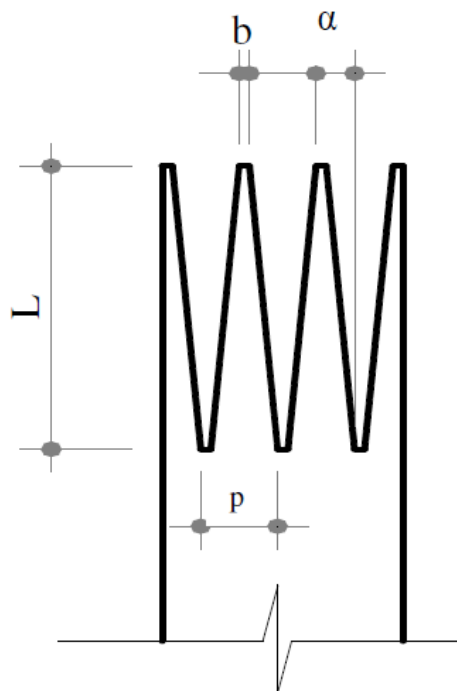


Figura 3.5 – Parâmetros geométricos das emendas dentadas (SERRANO, 2009)

Segundo Hernandez (1998), o parâmetro geométrico com maior influência na resistência da emenda é a largura da ponta do dente, quanto menor for essa dimensão mais resistente será a emenda dentada. O autor cita ainda, que a resistência da emenda aumenta na medida em que a inclinação dos dentes diminui.

Isso confirma as informações referidas por Selbo⁴ (1963, citado por Jokerst, 1981), que para obter resistências elevadas, os dedos devem ser suficientemente longos com uma inclinação suficientemente baixa. O autor analisou os efeitos de três larguras de ponta, seis inclinações e seis larguras de dente em três espécies de madeira. A partir disso, concluiu que: com a diminuição da inclinação a resistência da emenda dentada aumenta; aumentando a largura dos dentes, e mantendo a inclinação e a largura da ponta constantes, a resistência da emenda geralmente aumenta. Isso é explicado pelo aumento no comprimento do dente, ocasionado pelo acréscimo da largura do mesmo, resultando portanto em uma maior área efetiva de colagem. E por último, que a largura da ponta é o fator determinante na resistência da emenda, sendo que quanto mais fina a ponta maior será a resistência.

⁴ SELBO, M. L. Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints. **Forest Products Journal**, v. 13, n. 9, 1963.

O estudo realizado por Karastergiou; Barboutis; Vassiliou (2006) também mostra que a resistência de colagem é influenciada pelo comprimento dos dentes, pois o aumento do comprimento do dente ocasionou um aumento no módulo de ruptura das emendas testadas.

Ainda sobre o comprimento do dente, Ayarkwa; Hirashima; Sasaki, (2000) avaliaram o comportamento das emendas dentadas em ensaios de flexão empregando três perfis de emendas. Nesse caso a geometria do *finger joint* teve influencia significativa sobre o módulo de ruptura, mas não sobre o módulo de elasticidade, sendo que o perfil que apresentava 18 mm de comprimento apresentou uma maior eficiência comparada aos de 10 mm e 20 mm de comprimento.

A literatura disponível sobre emendas dentadas referem-se basicamente às junções estruturais, principalmente aquelas relacionadas a madeira laminada colada. Poucos são os estudos que abordam emendas dentadas para produtos não estruturais, como é caso da pesquisa feita por Vassiliou; Barboutis; Karastergiou (2007), em que foi avaliado o efeito dos parâmetros de emendas dentadas não estrutural. Os resultados obtidos pelos autores revelaram que o efeito do comprimento dos dentes foi significativo, e que o comprimento de 10 mm apresentou valores de módulo de ruptura superiores aos de 4 mm de comprimento, corroborando com o citado pelos autores anteriormente.

4 – METODOLOGIA

4.1 – TESTES DE RESISTÊNCIA DE COLAGEM

4.1.1 – Colagem lateral

4.1.1.1 – Preparação das peças

As peças, de orientação predominantemente radial, foram cortadas nas dimensões de 700 mm de comprimento, 55 mm de largura e 25 mm de espessura, medidas e pesadas para a determinação da densidade aparente (ρ_{12}) conforme norma NBR 7190 (1997) (Equação 4.1). Para calcular a densidade básica (D_b) das peças foi utilizada a Equação (4.2), conforme Melo (2001).

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (4.1)$$

Onde:

m_{12} = massa da madeira a 12% de umidade, g;

V_{12} = volume da madeira a 12% de umidade, cm^3 .

$$D_b = \frac{\rho_{12}}{\left(\frac{1 + \frac{U_i}{100}}{1 - \frac{CV_{U_i}}{100}} \right)} \quad (4.2)$$

Onde:

U_i = teor de umidade da densidade aparente, %;

CV_{U_i} = valor da contração volumétrica da madeira saturada até o teor de umidade U_i , %.

De cada peça foi retirada uma amostra central para a determinação do teor de umidade (U) seguindo a norma NBR 7190 (1997) (Equação 4.3).

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4.3)$$

Onde:

m_i = massa inicial da madeira, g;

m_s = massa da madeira seca, g.

Iniciou-se então o processo de preparação da superfície para a colagem. A superfície lixada foi obtida através do lixamento manual das peças, onde foi definido um procedimento padrão. As peças foram friccionadas sobre uma lixa grã 60 por 40 vezes em um determinado espaço (Figura 4.1a).

Para preparar a superfície aplainada foi utilizada uma plaina desempenadeira com duas facas (Invicta) com rotação do eixo porta facas de 3440 rpm. A profundidade do corte da plaina foi de aproximadamente 0,6 mm (Figura 4.1b).



(a)



(b)

Figura 4.1 – Sistema utilizado para lixamento das peças (a) e plaina utilizada para aplainar as peças (b).

4.1.1.2 – Medição da rugosidade da superfície colada

Após a preparação das superfícies de colagem, foi feita a medição da rugosidade em cada superfície, usando o Surftest SJ – 301 da marca Mitutoyo (Figura 4.2). O aparelho foi programado para medir a rugosidade da superfície de acordo com a norma JIS (2001) e a extensão da avaliação foi de 12,5 mm.

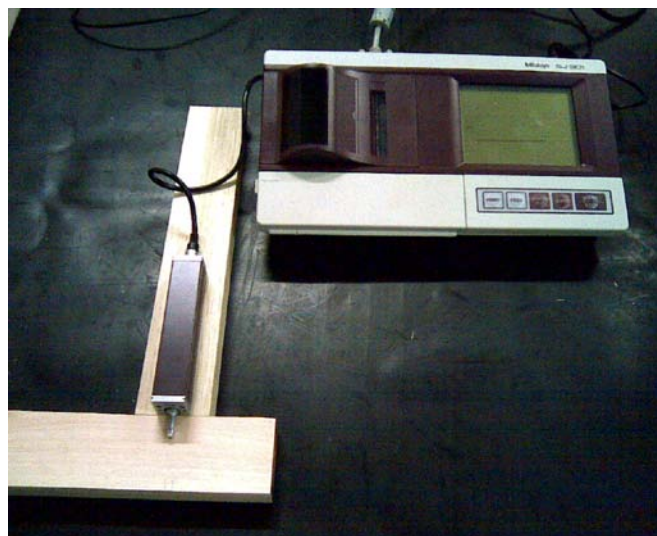


Figura 4.2 – Equipamento utilizado para medir a rugosidade da superfície - Surftest SJ – 301.

Os seguintes parâmetros da rugosidade da superfície foram determinados: R_a , média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil da linha média; R_z , soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil medidos de uma linha paralela à linha média; R_t , a soma da altura do pico máximo do perfil e a profundidade do vale máximo do perfil sobre a extensão avaliada. Os parâmetros R_a , R_z e R_t foram determinados de acordo com as Equações 4.4, 4.5 e 4.6 respectivamente (MITUTOYO CORPORATION, 2004).

$$Ra = 1/N \sum_{i=1}^N |Yi| \quad (4.4)$$

$$Rz = 1/5 \sum_{i=1}^5 Ypi + 1/5 \sum_{i=1}^5 Yvi \quad (4.5)$$

$$Rt = Yp + Yv \quad (4.6)$$

Onde:

Y_i = Desvios do perfil;

Y_{pi} = Picos mais altos;

Y_{vi} = Vales mais profundos;

Y_p = Pico mais alto;

Y_v = Vale mais profundo.

Foram utilizadas cinco peças lixadas e cinco peças aplainadas, em cada peça foram realizadas duas medições no sentido transversal às fibras, totalizando 10 medições.

4.1.1.3 – Análise de imagem

Foram retiradas pequenas amostras na forma de cubo com aresta de 5 cm das peças preparadas para a colagem, e obtidas imagens com um aumento de 50x das superfícies lixadas e aplainadas.

Para a análise das superfícies foi utilizado o equipamento 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. A análise foi feita no Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal, situado em Brasília – DF.

4.1.1.4 – Colagem das peças

Na colagem das peças foram utilizados os adesivos Multibond Advantage II à base de acetato de polivinila “crosslinking” (PVAc) (D4 conforme EN 214) com adição de catalisador na proporção de 6% do peso, e o adesivo Purweld 1052 (não estrutural) à base de poliuretano (PUR). As propriedades físicas segundo boletim técnico e as variáveis empregadas na colagem são apresentadas na Tabela 4.1. Os adesivos foram aplicados de forma manual e em face simples conforme Figura 4.3a e 4.3b.

Tabela 4.1 – Propriedades físicas dos adesivos (PURBON, 2007; FRANKLIN INTERNATIONAL, 2004) e condições de prensagem.

Adesivo	Viscosidade (cPs)	Teor de sólidos (%)	Gramatura (g/cm ²)	Pressão (MPa)	Tempo de prensagem (min)
Multibond Advantage II	3500 a 4500	53,9 a 56,3	200	0,7 e 1,0	360
Purweld 1052	5000	100	200	0,7 e 1,0	90

A prensagem foi realizada em prensa hidráulica sob temperatura ambiente (Figura 4.4) nas condições descritas na Tabela 4.2. A pressão específica (P_e) foi calculada conforme Equação 4.7 (IWAKIRI, 2005).

$$P_e = \frac{P_m \times A_t}{A_c} \quad (4.7)$$

Onde:

P_e = Pressão específica, kgf/cm²;

P_m = Pressão manométrica lida na prensa, kgf/cm²;

A_c = Área a ser colada, cm²;

A_t = Área total dos pistões, cm².



(a)

(b)

Figura 4.3 – Aplicação do adesivo PVAc (a) e do adesivo PUR (b).



Figura 4.4 – Prensagem das peças de madeira.

A Tabela 4.2 apresenta o total de tratamentos que foram analisados no teste de colagem.

Tabela 4.2 – Identificação dos tratamentos, adesivos, e valores de gramatura e pressão empregados.

Adesivo	Preparação da superfície	Pressão (MPa)	Nº CP	Tratamento
PVAc	Plaina	0,7	20	T1
		1,0	20	T2
	Lixa	0,7	20	T3
		1,0	20	T4
PUR	Plaina	0,7	20	T5
		1,0	20	T6
	Lixa	0,7	20	T7
		1,0	20	T8

4.1.1.5 – Análise de imagem

Imagens da linha de cola das peças coladas foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura a baixo vácuo (marca FEI, modelo QUANTA 200 3D – Dual Beam) no Departamento de Balística da Polícia Federal.

4.1.1.6 – Ensaio de resistência ao cisalhamento

Após colagem, as peças foram colocadas em câmara climatizada com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$ durante 20 dias, e por fim foram transformadas em CP conforme norma ASTM D5751 – 99 (Figura 4.5).

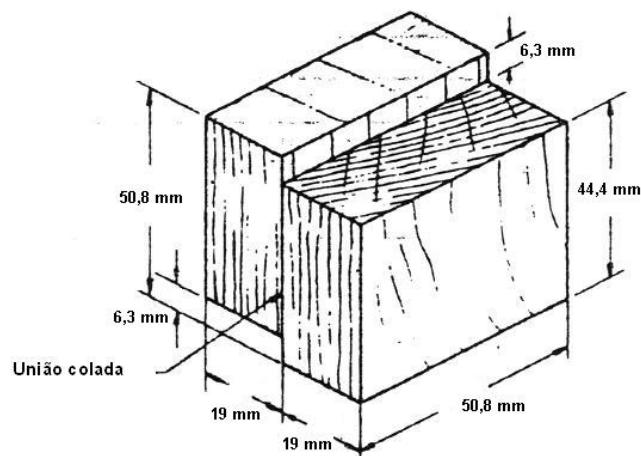


Figura 4.5 – CP segundo a norma ASTM D5751 (ASTM D5751, 1999 adaptado)

Os CPs foram testados em máquina universal de ensaios da marca Instron a uma velocidade constante de 12,8 mm/min (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Ensaio de cisalhamento das peças coladas

Para satisfazer os valores requeridos pela norma, o valor de resistência ao cisalhamento de cada CP, deverá atingir 30% da resistência média ao cisalhamento da madeira sólida a 12% de umidade. E esse valor (30%) deve ser alcançado por 90% dos CPs testados. Além disso, a média do grupo (tratamento) deve ser 60% da resistência média ao cisalhamento da madeira sólida a 12% de umidade.

Após a ruptura foi avaliado o percentual de falha na madeira com o auxílio de lâminas transparentes nas mesmas dimensões da área de colagem dos CPs. As lâminas transparentes foram previamente quadriculadas em 100 partes iguais, de modo que cada parte representasse 1% da área colada.

Após a realização dos ensaios de cisalhamento os CPs foram levados à uma câmara de secagem com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para determinação do teor de umidade de acordo com a norma NBR 7190 (1997).

Os CPs com umidade diferente de 12% (entre 10% e 20%) tiveram sua resistência corrigida para a umidade padrão de 12%, conforme a Equação 4.8 definida pela norma NBR 7190 (1997).

$$f_{gv,0} = f_{U\%} \times \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (4.8)$$

Onde:

$f_{gv,0}$ = resistência ao cisalhamento a 12% de umidade, MPa;

$f_{U\%}$ = resistência ao cisalhamento obtida no ensaio, MPa;

$U\%$ = porcentagem de umidade que os CPs se encontravam no momento do ensaio.

4.1.2 – Colagem longitudinal (*finger joint*)

4.1.2.1 – Preparação das peças

Foram utilizadas peças nas dimensões de 200 mm de comprimento, 70 mm de largura e 30 mm de espessura, as quais foram pesadas e medidas para determinação da densidade aparente conforme norma NBR 7190 (1997) (Equação 4.1). Com os valores de densidade calculados foi feita uma classificação das peças, de modo que as peças de densidade semelhantes fossem coladas juntas.

A geometria adotada para os dentes foi definida em função do conjunto de fresas disponível para o ensaio conforme Figura 4.7. Para a produção dos dentes o conjunto de fresas (Figura 4.8a) foi adaptado em uma tupa (Figura 4.8b). As peças resultantes desse processo foram usadas para formar uma emenda dentada através do conjunto macho e fêmea (Figura 4.9a e 4.9b).

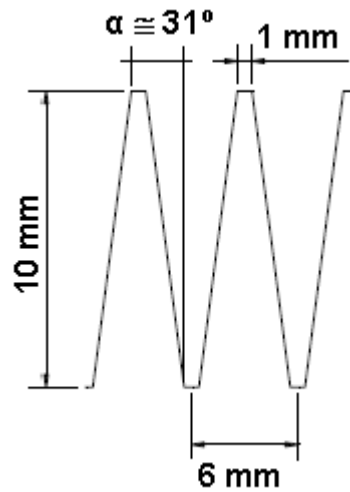


Figura 4.7 – Geometria dos dentes.



(a)



(b)

Figura 4.8 – Conjunto de fresas (a) e processo de corte dos dentes da união dentada (b).



(a)



(b)

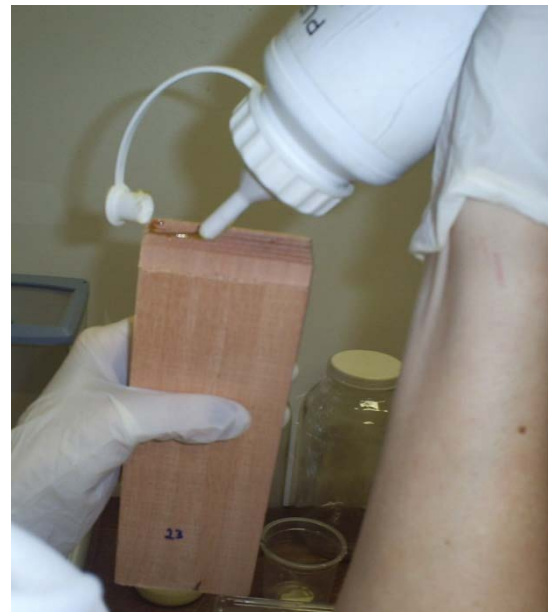
Figura 4.9 – Lote de peças produzidas (a) e detalhe dos conjuntos macho e fêmea (b).

4.1.2.2 – Colagem das peças

Para a colagem longitudinal foram utilizados os mesmos adesivos empregados na colagem lateral, ambos na gramatura de 200 g/m^2 . O adesivo PVAc foi aplicado através da imersão dos dentes em um recipiente contendo o adesivo (Figura 4.10a). Já o adesivo PUR foi aplicado com o bico da própria embalagem, e com a ajuda de um palito de madeira foi espalhado uniformemente por toda a extensão dos dentes (Figura 4.10b). A gramatura foi controlada através da pesagem da peça com adesivo.



(a)



(b)

Figura 4.10 – Processo utilizado para aplicar o adesivo PVAc (a) e para o adesivo PUR (b).

As duas peças previamente selecionadas foram unidas pela união dentada e prensadas longitudinalmente em uma prensa hidráulica (Figura 4.11a e 4.11b). A pressão de colagem foi de 1,5 MPa, aplicada durante dois minutos.



(a)



(b)

Figura 4.11 – Prensa hidráulica utilizada (a) e detalhe da peça sendo prensada (a)

4.1.1.3 – Ensaio de resistência à flexão estática

As peças foram climatizadas em temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$ durante 10 dias. Posteriormente foram confeccionados CPs com dimensões de 307,2 mm de comprimento, 19,2 mm de largura e 12,8 mm de espessura conforme norma ASTM D5572 - 95 (Figura 4.12). A orientação do *finger joint* em relação à direção da carga no momento do ensaio foi vertical.

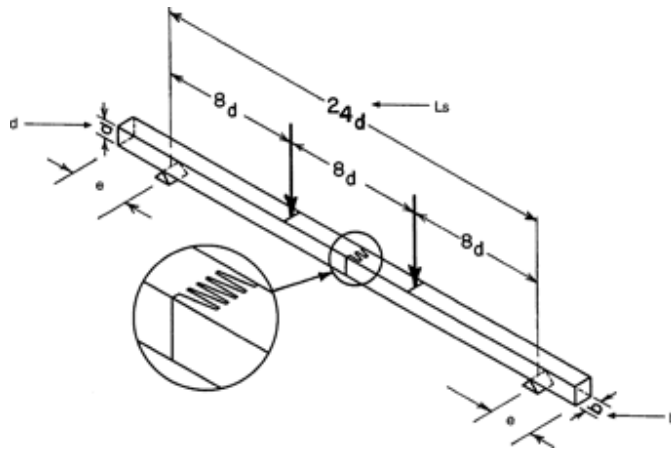


Figura 4.12 – CP segundo ASTM D5572 (ASTM D5572, 1995).

A Tabela 4.3 apresenta o total de tratamentos que foram analisados no teste de colagem longitudinal.

Tabela 4.3 – Tratamento para o teste de colagem longitudinal.

Tratamento	Adesivo	Nº CP
T1	PVAc	20
T2	PUR	20

Os CPs foram submetidos ao teste de flexão em máquina universal de ensaios da marca Instron a uma velocidade constante de 12,7 mm/min (Figura 4.13). Com os valores obtidos foi calculado o módulo de ruptura (f_M) através da Equação 4.9, estabelecida pela norma ASTM D5572.

$$f_M = \frac{P_{rup}L}{bh^2} \quad (4.9)$$

Onde:

f_M = módulo de ruptura, MPa;

P_{rup} = carga de ruptura, N;

L = comprimento do vão, mm;

b = largura do CP, mm;

h = altura do CP, mm.

Para satisfazer os requisitos determinados pela norma, o valor do módulo de ruptura no teste de flexão de cada CP deverá ser no mínimo 13,8 MPa.

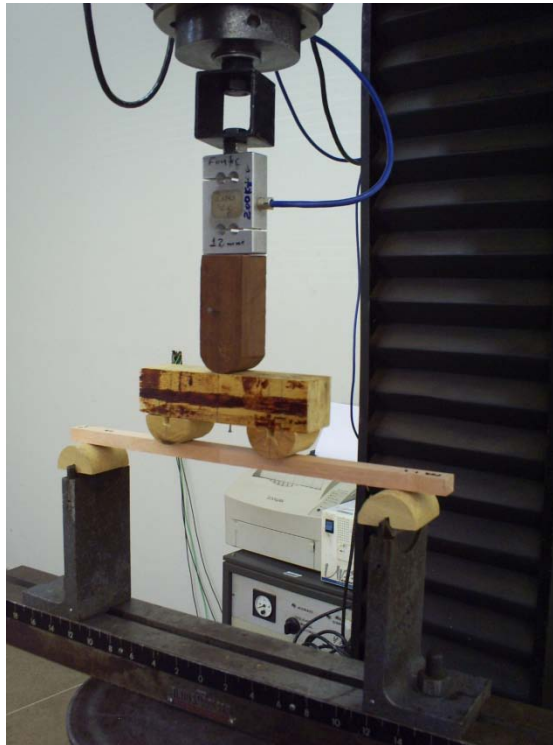


Figura 4.13 – Ensaio de flexão em máquina de ensaio.

Foi calculado também o módulo de elasticidade (E_M) para cada amostra ensaiada através da Equação 4.10 conforme norma ASTM D198 - 09.

$$E_M = \frac{P_{LP}L^3}{4,7bh^3\Delta} \quad (4.10)$$

Onde:

E_M = módulo de elasticidade, MPa;

P_{LP} = carga no limite proporcional, N;

L = comprimento do vão, mm;

b = largura do CP, mm;

h = altura do CP, mm;

Δ = deformação no limite proporcional, mm.

Análise do experimento

Os resultados do teste de rugosidade foram analisados por meio da média dos parâmetros da rugosidade da superfície obtida pelos tratamentos, onde foi avaliado o efeito da preparação da superfície sobre a resistência de colagem. Para a análise dos resultados foi empregada a análise de variância (ANOVA) para observar a diferença entre as médias dos tratamentos.

No teste de cisalhamento os resultados foram analisados por meio do delineamento fatorial (2 x 2 x 2), onde foi avaliado o efeito do adesivo (PVAc e PUR), do procedimento de preparação da superfície (plaina e lixa) e da pressão sobre a resistência de colagem (0,7 MPa e 1,0 MPa). Os resultados obtidos foram analisados através da análise de variância (ANOVA) para observar a diferença entre as médias dos tratamentos, havendo rejeição da hipótese de nulidade foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação das médias.

Os resultados do teste de flexão foram analisados por meio da média da resistência de colagem obtida pelos tratamentos, onde foi avaliado o efeito do adesivo sobre a resistência de colagem. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para observar a diferença entre as médias dos tratamentos. As análises foram realizadas com o auxílio do Programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão 17.0.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – COLAGEM LATERAL

5.1.1 – Características físicas

No momento da colagem os sarrafos apresentavam um teor de umidade médio de 13,4%. A Tabela 5.1 apresenta os valores de densidade aparente dos sarrafos que foram utilizados para a colagem dos CPs. Em relação à densidade aparente todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes, não apresentando diferença estatística (Tabela B.1, Apêndice B) entre eles.

Tabela 5.1 – Densidade aparente dos sarrafos submetidos à colagem.

Tratamento	Densidade (g/cm ³)	
	Média	CV (%)
T1	0,754	2,25
T2	0,796	4,65
T3	0,742	8,03
T4	0,754	6,52
T5	0,796	4,31
T6	0,779	7,95
T7	0,761	4,47
T8	0,778	5,99
Média	0,769	5,52

A densidade básica da madeira de *E. benthamii* utilizada nesse estudo foi calculada através da densidade aparente. Para o cálculo foi empregado o valor da contração volumétrica da madeira saturada até o teor de umidade de 12% para a madeira de *E. benthamii* obtido por Cunha; Martins; Anjos (2009). O valor da densidade básica da madeira de *E. benthamii* empregada nesse estudo foi de 0,599 g/cm³.

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores de densidade básica obtidos por outros autores. Comparando esses valores com o valor determinado nesse estudo, observa-se que esse se encontra relativamente superior a todos os valores mencionados, inclusive aquele obtido por Cunha; Martins; Anjos (2009), o qual utilizou material proveniente do mesmo lote.

Tabela 5.2 – Densidade básica de *E. benthamii* segundo alguns autores.

Densidade básica (g/cm ³)	Idade (anos)	Referência
0,403	4,0	Pereira et al., 2000
0,470	7,0	Pereira; Schaitza; Shimizu, 1997
0,470	7,0	Nisgoski; Muñiz; Klock, 1998
0,475	6,0	Lima et al., 2007
0,477	7,0	Pereira et al., 2000
0,477	-	Pereira; Schaitza; Shimizu, 2001 ⁵ citado por Higa; Pereira, 2003
0,529	18,0	Thomaz, 2007 ⁶ citado por Lima et al., 2007
0,531	12,0	Cunha; Marins; Anjos, 2009

⁵ PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage.** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 4 p.

⁶ THOMAZ, D.T. Avaliação da madeira e do carvão de *Eucalyptus badjensis* e *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Monografia**, PUC-PR, 2007, 26 p.

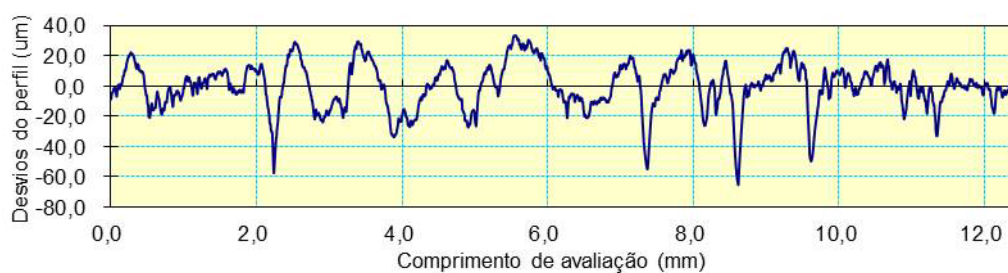
Entende-se ser necessária uma comparação da densidade das espécies *E. benthamii* e *E. grandis*, por essa apresentar propriedades adequadas para a produção de serrados (ROCHA, 2000), e oferecer bom comportamento quando submetida à secagem artificial (KLOCK; WECKERLIN; MUÑIZ, 1996). De acordo com os valores apresentados na Tabela 5.3 obtidos em estudos anteriores, pode-se inferir que o *E. benthamii* apresenta densidade superior ao *E. grandis*.

Tabela 5.3 – Densidade básica de *E. grandis* segundo alguns autores.

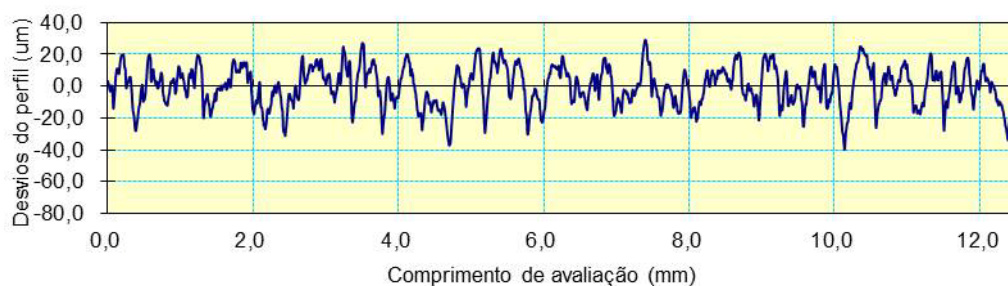
Densidade básica (g/cm ³)	Idade (anos)	Referência
0,34	10,0	Silva, 2002a
0,41	14,0	Silva, 2002a
0,42	25,0	Silva, 2002a
0,46	27,0	Haselein et al., 2004
0,47	12,0	Rocha, 2000
0,47	20,0	Silva, 2002a
0,49	16,0	Oliveira; Hellmeister; Tomazello Filho, 2005
0,59	17,0	Gonçalez et al., 2006

5.1.2 – Rugosidade

Na Figura 5.1 é apresentado um perfil típico da rugosidade da superfície aplainada e da superfície lixada.



(a)



(b)

Figura 5.1 – Perfil típico da superfície aplainada (a) e lixada (b) de *E. benthamii*.

Com base nos gráficos gerados na avaliação da rugosidade, foi observado que os perfis das superfícies aplainadas apresentaram vales mais profundos, bem como a extensão desses vales foi maior. Isso significa que a plaina produziu superfícies com células abertas, provavelmente vasos. Contudo, o perfil da superfície lixada foi caracterizada por uma incidência maior de picos e vales menores, correspondendo às ranhuras características produzidas pela lixa. Observações semelhantes foram feitas por Moura; Hernández (2005), quando analisaram a rugosidade das superfícies aplainadas e lixadas para aplicação de vernizes.

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros R_a , R_z e R_t para as superfícies preparadas em plaina e em lixa, assim como os respectivos coeficientes de variação. Foram analisados somente os parâmetros R_a , R_z e R_t , por serem os parâmetros usualmente estudados por outros autores (SULAIMAN et al. (2009), OZDEMIR; HIZIROGLU (2007), HIZIROGLU; JARUSOMBUTI; FUEANGVIVAT, 2004), sendo que muitos avaliam apenas o parâmetro R_a (BURDURLU et al., 2005, MOURA; HERNÁNDEZ, 2006a).

Tabela 5.4 – Valores dos parâmetros encontrados no teste de rugosidade.

Parâmetros	Plaina (μm)	CV (%)	Lixa (μm)	CV(%)
R_a^{NS}	9,08	17,86	9,34	4,37
R_z^{NS}	60,16	19,11	59,79	9,67
R_t^{NS}	81,96	22,63	76,99	12,79

CV: coeficiente de variação; NS: diferença entre os valores de plaina e lixa não significativa.

Baseado na análise estatística (Tabela B.2, Apêndice B) nenhuma diferença significativa foi observada entre a superfície aplainada e a superfície lixada para os parâmetros R_a , R_z e R_t . Porém, em geral foi notado um maior coeficiente de variação em todos os parâmetros analisados para a superfície aplainada.

Para os parâmetros R_z e R_t foram observados valores levemente superiores na superfície aplainada, embora não significativos. No entanto como esses parâmetros são relacionados a picos e vales da superfície, esse resultado pode explicar as maiores profundidades dos vales correspondentes aos vasos, como poderá ser visualizado no próximo item.

O valor de R_a encontrado para ambas as superfícies foi maior que o encontrado por Kilic; Hiziroglu; Burdurlu (2006) em superfícies de *Populus tremula* preparadas com plaina (7,05 μm) e lixa grã 60 (6,68 μm), e também para a espécie *Fagus orientalis* nas

mesmas condições (plaina - 7,90 μm e lixa grã 60 - 8,20 μm). Quanto aos valores de R_z , os autores obtiveram em superfícies aplainadas 61,62 μm e 63,45 μm para *Populus tremula* e *Fagus orientalis* respectivamente. Esses ficaram acima do encontrado para *E. benthamii*. Enquanto na superfície lixada (grã 60), o parâmetro R_z do *E. benthamii* foi intermediário ao *Populus tremula* (58,77 μm) e *Fagus orientalis* (68,33 μm) nas mesmas condições.

Quando comparado com os resultados obtidos por Burdurlu et al. (2005), o valor de R_a da superfície lixada foi menor que o encontrado para *Populus nigra* e *Pinus nigra* lixadas com lixa grã 60, 15,84 μm e 12,27 μm respectivamente. Por outro lado, para a superfície aplainada o valor de R_a foi maior que o encontrado por aqueles autores. O parâmetro R_a para *Populus nigra* foi 8,85 μm enquanto que para *Pinus nigra* foi 4,51 μm .

5.1.3 – Análise de imagem

5.1.3.1 – Imagens das superfícies de colagem

A análise das imagens obtidas mostra que a superfície lixada apresenta-se visualmente mais rugosa que a superfície aplainada (Figura 5.2 e 5.3). Na superfície lixada podem ser visualizadas fibrilações e ranhuras causadas pela ação abrasiva do lixamento, particularidades que não foram observadas na superfície aplainada.

A fibrilação apresentada pela superfície lixada pode ser desejável para adesão, mas deve ser limitada a um nível no qual não pode ser considerado um defeito, como por exemplo, fibra áspera (*fuzzy grain*) (HERNÁNDEZ; COOL, 2008a). Em relação às ranhuras, essas auxiliam na colagem por oferecem melhores condições de espalhamento do adesivo (MOURA; HERNÁNDEZ, 2005).

Fendas relativas às células de vasos ficaram evidentes nas superfícies aplainadas, as quais promovem maior possibilidade para penetração do adesivo (MOURA; HERNÁNDEZ, 2005). Além disso, percebe-se visualmente maior lisura da superfície em comparação à superfície lixada.

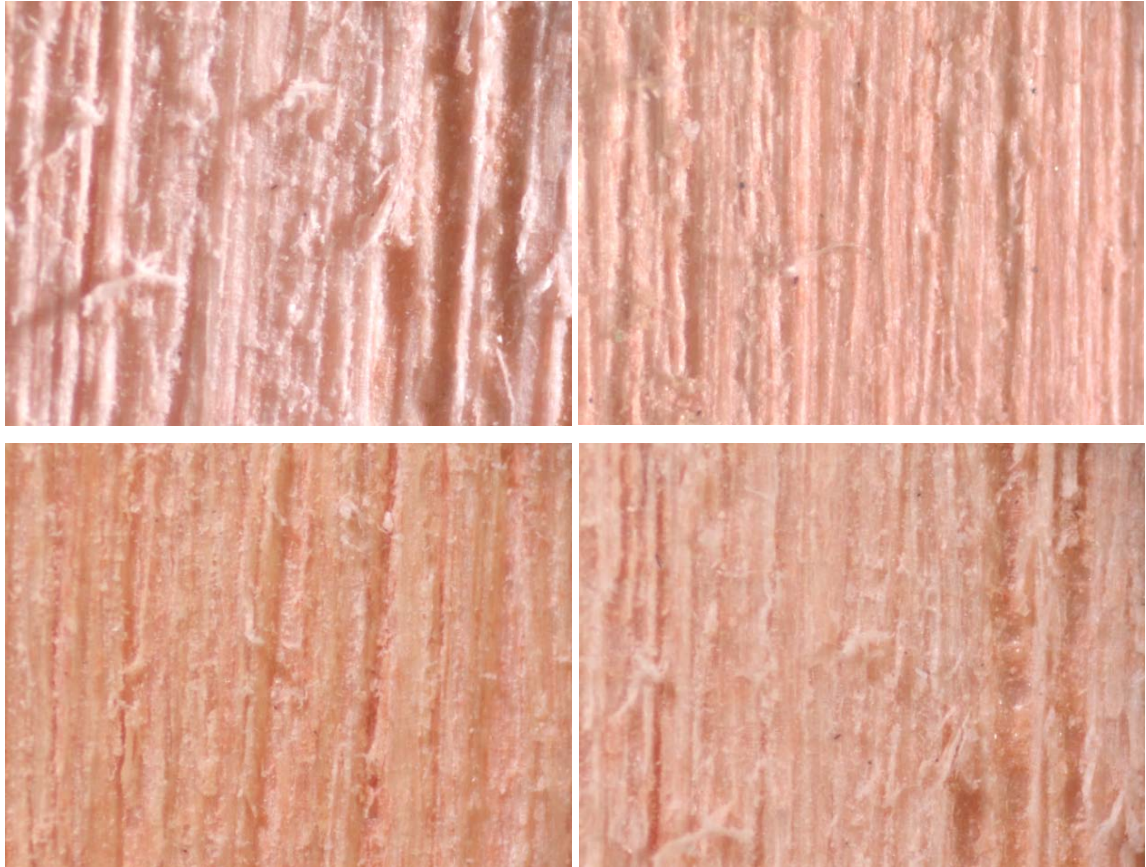


Figura 5.2 – Imagens das superfícies lixadas de *E. benthamii* (50x).

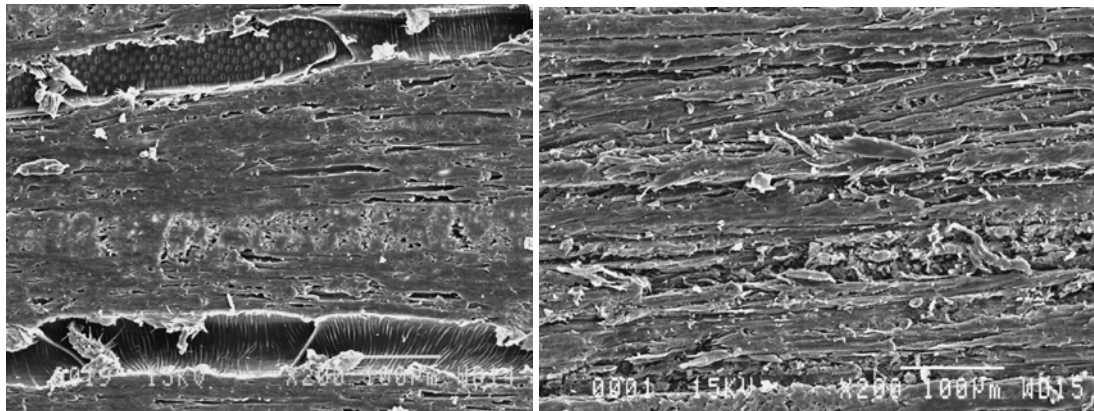


Figura 5.3 – Imagens das superfícies aplainadas de *E. benthamii* (50x).

Análise similar foi feita por Hernández; Cool (2008b) quando avaliaram o efeito de diferentes usinagens na qualidade da superfície para aplicação de revestimentos. Além das ranhuras apresentadas pela superfície lixada, os autores mencionaram que houve o preenchimento dos lúmens das células com o pó composto por fragmentos de células, que impede a penetração de tintas e vernizes. Em relação à superfície aplainada, foram observados menores danos nas células superficiais, com relativamente maior quantidade de células abertas, como vasos e fibras.

Moura; Hernández (2005) corroboram com os autores acima quando relatam a análise feita nas imagens obtidas de superfícies lixadas e aplainadas de *Acer saccharum* (Figura 5.4). Fibrilações da parede das células foram observadas na superfície lixada, assim como ranhuras puderam ser facilmente visualizadas. O lixamento também obstruiu os lúmens das células, e raramente foi observada a presença de vasos abertos.

Os autores relataram que a superfície aplainada proporcionou um acabamento com maior quantidade de células abertas, particularmente vasos, o que facilita a penetração dos produtos de acabamento. Porém, lúmens de fibras e raios não foram frequentemente visíveis.



(a)

(b)

Figura 5.4 – Superfície de *Acer saccharum* aplainada (a) e lixada (b) (MOURA; HERNÁNDEZ, 2005).

5.1.3.2 – Imagens da linha de cola das peças coladas

As Figuras 5.5a e 5.5b mostram a linha de cola das peças lixadas e aplainadas coladas. Pode-se observar que a superfície aplainada apresentou uma linha mais retilínea comparada a linha de cola da superfície lixada. Confirmando a análise feita no item

anterior, em que a superfície lixada se mostra visualmente mais rugosa que a superfície aplainada.

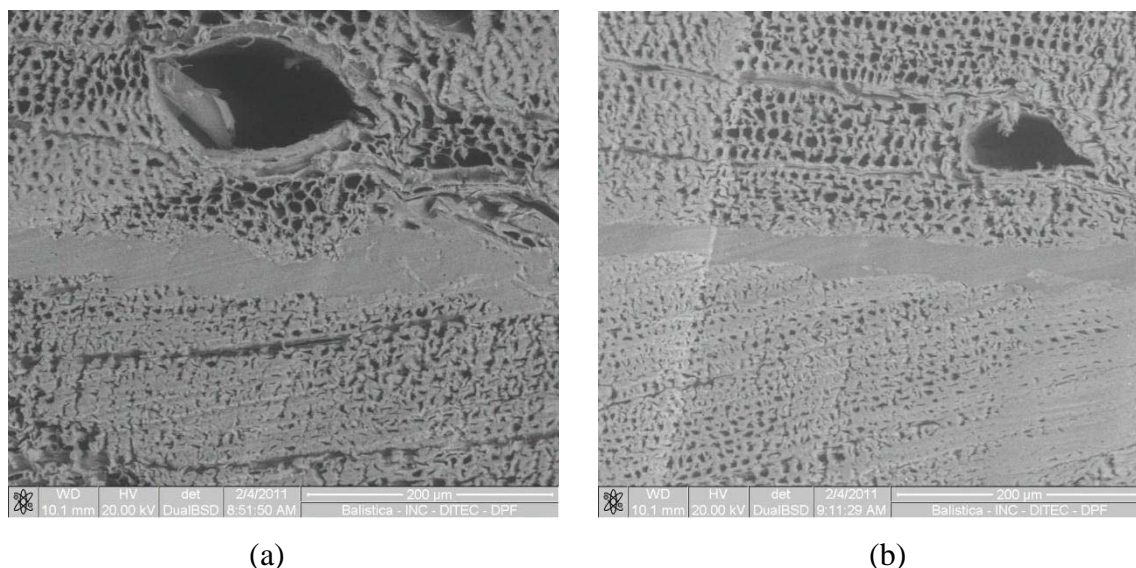


Figura 5.5 – Linha de cola apresentada pelas peças lixadas (a) e linha de cola apresentada pelas peças aplainadas (b).

5.1.4 – Resistência ao cisalhamento

5.1.4.1 – Análise geral

A Figura 5.6 apresenta as médias e os desvios padrão da resistência ao cisalhamento para cada tratamento testado. Os valores já estão corrigidos para o teor de umidade de 12%, conforme estabelecido pela norma.

Inicialmente foi feita uma análise geral entre os tratamentos através da análise de variância (Tabela B.3, Apêndice B) e teste de Tukey. Com essa análise foram observados 2 grupos distintos, sendo encontrados valores maiores de resistência para o tratamento T8 e menores para os tratamentos T5, T6 e T7.

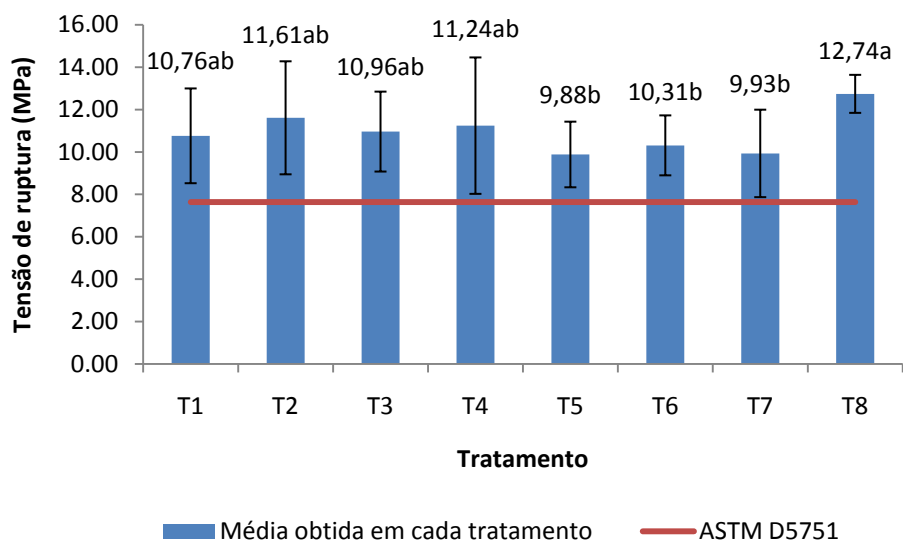


Figura 5.6 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) para os diferentes tratamentos e o valor exigido pela norma ASTM D5751.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

T1 – PVAc, plaina, 0,7; T2 – PVAc, plaina, 1,0; T3 – PVAc, lixa, 0,7; T4 – PVAc, lixa, 1,0; T5 – PUR, plaina, 0,7; T6 – PUR, plaina, 1,0; T7 – PUR, lixa, 0,7; T8 – PUR, lixa, 1,0.

Segundo a norma ASTM D5751 o valor médio de resistência ao cisalhamento de cada grupo (tratamento), deve atingir 60% do valor de resistência ao cisalhamento da madeira sólida. De acordo com Cunha; Martins; Anjos (2009) a resistência ao cisalhamento da madeira sólida do mesmo lote de *E. benthamii* utilizado nesse trabalho é de 12,74 MPa. Nesse sentido, em conformidade com a norma todos os tratamentos testados atingiram o valor mínimo de resistência ao cisalhamento (Figura 5.6).

A norma ainda prevê que todos os CPs dentro de cada tratamento devem atingir 30% da resistência ao cisalhamento da madeira sólida. A Figura 5.7 mostra que todos os indivíduos dentro de cada tratamento alcançaram o requisito estabelecido pela norma.

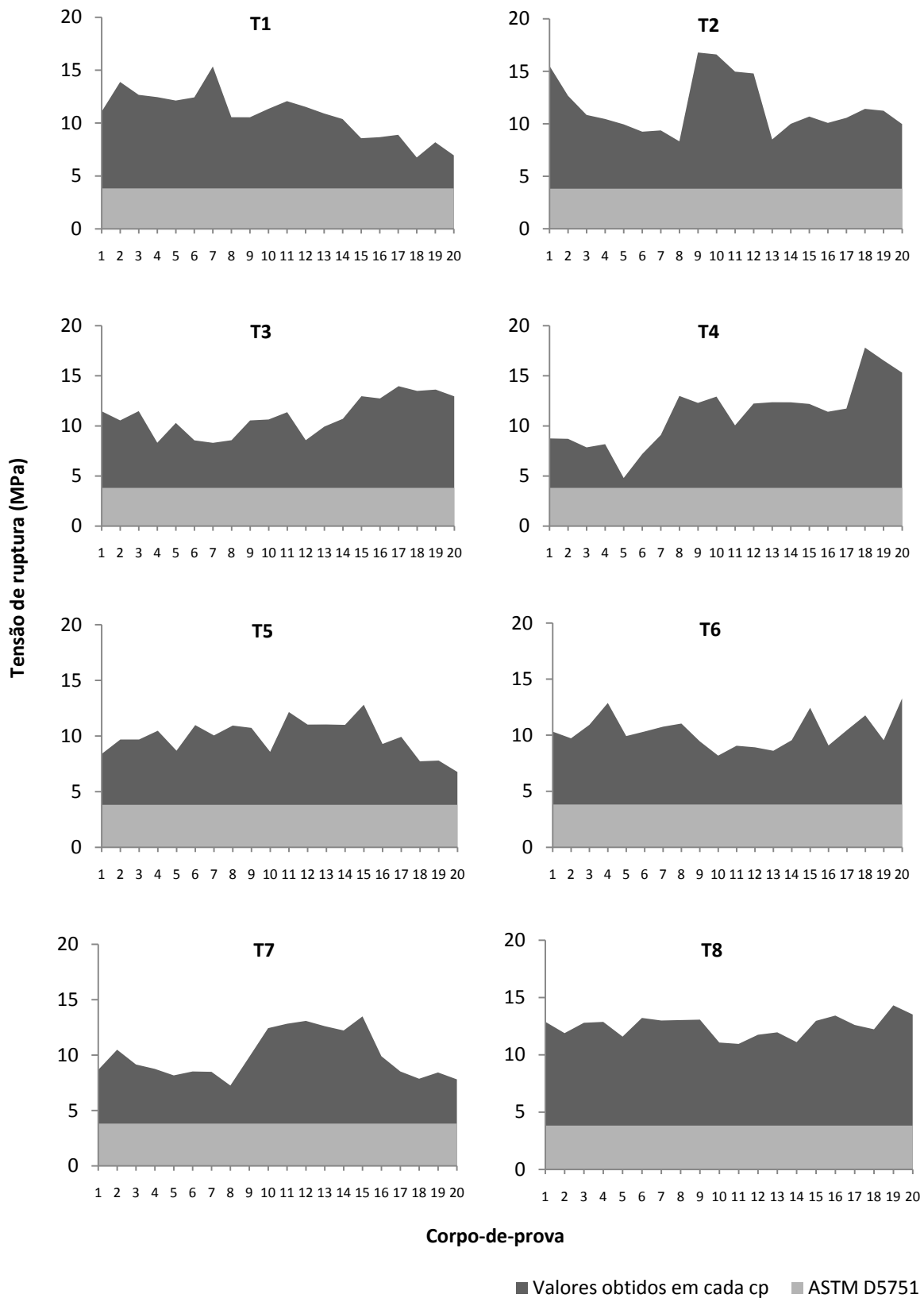


Figura 5.7 – Valores de resistência ao cisalhamento (MPa) obtidos em cada CP e o valor exigido pela norma ASTM D5751.

5.1.4.2 – Análise fatorial

Posteriormente foi feita uma análise do tipo fatorial para avaliar isoladamente o efeito do adesivo, da pressão e da preparação da superfície sobre a resistência de colagem, e as respectivas interações. Através dessa análise (Tabela B.4, Apêndice B) foi constatado que a variável pressão teve influência na resistência de colagem, assim como a interação adesivo x superfície, e também a interação tripla – adesivo x pressão x superfície (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Resumo do resultado da análise de variância para as variáveis estimadas.

Variável	Significância
Adesivo	NS
Superfície	NS
Pressão	**
Adesivo x Superfície	*
Adesivo x Pressão	NS
Superfície x Pressão	NS
Adesivo x Superfície x Pressão	*

^{NS} Não significativo; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 5.8 mostra o comportamento das variáveis adesivo, pressão e superfície analisadas isoladamente. Observou-se que os adesivos PVAc e PUR não apresentaram diferença significativa quando considerado somente essa variável, assim como para a variável superfície. Já a variável pressão apresentou diferença significativa.

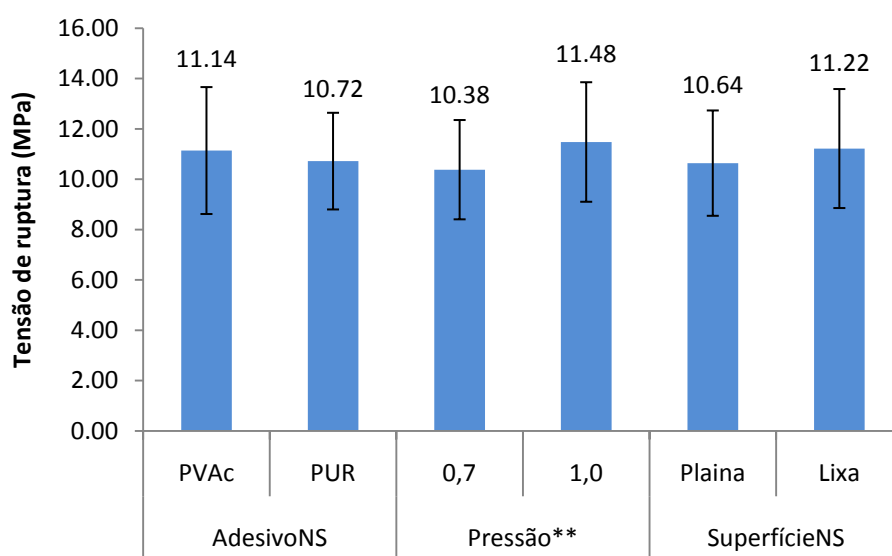


Figura 5.8 – Valores médios de acordo com o adesivo, a pressão e a superfície.

^{NS} Não significativo; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O resultado médio da resistência da linha de cola para o adesivo PVAc obtido neste trabalho (11,14 MPa) pode ser comparado com os resultados de cisalhamento na colagem de madeiras de eucalipto encontrados por alguns autores (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Valores médios de resistência ao cisalhamento segundo algumas literaturas para o gênero *Eucalyptus* com adesivo PVAc.

Espécie	RC (MPa)	Referência
<i>E. urophylla</i>	7,45	Lima et al., 2008
<i>E. grandis</i>	7,51	Serrano, 2009
<i>E. camaldulensis</i>	7,94	Lima et al., 2008
<i>E. grandis</i>	8,72	Vital; Maciel; Della Lucia, 2006
<i>E. saligna</i>	9,68	Vital; Maciel; Della Lucia, 2006
<i>E. saligna</i>	10,28	Della Lucia; Vital, 1981 ⁷ citados por Lima et al., 2008
<i>E. saligna</i>	10,76	Serpa et al., 2003
<i>E. saligna</i>	11,36	Serpa et al., 2003
<i>E. saligna</i>	13,44	Pincelli; Brito; Corrente, 2002
<i>Eucalyptus sp</i>	13,75	Plaster et al., 2008

RC: resistência ao cisalhamento

Essa comparação mostra, portanto, que os resultados encontrados neste trabalho são coerentes com aqueles obtidos por outros pesquisadores para resistência da colagem. Com isso a colagem da madeira de *E. benthamii* com o adesivo PVAc atingiu valores semelhantes à outras espécies de *Eucalyptus*.

Em relação ao resultado obtido para o adesivo PUR, esse se mostrou acima do encontrado por Özçifçi; Yapici (2008a), quando pesquisaram a resistência da colagem de cinco espécies com adesivos PVAc e PUR. Dentre as espécies, *Fagus orientalis* de densidade 0,63 g/cm³, apresentou resistência ao cisalhamento de 12,02 MPa e 8,85 MPa para PVAc e PUR respectivamente. Entretanto, o valor encontrado pelos autores para o adesivo PVAc foi ligeiramente superior ao encontrado para *E. benthamii*.

A variável pressão quando foi analisada separadamente apresentou diferença significativa, indicando que as amostras coladas com pressão de 1,0 MPa apresentaram resistência de colagem superior aquelas coladas com pressão de 0,7 MPa. Resultado semelhante foi obtido por Nascimento et al. (2002), quando encontrou melhores desempenhos de colagem de pinus e eucalipto quando foi empregada a pressão de 1,0 MPa. Os resultados obtidos no presente trabalho confirmam também a recomendação feita por River; Okkonen (1991), Corrêa (1997) e Muenchow (2002) de se colar madeiras de

⁷ DELLA LÚCIA, R.M.; VITAL, B.R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de três espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n. 5, p. 172-180, 1981.

média densidade com pressões entre 0,9 e 1,3 MPa. Por outro lado, quando considerada apenas a variável preparação da superfície, observou-se que não houve diferença significativa entre a superfície preparada em plaina e em lixa.

Ainda sobre a análise fatorial, a interação adesivo x superfície foi significativa, o que indica que o efeito do adesivo depende do tipo de superfície, o que pode ser visualizado na Tabela 5.5 e na Figura 5.9.

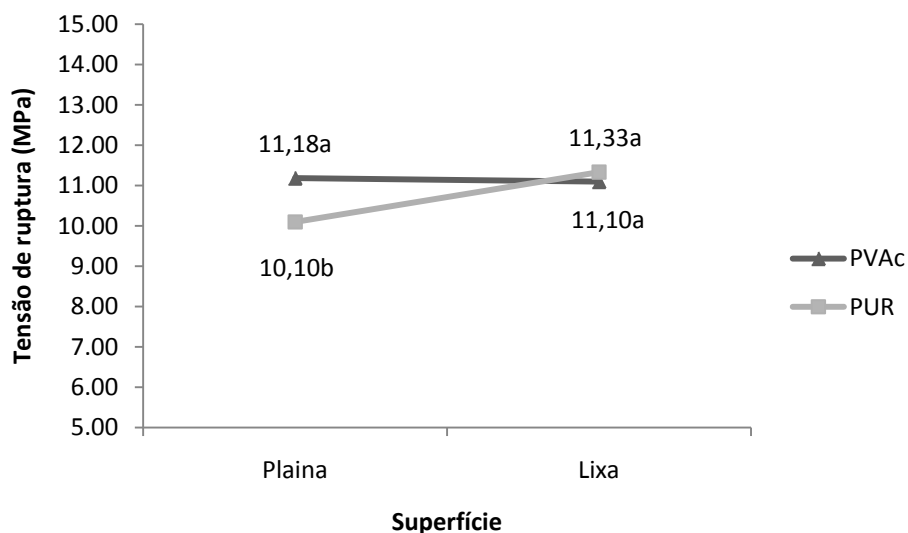


Figura 5.9 – Comportamento dos adesivos nas diferentes superfícies.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente dentro de cada adesivo.

A análise da Figura 5.9 aponta um comportamento diferente entre os adesivos PVAc e PUR frente às diferentes superfícies utilizadas no estudo. A resistência de colagem para o adesivo PVAc foi estatisticamente igual quando usada plaina ou lixa para preparar a superfície de colagem. Portanto, para o adesivo PVAc tanto o processo de aplainamento quanto o processo de lixamento, proporcionaram desempenhos de colagem semelhantes para a madeira de *E. benthamii*. Assim sendo, as empresas podem optar pelo sistema de usinagem que melhor se enquadra em seu processo de produção, levando em consideração a disponibilidade dos equipamentos. Lembrando que nesse estudo foi avaliada apenas lixa grã 60.

Para o adesivo PUR a resistência de colagem para superfície lixada foi significativamente superior à superfície aplainada. Com base nesse resultado pode-se dizer que o adesivo PUR foi diretamente influenciado pela qualidade da superfície. Outro aspecto relevante, é que a resistência de colagem do adesivo PUR quando utilizada plaina

foi consideravelmente menor que a resistência do adesivo PVAc nas mesmas condições. Enquanto na superfície lixada a resistência obtida pelo adesivo PUR foi levemente superior ao adesivo PVAc.

Como apresentado na Tabela 5.5 a interação tripla, adesivo x pressão x superfície também apresentou diferença significativa. Para conseguir uma análise mais detalhada verificou-se o efeito da pressão e da superfície separadamente dentro de cada adesivo.

Na Figura 5.10 constam os valores médios de resistência da colagem em cada variável analisada e os respectivos desvios padrão para o adesivo PVAc. Essa análise mostra que não houve diferença significativa (Tabela B.5, Apêndice B) tanto para as diferentes pressões quanto para as diferentes superfícies quando usado o adesivo PVAc.

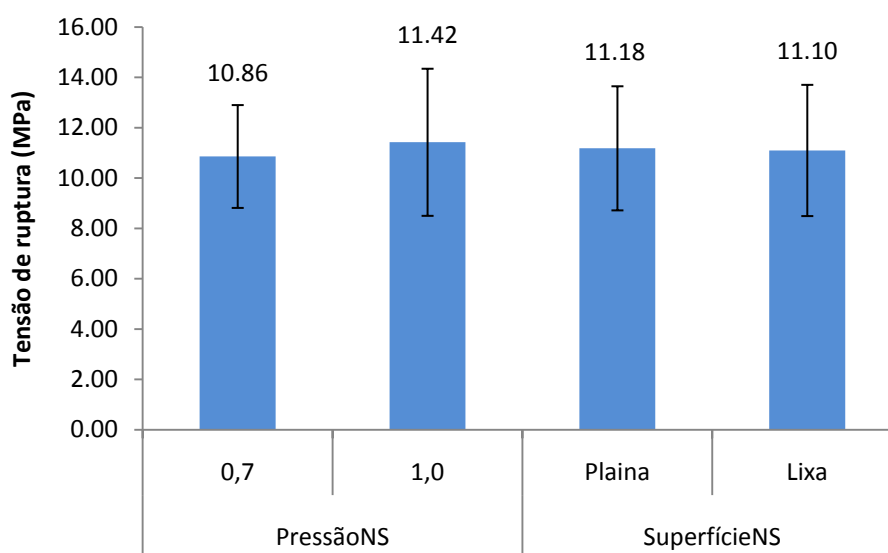


Figura 5.10 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) em cada variável analisada para o adesivo PVAc.

^{NS} Não significativo

Os valores médios encontrados neste trabalho para os CPs colados com adesivo PVAc nas pressões 0,7 e 1,0 MPa, foram superiores aos valores obtidos por Lima et al. (2008), e inferiores aos resultados de Plaster et al. (2008). Sendo que ambos utilizaram uma pressão de aproximadamente 1,2 MPa. O resultado alcançado para o tratamento referente ao adesivo PVAc e superfície lixada, pode ser parcialmente comparado com o resultado apresentado por Vital; Maciel; Della Lucia (2006). Os autores avaliaram a colagem de *E. saligna* e *E. grandis* com adesivo PVAc e superfície lixada com lixa grã 80. Os valores obtidos foram 9,69 MPa e 8,72 MPa para *E. saligna* e *E. grandis*

respectivamente, valores consideravelmente menores aos apresentados no presente trabalho.

Através da Figura 5.11 pode-se visualizar o comportamento geral da resistência de colagem para o adesivo PVAc. A partir disso, pode-se dizer que não ocorreu alteração na resistência da colagem quando aumentada a pressão de colagem de 0,7 MPa para 1,0 MPa, independentemente da superfície. O mesmo ocorreu para a preparação da superfície, ou seja, utilizando-se o processo mais comum que é a preparação da superfície por meio de plainas, obteve-se uma resistência de colagem semelhante à obtida com o processo de lixamento. Com isso, pode-se inferir que o adesivo PVAc apresenta bom desempenho independentemente da pressão e da superfície empregada no processo de colagem, revelando ser um adesivo muito prático e de fácil utilização.

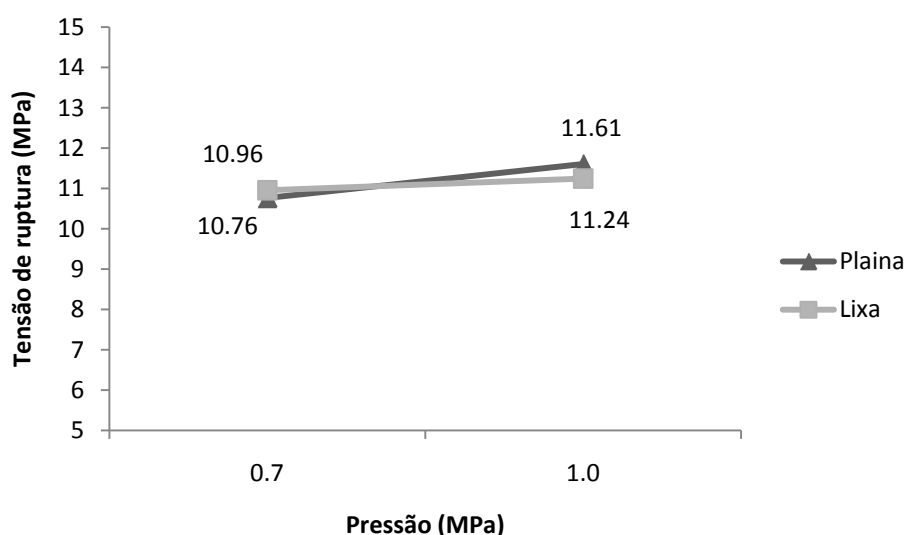


Figura 5.11 – Comportamento geral ocorrido com a resistência de colagem para o adesivo PVAc.

As médias não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

A Figura 5.12 apresenta os valores médios de resistência da colagem, e os desvios padrão em cada variável analisada para o adesivo PUR. Por meio da análise de variância (Tabela B.6, Apêndice B), observou-se que houve diferença significativa entre as diferentes pressões, e também entre as diferentes superfícies quando usado o adesivo PUR.

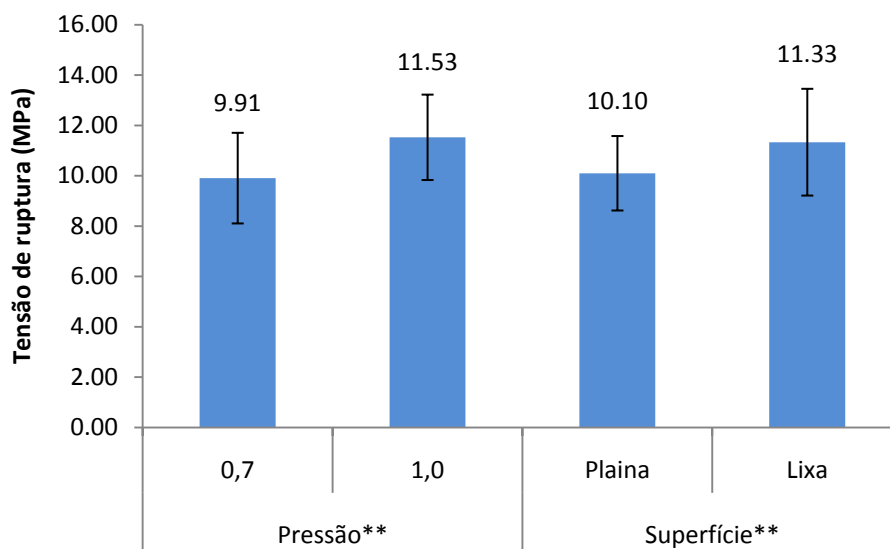


Figura 5.12 – Valores médios da tensão de ruptura (MPa) em cada variável analisada para o adesivo PUR.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Para facilitar o entendimento das variáveis dentro do adesivo PUR, faz-se necessário uma análise sobre a Figura 5.13.

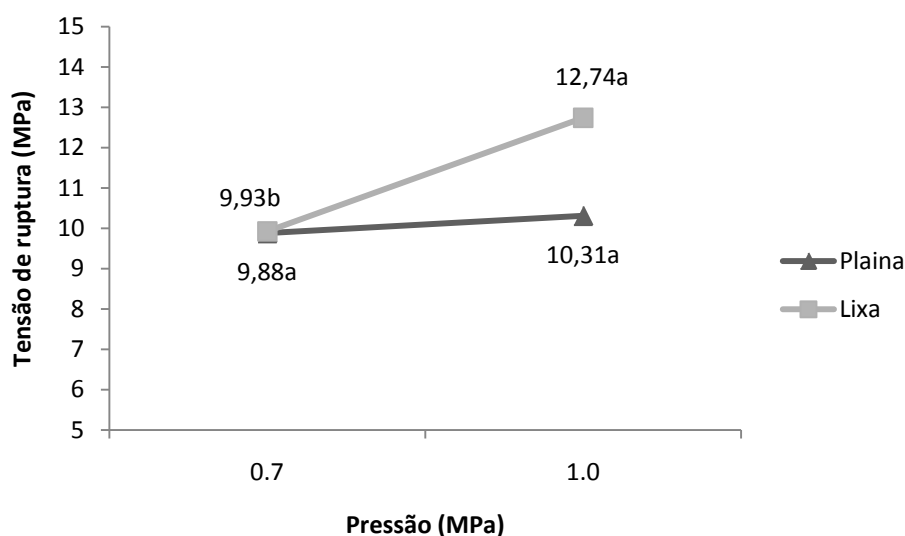


Figura 5.13 – Comportamento geral ocorrido com a resistência de colagem para o adesivo PUR.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

Através da Figura 5.13 observa-se que o adesivo PUR apresentou comportamento semelhante ao apresentado pelo adesivo PVAc quando a superfície da madeira foi preparada em plaina, ou seja, os valores de resistência ao cisalhamento não foram influenciados pela pressão.

Quando analisado o desempenho da colagem na superfície lixada, percebe-se que a resistência ao cisalhamento foi significativamente superior quando empregada a pressão 1,0 MPa. Esse resultado pode ser explicado pela associação de alta pressão e presença de ranhuras na superfície. Isso porque com o emprego de maiores pressões o espalhamento do adesivo é melhorado.

Associada ao aumento da pressão, a superfície lixada também melhorou o espalhamento do adesivo devido às ranhuras apresentadas. Fato semelhante foi observado por Moura; Hernández (2005). Portanto, pode-se inferir que somente com a combinação de pressão maior e presença de ranhuras, houve melhora significativa no desempenho de colagem, visto que o mesmo não ocorreu para o tratamento de superfície lixada e pressão de 0,7 MPa.

A principal vantagem do adesivo PUR que o diferencia sobre o adesivo PVAc é o tempo de cura, o que torna-o mais vantajoso sob o ponto de vista de produtividade. Por outro lado, o mesmo exige equipamentos específicos para sua aplicação, assim como cuidados redobrados, tendo em vista o baixo tempo em aberto que requer procedimentos especiais.

5.1.5 – Porcentagem de falha na madeira

O percentual de falha na madeira para todos os tratamentos, e o percentual mínimo definido pela norma ASTM D5751, são apresentados na Figura 5.14. A norma requer que a média de cada tratamento atinja 60% de falha na madeira, que segundo a Figura 5.13 foi alcançado por todos os tratamentos.

Através da análise do percentual de falha na madeira pode-se apontar uma maior eficiência do adesivo, com um maior percentual obtido. Assim, pode-se dizer que o adesivo PVAc apresentou uma melhor eficiência na colagem de *E. benthamii* em comparação ao adesivo PUR, uma vez que a média geral para o adesivo PVAc foi de 95,06%, enquanto para o adesivo PUR foi de 78,96%. Tal comportamento pode estar associado ao tipo de filme formado pelos diferentes adesivos. Enquanto, o adesivo PUR forma um filme rígido e quebradiço, o adesivo PVAc forma um filme flexível e conseqüentemente mais suscetível à deformações plásticas.

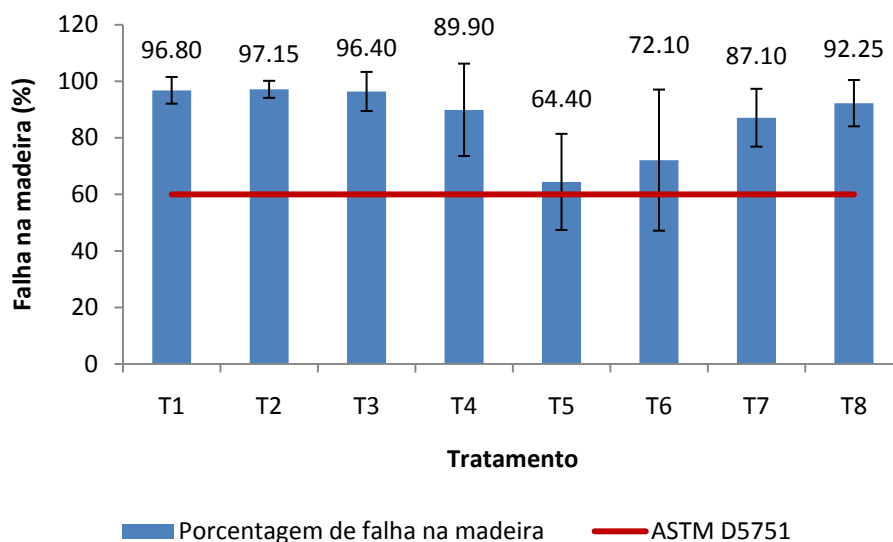


Figura 5.14 – Percentual de falha na madeira em cada tratamento.

T1 – PVAc, plaina, 0,7; T2 – PVAc, plaina, 1,0; T3 – PVAc, lixa, 0,7; T4 – PVAc, lixa, 1,0; T5 – PUR, plaina, 0,7; T6 – PUR, plaina, 1,0; T7 – PUR, lixa, 0,7; T8 – PUR, lixa, 1,0.

Os percentuais de falha na madeira apresentados pelos tratamentos T5 e T6 chamam a atenção pela inferioridade em comparação aos demais tratamentos. Ambos foram colados com adesivo PUR e suas superfícies preparadas em plaina, indicando uma baixa eficiência de colagem com o uso dessas variáveis.

Na Tabela 5.7 são apresentados alguns valores de percentual de falha na madeira obtidos em madeira de eucalipto coladas com adesivo PVAc. Diante desses valores percebe-se que o percentual de falha na madeira pode apresentar grandes variações, dependendo da espécie, e parâmetros empregados no processo de colagem. O percentual médio de falha na madeira no presente trabalho para o adesivo PVAc foi superior aos observados na literatura, exceto pelo obtido por Pincelli; Brito; Corrente (2002).

Tabela 5.7 – Valores médios de percentagem de falha na madeira, segundo algumas literaturas para o gênero *Eucalyptus* com adesivo PVAc.

Espécie	FM (%)	Referência
<i>E. saligna</i>	6,00	Della Lucia e Vital, 1981 citados por Lima et al., 2008
<i>E. camaldulensis</i>	13,00	Lima et al., 2008
<i>E. urophylla</i>	21,00	Lima et al., 2008
<i>E. saligna</i>	35,70	Vital; Maciel; Della Lucia, 2006
<i>E. grandis</i>	55,26	Vital; Maciel; Della Lucia, 2006
<i>Eucalyptus sp</i>	65,94	Plaster et al., 2008
<i>E. saligna</i>	100,00	Pincelli; Brito; Corrente, 2002

FM: Falha na madeira

A Figura 5.15 aponta os valores de porcentagem de falha na madeira de cada CP dentro de cada tratamento.

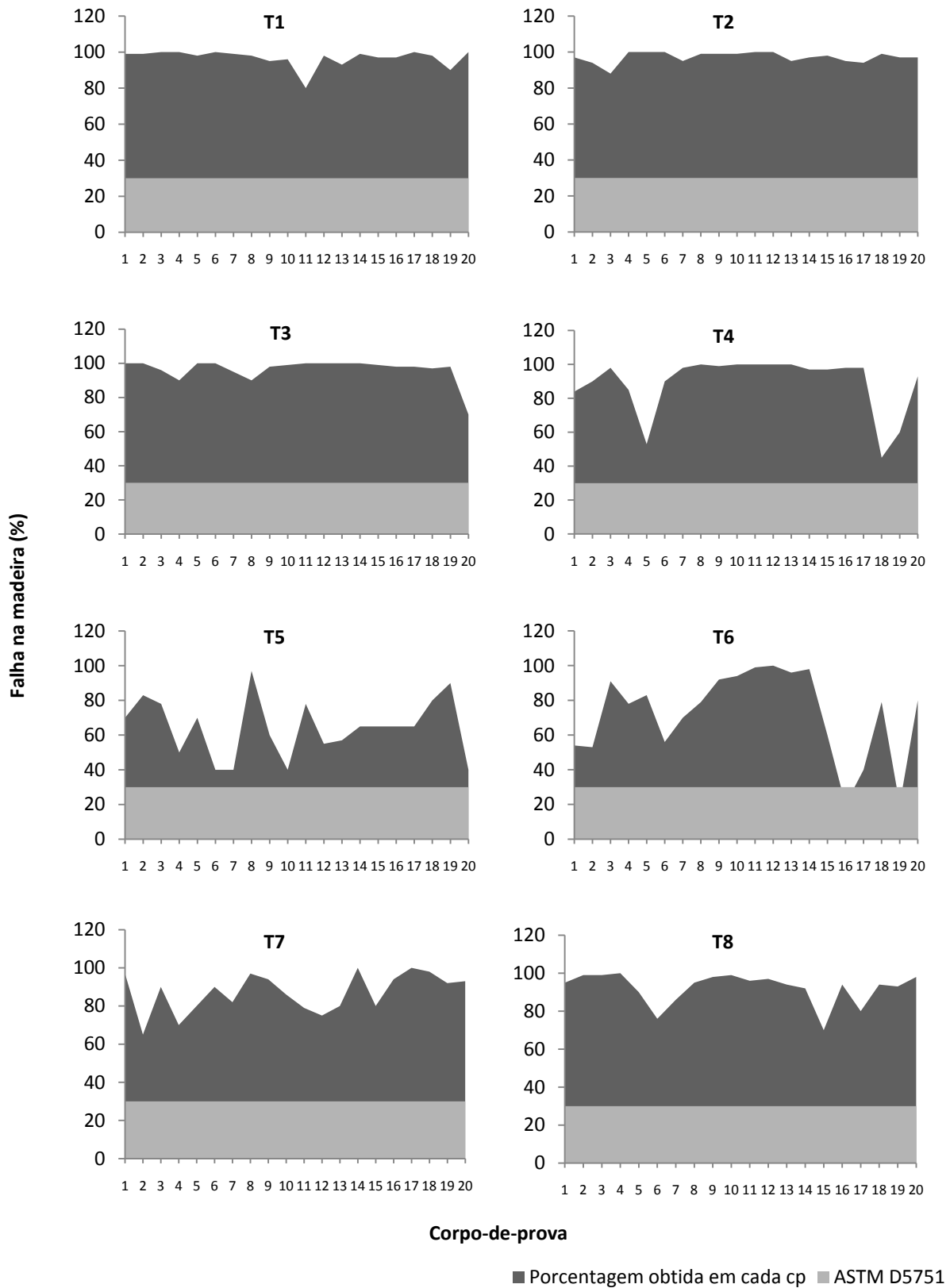


Figura 5.15 – Valores de porcentagem de falha na madeira obtidos em cada CP e o valor exigido pela norma ASTM D5751.

Para se adequar aos requisitos da norma, 90% dos CPs testados devem igualar ou superar 30% de falha na madeira. Observou-se que no tratamento T6 dois CPs apresentam valores de porcentagem de falha na madeira abaixo de 30%, porém o tratamento ainda está de acordo com a norma, pois 90% deles apresentam valores acima de 30%.

5.2 – COLAGEM LONGITUDINAL (*FINGER JOINT*)

5.2.1 – Características físicas

Na Tabela 5.8 são apresentados os valores médios de densidade nos tratamentos testados. De acordo com a análise estatística (Tabela B.7, Apêndice B) nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos em relação à densidade. O teor de umidade médio dos CPs submetidos ao ensaio de flexão estática foi de 13,5%.

Tabela 5.8 – Média da densidade aparente dos tratamentos testados.

Tratamento	Densidade (g/cm ³)	
	Média	CV (%)
PVAc	0,677	11,17
PUR	0,693	6,99
Média	0,685	9,08

5.2.2 – Teste de flexão estática

A Figura 5.16 apresenta os valores médios de módulo de ruptura (f_M), no ensaio de flexão estática obtidos em cada tratamento testado.

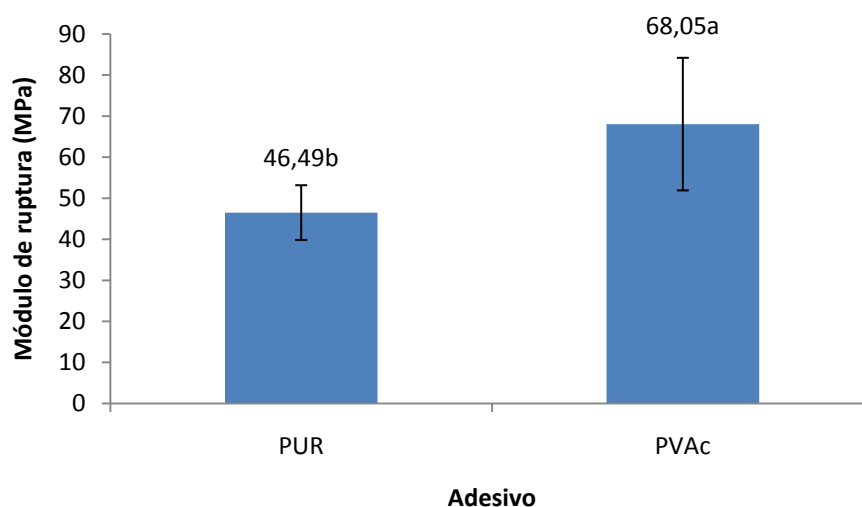


Figura 5.16 – Valores de módulo de ruptura para os tratamentos PUR e PVAc.

Através da análise de variância (Tabela B.8, Apêndice B) foi observada diferença significativa entre os diferentes tratamentos a 1% de probabilidade. Com base nesse resultado foi constatado que o adesivo PVAc apresentou maior resistência de colagem nas condições empregadas nesse estudo. Resistência menor foi encontrada por Özçifçi; Yapici (2008b) quando realizaram teste de flexão em diferentes espécies. Os autores avaliaram o efeito do adesivo, espécie e configuração do dente na resistência de colagem. Em amostras com comprimento do dente de 7 mm e coladas com adesivo PVAc, foram obtidos valores de módulo de ruptura de 15,9 a 26,9 MPa, e para o adesivo PUR, os valores ficaram entre 19,85 a 26,85 MPa. Valores maiores foram obtidos com amostras com comprimento do dente de 14 mm, porém esses ainda são inferiores aos alcançados nesse estudo.

Emendas coladas com adesivo PVAc também foram estudadas por Vassiliou; Barboutis; Karastergiou (2007), onde amostras de madeira de *Fagus sylvatica* foram submetidas à ensaios de flexão. Os adesivos de classe D1 e D2 apresentaram valores de módulo de ruptura de 46,20 MPa e 64,45 MPa respectivamente, enquanto para o adesivo de classe D3 o valor do módulo de ruptura foi de 78,65 MPa, superior ao adesivo D4 estudado na presente pesquisa.

A resistência de colagem apresentada pelo adesivo PVAc se mostrou semelhante à obtida por Karastergiou; Barboutis; Vassiliou (2006), quando avaliaram a resistência à flexão de CPs com dentes de mesmo comprimento. O módulo de ruptura para o adesivo de classe D1 foi de 68,6 MPa, embora em amostras coladas com adesivo de classe D3 tenha encontrado valor consideravelmente maior (85,6 MPa).

O desempenho de colagem reportado por Vrazel; Sellers Jr (2004) em testes de flexão com adesivo PUR foi muito superior ao obtido aqui. Porém, deve-se levar em consideração que o comprimento dos dentes do *finger joint* era de 15 mm, então resistência maiores são esperadas, já que o comprimento dos dentes está diretamente relacionado ao desempenho da emenda dentada. Os valores encontrados foram 81,47 MPa, 74,09 MPa, e 68,42 MPa para *Dipterocarpus* spp., *Pinus* spp., e *Pseudotsuga menziesii* respectivamente.

Considerando a resistência à flexão estática da madeira de *E. benthamii* obtida por Cunha; Martins; Anjos (2009) que foi de 78,29 MPa, a eficiência da colagem do adesivo PVAc foi de 87%, enquanto para o adesivo PUR foi de 59%. A eficiência da colagem com adesivo PVAc ficou acima de 75%, mostrando que o processo empregado foi adequado. Em relação ao adesivo PUR, percebe-se que não obteve a mesma eficiência, e essa ineficiência pode estar associada ao processo, como por exemplo, o modo de aplicação.

Por apresentar alta reatividade, o tempo em aberto é extremamente curto, dificultando o espalhamento do adesivo dependendo da forma de aplicação.

As Figuras 5.17 e 5.18 apresentam um gráfico típico gerado no ensaio de flexão estática para CPs colados com adesivo PVAc e PUR respectivamente. Com base nesses gráficos pode-se observar que o adesivo PVAc apresenta um regime plástico, resultando em um módulo de ruptura superior comparado ao adesivo PUR. Enquanto o adesivo PUR apresenta uma ruptura rígida, onde a carga no limite proporcional é muito próxima da carga de ruptura. Como comentado anteriormente, esse fato se deve às diferentes propriedades apresentadas pelo filme formado pelos diferentes adesivos, em que o PUR forma filme rígido e o PVA forma filme flexível.

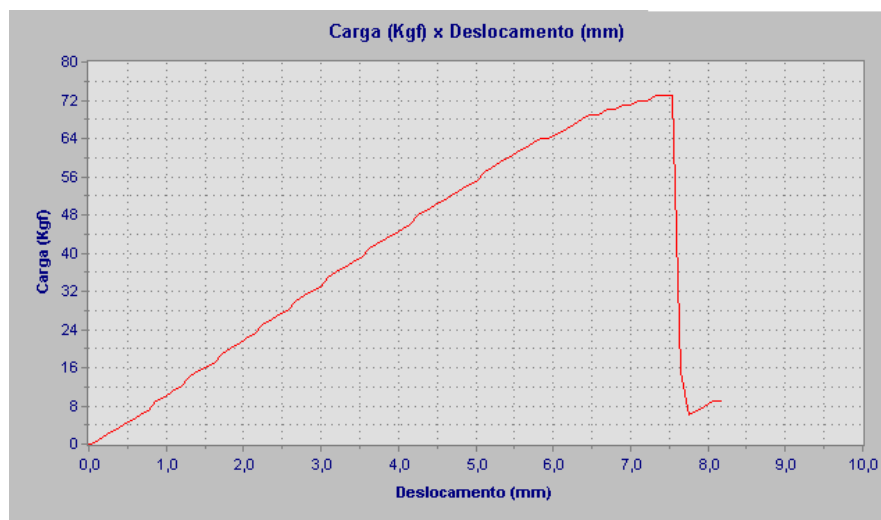


Figura 5.17 – Gráfico gerado pela máquina universal de ensaios no teste de flexão estática de um CP colado com adesivo PVAc.

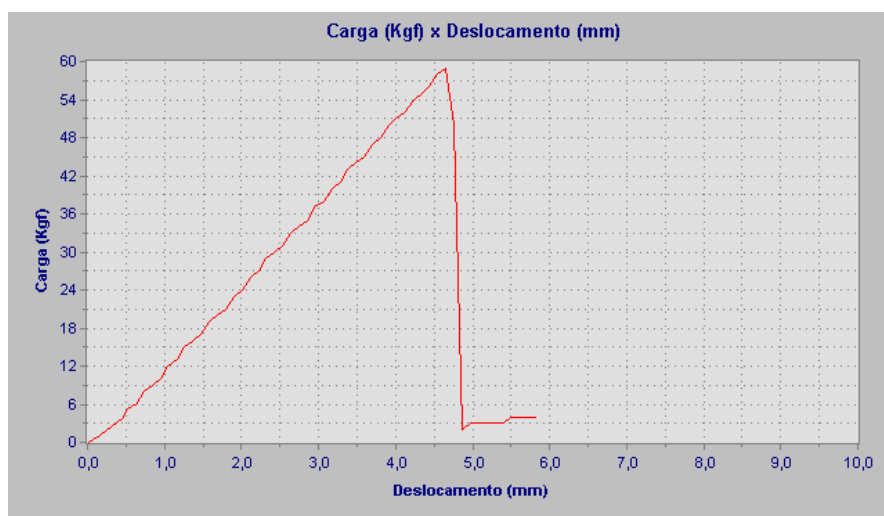


Figura 5.18 – Gráfico gerado pela máquina universal de ensaios no teste de flexão estática de um CP colado com adesivo PUR.

A norma estabelece que todos os CPs testados dentro de cada tratamento devem atingir no teste de flexão, um valor mínimo de 13,8 MPa em seu módulo de ruptura. Nas Figuras 5.19 e 5.20 são apresentados os valores de módulo de ruptura obtido em cada CP testado dentro do tratamento PUR e PVAc respectivamente.

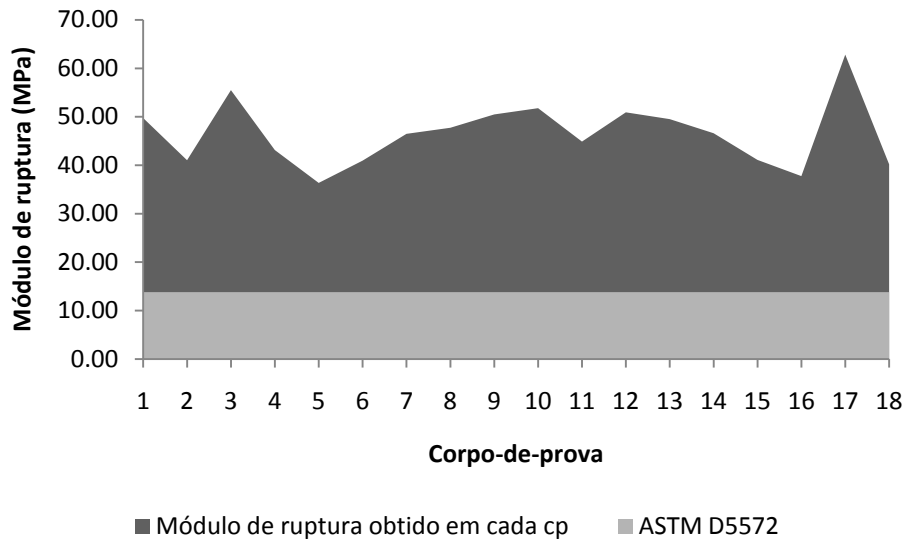


Figura 5.19 – Valores de módulo de ruptura obtidos em cada CP no tratamento PUR e o valor exigido pela norma ASTM D5572.

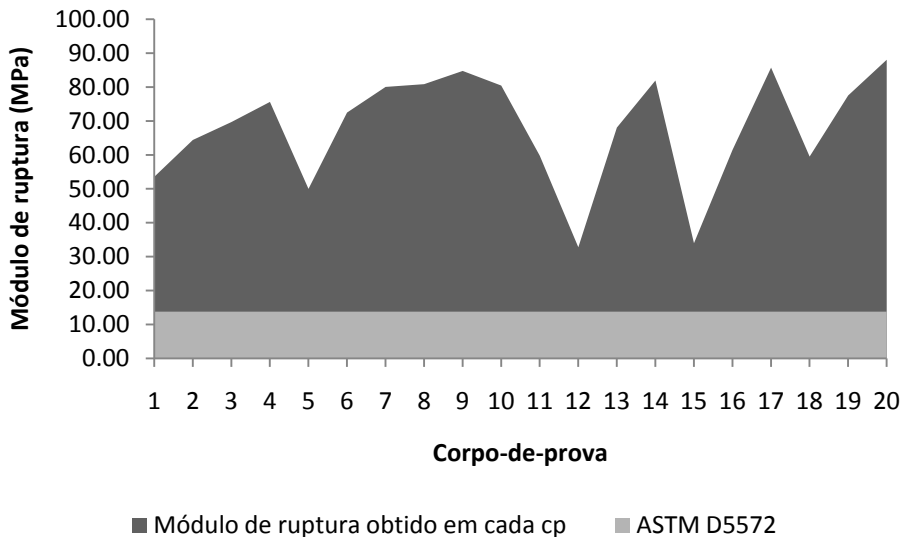


Figura 5.20 – Valores de módulo de ruptura obtidos em cada CP no tratamento PVAc e o valor exigido pela norma ASTM D5572.

Os resultados mostram que tanto para o adesivo PUR quanto para o adesivo PVAc, todas as amostras testadas alcançaram o valor mínimo exigido pela norma, confirmando

assim a aprovação da madeira de *E. benthamii* segundo a norma ASTM D5572, nas condições estabelecidas nesse estudo.

Na Figura 5.21 são destacados os valores de módulo de elasticidade (E_M) obtidos no teste de flexão para os adesivos analisados.

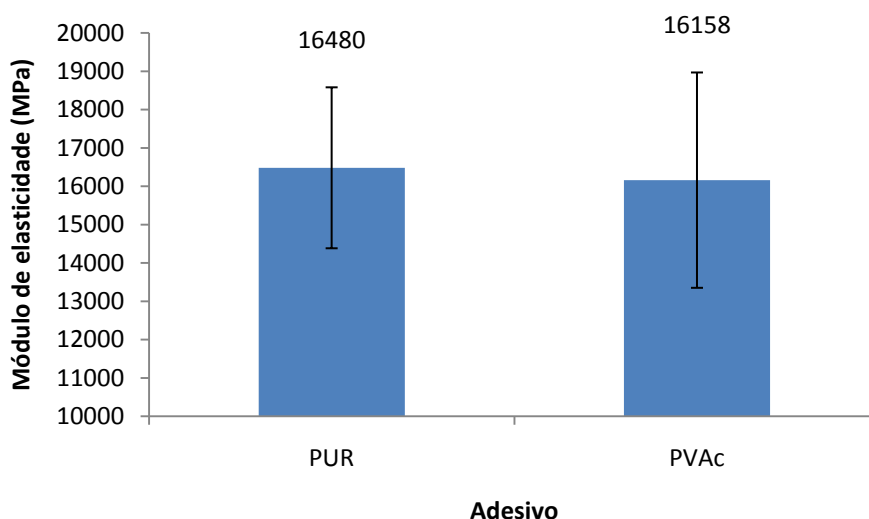


Figura 5.21 – Valores de módulo de elasticidade para os tratamentos PUR e PVAc.

Segundo a análise estatística (Tabela B.8, Apêndice B), não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos, indicando que ambos apresentam propriedades de rigidez semelhantes, ou seja, a resistência à deformação em função de tensões normais para os adesivos PVAc e PUR ocorrem de forma análoga.

Os valores de módulo de elasticidade obtidos para o teste de flexão nas condições propostas nesse trabalho se apresentam superiores a grande maioria dos valores encontrados por outros pesquisadores, como pode ser visualizada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Valores médios de módulo de elasticidade (E_M), segundo algumas literaturas no teste de flexão.

E_M (MPa)	Espécie	Adesivo	Referência
7727	*	PVAc	Özçifçi; Yapici, 2008b
7827	*	PUR	Özçifçi; Yapici, 2008b
10239	<i>Quercus cerris</i>	PVA - D1	Karastergiou; Barboutis; Vassiliou, 2006
10715	<i>Fagus sylvatica</i>	PVA - D2	Vassiliou; Barboutis; Karastergiou, 2007
10749	<i>Quercus cerris</i>	PVA - D2	Karastergiou; Barboutis; Vassiliou, 2006
11411	<i>Fagus sylvatica</i>	PVA - D1	Vassiliou; Barboutis; Karastergiou, 2007
12310	<i>Fagus sylvatica</i>	PVAc - D3	Vassiliou; Barboutis; Karastergiou, 2007
15610	<i>Pinus</i> spp.	PUR	Vrazel; Sellers Jr, 2004
15630	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	PUR	Vrazel; Sellers Jr, 2004
21830	<i>Dipterocarpus</i> spp.	PUR	Vrazel; Sellers Jr, 2004

**Fagus orientalis*, *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Abies bormülleriana*

6 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- No ensaio de cisalhamento todos os tratamentos atingiram os valores mínimos exigidos pela norma, tanto para a tensão de ruptura quanto para falha na madeira, no entanto, a maior resistência de colagem foi encontrada nas amostras coladas com adesivo PUR, com pressão de 1,0 MPa e superfície preparada em lixa.
- A resistência ao cisalhamento obtida pelo adesivo PVAc não foi influenciada pela pressão nem pela preparação da superfície empregada, enquanto para o adesivo PUR a pressão e a usinagem empregada no estudo influenciaram a resistência de colagem.
- A rugosidade da superfície de *E. benthamii* não foi influenciada pelo modo de processamento da superfície (plaina ou lixa grã 60). Entretanto, através da análise de imagem foi observado que a superfície lixada apresentou fibrilações e ranhuras, enquanto a superfície aplainada apresentou células de vasos abertas.
- A maior resistência de colagem (f_M) na emenda dentada foi obtida em amostras coladas com o adesivo PVAc, no entanto, o módulo de elasticidade (E_M) foi independente do tipo de adesivo. Ambos os tratamentos atingiram os valores mínimos exigidos pela norma.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DE ACABAMENTOS NA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage PARA A PRODUÇÃO DE PAINEL COLADO LATERALMENTE

1 – INTRODUÇÃO

As principais funções do acabamento na madeira são proteger a superfície, melhorar a aparência e promover uma superfície de fácil limpeza. Embora a madeira possa ser usada em ambientes externos e internos sem acabamentos, superfícies de madeira inacabadas expostas ao tempo apresentam mudanças na coloração, são degradadas pela luz e desgastam lentamente (USDA, 1999).

A deterioração é inicialmente apenas superficial e vai se aprofundando com o passar do tempo, a extensão e profundidade dependerão do tempo de exposição, da espécie da madeira e da intensidade dos agentes externos, podendo chegar até a completa destruição da peça (TRIPODI, 2004). Por isso tratamentos apropriados, que visem a proteção às adversidades ambientais e de uso, são extremamente necessários em todo produto originário de madeira (SOUZA, 2007).

O tratamento mais comum é feito pela aplicação de produtos de acabamento na superfície da madeira, os quais fecham os poros e cobrem a mesma com uma camada protetora, impedindo ou minimizando o contato com o ar e a umidade presente no ambiente (TRIPODI, 2004).

Os acabamentos de madeiras são influenciados pelas características da superfície, pelo produto, pelas condições ambientais do setor de aplicação, e pelos métodos de aplicação (SOUZA, 2007). No entanto, alguns autores afirmam que as características da superfície são muito importantes na determinação da qualidade do produto acabado (SULAIMAN et al., 2009, KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006, OZDEMIR; HIZIROGLU, 2007). Uma boa preparação da superfície da madeira é condição fundamental para um acabamento de qualidade, além de reduzir a quantidade de material de acabamento a ser aplicado (RENNER SAYERLACK, 2003).

O lixamento é o método mais empregado para preparar a superfície para receber acabamentos, no entanto, pouca literatura se encontra disponível considerando o efeito dos parâmetros de lixamento sobre a qualidade das superfícies (MOURA; HERNANDEZ, 2006a). Por ser um dos mais importantes processos em indústrias de processamento de madeira, merece atenção especial afim de que novos estudos sejam desenvolvidos (SALONI; LEMASTER; JACKSON, 2005).

2 – OBJETIVO

O objetivo foi avaliar o efeito da preparação da superfície sobre a aderência de acabamentos na madeira de *E. benthamii*.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – PROCESSO DE LIXAMENTO

A preparação da superfície é essencialmente importante para o acabamento final da madeira, uma vez que alguns defeitos como riscos superficiais não são eliminados pelo filme de acabamento ou revestimento, e algumas vezes podem tornar-se mais evidentes (SULAIMAN et al., 2009).

O processo de lixamento é considerado ideal para a preparação dessas superfícies, visto que o mesmo tem a função de nivelar as diferenças naturais da superfície da madeira, proporcionando uma cobertura homogênea. Permitindo assim, suficiente penetração dos produtos de acabamento em regiões de lenho tardio (madeira mais densa), e prevenindo excessiva penetração nas regiões de lenho inicial (madeira menos densa) (RICHTER; FEIST; KNAEBE, 1995).

Sulaiman et al. (2009) completam dizendo que uma superfície áspera de madeira pode limitar a superfície de contato e resultar em baixa qualidade do revestimento, assim o lixamento pode proporcionar uma superfície mais uniforme e posteriormente poderá absorver melhor o produto de acabamento. Além disso, superfícies ásperas necessitam de maiores quantidades de produtos por área de cobertura, que superfícies lisas (RICHTER; FEIST; KNAEBE, 1995).

Para Hernández; Cool (2008b) as fibrilações e ranhuras produzidas pelo processo de lixamento aceleram o espalhamento dos produtos líquidos de acabamento na superfície lixada. Por outro lado, o lixamento pode produzir uma camada superficial de células comprimidas que impedem a penetração do produto de acabamento, resultando em uma camada fraca mecanicamente (HERNÁNDEZ; COOL, 2008a).

Mas para se conseguir uma superfície adequada é necessário utilizar a lixa apropriada ao tipo de madeira, e também a sequência da granulometria deve ser de forma gradual (RENNER SAYERLACK, 2003). As lixas têm várias numerações que determinam a sua capacidade de desbaste, e o que determina o grão da lixa a ser usada na madeira é a qualidade da usinagem, e o tipo de pintura que se deseja obter (REVISTA DA MADEIRA, 2003). À medida que a numeração da lixa aumenta, o tamanho do grão diminui, e superfícies mais lisas são obtidas. A sequência de granulometrias deve ser feita de tal forma que a lixa seguinte não exceda mais que 50% do grão usado anteriormente, esta é condição adequada para o grão mais fino remover os riscos deixados pelo grão mais grosso (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

No Brasil, as pesquisas que abordem assuntos relacionados à preparação da superfície, mais especificamente ao grão da lixa e a sequência ideal, ainda são escassas. As informações disponíveis são de fornecedores de produtos de acabamento e abrasivos. Por exemplo, Valenti; Dal Piva (2006) aconselham para os semi-acabamentos grãos de 80 a 180, e no acabamento de 180 a 320, Renner Sayerlack (2009) recomenda iniciar o lixamento com lixa grão 180, e posteriormente 240 ou 280, caso queira deixar a superfície mais lisa.

Nos trabalhos de Souza (2007) e Silva (2002b) foi empregado um teste de aderência, no qual foi avaliada a capacidade de ancoragem do verniz poliuretano em madeira de *Eucalyptus*, porém em ambos os trabalhos não foram analisados diferentes grãos de lixas. Souza (2007) determinou a aderência do filme de acabamento em peças de *E. urophylla* e *E. camaldulensis*, as quais foram preparadas superficialmente com a sequência de lixas grão 80, 180 e 220. A autora verificou que a madeira de *Eucalyptus* apresentou um bom desempenho e que todas as peças testadas foram aprovadas de acordo com a norma utilizada. Silva (2002b) empregou o teste de aderência sobre CPs de *E. grandis* utilizando a sequência de lixas grão 120, 180 e 220. Quando analisados os dados gerais, foram observadas notas iguais a zero para a aderência, o que indicou melhor aderência do acabamento, já que menores valores das notas representavam menores arrancamentos da película do verniz. O autor relacionou ainda a aderência do verniz com

as propriedades anatômicas, destacando a presença de vasos que permitiram uma melhor ancoragem do verniz e portanto melhor aderência.

Fora do Brasil alguns autores têm se dedicado ao assunto, porém a grande maioria avalia as propriedades da superfície da madeira, como a rugosidade e a umectação, sem relacioná-las à qualidade do acabamento. Outro ponto que chama a atenção ao analisar esses trabalhos, é a grande divergência entre os resultados e conclusões feitas pelos autores, como pode ser observado a baixo.

Burdurlu et al. (2005) observaram que o lixamento com lixa 180 produziu uma superfície mais lisa comparada à superfície lixada com lixa 220. Isto indicou que quando o tamanho do grão do abrasivo diminui, a efetividade do desgaste da madeira é enfraquecida. A partir disso, os autores sugerem que no lixamento da superfície da madeira o número máximo do grão deveria ser 180, e acrescentam que é possível utilizar menores quantidades de vernizes para superfícies mais lisas.

No trabalho de Sulaiman et al. (2009), quando empregaram lixas grãos 120, 150 e 180, para o lixamento de *Hevea brasiliensis*, observaram que o lixamento diminuiu a rugosidade da superfície. As superfícies lixadas com lixa de menor número apresentaram melhores propriedades de umectação comparadas àquelas lixadas com números maiores.

Moura; Hernández (2006a) estudaram o efeito de diferentes abrasivos (óxido de alumínio e carboneto de silício), diferentes granulometrias (100, 100-120, 100-120-150) e diferentes velocidades de alimentação (8, 10, 12 e 14 m/min) na qualidade da superfície lixada de madeira de *Acer saccharum*. Os resultados mostraram que, as superfícies produzidas com lixas de carboneto de silício foram levemente mais lisas que aquelas obtidas com lixas de óxido de alumínio. A diferença na rugosidade entre os abrasivos minerais foi constante para todos os tamanhos de grão, entretanto, a diferença foi tão pequena, que não foi notada macroscopicamente. Como esperado, a lixa 100 produziu a superfície mais rugosa, reduzindo significativamente quando foi acrescentado o lixamento com o grão 120, no entanto, nenhuma redução na rugosidade da superfície foi observada quando o lixamento com o grão 150 foi adicionado.

No ensaio de umectação, as superfícies lixadas ofereceram boas condições para o espalhamento da água, sendo que a lixa de óxido de alumínio proporcionou melhores propriedades de umectação. Esta aceleração no espalhamento foi associada às ranhuras produzidas por essa lixa, sendo considerada mais adequada devido à melhora das propriedades de umectação na superfície. Essa propriedade foi independente do grão da

lixa para o abrasivo óxido de alumínio, assim foi concluído que o lixamento com esse abrasivo de grão 100 pode ser suficiente e mais econômico.

Ratnasingam; Scholz (2006) analisaram diferentes grãos de lixas (150, 180, 240 e 280) visando uma melhor qualidade do acabamento da madeira de *Hevea brasiliensis*. Os autores encontraram que a rugosidade da superfície lixada aumentou à medida que, o tamanho do grão da lixa diminuiu, porém a diferença entre as superfícies lixadas com as granulometrias 280 e 240 não foram diferentes estatisticamente. Foi observado também que com o aumento da rugosidade da superfície o nível de absorção diminuiu. Com esses resultados, os autores concluíram que a superfície preparada com a lixa 240 promoveu a melhor qualidade do acabamento em termos de resistência da adesão e brilho da superfície, além de ser a melhor opção economicamente.

Moura; Hernández (2006b) também avaliaram a resistência à adesão de um acabamento à base de poliuretano, frente a 2 programas de lixas diferentes (100, 100-120-150), lembrando que esse trabalho foi direcionado para produção de pisos de madeira. Quanto à rugosidade, foi observada uma superfície mais áspera naquelas preparadas com a lixa 100, já no teste de umectação os dois programas tiveram valores semelhantes. Quando os autores avaliaram a resistência do acabamento perceberam que os dois tratamentos apresentaram resultados iguais estatisticamente. Deste modo, o programa com 3 lixas comumente empregado na indústria de pisos, pode ser substituído pela utilização de apenas uma lixa (100).

3.2 – PRODUTOS DE ACABAMENTO

Segundo Silva et al. (2002), as principais propriedades dos produtos de acabamento que afetam o rendimento, a qualidade da película e as condições de segurança do operador são: teor de sólidos, viscosidade, poder de cobertura, tempo de intervalo entre demãos, tempo de armazenagem, *pot life*, brilho, abrasividade, dureza, aderência, espessura da camada, resistência à corrosão em ambientes salinos (*salt spray*), densidade, gramatura, moagem ou fineza da tinta, aditivos, ponto de ignição e de fulgor.

Dentre todas as propriedades citadas acima, o teste de aderência, o qual mede a capacidade do produto em manter-se aderido ao substrato, é o ensaio mais importante quando se quer analisar a influência da superfície da madeira na qualidade do acabamento. Pois a superfície do substrato pode ter acentuada influência nos resultados deste ensaio (NBR 14535, 2000), enquanto todas as outras características que podem ser determinadas

através de testes estão diretamente relacionadas à qualidade do produto empregado como revestimento.

Os produtos de acabamentos mais utilizados na indústria moveleira são as tintas, os vernizes e os seladores (SOUZA, 2007), porém, como citado anteriormente no revestimento de PCL, os vernizes, seladores e ceras são preferidos. As ceras são produtos aplicados com a finalidade de proteger, limpar, lustrar e conservar a superfície da madeira. Um exemplo de produto natural é a cera de carnaúba, a qual é dura, quebradiça, insípida e inodora. É solúvel em éter, benzina e aguarrás, e proporciona um acabamento de alto brilho (SOUZA, 2007). Os seladores são produtos com a função de cobrir e fechar os poros e espaços intercelulares da madeira, para posterior aplicação do acabamento final. Com a aplicação de seladores consegue-se uma superfície nivelada, transparente e com realce da grã da madeira (SILVA et al., 2002). Já os vernizes são produtos utilizados como revestimento final e são aplicados sobre os seladores. Existem muitas opções de vernizes, e a escolha deve ser feita em função de algumas características como brilho, resistência química e mecânica do filme de acabamento, e tempo de secagem.

Esses produtos são compostos de resinas naturais ou sintéticas. As resinas naturais são provenientes da natureza e consideradas reversíveis, enquanto as resinas sintéticas ou minerais são irreversíveis (SOUZA, 2007). Produto à base de nitrocelulose é um tipo de resina natural, em que o sistema de cura se dá pela simples evaporação de solventes. Por apresentar uma limitada resistência química, mecânica e brilho final (RENNER SAYERLACK, 2008), sua utilização tem sido reduzida, principalmente para o mercado externo (SILVA et al., 2002).

Dentro do grupo das resinas sintéticas destacam-se a resina poliuretânica (PU) e a resina poliéster. Os produtos poliuretanos proporcionam um acabamento de alta qualidade, apresentando ótima elasticidade, dureza e resistência química (RENNER SAYERLACK, 2009). São produtos formados por um componente “A”, composto por resinas, que reage com um componente “B”, que contém grupos reativos (catalisador). A secagem ocorre pela evaporação de solventes e pela reação química entre o componente “A” e o componente “B” (RENNER SAYERLACK, 2008). Esses produtos são muito utilizados na indústria moveleira devido à sua eficiência na aplicação e à sua resistência (RENNER SAYERLACK, 2008), embora haja esforços para reduzir a emissão de compostos orgânicos voláteis (HERNANDÉZ; COOL, 2008b).

Os produtos à base de resina poliéster apresentam elevadíssimo teor de sólidos (RENNER SAYERLACK, 2008), e por isso são utilizados quando se deseja uma película

de alta espessura e brilho (SOUZA, 2007). Não podem ser aplicados diretamente sobre a madeira sem a aplicação de um isolante apropriado, pois o produto poderá reagir com a resina natural da madeira, gerando problemas na secagem e aderência.

Lançados recentemente para uso em madeira, os produtos à base d'água foram desenvolvidos para atender à demanda por produtos ecologicamente corretos, pois não emitem gases na atmosfera, não são nocivos à saúde e apresentam baixo odor. O consumo desses produtos vem crescendo bastante, pois há países que controlam com muito rigor a emissão de gases na atmosfera, inclusive no segmento moveleiro (RENNER SAYERLACK, 2008).

4 – METODOLOGIA

4.1 – PREPARAÇÃO DAS PEÇAS

De tábuas previamente climatizadas (temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$) foram confeccionadas 30 peças nas dimensões 400 mm x 100 mm x 10 mm, evitando-se a presença de nós e rachaduras. Essas peças foram aplainadas na face tangencial que posteriormente recebeu acabamento, e novamente colocadas sob climatização para estabilização do teor de umidade. Após esse período foi realizado o lixamento das peças com o auxílio de uma lixadeira manual (Figura 4.1), seguindo sempre o sentido da grã da madeira, e obedecendo a sequência de lixas propostas. Todas as lixas utilizadas eram compostas de costado de papel, e grão de óxido de alumínio. O lixamento das peças foi realizado no mesmo dia e pelo mesmo operador, para assegurar uma melhor homogeneidade no processo. A sequência das lixas empregadas, a identificação dos tratamentos, bem como o número de repetições podem ser visualizados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tipos de tratamento para o teste de acabamento.

Tratamento	Sequência de lixas (grã)	CP
T1	150 – 220 – 280	10
T2	120 – 180 – 220	10
T3	100 – 150 - 180	10



Figura 4.1 – Lixamento das peças.

Após o lixamento respeitando a sequência de lixas de cada tratamento, todo o excesso de pó resultante do processo foi removido com a aplicação de ar comprimido, e na sequência foi feita a medição da rugosidade das superfícies lixadas.

4.2 – MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE LIXADA

A rugosidade das superfícies foi medida conforme Item 4.1.1.2 do Capítulo 1, em que os parâmetros R_a , R_z e R_t foram determinados de acordo com as Equações 4.4, 4.5 e 5.6 respectivamente (MITUTOYO CORPORATION, 2004). De cada tratamento cinco peças foram medidas em dois pontos no sentido transversal, totalizando 10 medições por tratamento.

4.3 – APLICAÇÃO DO ACABAMENTO

Conforme recomendação do fabricante, antes da aplicação do verniz foi aplicado um fundo (selador), preparado com 1 parte do Fundo PU 6306 e 1 parte do Catalisador FC 6964 (Sayerlack). Com o auxílio de uma pistola (Figura 4.2a), foram aplicadas 2 demãos dessa mistura, respeitando o tempo de 2 horas entre a primeira e a segunda, sendo que a cura completa da última demão se deu em 24 horas. Após a secagem de cada demão as superfícies eram lixadas manualmente no sentido da grã da madeira, utilizando uma lixa grão 320.

Com a superfície preparada para receber o acabamento final, preparou-se uma mistura com 1 parte do Verniz PU Brilhante FB 6120 com 1 parte do Catalisador FC 6921 (Sayerlack), e procedeu-se a aplicação. Foi aplicada a primeira demão, e após 1 hora foi aplicada a segunda demão, sem lixamento entre elas. A secagem final ocorreu após 72 horas (Figura 4.2b), então as peças foram levadas novamente para a sala de climatização por um período de 2 semanas.



Figura 4.2 – Aplicação dos produtos de acabamento (a) e secagem final das peças (b).

4.4 – ENSAIO DE ADERÊNCIA DO FILME

Conforme norma NBR 14535 (2000) foi executado o ensaio de aderência do verniz sobre a superfície da madeira. Com o uso de um estilete foram feitos cortes sobre as peças envernizadas, em forma de grade, formada por dois conjuntos, cada um com 11 canais em ângulos retos e distanciados em 2 mm (Figuras 4.3a). Utilizando uma lupa conta-fios (10x), cinco observadores avaliaram a área ensaiada (Figuras 4.3b), classificando-a conforme os códigos graduados listados na Tabela 4.2.

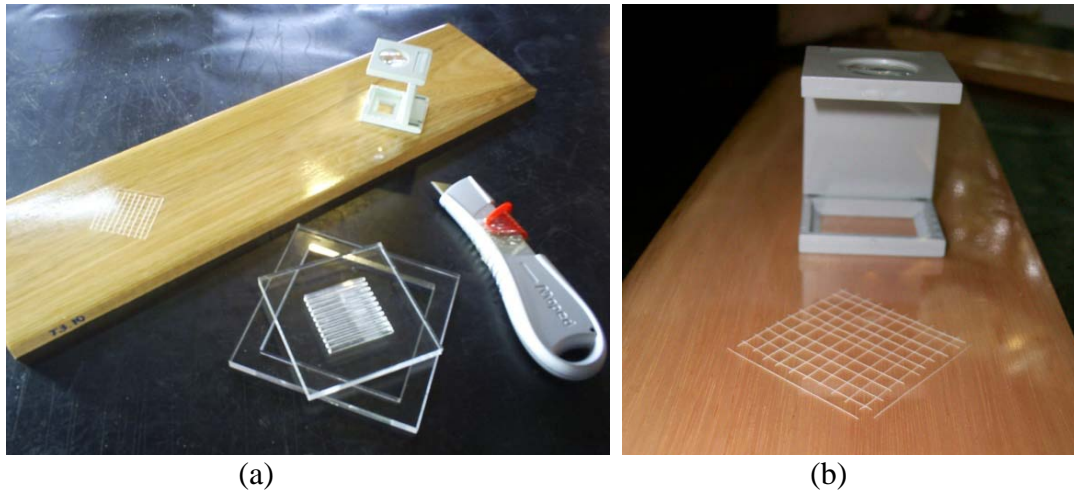


Figura 4.3 – Material utilizado no teste de aderência do filme (a) e detalhe da área ensaiada (b).

Tabela 4.2 – Graduação da área ensaiada (NBR 14535, 2000).

Aparência da área ensaiada	Graduação
Cortes perfeitos sem nenhuma remoção do filme de acabamento, exceto pequenas partículas na interseção de corte, e uma eventual pequena aparta ao longo do corte.	5
Filme de acabamento removido nas interseções e intermitentemente ao longo dos cortes.	4
Filme de acabamento consistentemente removido ao longo dos cortes.	3
Filme de acabamento removido ao longo dos cortes e completamente de um ou mais quadrados, porém o total destes quadrados não deve superar mais do que 50% deles.	2
Filme de acabamento completamente removido de mais do que 50% dos quadrados.	1

4.5 – ANÁLISE DOS DADOS

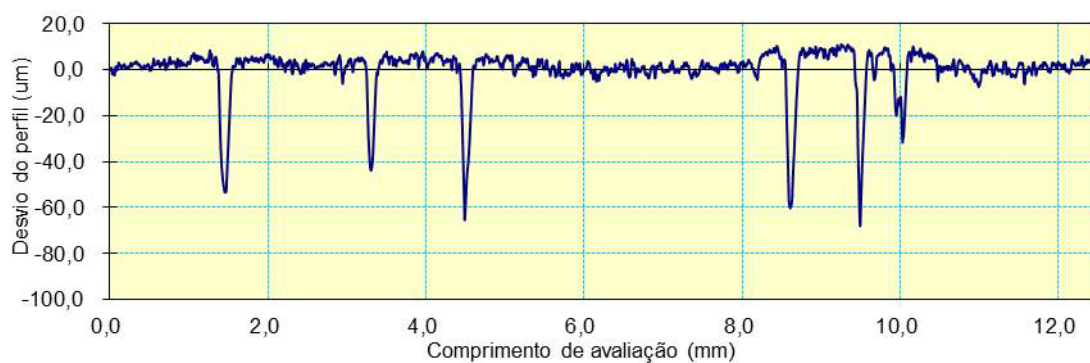
Para avaliar o efeito da preparação da superfície sobre a aderência do filme de acabamento, as médias dos parâmetros da rugosidade da superfície obtida em cada tratamento foram analisadas por meio da análise de variância (ANOVA). Quando houve rejeição da hipótese de nulidade foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação das médias.

Para o ensaio de aderência inicialmente foi determinada a média das graduações estabelecidas pelos observadores em cada tratamento, relacionando-a a classificação estabelecida pela norma NBR 14535 (2000). Em seguida foi feita uma apreciação do grau de aderência indicado por cada observador nas amostras avaliadas, tentando traçar um comportamento adotado por cada tratamento analisado.

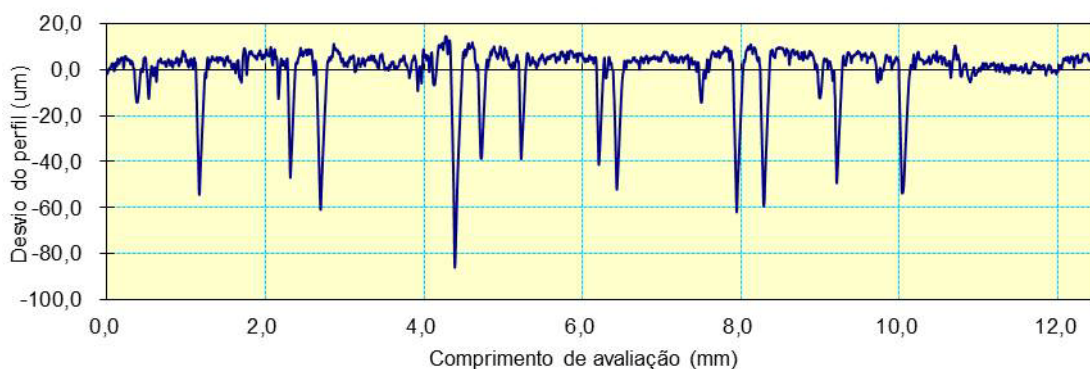
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – RUGOSIDADE

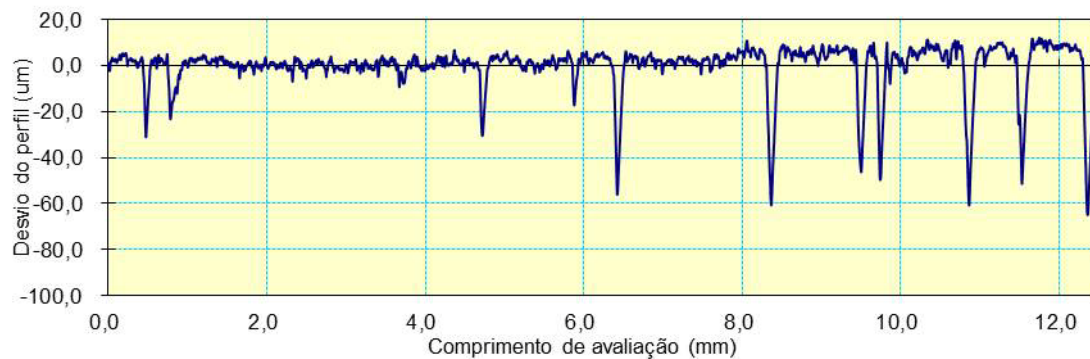
Os perfis típicos da rugosidade das superfícies obtidos nos tratamentos T1 (150-220-280), T2 (120-180-220) e T3 (100-150-180) podem ser visualizados na Figura 5.1.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.1 – Perfil típico da superfície obtido no tratamento T1 (a), no tratamento T2 (b) e no tratamento T3 (c).

Analisando visualmente os gráficos do perfil da rugosidade observa-se a incidência de vales profundos em todos os tratamentos. Esses vales são decorrentes da presença de células de vasos abertas. Em regiões onde não há presença de células de vasos, pode-se observar que o perfil formado é muito semelhante entre os tratamentos, não apresentando desvios acentuados.

A Tabela 5.1 apresenta os valores obtidos para os parâmetros R_a , R_z e R_t para as superfícies obtidos nos tratamentos T1, T2 e T3, e os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 5.1 – Valores dos parâmetros encontrados no teste de rugosidade.

Tratamento	R_a^{NS} (μm)	CV (%)	R_z^{NS} (μm)	CV (%)	R_t^* (μm)	CV (%)
T1	5,32	37,20	62,86	32,11	86,89ab	25,36
T2	7,01	46,67	61,14	20,41	98,32a	24,35
T3	5,85	37,88	55,98	26,39	71,28b	12,15

CV: coeficiente de variação; NS: diferença entre os valores dos tratamentos não significativa; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. T1 – 150-220-280; T2 – 120-180-220; T3 – 100-150-180.

De acordo com a análise estatística (Tabela B.9, Apêndice B) não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos (T1, T2 e T3) para os parâmetros R_a e R_z . O valor de R_a é a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil a partir da linha média, indicando que todos os tratamentos apresentaram médias iguais estatisticamente. O parâmetro R_z é calculado pela soma da altura média dos cinco picos mais altos e a profundidade média dos cinco vales mais profundos. Assim, pode-se dizer que considerando os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos, as médias de todos os tratamentos são iguais estatisticamente. Porém, quando foi considerada a soma da altura do pico mais alto e da profundidade do vale mais profundo a partir da linha média, que corresponde ao parâmetro R_t , foi observada diferença significativa entre os tratamentos T2 e T3. O que demonstra que o tratamento T2 apresentou o vale mais profundo, e o tratamento T3 o vale menos profundo, isso quando o vale foi considerado isoladamente.

Vale lembrar que os vales identificados através dos parâmetros R_z e R_t , que também podem ser visualizados pelos gráficos da Figura 5.1, não foram resultantes do processo de lixamento, pois são características intrínsecas da estrutura anatômica da madeira. Isso pode ser confirmado por Nisgoski; Muñiz; Klock (1998) quando caracterizaram anatomicamente a madeira de *E. benthamii*. Os autores observaram que aproximadamente 15% dos componentes constituintes do xilema secundário eram vasos, e esses apresentaram frequência de 5 a 21 vasos/mm², e uma média de 13 vasos/mm². Segundo Silva (2002b) a

presença de vasos permite uma melhor aderência do filme de acabamento, dado à melhora na ancoragem do acabamento sobre a madeira.

Considerando o parâmetro R_a , Burdurlu et al. (2005), encontraram comportamento diferente quando avaliaram a rugosidade da superfície da madeira de duas espécies lixadas com diferentes lixas. Os autores encontraram valores de $5,15 \mu\text{m}$ e $4,00 \mu\text{m}$ na superfície preparada com lixa 180, e $5,42 \mu\text{m}$ e $4,77 \mu\text{m}$ na superfície lixada com lixa 220 para *Populus nigra* e *Pinus nigra* respectivamente. Sendo que os valores de R_a foram diferentes estatisticamente.

Os valores encontrados no presente estudo, para o tratamento T3 (100-150-180), foram semelhantes ao encontrado por Sulaiman et al. (2009) na madeira de *Hevea brasiliensis* lixada com lixa grão 180. Os parâmetros R_a , R_z e R_t obtidos no estudo foram $6,4 \mu\text{m}$, $52,0 \mu\text{m}$ e $76,4 \mu\text{m}$ respectivamente. O mesmo pode ser considerado quando comparado com o valor de $4,9 \mu\text{m}$ para o parâmetro R_a , obtido por Moura; Hernández (2005) estudando a rugosidade da superfície da madeira de *Acer saccharum* usinada com a sequência de lixa 120 e 180.

5.2 – ENSAIO DE ADERÊNCIA DO FILME

Os resultados médios do teste de aderência para os tratamentos T1, T2 e T3 e os desvios padrão são apresentados na Figura 5.2.

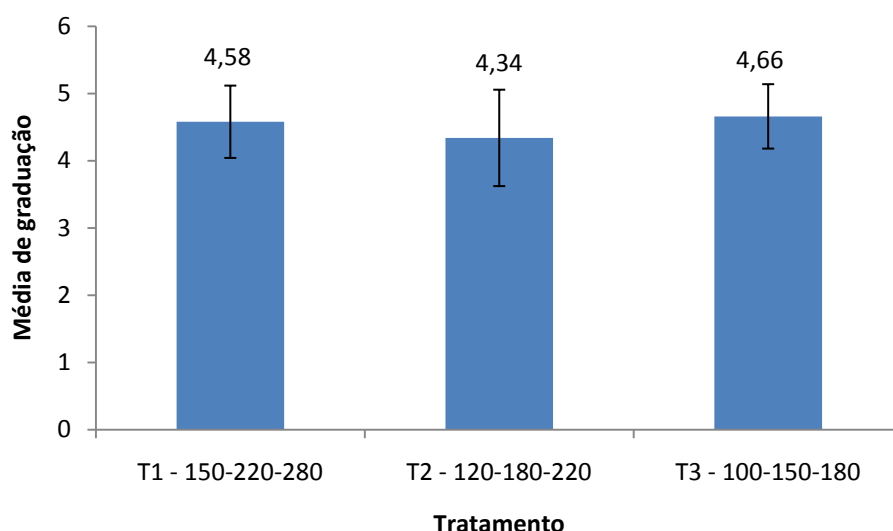


Figura 5.2 – Resultados médios do teste de aderência para os tratamentos T1, T2 e T3.

Através da Figura 5.2 verificou-se que a madeira de *E. benthamii* apresentou um ótimo desempenho, em relação à aderência do acabamento superficial com verniz à base de poliuretano, independentemente da sequência de lixas empregadas. De modo com que a média dos tratamentos ficou entre as graduações 4 e 5, as quais se referem aos maiores graus de aderência.

Na expectativa de encontrar comportamentos distintos entre os tratamentos, foi feita uma apreciação individualmente entre as amostras e observações. Na Figura 5.3 são apresentadas as frequências de graduação em cada tratamento testado. A graduação 5 representa o último grau de aderência, amostras classificadas com essa graduação não apresentaram nenhuma remoção do filme de acabamento, ou seja, a aderência do verniz à madeira foi excelente. À medida que a graduação vai diminuindo a aderência do filme vai diminuindo também.

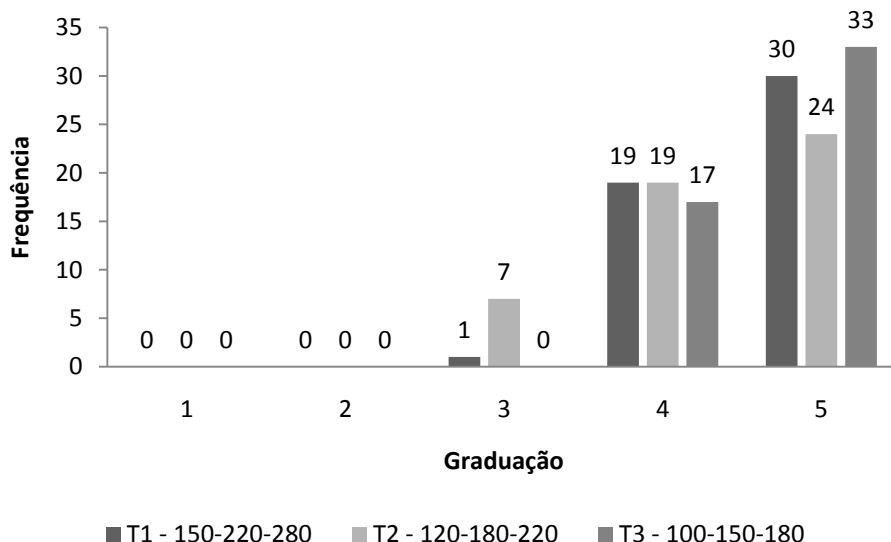


Figura 5.3 – Frequência de graduações para os tratamentos T1, T2 e T3.

Pode-se observar através da Figura 5.3 que o tratamento T2, em que foi empregada a sequência de lixas 120-180-220, apresentou a maior frequência do grau 3. Uma das amostras desse tratamento recebeu a classificação 3 de todos os cinco observadores, como também duas amostras que receberam a classificação de um dos observadores como grau 3. Aliado a isso, o tratamento também obteve o menor número de graduações 5.

O tratamento T1 (150-220-280) obteve uma aderência intermediária entre T2 e T3. A grande maioria das observações classificou as amostras como grau 5, e apenas um observador classificou uma das peças desse tratamento como grau 3. Como apenas uma

das observações dessa amostra foi classificada como graduação 3, a amostra obteve classificação final 4, pois a maioria dos observadores selecionou esse grau.

A sequência de lixas 100-150-180 obteve o maior número de classificações 5 entre os tratamentos: 66% das observações receberam a graduação máxima e nenhuma amostra recebeu sequer uma classificação como grau 3.

O comportamento observado no presente trabalho, onde a melhor aderência do filme de acabamento foi proporcionada pela sequência de lixas com grãos maiores, também foi citado por Burdurlu et al. (2005) e Moura; Hernández (2006a). Embora os autores não tenham analisado a resistência à aderência do filme em seus trabalhos, observaram características oferecidas por essas lixas que poderiam proporcionar uma qualidade superior no acabamento final. Além disso, os resultados obtidos no teste de rugosidade podem dar indícios de que a presença de vasos mais profundos comprometeu a aderência do filme de acabamento, já que o tratamento T2 apresentou essa característica diferenciada do tratamento T3, o qual obteve o melhor desempenho.

Como todos os tratamentos analisados tiveram a mesma classificação de acordo com a norma NBR 14535 (2000), o programa de lixas empregado no tratamento T1 pode apresentar vantagens econômicas em relação aos outros tratamentos. Isto porque, segundo vários autores, nas superfícies mais lisas, geralmente produzidas por lixas de numerações maiores, é possível utilizar menores quantidades de verniz (BURDURLU et al., 2005, MOURA; HERNÁNDEZ, 2006a, SULAIMAN et al., 2009 e RATNASINGAM; SCHOLZ, 2006).

6 – CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos no trabalho, pôde-se concluir que:

- A madeira de *E. benthamii* apresentou um ótimo desempenho, em relação a aderência do verniz à base de poliuretano, independentemente da sequência de lixas empregada.
- A rugosidade da superfície de *E. benthamii* não foi influenciada pelas diferentes sequências de lixas quando considerados os parâmetros R_a e R_z . No entanto, para o parâmetro R_t a sequência de lixas 120-180-220 apresentou vales de maior profundidade, e a sequência de lixas 100-150-180 vales de menor profundidade, sendo que esses vales correspondem a elementos de vasos presentes na madeira.

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Na avaliação da madeira de *E. benthamii*, visando o seu uso para a produção de painel colado lateralmente, chegou-se às seguintes conclusões:

- A madeira de *E. benthamii* apresentou bom desempenho de colagem para os diferentes adesivos empregados, estando de acordo com as referidas normas;
- A madeira de *E. benthamii* apresentou bom desempenho na aderência de produtos de acabamento, atingindo os mais altos graus estabelecidos pela norma;
- A madeira de *E. benthamii* é adequada para a produção de painel colado lateralmente, quanto às suas propriedades tecnológicas estudadas no presente trabalho.

Com o desenvolvimento dessa pesquisa percebeu-se que alguns parâmetros podem ser ampliados, bem como melhor aprofundados, assim são feitas as seguintes recomendações:

- Avaliar a resistência de colagem empregando diferentes grãos de lixas na preparação da superfície;
- Avaliar a aderência do filme de acabamento empregando programas com apenas duas lixas, visando à redução de custos.
- Avaliar a aderência de outros produtos de acabamento que também são empregados para o revestimento de painéis colados lateralmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. L. **Map locator of Santa Catarina's Otacílio Costa city.** Wikimedia commons, 8 set. 2006. Disponível em <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SantaCatarina_Municip_OtacilioCosta.s](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SantaCatarina_Municip_OtacilioCosta.svg)> Acesso em: 25 de out. 2010.
- ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 158-166, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5572-95** (reapproved 2005) Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 1995. 17 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5751-99** (reapproved 2005) Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 1995. 11 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D198-09** Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. Pennsylvania, 1997. 26 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Produtos de madeira.** Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/sistadm/arquivos/21/Painéis%20de%20madeira%20fabricados%20no%20brasil.pdf>> Acesso em: 26 de nov. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **PNQM – PMVA.** Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>> Acesso em: 15 de dez. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190:1997** – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14535:** Móveis de madeira – Tratamento de superfícies – Requisitos de proteção e acabamento. Rio de Janeiro, 2000. 22 p.
- AYARKWA, J.; HIRASHIMA, Y.; SASAKI, Y.; ANDO, K. Effect of glue type on flexural and tensile properties of finger-jointed tropical african hardwoods. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 10, p. 59-68, 2000.
- AYARKWA, J.; HIRASHIMA, Y.; SASAKI, Y. Effect of finger geometry and end pressure on the flexural properties of finger-jointed tropical african hardwoods. **Forest Products Journal**, p. 53-63, nov. 2000.
- BAYER MATERIALSCIENCE. **Adesivos PURBOND® para estruturas de madeira.** Disponível em: <<http://www.purbond.com/purbond/South-America/EN/Publications/Purbond-Brochures/>> Acesso em: 21 de jul. 2010.

- BERETTA, N. Técnicos discutem o início do terceiro ciclo da madeira. *Eucalyptus benthamii* é considerado o protagonista de um novo ciclo da madeira que inicia na região. **Correio Lageano**, Lages, 02 out. 2007. Disponível em: <<http://www.correiolageano.com.br>> Acesso em: 22 mai. 2009.
- BORRACHA ATUAL. **Adesivos**. São Paulo, ed. 45, p. 18-24, 2003.
- BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU, B.; ERARSLAN, Ç. The effect of the number of blades and grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v. 25, p. 315-321, 2005.
- BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAUREGARD, R. Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-joined black spruce lumber. **Forest Products Journal**, v. 53, n. 11/12, p. 1-5, 2003.
- BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.
- CORRÊA, C. G. **Técnicas de Colagem de Madeiras com Adesivos Vinílicos**. Borden Química Indústria e Comércio Ltda, 1997. 68 p.
- CUNHA, A. B.; MARTINS, S. A.; ANJOS, R. A. M. dos. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus benthamii***. Universidade do Planalto Catarinense – Uniplac, 2009. (não publicado)
- DIAS, A. A.; AZAMBUJA, M.; OLIVEIRA JUNIOR, S. F. de. Análise estatística comparativa entre adesivos poliuretanos frente ao resorcinol-formaldeído aplicados em emenda dentada estrutural para espécie *Eucalyptus grandis*. In: CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba, 2006.
- EUROPEAN STANDARD. **EN 204: 2001** Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. Brussels: 2001. 8 p.
- FOELKEL, C. "**Edge Glued Panel**" (Painel de Madeira Colado Lateralmente). PinusLetter, n. 8, ago. 2008. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_08.html> Acesso em: 11 mai. 2009.
- FRANKLIN INTERNATIONAL. **Boletim Técnico Multibond Advantage 2**. USA: Franklin International – Adesivos para a indústria moveleira e madeireira, 2004. 3 p.
- GONÇALEZ, J. C.; BREDÁ, L. C.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

- GONZÁLEZ, G.; MOYA, R.; MONGE, F.; CÓRDOBA, R.; COTO, J. C. Evaluating the strength of finger-jointed lumber of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forest**, v. 28, p. 319–323, 2004.
- HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGUI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.
- HERNANDEZ, R. Analysis of strain in finger-jointed lumber. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5., 1998, Montreux. **Proceedings...** Montreux: J. Natterer and J.-L. Sandoz, 1998. v. 1, p. 145-152.
- HERNÁNDEZ, R. E.; COOL, J. Effects of cutting parameters on surfasse quality of paper birch wood machined across the grain with two planing techniques. **Holz Roh Werkst**, v. 66, p. 147-154, 2008a.
- HERNÁNDEZ, R. E.; COOL, J. Evaluation of three surfacing methods on paper birch wood in relation to water-and solvent-borne coating performance. **Wood and Fiber Science**, v. 40, n. 3, p. 459-469, 2008b.
- HERNÁNDEZ, R. E.; MOURA, L. F. Effects of knife jointing and wear on the planed surface quality of northern red oak wood. **Wood and Fiber Science**, v. 34, n. 4, p. 540-552, 2002.
- HIGA, A. R.; CARVALHO, P. E. R. de. Sobrevivência e crescimento de doze espécies de eucalipto em Dois Vizinhos, Paraná. **Silvicultura**, São Paulo, n. 42, p. 459-461, 1990. Edição dos Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro, 1990, Campos do Jordão.
- HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Comunicado Técnico, Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p.
- HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. **Building and Environment**, v. 39, p. 1359-1364, 2004.
- IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.
- JOKERST, R. W. **Finger-Jointed Wood Products**. Washington: USDA, Forest Products Laboratory, 1981, 24 p.
- JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p.
- KARASTERGIOU, S.; BARBOUTIS, J.; VASSILIOU, V. Effect of the PVA gluing on bending strength properties of finger jointed turkey oakwood (*Quercus cerris* L.). **Holz als Roh - und Werkstoff**, v. 64, p. 339–340, 2006.

- KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1074-1078, 2006.
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3ª ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.
- KLOCK, U.; WECKERLIN, M. L. T.; MUÑIZ, G. I. B. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus spp***, 1996. 34 p. (não publicado)
- KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology**. Vol. II Wood based materials. New York: Springer-Verlag, 1975. 702 p.
- LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.
- LIMA, E. A. *Eucalyptus benthamii* – uma alternativa energética para áreas de ocorrência de geadas severas. Painel Florestal: A Mídia do Cluster Florestal Brasileiro, 19 de dezembro de 2007. Disponível em <<http://painelflorestal.com.br>> Acesso em: 25 de set. 2008.
- LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. S. **Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 25 p.
- LOBÃO, M. S.; GOMES, A. Qualidade da adesão de madeira de eucalipto em corpos-de-prova colados em dois diferentes planos e densidades. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 194-200, 2006.
- MEIJER, M.; THURICH, K.; MILITZ, H. Comparative study on penetration of modern wood coatings. **Wood Science and Technology**, v. 32, n. 5, p. 347-365, 1998.
- MELO, J. E. **Estruturas de madeira**. Universidade de Brasília – FAU – TEC, Laboratório de Produtos Florestais – DIREN – Ibama. Brasília, março de 2001.
- MENDOZA, L. Notes on *Eucalyptus benthamii* in Argentina. In: COLLOQUES INTERNATIONAL SUR LES EUCALYPTUS RESISTANTS AU FROID, 1983, Bordeaux. **Annales...** Bordeaux: IUFRO, 1983. 480 p.
- MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. **Wood Science and Technology**, v. 40, p. 517-530, 2006a.
- MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood. **Forest Products Journal**, v. 56 n. 11/12, p. 130-136, 2006b.

- MOURA, L. F.; HERNÁNDEZ, R. E. Evaluation of varnish coating performance for two surfacing methods on sugar maple wood. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 2, p. 355–366, 2005.
- MITUTOYO CORPORATION. **SJ – 301 Surface Roughness Tester**. User's manual, 2004. 346 p.
- MUENCHOW, J. **Os passos do processo de colagem lateral e colagem por face em alta frequência**. Material técnico – Franklin International, Abril 2002.
- NASCIMENTO, A. M.; LELIS, R. C. C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. Comportamento de ligações adesivas em madeiras de reflorestamento. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 54 – 62, 2002.
- NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.
- NSW - NATIONAL PARKS & WILDLIFE SERVICE. **Threatened species information: *Eucalyptus benthamii* Maiden and Cambage**. Hurstville: National Parks & Wildlife Service, 2000. 3 p.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- OZDEMIR, T.; HIZIROGLU, S. Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid wood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 186, p. 311-314, 2007.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 45 p.
- PEREIRA, J.C.D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.
- PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. **Características físicas, químicas e rendimento da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii***. Embrapa, n. 35, out. 1997, 2 p.
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termorreificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 61, p. 122-132, 2002.
- PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R. L. Comportamento de juntas coladas da Madeira serrada de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, v. 14, n. 3, p. 251-258, 2008.

- PURBOND. **Boletim Técnico PURWELD® 1052**. Suíça: Purbond – Adhesive systems for engineered wood, 2007. 1 p.
- RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F. Optimal Surface Roughness for High-Quality Finish on Rubberwood (*Hevea brasiliensis*). **Holz als Roh - und Werkstoff**, v. 64, p. 343–345, 2006.
- RENNER SAYERLACK S.A. **Técnicas e processos de pintura e envernizamento**. Quinta edição, Cajamar – SP, 2003. 33 p.
- RENNER SAYERLACK S.A. **Produtos e Processos de Pintura**. Primeira edição, Cajamar – SP, 2009. 48 p.
- RENNER SAYERLACK S.A. **Técnicas e processos – Pinturas e envernizamento**. Oitava edição, Cajamar – SP, 2008. 42 p.
- REVISTA DA MADEIRA. **Lixas e acabamento da madeira**. Ed. nº 70, mar. 2003.
- RICHTER, K.; FEIST, W. C.; KNAEBE, M. T. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1 – Roughness characterization and stain performance. **Forest Products Journal**, v. 45, n. 7/8, p. 91-97, 1995.
- RIVER, B. H.; OKKONEN, E. A. **Delamination of edge-glued wood panels: Moisture effects**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1991. 11 p.
- RIVER, B.H.; VICK C.B.; GILLESPIE R.H. "Wood as an adherend." In: Treatise on Adhesion and Adhesives, Vol. 7, Marcel Dekker, Minford, J. D., Ed., New York, 1991. 230 p.
- ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**. 2000. 185 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood. **Forest Products Journal**, v. 55, n. 12, p. 35-52, 2005.
- SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S. Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: seru (*Allantoma lineata*) e marupá (*Simarouba amara*). **Floresta**, v. 40, n. 2, p. 345-354, 2010.
- 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, L. J. P. **Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas dentadas**. 2009. 96 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

- SILVA, J. C. Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002a.
- SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; CAIXETA, J.; DELLA LUCIA, R. M. **Produtos utilizados no setor de acabamento de móveis de madeira – características e técnicas de aplicação.** 2002. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/site/adm/upload/boletim/bol_48.pdf> Acesso em: 22 de nov. 2010.
- SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. maiden.** 2002. 204 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002b.
- SKINNER, A. **The effects of tree isolation on the genetic diversity and seed production of Camden White Gum (*Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage).** Centre for Plant Biodiversity Research, 10 mar. 2003. Disponível em: <<http://www.anbg.gov.au/cpbr/summer-scholarship/2002-projects/skinner-alison-report.html>> Acesso em: 18 de mai. 2010.
- SOUZA, M. O. A. **Madeira de *Eucalyptus camadulenses* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Bake visando seu uso na indústria moveleira.** 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- STCP – Engenharia de Projetos Ltda. **Estudo Setorial 2008, Indústria de Madeira Processada Mecanicamente.** ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Curitiba, 2008. 56 p.
- STCP – Engenharia de Projetos Ltda. **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2009.** ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília, 2010. 140 p.
- SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; SUBARI, K.; LIANG, C. K. Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 8, p. 3949-3955, 2009.
- SWAIN, T. An overview of the status of cold tolerant eucalypt trials in South Africa. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: IUFRO, 1997. p. 69-76.
- TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 5, p. 41-46, 1999.
- TRIPODI, A. **Lustração da Madeira e Pinturas Especiais – Manual Prático.** São Paulo: CTT Cultura e Editora, 2004. 80 p.

- USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.
- VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I.; KARASTERGIOU, S. Effect of PVAc bonding on finger-joint strength of steamed and unsteamed Beech Wood (*Fagus sylvatica*). **Journal of Applied Polymer Science**, v. 103, p. 1664–1669, 2007.
- VALENTI, L.; DAL PIVA, R. **Serviço brasileiro de respostas técnicas**. Centro Tecnológico do Mobiliário – CETEMO, 2006, 2 p.
- 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.
- VRAZEL, M.; SELLERS JR, T. The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 3, p. 66-75, 2004.
- WENGERT, G. A umidade ideal para a madeira. **Revista da Madeira**, Ed. nº 64, mai. 2002.
- ÖZÇİFÇİ, A.; YAPICI, F. Effects of machining method and grain orientation on the bonding strength of some wood species. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 202, p. 353–358, 2008a.
- ÖZÇİFÇİ, A.; YAPICI, F. Structural performance of the finger-jointed strength of some wood species with different joint configurations. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 1543–1550, 2008b.

APÊNDICES

A – ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA AS PROPRIEDADES AVALIADAS DE ACORDO COM O TRATAMENTO.

Tabela A.1 – Estatística descritiva da densidade aparente (ρ_{12}) dos sarrafos submetidos à colagem lateral.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
ρ_{12} (g/cm ³)	T1 – AP7	0,754	0,017	6
	T2 – AP1	0,796	0,037	5
	T3 – AL7	0,742	0,060	5
	T4 – AL1	0,754	0,049	6
	T5 – RP7	0,796	0,034	5
	T6 – RP1	0,779	0,062	6
	T7 – RL7	0,761	0,034	6
	T8 – RL1	0,778	0,047	5

Tabela A.2 – Estatística descritiva dos parâmetros de rugosidade das superfícies lixadas e aplainadas submetidas à colagem lateral.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
R_a (μm)	Lixa	9,34	0,408	9
	Plaina	9,08	1,622	10
R_z (μm)	Lixa	59,79	5,782	10
	Plaina	60,16	11,498	10
R_t (μm)	Lixa	76,99	9,844	10
	Plaina	81,96	18,544	10

Tabela A.3 – Estatística descritiva do ensaio de cisalhamento.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
$f_{gv,0}$ (MPa)	T1 - AP7	10,76	2,235	20
	T2 - AP1	11,61	2,666	20
	T3 - AL7	10,96	1,885	20
	T4 - AL1	11,24	3,218	20
	T5 - RP7	9,88	1,548	20
	T6 - RP1	10,31	1,414	20
	T7 - RL7	9,93	2,063	20
	T8 - RL1	12,74	0,897	20

Tabela A.4 – Falha na madeira.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
Falha na madeira (%)	T1 - AP7	96,80	4,720	20
	T2 - AP1	97,15	3,014	20
	T3 - AL7	96,40	6,916	20
	T4 - AL1	89,90	16,348	20
	T5 - RP7	64,40	17,003	20
	T6 - RP1	72,10	24,973	20
	T7 - RL7	87,10	10,234	20
	T8 - RL1	92,25	8,201	20

Tabela A.5 – Estatística descritiva da densidade aparente (ρ_{12}) dos CPs submetidos ao ensaio de flexão estática.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
ρ_{12} (g/cm ³)	PUR	0,693	0,048	20
	PVAc	0,677	0,076	20

Tabela A.6 – Estatística descritiva do módulo de ruptura (f_M) obtidos no ensaio de flexão estática.

Propriedades	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
f_M (MPa)	PUR	46,49	6,665	18
	PVAc	68,05	16,154	20

Tabela A.7 – Estatística descritiva do módulo de elasticidade (E_M) obtido no ensaio de flexão estática.

Propriedade	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
E_M (MPa)	PUR	16479,78	2099,184	20
	PVAc	16157,74	2808,439	20

Tabela A.8 – Estatística descritiva dos parâmetros de rugosidade dos tratamentos submetidos ao ensaio de aderência.

Propriedades	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Repetições
R_a (μm)	T1 (150-220-280)	5,32	1,978	10
	T2 (120-180-220)	7,01	3,2711	10
	T3 (100-150-180)	5,85	2,214	10
R_z (μm)	T1 (150-220-280)	62,86	20,185	10
	T2 (120-180-220)	61,14	12,477	10
	T3 (100-150-180)	55,98	14,773	10
R_t (μm)	T1 (150-220-280)	86,89	22,032	10
	T2 (120-180-220)	98,32	23,937	10
	T3 (100-150-180)	71,28	8,660	8

Tabela A.9 – Graduações segundo os avaliadores para cada tratamento. Continua

Tratamento	Repetição	1	2	3	4	5	Graduação final
T1 (150-220-280)	1	5	5	4	5	5	5
	2	5	5	5	4	5	5
	3	4	4	5	5	4	4
	4	4	4	4	4	5	4
	5	5	5	5	4	5	5
	6	4	4	4	3	5	4
	7	4	5	5	4	5	5
	8	5	5	5	4	5	5
	9	4	5	5	4	5	5
	10	5	5	5	4	5	5

Tabela A.9 – Graduações segundo os avaliadores para cada tratamento. Continuação

Tratamento	Repetição	1	2	3	4	5	Graduação final
T2 (120-180-220)	1	4	4	4	3	4	4
	2	4	4	5	3	4	4
	3	5	5	5	4	5	5
	4	5	5	5	4	4	5
	5	5	5	5	4	5	5
	6	4	4	4	4	4	4
	7	5	4	5	5	5	5
	8	5	5	4	5	5	5
	9	5	4	5	5	5	5
	10	3	3	3	3	3	3
T3 (100-150-180)	1	5	4	5	5	4	5
	2	5	5	5	4	4	5
	3	5	5	5	5	5	5
	4	5	4	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5
	6	4	5	4	4	4	4
	7	5	4	4	4	4	4
	8	4	4	4	4	5	4
	9	5	5	5	5	5	5
	10	5	5	5	5	5	5

B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES AVALIADAS DE ACORDO COM O TRATAMENTO.

Tabela B.1 – Análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente dos sarrafos submetidos à colagem lateral.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	ρ_{12}	0,015	7	0,002	1,080	0,396
Erro	ρ_{12}	0,072	36	0,002		
Total	ρ_{12}	26,127	43			

Tabela B.2 – Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de rugosidade das superfícies aplainadas e lixadas.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	R_a	0,320	1	0,320	0,218	0,647
	R_z	0,703	1	0,703	0,008	0,928
	R_t	123,405	1	123,405	0,560	0,464
Erro	R_a	25,017	17	1,472		
	R_z	1490,701	18	82,817		
	R_t	3967,353	18	220,408		
Total	R_a	1634,970	18			
	R_z	73435,015	19			
	R_t	130422,628	19			

Tabela B.3 – Análise de variância (ANOVA) para a tensão de ruptura dos tratamentos.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	$f_{gv,0}$	126,948	7	18,135	4,090	0,000
Erro	$f_{gv,0}$	673,971	152	4,434		
Total	$f_{gv,0}$	19911,916	159			

Tabela B.4 – Análise de variância (ANOVA) do efeito do adesivo, da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos tratamentos.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Adesivo (Ad)	$f_{gv,0}$	7,258	1	7,258	1,637	0,203
Superfície (Sp)	$f_{gv,0}$	13,236	1	13,236	2,985	0,086
Pressão (Pr)	$f_{gv,0}$	47,805	1	47,805	10,781	0,001
Ad x Sp	$f_{gv,0}$	17,426	1	17,426	3,930	0,049
Ad x Pr	$f_{gv,0}$	11,179	1	11,179	2,521	0,114
Sp x Pr	$f_{gv,0}$	8,409	1	8,409	1,896	0,171
Ad x Sp x Pr	$f_{gv,0}$	21,636	1	21,636	4,879	0,029
Erro	$f_{gv,0}$	673,917	152	4,434		
Total	$f_{gv,0}$	19911,916	159			

Tabela B.5 – Análise de variância (ANOVA) do efeito da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos CPs colados com adesivo PVAc.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Superfície (Sp)	$f_{gv,0}$	0,144	1	0,144	0,022	0,882
Pressão (Pr)	$f_{gv,0}$	6,375	1	6,375	0,980	0,325
Sp x Pr	$f_{gv,0}$	1,534	1	1,534	0,236	0,629
Erro	$f_{gv,0}$	494,258	76	6,503		
Total	$f_{gv,0}$	10433,865	79			

Tabela B.6 – Análise de variância (ANOVA) do efeito da pressão e da superfície na tensão de ruptura dos CPs colados com adesivo PUR.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Superfície (Sp)	$f_{gv,0}$	30,518	1	30,518	12,906	0,001
Pressão (Pr)	$f_{gv,0}$	52,609	1	52,609	22,248	0,000
Sp x Pr	$f_{gv,0}$	28,510	1	28,510	12,057	0,001
Erro	$f_{gv,0}$	179,713	76	2,365		
Total	$f_{gv,0}$	9478,052	79			

Tabela B.7 – Análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente (ρ_{12}) dos tratamentos submetidos ao ensaio de flexão.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	ρ_{12}	0,003	1	0,003	0,676	0,416
Erro	ρ_{12}	0,153	38	0,004		
Total	ρ_{12}	18,911	39			

Tabela B.8 – Análise de variância (ANOVA) para as propriedades mecânicas dos tratamentos submetidos ao ensaio de flexão.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	f_M	4403,119	1	4403,119	27,745	0,000
	E_M	1037128,680	1	1037128,680	0,169	0,684
Erro	f_M	5713,143	36	158,698		
	E_M	2,336E8	38	6146952,158		
Total	f_M	137224,291	37			
	E_M	1,089E10	39			

Tabela B.9 – Análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de rugosidade dos tratamentos submetidos ao ensaio de aderência.

Fonte de variação	Propriedade	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc	Significância
Tratamento	R_a	14,442	2	7,221	1,093	0,350
	R_z	255,050	2	127,525	0,482	0,623
	R_t	3251,889	2	1625,944	4,044	0,030
Erro	R_a	171,704	26	6,604		
	R_z	6876,503	26	264,481		
	R_t	10050,623	25	402,025		
Total	R_a	1258,901	28			
	R_z	111376,810	28			
	R_t	222853,955	27			