

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ROMULO REZENDE DIAS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BATENTES
DE PAINEL EGP DE *Pinus taeda*

Guaratinguetá
2016

ROMULO REZENDE DIAS

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BATENTES DE
PAINEL EGP DE *Pinus taeda*

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
do Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Guaratinguetá
2016

D541a	Dias, Romulo Rezende Avaliação da influência de variáveis na produção de batentes de painel EGP de <i>Pinus taeda</i> . / Romulo Rezende Dias – Guaratinguetá, 2016. 119 f. : il. Bibliografia : f. 114-118 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves Coorientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves 1. Madeira - Efeito da umidade 2. <i>Pinus taeda</i> 3. Anéis de crescimento I. Título
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CDU 674.04(043)

ROMULO REZENDE DIAS

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Vice-Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
UNESP/FEG


Dr.ª. ANDRESSA CECÍLIA MILANESE
UNESP/FEG


Prof. Dr. IVALDO DE DOMÊNICO VALARELLI
UNESP/FEB

DADOS CURRICULARES

ROMULO REZENDE DIAS

NASCIMENTO	16/06/1984 – Itapeva/SP
FILIAÇÃO	José Carlos da Silva Dias Edicléia de Fátima Rezende Dias
2002/2003	Curso de Nível Médio Técnico em Eletrotécnica - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - ETE Dr. Demétrio Azevedo Junior
2003/2008	Curso de Graduação Engenharia Industrial Madeireira – UNESP/Itapeva
2014/2016	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

à minha avó **Nair**, exemplo de garra e sabedoria e às minhas amadas **Fernanda Lahoud** e **Isadora Maria**, que sempre me incentivaram a buscar, aprender e compartilhar o saber.

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, em primeiro lugar, Senhor da vida e razão da existência.

Ao *Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves*, meu orientador, que me incentivou a continuar os estudos e sempre se mostrou presente, orientando e contribuindo para esta pesquisa.

A minha esposa *Fernanda Lahoud*, que compreendeu e cedeu parte de nosso precioso tempo aos meus estudos e inquietações e que foi minha fonte de ânimo do início ao fim.

Aos meus amigos de pesquisa, *Cleverson Pinheiro*, que me auxiliou nesses anos de estudo a distância, contribuindo para que o tratamento estatístico fosse o melhor possível e *Priscila Roel de Deus* e *Dorival Pinheiro Garcia* que contribuíram com seus incentivos, sugestões e críticas.

Ao meu coorientador, *Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves*, que contribuiu com sua experiência de vida pessoal e profissional;

Aos meus pais, *José Carlos da Silva Dias* e *Edicléia de Fátima Rezende Dias*; a minha irmã *Lívia Ap. Rezende Dias*, aos meus demais familiares *Hanna*, *Salete*, *Marcela*, *Fairuz*, *Renan* e *Eliton*, que muitas vezes entenderam que era preciso não contar comigo em alguns momentos de reunião e festança familiar.

Aos *diretores* das empresas *Línea Paraná Madeira Ltda.* e *Grupo Jari* pela ajuda financeira com os testes físicos, pela cessão dos batentes para os ensaios e pela liberação de algumas horas da jornada de trabalho.

Aos colegas de trabalho *Carlos Machado*, *Jefferson Garcia*, *Romulo Moura* e *demais colaboradores* de ambas as empresas, pelo auxílio na produção das peças e dados para a pesquisa.

Ao colega *Thiago Barreiros e equipe do IPT*, pela presteza na aquisição de dados dos ensaios.

Aos membros das bancas de qualificação e de exame de dissertação, *Marcos Valério Ribeiro*, *José Vitor Cândido de Souza*, *Andressa Cecília Milanese* e *Ivaldo de Domênico Valarelli*, pelas sugestões e contribuições.

Aos *professores e funcionários da UNESP de Guaratinguetá e de Itapeva*.

Aos *demais amigos, colegas e familiares* que em seu momento oportuno souberam dar aquela injeção de ânimo e otimismo e torceram por mim, que de uma forma ou de outra contribuíram, direta ou indiretamente, para que esse momento se finalizasse com êxito.

“Alegrai-vos na esperança, sede pacientes na tribulação,
perseverai na oração.”

São Paulo Apóstolo – Romanos 12:12

DIAS, R. R. **Avaliação da influência de variáveis na produção de batentes de painel EGP de *Pinus taeda***. 2016. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

O uso de madeira de pinus na construção civil é cada vez maior e saber trabalhar suas características, vantagens e desvantagens é essencial para o sucesso do produto. O presente trabalho tem por objetivo estudar a influência da largura das lamelas e do arranjo físico dos anéis de crescimento em painéis de madeira de *Pinus taeda* coladas lateralmente (EGP) utilizados na fabricação de batentes, seguindo as exigências da ABNT-NBR 15.930 (2011), a fim de determinar a melhor combinação para o melhor desempenho físico do produto. Para tanto, trabalhou-se com o fatorial completo para dois fatores e quatro níveis, sendo i. largura das lamelas de 32 mm, 56 mm, 75 mm e 112mm; e ii. arranjo dos anéis: lamelas radiais, lamelas tangenciais, lamelas cruzadas e lamelas com emendas de topo tipo *finger joint*. Os 48 corpos de prova (03 para cada combinação) de batente de EGP com 2120 x 220 x 32mm, com teor de umidade entre 8% e 12% e densidade aparente entre 400 kg.m⁻³ e 600 kg.m⁻³ foram produzidos numa indústria madeireira da cidade de Sengés/PR. Utilizou-se a análise estatística de variância (ANOVA) para investigar a influência dos fatores e suas interações nas seguintes respostas: aspecto visual, variação da umidade, variação da densidade, variações dimensionais de largura e espessura e desvios de forma (empenamento: encurvamento, arqueamento e encanoamento). Os resultados mostraram que os dois fatores e suas interações exerceram influência com nível de significância de 1% sobre os desvios de forma. Os melhores resultados foram para painéis produzidos com lamelas de 32 mm e 56 mm, com arranjo cruzado ou radial. As demais respostas não foram influenciadas de forma significativa pelos fatores e suas interações.

PALAVRAS CHAVE: lamela, pinus, anéis de crescimento, largura dos sarrafos, NBR 15.930

DIAS, R. R. **Evaluation of the influence of variables in the production of door frame of Edge Glued Wood Panel of *Pinus taeda***. 2016. 119f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

The use of pine wood is increasing and for the success of its products it is essential to have the know-how to work its features, advantages and disadvantages. The objective of this study is to evaluate the influence of batten widths and the physical arrangement of growth rings in Edge Glued Panel of *Pinus taeda* used in the manufacture of door frames, according the requirements of ABNT-NBR 15.930 (2011) to determine the best combination for better physical performance of the door frame. Experimental tests considered the full factorial method using two factors and four levels, with batten widths of 32mm, 56mm, 75mm and 112mm; and arrangement of the growth rings: radial, tangential, crossed and plates with top amendments type finger joint. The 48 samples (03 from each combination), with 2120 x 220 x 32 mm, with a moisture content between 8% and 12% and an apparent density between 400 kg.m⁻³ and 600 kg.m⁻³ were produced in a wood factory in Sengés/PR/Brasil. The statistical analysis of variance (ANOVA) was used to investigate the influence of the factors and their interactions in the following responses: visual appearance, moisture content variations, density variations, dimensional variations in width and thickness and deviations in shape (warping: bending, curving and curling). The results showed that both factors and their interactions exerted influence with a significance level of 1% on the deviations of form. The best results were to EGP produced with batten widths of 32 mm and 56 mm, with radial or crossed arrangement. The factors and their interactions did not significantly influence the other answers.

KEYWORDS: lath, pine, growth rings, battens width, NBR 15.930

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Kit Porta Pronta da marca Kits Aero	20
Figura 2 - Painel EGP de pinus	21
Figura 3 - Evolução das florestas plantadas no Brasil de 2006 a 2012.	26
Figura 4 - Distribuição das florestas plantadas de pinus no Brasil em 2009.....	27
Figura 5 - Ilustração da anatomia macroscópica de um tronco de madeira	30
Figura 6 - Ilustração da anatomia microscópica - comparação entre (a) madeira de conífera e (b) madeira de folhosa	31
Figura 7 – Anéis de crescimento numa seção transversal de uma tora de pinus.....	32
Figura 8 - Região da madeira adulta (MA), madeira de transição (MT) e madeira juvenil (MJ) no <i>Pinus taeda</i>	33
Figura 9 - Diagrama densidade da madeira x teor de umidade	35
Figura 10 - Diferentes retratibilidades de peças de madeira pós secagem, em comparação ao local de obtenção da mesma na tora	39
Figura 11 - Diagramas de variação volumétrica: (a) vista isométrica da madeira; (b) inchamento em função do teor de umidade da madeira para 1) carvalho, 2) eucalipto e 3) pinus.	40
Figura 12 - Variação da contração em diferentes planos de cortes, para as madeiras de caoba, pinus silvestre e haya.....	41
Figura 13 - Cadeia produtiva da madeira	43
Figura 14 - Produção de portas de madeira entre 2000 e 2012.	44
Figura 15 - Imagem de dois painéis EGP	45
Figura 16 - Exemplo de layout de fabricação de painel colado lateralmente.....	50
Figura 17 - Painel EGP: (a) sarrafos com junção plana; (b) junção por <i>finger joint</i> ; (c) junção triangular.....	51
Figura 18 - Painel EGP: MP90) sarrafos com junção plana; MP45) junção com ângulo de 45°; MP30) junção com ângulo de 30°.....	52
Figura 19 - Retração da seção transversal – (a) comportamento numa seção tangencial e radial; (b) comportamento com os anéis de crescimento orientados na diagonal.	54
Figura 20 - Empenamento de painéis EGP com (a) dois sarrafos orientados tangencialmente e (b) dois sarrafos com orientação cruzada.	55
Figura 21 - Painel EGP colado com sarrafos em direções opostas.	55

Figura 22 - União do tipo <i>finger joint</i> : (a) peça unida no comprimento; (b) união do tipo simples-lida; (c) <i>finger</i> estrutural vertical; (d) <i>finger</i> estrutural horizontal; (e) <i>finger</i> não estrutural.	56
Figura 23- Painel EGP: (A) logo após calibração; (B) após entrar em equilíbrio com o meio	58
Figura 24 – Tipos de empenamento da madeira.....	58
Figura 25 - Empenamento de batentes descritos pela ABNT - NBR 15.930 (2011)	59
Figura 26 - Exemplo do corte de corpos de prova para teste de resistência da linha de cola de painéis EGP – dimensões em mm	60
Figura 27 - Exemplo de painel EGP com diferença de tonalidade e de grã entre os sarrafos..	61
Figura 28 - Kit porta pronta e seus componentes: (A) batente ou marco; (B) folha de porta; (C) alizar ou guarnição; (D) ferragens – dobradiças e fechadura.....	65
Figura 29 - Fabricantes nacionais de portas participantes do PSQ-PME.....	67
Figura 30 - Selo do PSQ-PME para os fabricantes de portas de madeira	69
Figura 31 - Medidas padronizadas para os batentes de madeira para portas de abrir	71
Figura 32 - Padrões de aparência para componentes de porta de madeira maciça.....	72
Figura 33 - Padrões e limites para a variação dimensional de batentes de madeira.....	73
Figura 34 - Padrões e limites para o desvio de forma de batentes de madeira.....	73
Figura 35 - Perfil do batente utilizado como corpo de prova – medidas em mm.....	74
Figura 36 - Processo de aplainamento: (a) entrada das tábuas com 36 mm de espessura e (b) saída com 33 mm.....	75
Figura 37 - Processo de refilo: (a) entrada das tábuas e (b) saída e classificação das lamelas em diversas larguras	75
Figura 38 - Processo de destopo: (a) entrada das lamelas com defeitos e (b) tambor com estoque de <i>blocks</i>	76
Figura 39 - Processo de <i>finger</i> : (a) usinagem de <i>finger joint</i> nos <i>blocks</i> e (b) saída dos <i>blanks</i>	76
Figura 40 - Processo de prensagem e colagem: (a) aplicação do adesivo e (b) saída e estoque dos painéis	77
Figura 41 - Processo de molduragem: (a) entrada dos painéis; (b) saída dos batentes moldurados e (c) lote de batentes	78
Figura 42 - Arranjo físico para produção dos corpos de prova para estudo do fator A – dimensões já acabadas após aplainamento (molduragem do perfil), sendo (a) corpos de prova A1, (b) corpos de prova A2, (c) corpos de prova A3 e (d) corpos de prova A4.	79

Figura 43 - Arranjo físico para produção dos corpos de prova para estudo do fator B – dimensões já acabadas após aplainamento (molduragem do perfil), sendo (a) arranjo radial - corpos de prova B1, (b) arranjo tangencial - corpos de prova B2 e (c) arranjo cruzado.....	80
Figura 44 - Modelo dos suportes para os componentes na câmara climatizada.....	82
Figura 45 - Croqui com eixos de referência para batentes.	82
Figura 46 - Corpos de prova demarcados.....	84
Figura 47 - Medição de umidade do corpo de prova no ponto “a”.	85
Figura 48 - Medição de massa do corpo de prova.....	85
Figura 49 - Vista externa da câmara de climatização do IPT.....	86
Figura 50 - Interior da câmara de climatização.....	87
Figura 51 - Medição do encurvamento do batente.....	88
Figura 52 - Medição do arqueamento do batente.....	89
Figura 53 - Medição do encanoamento do batente: (a) região de encanoamento e (b) medição com paquímetro.....	90
Figura 54 - Gráfico de dispersão para a variação de largura.....	98
Figura 55 - Gráfico de dispersão para a variação de espessura.....	101
Figura 56 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – encurvamento.....	105
Figura 57 - Interação dos fatores com as médias de encurvamento.....	106
Figura 58 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – arqueamento.....	107
Figura 59 - Interação dos fatores com as médias de arqueamento.....	108
Figura 60 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – encanoamento.....	110
Figura 61 - Interação dos fatores com as médias de encanoamento.....	110
Figura 62 - Resumo dos melhores e piores resultados para as combinações estudadas.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados da análise visual de superfície	91
Tabela 2 – Resultados dos teores de umidade médio antes e após acondicionamento	92
Tabela 3 - Análise de variância para as médias de ΔTU	93
Tabela 4 – Resultados da densidade aparente antes e após acondicionamento.....	94
Tabela 5 – Resultados das massas antes e após acondicionamento	95
Tabela 6 – Resultado dos volumes antes e após acondicionamento.....	95
Tabela 7 - Análise de variância para as médias de $\Delta \rho_a$	97
Tabela 8 – Resultado das larguras dos batentes antes e após acondicionamento.....	98
Tabela 9 - Análise de variância para as médias de ΔL	99
Tabela 10 – Resultado das espessuras dos batentes antes e após acondicionamento.....	100
Tabela 11 - Análise de variância para as médias de Δe	101
Tabela 12 – Resultados dos desvios dos batentes após acondicionamento	102
Tabela 13 - Análise de variância para as médias de encurvamento	103
Tabela 14 - Análise de variância para as médias de arqueamento	103
Tabela 15 - Análise de variância para as médias de encanoamento	104
Tabela 16 - Valores médios do encurvamento em mm após acondicionamento.....	104
Tabela 17 - Valores médios do arqueamento em mm após acondicionamento.....	107
Tabela 18 - Valores médios do encanoamento em mm após acondicionamento	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT	Associação Brasileiras de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada
ANOVA	Análise de Variância
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CEF	Caixa Econômica Federal
CNQM	Conselho Nacional de Qualidade da Madeira
CV	Coefficiente de Variação
EGP	<i>Edge Glued Panel</i>
EGWP	<i>Edge Glued Wood Panel</i>
EN	<i>European Norm</i>
EPI	Emulsão Polimérica de Isocianato
EWP	<i>Edge Wooden Panel</i>
F	Estatística F
GL	Grau de Liberdade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KPP	Kit Porta Pronta
MCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
NBR	Norma Brasileira
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
P	Resultado de p-valor
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PEM	Porta de Entrada de Madeira
PEM-RU	Porta de Entrada de Madeira com Resistência à Umidade
pH	Potencial de Hidrogênio
PIA	Porta Isolante Acústica

PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Porta Interna de Madeira
PIM-RU	Porta Interna de Madeira com Resistência à Umidade
PMR	Painéis de Madeira Reconstituída
PMVA	Produto de Maior Valor Agregado
PNQM	Programa Nacional de Qualidade da Madeira
PR	Estado do Paraná
PRF	Porta Resistente ao Fogo
PSF	Ponto de Saturação das Fibras
PSQ-PME	Programa Setorial de Qualidade – Portas de Madeira para Edificações
PVA	Poliacetato de Vinila
PXM	Porta Externa de Madeira
R^2	Coefficiente de Determinação
R^2_a	Coefficiente de Determinação Ajustado
REMADE	Revista da Madeira
SC	Estado de Santa Catarina
SMQ	Soma Média Quadrática
SP	Estado de São Paulo
SQ	Soma dos Quadrados
TU	Teor de Umidade da Madeira
UE	Umidade de Equilíbrio da Madeira
VN	Varição Dimensional do Batente

LISTA DE SÍMBOLOS

cv	cavalo (potência)
D_0	dimensão inicial
ha	hectare
L112	painel construído com lamelas de 112 mm
L32	painel construído com lamelas de 32 mm
L56	painel construído com lamelas de 56 mm
L75	painel construído com lamelas de 75 mm
m^3	metro cúbico
M_f	massa final
M_i	massa inicial
$^{\circ}C$	grau Celsius
TU_{bs}	teor de umidade da madeira na base seca
TU_{bu}	teor de umidade da madeira na base úmida
ΔD	variação dimensional em um certo sentido de corte
Δe	variação de espessura
ΔL	variação de largura
Δm	variação de massa
ΔTU	variação do teor de umidade da madeira
$\Delta \rho_a$	variação de densidade aparente
ϵ_t	inchamento tangencial
ϵ_r	inchamento radial
ϵ_l	inchamento longitudinal
ρ	densidade
ρ_a	densidade aparente da madeira
$\rho_{a12\%}$	densidade aparente da madeira a 12% de umidade
ρ_b	densidade básica da madeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	22
1.1.1	Objetivo geral	22
1.1.2	Objetivos específicos	22
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	23
1.3	BENEFÍCIOS DA PESQUISA	23
1.4	ORIGINALIDADE DO ESTUDO	24
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	A MADEIRA	25
2.1.1	A madeira na construção civil	27
2.2	A MADEIRA DE PINUS	28
2.2.1	Anatomia do pinus	29
2.2.2	Anéis de crescimento	32
2.2.3	Madeira juvenil e adulta	33
2.2.4	Propriedades físicas da madeira	34
2.2.4.1	Densidade	34
2.2.4.2	Umidade	36
2.2.4.3	Anisotropia e variação volumétrica	38
2.3	PRODUTO DE MAIOR VALOR AGREGADO - PMVA	42
2.4	PAINEL EGP	44
2.4.1	Processo produtivo dos painéis EGP	47
2.4.1.1	Preparação dos sarrafos	48
2.4.1.2	Junção lateral dos sarrafos	49
2.4.1.3	Acabamento do painel	49

2.4.2	Fatores que influenciam no desempenho do painel EGP	50
2.4.2.1	Largura dos sarrafos e do painel	50
2.4.2.2	Umidade dos sarrafos e do painel	52
2.4.2.3	Presença de madeira juvenil.....	53
2.4.2.4	Orientação dos anéis de crescimento	54
2.4.3	União de topo tipo <i>finger joint</i>	56
2.4.4	Possíveis defeitos dos painéis EGP	57
2.4.4.1	Delaminação	57
2.4.4.2	Empenamento	58
2.4.4.3	Descolamento.....	59
2.4.4.4	Defeitos oriundos de classificação visual	60
2.4.4.5	Defeitos dimensionais	61
2.5	COLAGEM DA MADEIRA	62
2.5.1	Física e química da colagem na madeira	62
2.5.2	Propriedades dos adesivos	63
2.5.2.1	Viscosidade	63
2.5.2.2	Tempo de gelatinização	63
2.5.2.3	Teor de substâncias sólidas	63
2.5.2.4	Potencial de Hidrogênio (pH)	63
2.5.3	Acetato de polivinila (PVA)	64
2.6	KIT PORTA PRONTA (KPP)	64
2.7	CERTIFICAÇÃO E NORMAS DE DESEMPENHO PARA PORTAS DE MADEIRA	68
2.7.1	Batentes de madeira	71
3	MATERIAIS E MÉTODOS	74
3.1	MATÉRIA-PRIMA	74
3.2	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	74

3.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	78
3.3.1	Fator A – Largura das lamelas	78
3.3.2	Fator B - Disposição dos anéis de crescimento das lamelas	79
3.4	ENSAIOS.....	80
3.4.1	Materiais	81
3.4.2	Método	81
3.4.2.1	Aspecto visual da superfície	84
3.4.2.2	Determinação da umidade antes e após o acondicionamento	84
3.4.2.3	Determinação da densidade aparente antes e após o acondicionamento	85
3.4.2.4	Variações dimensionais dos batentes (largura e espessura).....	86
3.4.2.5	Desvios de forma e de planicidade dos batentes (empenamento).....	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
4.1	ASPECTO VISUAL DA SUPERFÍCIE.....	91
4.2	UMIDADE ANTES E APÓS O ACONDICIONAMENTO.....	92
4.3	DENSIDADE APARENTE ANTES E APÓS O ACONDICIONAMENTO.....	94
4.4	VARIAÇÕES DIMENSIONAIS DOS BATENTES EM RELAÇÃO ÀS DIMENSÕES NOMINAIS (VN)	97
4.4.1	Estudo da variação da largura dos batentes	97
4.4.2	Estudo da variação da espessura dos batentes	100
4.5	DESVIOS DE FORMA E DE PLANICIDADE DOS BATENTES (EMPENAMENTO) - ENCURVAMENTO, ARQUEAMENTO E ENCANOAMENTO DA PEÇA.....	102
4.5.1	Estudo da interação dos fatores no encurvamento	104
4.5.2	Estudo da interação dos fatores no arqueamento	106
4.5.3	Estudo da interação dos fatores no encanoamento.....	109
5	CONCLUSÃO	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1 INTRODUÇÃO

Não se tem registros de quando a madeira começou a ser utilizada como material construtivo. Sua aplicação é tão grande e tão antiga que se confunde com a história da própria humanidade. De lá para cá, suas aplicações se modificaram, se tornaram mais eficientes, suas propriedades foram melhor aplicadas. Estudos foram aprofundados e viu-se que milhares de espécies de árvores levam a diferentes tipos de madeira, diferentes propriedades, diferentes aplicações.

Nesses milhares de anos de existência, a madeira se concretizou como um importante material a ser aplicado nas mais diversas áreas, da construção de grandes estruturas, como pontes, telhados e edifícios; a pequenos artefatos decorativos; da energia do carvão vegetal aos papéis dos jornais e revistas; dos móveis às cápsulas dos remédios. Enfim, não se pode negar que a madeira faz parte do dia a dia, nas mais diversas formas.

O pinus e o eucalipto começaram a ser atores principais nessa história, substituindo as primeiras madeiras, que passariam então a ser chamadas de "madeiras nobres". Muitas delas hoje em escassez e sem possibilidade de corte.

Porém, durante algum tempo, o pinus e o eucalipto, apesar da abundância, não se mostraram tão eficientes para os produtos nobres a base de madeira. O uso errado desses gêneros os tornaram materiais inferiores às madeiras nobres. Especificamente o pinus, nos anos 90 foi menosprezado como madeira de segunda categoria, utilizada apenas para subprodutos, como caixas de feira, cercas, tábuas de construção civil etc. Porém as pesquisas com o pinus foram essenciais para entender as propriedades dessa madeira e saber aplicar tais propriedades a favor do produto a ser fabricado. Entendeu-se então que o problema não estava no pinus em si, e sim no desconhecimento de sua aplicação, ou melhor, no desconhecimento de como produzir produtos à base dessa madeira.

Hoje o pinus não é apenas o gênero mais utilizado no país na fabricação de produtos e derivados de madeira serrada, como é também principal matéria-prima dos Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA) (ABIMCI, 2013).

Um PMVA que está em crescente produção e que utiliza a madeira de pinus em sua composição são os Kit Porta Pronta (KPP) – mostrados na Figura 1 – que são produtos compostos por a) folha de porta, b) batentes (também chamados de marcos ou aduelas – dependendo da região do país), c) alisares (também chamados de guarnições ou vistas) e d) ferragens (dobradiças, fechaduras e acabamentos). Os KPPs já saem prontos de fábrica, restando ao consumidor apenas instalá-lo com espuma poliuretana expansiva.

Figura 1 - Kit Porta Pronta da marca Kits Aero



Fonte: adaptado (KITS AERO, 2015)

Pensando na garantia de qualidade desses kits porta pronta, a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) reativou em 2012 os estudos do setor de portas dentro da CB-31, comissão de produtos madeireiros que trata da madeira serrada dentro da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), visando a implantação de um programa de certificação de kits porta pronta, conhecido como Programa Setorial de Qualidade – Portas de Madeira para Edificações (PSQ-PME). Essa certificação será atribuída a todos os fabricantes que atenderem norma ABNT-NBR 15.930 (2011).

Muitas empresas utilizam na produção dos batentes do KPP o painel de madeira colada lateralmente, o chamado “*Edge Glued Panel*” – EGP (Figura 2), caracterizando tais batentes como produtos de madeira maciça. Outras, porém vem utilizando painel compensado ou ainda painel MDF – *Medium Density Fiberboard* - Painel de Fibra de Média Densidade, devido ao fato de não conseguir do painel EGP desempenho mínimo que atenda às normas vigentes.

Figura 2 - Painel EGP de pinus



Fonte: (LY INTERNATIONAL, 2015)

A preocupação desses fabricantes de KPP é que seus kits sejam aprovados nos testes físicos exigidos pela norma ABNT-NBR 15.930 (2011). Sabe-se por experiência profissional que os fabricantes de batentes de painel EGP de pinus desconhecem como trabalhar a melhor combinação de variáveis produtivas desse painel, como umidade da madeira, largura das lamelas, gramatura de cola (adesivo), pressão de colagem, disposição dos sarrafos, tempo de prensa, entre outras.

Para que os batentes do KPP sejam certificados a exigência principal da ABNT-NBR 15.930 (2011) é que os mesmos não sofram grandes variações dimensionais após acondicionamento (que simula o dia a dia do produto), ou seja, não ocorram empenamentos: arqueamento e encurvamento; nem apresentem fissuras aparentes, dentro de certos limites máximos.

Sendo assim, é preciso que os fabricantes de batentes de EGP conheçam e dominem as principais variáveis do processo produtivo a fim de que a composição do painel seja a melhor possível, ou seja, a que permita a menor variação dimensional do produto de maneira a atender os requisitos da NBR 15.930. Só assim o EGP será um aliado construtivo e não um vilão.

Diante disso, é importante que pesquisas sejam desenvolvidas a fim de explorar quais são as melhores combinações dessas variáveis e o quanto elas interferem (e se interferem) nessas variações dimensionais indesejadas. Quais são os melhores teores de umidade da madeira para se trabalhar? Quais as melhores larguras de lamelas, mínimas e máximas? Quais os melhores sentidos: radiais ou tangenciais? Quais as melhores disposições dos anéis de crescimento da madeira? São questões que se procuram no dia a dia industrial e que se propõe que sejam sanadas ou ao menos esclarecidas com esse trabalho.

1.1 OBJETIVOS

De modo a contribuir com informações técnicas à sociedade em geral, seja à cadeia dos fabricantes e consumidores de produtos madeireiros, seja ao setor acadêmico, o presente trabalho propõe os seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a influência da largura das lamelas e do arranjo físico dos anéis de crescimento nas propriedades físicas de painéis de madeira de *Pinus taeda* coladas lateralmente (EGP) utilizados na fabricação de batentes (marcos ou aduelas).

1.1.2 Objetivos específicos

I. Estudar a influência de duas variáveis industriais da fabricação de batente de painel EGP de *Pinus taeda*, sendo elas:

- a) a largura das lamelas (ou sarrafos) de um mesmo painel;
- b) o arranjo físico (orientação) dos anéis de crescimento (lenho inicial e tardio) de um mesmo painel.

II. Relacionar as variáveis estudadas ao comportamento físico dos batentes de EGP após acondicionamento em câmara climatizada, conforme recomenda a ABNT-NBR 15.930 (2011), verificando a existência ou não de interação entre as variáveis, avaliando:

- a) Aspecto visual da superfície
- b) Umidade antes e após o acondicionamento
- c) Densidade aparente (ρ_a) antes e após o acondicionamento
- d) Variações dimensionais dos batentes em relação às dimensões nominais (VN)
- e) Desvios de forma e de planicidade dos batentes (empenamento) - encurvamento, arqueamento e encanoamento da peça

III. Determinar a melhor combinação das variáveis para o melhor desempenho físico do batente, fornecendo indícios das melhores formas de construção e produção do painel EGP, a fim de atender as especificações da NBR 15.930.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Com o passar do tempo, a utilização da madeira de pinus pelas indústrias de madeira serrada vem se consolidando, já que esse tipo de madeira é, entre as de floresta plantada, a de mais fácil trabalhabilidade. Em paralelo, o uso de madeira tropical é cada vez menor.

Porém, isso por si só não faz o uso do pinus eficaz. Pelo contrário, percebe-se que as empresas que possuem *know how* e/ou anos de experiência, conseguem se sobressair perante as outras que num jogo de erros e acertos acabam comprometendo a qualidade de seus produtos, os custos de produção, o estoque de matéria-prima e conseqüentemente, seus clientes, pelo fato de não saber utilizar corretamente essa matéria-prima.

Especificamente na produção de painéis EGP de pinus, o objetivo principal do produtor é que seu produto atenda a demanda qualitativa do mercado, seja qual for sua aplicação. No caso de batentes de madeira, se deseja um painel extremamente estável do ponto de vista dimensional em atendimento a norma brasileira em vigor que não permite grandes variações dimensionais.

Tal exigência é tamanha, que atualmente não se tem no país um fabricante de batentes de madeira que atenda a tal norma, ou seja, não se tem no Brasil um fabricante de batentes que seja certificado perante a ABNT-NBR 15.930 (2011).

Por essa razão, o trabalho se justifica pelo fato de estudar duas das principais variáveis que contribuem para o desempenho da estabilidade dimensional de painéis de madeira coladas lateralmente (EGP) e são variáveis de fácil controle no processo produtivo e não demandam investimentos, apenas conhecimento e aplicação.

1.3 BENEFÍCIOS DA PESQUISA

Os resultados dessas pesquisas são benéficos principalmente para os fabricantes de batentes de madeira, como fonte de orientação para adequações do processo produtivo e seleções de matéria-prima, a fim de produzir painéis que atendam as normas vigentes e o consumidor final.

Pretende-se indiretamente beneficiar os consumidores finais, que poderão contar com produtos de qualidade no mercado e certificados.

Dessa forma, entende-se que o trabalho contribuirá para a expansão do conhecimento da produção de painel EGP, que hoje está apenas nas mãos de poucos fabricantes e ainda de forma amadora.

1.4 ORIGINALIDADE DO ESTUDO

Tal estudo apresenta como originalidade o fato de estudar duas variáveis que estão presentes na produção do painel EGP (largura das lamelas e disposição dos anéis de crescimento), enquanto a grande maioria dos trabalhos na área de produção de painéis de madeira está no estudo da resistência das linhas de cola, dos tipos de adesivos aplicados e na substituição de matéria-prima ou uso de aditivos que melhorem o desempenho mecânico do painel.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para dissertar sobre o tema, este trabalho foi dividido em 05 partes, sendo:

CAPÍTULO 01 – Introdução– breve apresentação sobre o tema, batentes de madeira e a importância do estudo proposto, de avaliar as variáveis de produção dessas peças: largura dos sarrafos e a disposição dos anéis de crescimento.

CAPÍTULO 02 – Revisão bibliográfica– apresenta ao leitor os principais pontos literários do estudo, apresentando a madeira de pinus, sua anatomia, propriedades físicas e mecânicas; os PMVA; o painel EGP e suas variáveis produtivas e principais defeitos; um resumo do processo de colagem da madeira e por fim, o KPP – Kit Porta Pronta e a ABNT-NBR 15.930 (2011).

CAPÍTULO 03 – Materiais e método – relata o arranjo experimental e a metodologia detalhada aplicada nos testes, com base na ABNT-NBR 15.930 (2011).

CAPÍTULO 04 – Resultados e Discussões – traz os resultados obtidos nos testes realizados e as discussões com base nos estudos bibliográficos.

CAPÍTULO 05 – Conclusões – finaliza o trabalho com as conclusões do autor, embasadas nos resultados obtidos e na literatura do assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A MADEIRA

Os materiais sólidos são comumente agrupados em três classificações básicas: os metais, as cerâmicas e os polímeros. Tal classificação está baseada na composição química e na estrutura atômica desses materiais. A madeira enquadra-se na classe dos polímeros, que são compostos orgânicos que tem sua composição química baseada em dois principais elementos: o carbono e o hidrogênio, além de outros elementos não metálicos. Os polímeros ainda têm como principal característica a existência de estruturas moleculares muito grandes e o fato de apresentarem média a baixa densidade e serem maleáveis (CALLISTER, 2012).

Iwakiri (2005) cita que a madeira contribui para o mundo de duas formas: sendo a primeira de forma social e ecológica, para o bem-estar do homem e a segunda de forma econômica, já que é um dos materiais mais utilizados no mundo e há milhares de anos. Segundo esse autor, o homem obtém da madeira diversos produtos, que o mesmo classifica em 08 grupos:

- 1) Madeira in natura: toras;
- 2) Produtos semi industrializados: postes, mourões e madeira roliça;
- 3) Serrados: madeira serrada (tábuas, caibros, ripas etc);
- 4) Laminados: lâminas decorativas, painéis compensados etc;
- 5) Produtos de partículas: *Medium Density Particleboard* (MDP), aglomerados etc;
- 6) Produtos de fibras: polpa de celulose, papel; painéis de fibra (MDF) etc;
- 7) Energia: lenha, cavacos, carvão etc;
- 8) Derivados: frutos; óleos, resinas, essências etc.

O Anuário da ABRAF (2013) - Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada - de 2012 relata que neste ano o país tinha 7,2 milhões de hectares de reflorestamento (um crescimento de cerca de 2,8% no período de 2006-2012), sendo 70,8% de eucalipto (5.102.030 ha), 22% de pinus (1.562.782 ha) e 7,2% de outros gêneros de madeira (521.131 ha). Na Figura 3 tem-se a evolução das florestas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil nesse período.

Figura 3 - Evolução das florestas plantadas no Brasil de 2006 a 2012.



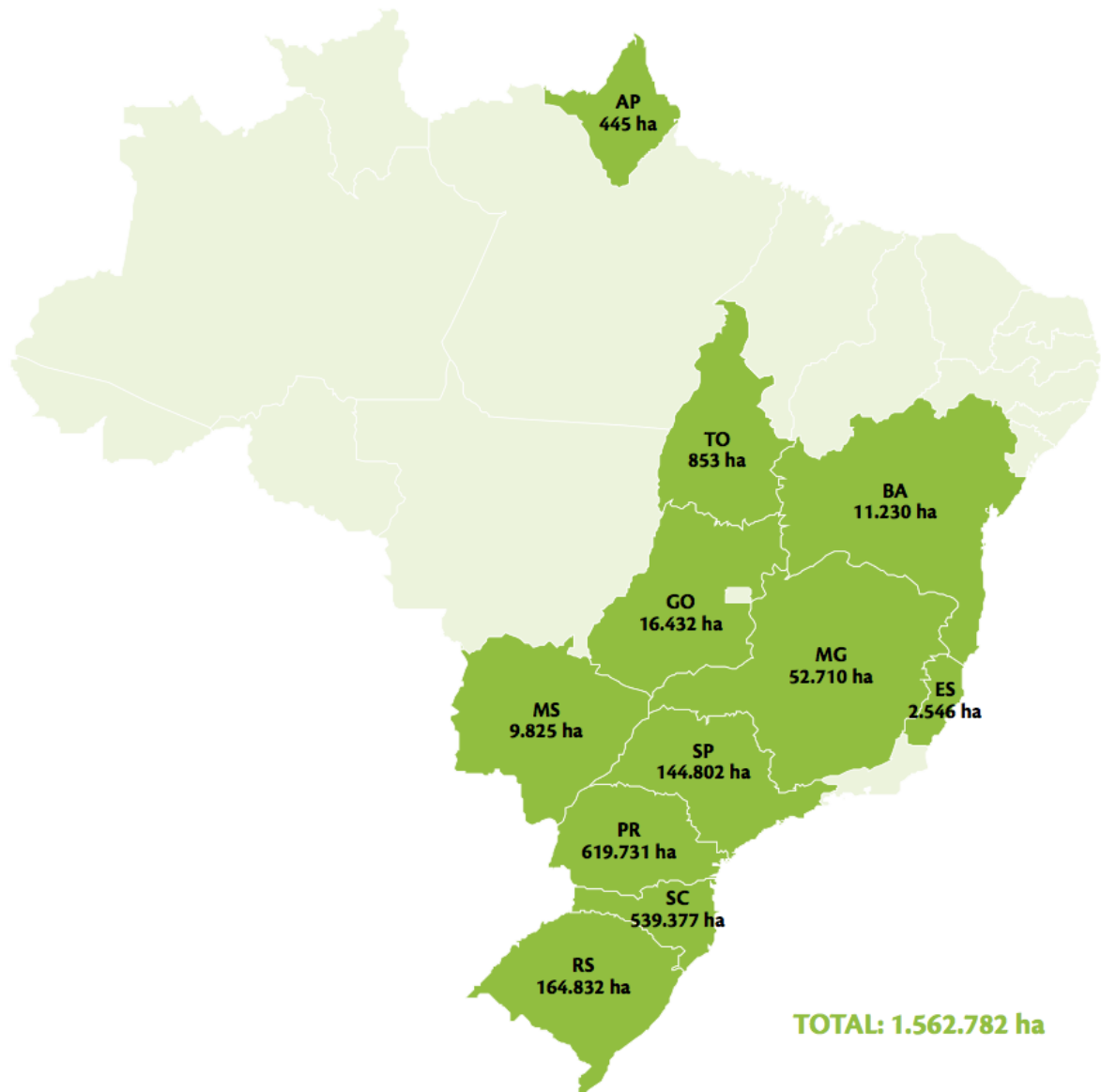
Fonte: (ABRAF, 2013)

O estudo da ABRAF (2013) ainda cita que em 2012 a área de plantio de eucalipto teve um acréscimo de 4,5% frente a 2011 enquanto a de pinus teve um decréscimo de 5,1%, totalizando em 2012 1.562.782 ha. Isso se deve ao fato da substituição das florestas de pinus por eucalipto em razão às demandas de projetos industriais do segmento de celulose e papel.

Em 2012, segundo a ABIMCI (2013) o Brasil possuía 521 mil hectares de reflorestamento de espécies diferentes de pinus e eucalipto, sendo elas: acácia, seringueira, paricá, teca, araucária e pópulus. Isso soma 7,2% do total de floresta plantada no país. A ABIMCI representa as empresas que atuam no Brasil no processamento da madeira em diversos segmentos. Essas empresas contribuem com cerca de 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB), ou seja, pouco mais de US\$ 7,5 bilhões, com arrecadação de tributos superior a US\$ 2 bilhões (REMADE, 2003).

A distribuição de florestas plantadas de pinus no Brasil em 2012 é mostrada na Figura 4. Observa-se que a região sul concentra 84,7% de todo o plantio dessa madeira, seguido pela região sudeste com 12,8%. O estado do Paraná é o que apresenta a maior fatia de plantio (39,7%), seguido por Santa Catarina (34,5%), Rio Grande do Sul (10,5%), São Paulo (9,3%) e Minas Gerais (3,4%). Os demais estados juntos somam 2,6%.

Figura 4 - Distribuição das florestas plantadas de pinus no Brasil em 2009.



Fonte: (ABRAF, 2013)

2.1.1 A madeira na construção civil

A madeira é o material de construção mais antigo que ainda existe. Utilizá-la como material construtivo esteve em alta nos últimos anos. Isso devido à grande quantidade de material reflorestado, aliado ao crescente desenvolvimento de produtos industrializados, graças ao aumento de pesquisas tecnológicas aplicáveis sobre o comportamento mecânico e físico desse material. Seu uso sempre se manterá alto graças a sua ótima relação resistência versus peso; ao seu ótimo isolamento acústico e sonoro; grande poder de resistência ao fogo; sua beleza

estética; e seu forte apelo ambiental: material ecologicamente correto, desde o plantio até a decomposição (PFEIL e PFEIL, 2003). Os autores Pfeil e Pfeil (2003), em seu livro Estruturas de Madeira, baseado na ABNT-NBR 7190 (1997), apresentam aos leitores um mundo de aplicações da madeira, seja em telhados, pisos, paredes, pórticos, escadas, passarelas, entre outras.

Peña e Rojas (2006) dedicam 04 capítulos de seu livro para discutir e orientar seus leitores quanto a produção de componentes de madeira para a construção civil. Tratam da produção de portas, janelas, pisos e escadas, de forma minuciosa e com passo a passo.

Segundo a ABIMCI (2013), o setor madeireiro no mercado da construção civil esteve aquecido nos últimos 10 anos devido ao crescimento do país, sustentado pelos programas governamentais Minha Casa Minha Vida (MCMV) e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC); aos eventos mundiais do esporte: Copa do Mundo 2014 e Jogos Olímpicos 2016; a grande disponibilidade de linhas de crédito para a construção civil; a recuperação do mercado mobiliário norte-americano a partir de 2012; e a intensificação das fiscalizações dos órgãos ambientais quanto ao uso da madeira legal (o que favorece o uso de reflorestamentos).

Outro grande uso da madeira na construção civil é na fabricação de telhados. O Brasil caminha para a tecnologia da construção industrializada de telhados, utilizando o pinus tratado ou o eucalipto. Calil Jr. e Molina (2010) publicaram um livro especialmente sobre esse tema, exemplificando os diversos cálculos de estruturas de madeira. Os autores possuem muitas outras produções (artigos em periódicos, livros, capítulos e notas técnicas) nessa área.

2.2 A MADEIRA DE PINUS

O gênero *Pinus*, da família Pinaceae é do grupo das coníferas (Gimnospermas). Possui centenas de espécies espalhadas por quase todo o hemisfério norte, do Japão ao Caribe. É originário de regiões mais frias. Chegou no Brasil por volta de meados do século 20, com mudas de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus hondurensis*, espécies que mais se adequaram ao nosso clima sulista. O interessante é que aqui no Brasil, o pinus se deu tão bem, que a taxa de crescimento, em comparação a seus países de origem, é cerca de 10 vezes maior. Anatomicamente, a madeira de pinus brasileira é semelhante à dos países do hemisfério norte, porém a quantidade de lenho inicial é bem maior, devido ao alto incremento anual (cerca de 2cm por ano). Isso faz com que a madeira de pinus daqui seja menos densa que as dos países de origem. (GONZAGA, 2006).

Em geral o Pinus é utilizado na construção civil no Brasil como madeira leve para uso provisório de estruturas e caixarias ou uso permanente interno, como forros, painéis, lambris. Destacam-se algumas características importantes deste gênero como: densidade baixa; macia ao corte, grã direita; textura fina, fácil de ser trabalhada, fácil de desdobrar, aplainar, desenrolar, lixar, tornejar, furar, fixar, colar e permite bom acabamento. (ZENID, 2009)

Apesar de muitas pesquisas estarem sendo desenvolvidas na utilização do pinus, observa-se que a área plantada de floresta deste gênero vem diminuindo no país. De 2006 a 2012 as florestas de pinus diminuíram 17%, o que equivale a uma redução anual de aproximadamente 3%. Diferente do eucalipto que está presente em todas as regiões do país, o pinus está praticamente concentrado na região sul, onde se localiza 85% das florestas desse gênero. Isso se deve ao clima ameno e com disponibilidade de umidade o ano todo, típico da região sul. Outra razão pelo fato do pinus estar presente praticamente nessa região, está no fato das principais indústrias que beneficiam esse tipo de madeira, também estarem nessa região. São indústrias madeireiras dos Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA), como molduras, batentes (marcos ou aduelas), portas, pisos e compensados (ABIMCI, 2013).

Por outro lado, o estudo setorial da ABIMCI (2013) mostra ainda que, apesar da grande maioria das florestas plantada no Brasil serem de eucalipto, grande volume dessa madeira é utilizada na fabricação de celulose e papel. Ou seja, o principal gênero que as indústrias madeireiras processam é o pinus. Duas espécies são apontadas no estudo como as mais utilizadas no país: o *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Iwakiri (2005) cita que há mais de 10 anos pesquisas têm sido direcionadas para avaliar o potencial de algumas espécies de pinus tropicais em termos silviculturais e qualidade da madeira, visando promover plantios em escala comercial para fins de produção industrial.

Para Mendes (2001), que estudou espécies de pinus tropicais e *Pinus taeda* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB), as espécies estudadas são homogêneas entre si e produzem painéis de qualidade semelhante. Citou ainda que o *Pinus taeda* é a espécie mais plantada no país.

2.2.1 Anatomia do pinus

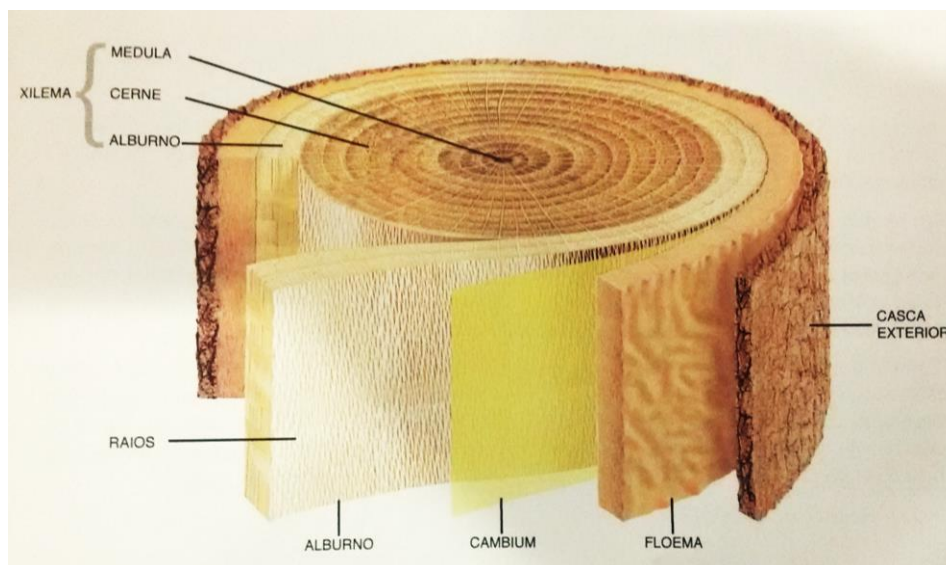
As árvores estão na divisão botânica das fanerógamas subdivididas em gimnospermas e angiospermas.

As angiospermas possuem frutos, são mais complexas, mais modernas (surgiram no período cretáceo), possuem fibras mais curtas e dominam as florestas brasileiras. São conhecidas como *hardwood*, pois possuem madeiras com altas densidades. Se dividem em monocotiledôneas (não possuem troncos arbóreos - portanto, não fornecem madeiras. Exemplo: coqueiros) e dicotiledôneas (também chamadas de folhosas). No Brasil são responsáveis pela quase totalidade das espécies nativas. Há ainda no país grandes áreas de reflorestamento do gênero *Eucaliptus*. (GONZAGA, 2006).

As gimnospermas, conhecidas como coníferas, possuem sementes de formato cônico. Ao invés de folhas, possuem acúculas, que se assemelham a agulhas compridas. As coníferas estão presentes na Terra desde a era paleozóica. São conhecidas como *softwood*, pois sua madeira apresenta baixa densidade. Ao invés de fibras, possuem traqueídes - tecidos constituídos por pequenos tubos de dois a seis milímetros de comprimento. No Brasil há apenas duas famílias nativas de coníferas: Podocarpaceae (com três espécies, conhecidas popularmente como pinheirinho, pinho-bravo e pinheiro do mato) e Araucariaceae (com apenas uma espécie, a *Araucária angustifolia* - conhecida popularmente como pinheiro do Paraná ou simplesmente araucária - ocorre em toda a região Sul e parte da Sudeste do Brasil. Comercialmente no país, as coníferas utilizadas são de áreas de reflorestamento, do gênero *Pinus*. (GONZAGA, 2006).

Na Figura 5 tem-se as partes anatômicas da madeira, do ponto de vista macroscópico.

Figura 5 - Ilustração da anatomia macroscópica de um tronco de madeira

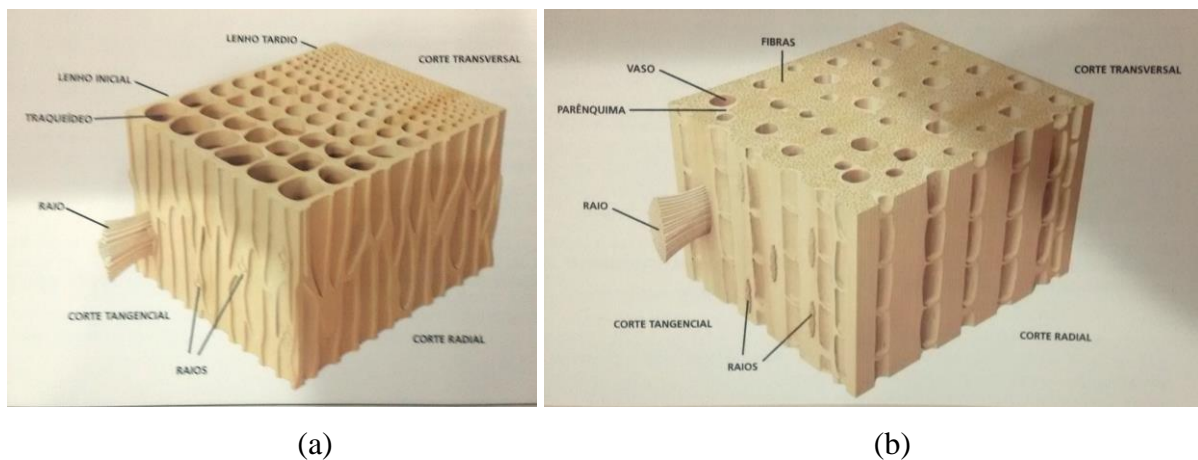


Fonte: (GONZAGA, 2006)

O tronco divide-se em duas partes: o xilema e o floema. O xilema é a parte mais interna ao tronco, onde está o lenho (madeira). É composto por cerne, albúrnio e medula. O cerne possui coloração mais escura que o albúrnio, pois nele se encontram as células mais antigas da árvore, muitas sem função biológica. Em folhosas, o cerne é bem característico, mais escuro que o albúrnio. Nas coníferas isso já não ocorre com tanta intensidade. O floema, é a parte externa do tronco, onde está a casca em suas camadas. A divisão entre o xilema e o floema é feita pelo câmbio, tecido meristemático, responsável pela formação dos lenhos. A olho nu, o câmbio não é visível (PFEIL e PFEIL, 2003; PEÑA e ROJAS, 2006).

Observa-se na Figura 6 uma comparação entre a anatomia microscópica das coníferas e folhosas, onde as coníferas possuem uma anatomia mais simples. Cerca de 90% do xilema é composto por traqueídes, tecidos parecidos com pequenos tubos, que tem como função conduzir a seiva e garantir a estrutura do tronco. Num aumento de dez vezes em microscópio, a análise dos traqueídes lembra um conjunto de canudinhos. Além dos traqueídes, ainda se observa, células de raio. No caso das folhosas, temos mais elementos. Ao invés de traqueídes, essas possuem fibras, que medem de 0,5 a 2,5mm e possuem ainda células de parênquima, que armazenam a seiva, vasos (poros) que conduzem a seiva. Os poros e as células de parênquima nas folhosas são os responsáveis pela identificação das espécies. Observa-se pela ilustração da Figura 6 o motivo das coníferas apresentarem densidades menores que as folhosas: a quantidade de parede celular (madeira) é maior nas folhosas (GONZAGA, 2006).

Figura 6 - Ilustração da anatomia microscópica - comparação entre (a) madeira de conífera e (b) madeira de folhosa



Fonte: (GONZAGA, 2006)

Para Gonçalves (2000) as coníferas são compostas por 93% de traqueídes, 5% de células de raio e 1% de canais resiníferos. Já as folhosas possuem 55% de fibras, 15% de vasos, 15% de células de raio e 14% de células de parênquima.

2.2.2 Anéis de crescimento

Quando cortado transversalmente, os troncos de madeiras apresentam círculos concêntricos, que são chamados de anéis de crescimento. Nas coníferas, como o pinus, esses anéis são bem mais nítidos que nas folhosas (GONZAGA, 2006). Pode-se observar na Figura 7 a presença dos anéis em uma tora de pinus cortada transversalmente.

Figura 7 – Anéis de crescimento numa seção transversal de uma tora de pinus



Fonte: (SANTOS, 2011)

Pfeil e Pfeil (2003) definem os anéis de crescimento como anéis anuais visíveis no topo da madeira, formados por duas camadas, uma clara e uma mais escura. A região clara seria o lenho formado na primavera e no verão (por isso chamado de lenho primaveril). Nessa época o crescimento é mais rápido e intenso, formando células com paredes mais finas. Conseqüentemente, a região mais escura é devido à formação do lenho de forma mais amena, no outono e inverno (por isso chamado de lenho outonal). Esse lenho tem células com paredes mais grossas.

Segundo Peña e Rojas (2006), os anéis de crescimento podem ser utilizados para se estimar a idade de uma árvore. Para isso, basta contar quantos círculos escuros a mesma possuem, o que corresponde ao número de anos da mesma. Porém, os autores alertam que em lugares de climas não tão distintos, essa prática pode levar ao erro.

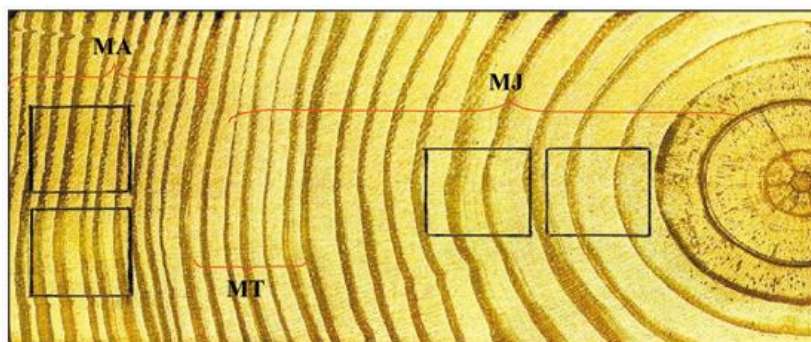
Ainda sobre os anéis de crescimento, Iwakari (2005) cita que essa diferença de estrutura pode causar sérios problemas na penetração do adesivo, uma vez que possuem regiões de densidade e porosidade diferentes. Por isso, deve-se ter grande atenção na colagem dos painéis.

2.2.3 Madeira juvenil e adulta

Ballarin e Palma (2003) estudaram a variabilidade das propriedades de resistência e rigidez à flexão estática e da densidade aparente a 12 % ($\rho_{a12\%}$) entre a madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*, de 37 anos de idade, procedente do Horto Florestal de Manduri/SP. Os autores concluíram que a resistência à flexão, o módulo de elasticidade e a densidade foram superiores na madeira adulta, o que condiz com a literatura, uma vez que essa madeira se caracteriza por um crescimento mais lento, com paredes celulares de maior espessura e traqueídes de maior comprimento. Na região de madeira juvenil, com crescimento rápido, as paredes celulares são mais finas e os traqueídes mais curtos. A diferença de comprimento dos traqueídes é a principal variável na definição desses dois tipos de lenhos, tardio e juvenil.

Na Figura 8 nota-se a diferença de espaçamento entre os anéis de crescimento em madeira adulta, de transição e juvenil, o que influencia diretamente na densidade dessa madeira.

Figura 8 - Região da madeira adulta (MA), madeira de transição (MT) e madeira juvenil (MJ) no *Pinus taeda*.



Fonte: (BALLARIN e PALMA, 2003)

2.2.4 Propriedades físicas da madeira

2.2.4.1 Densidade

Gonçalves (2000) define a densidade (ρ) como a relação entre a massa de uma substância e seu volume, que pode ser calculada pela Equação (1). No caso da madeira, a densidade depende da espécie analisada, da localização do corpo de prova na tora e do teor de umidade desse corpo de prova. Ainda segundo esse autor, a densidade da madeira pode variar de 300 kg.m^{-3} a 1.200 kg.m^{-3} .

$$\rho = \frac{M}{v} \quad (1)$$

Onde:

ρ = densidade, em kg.m^{-3} ;

M = massa em kg;

v = volume em m^3

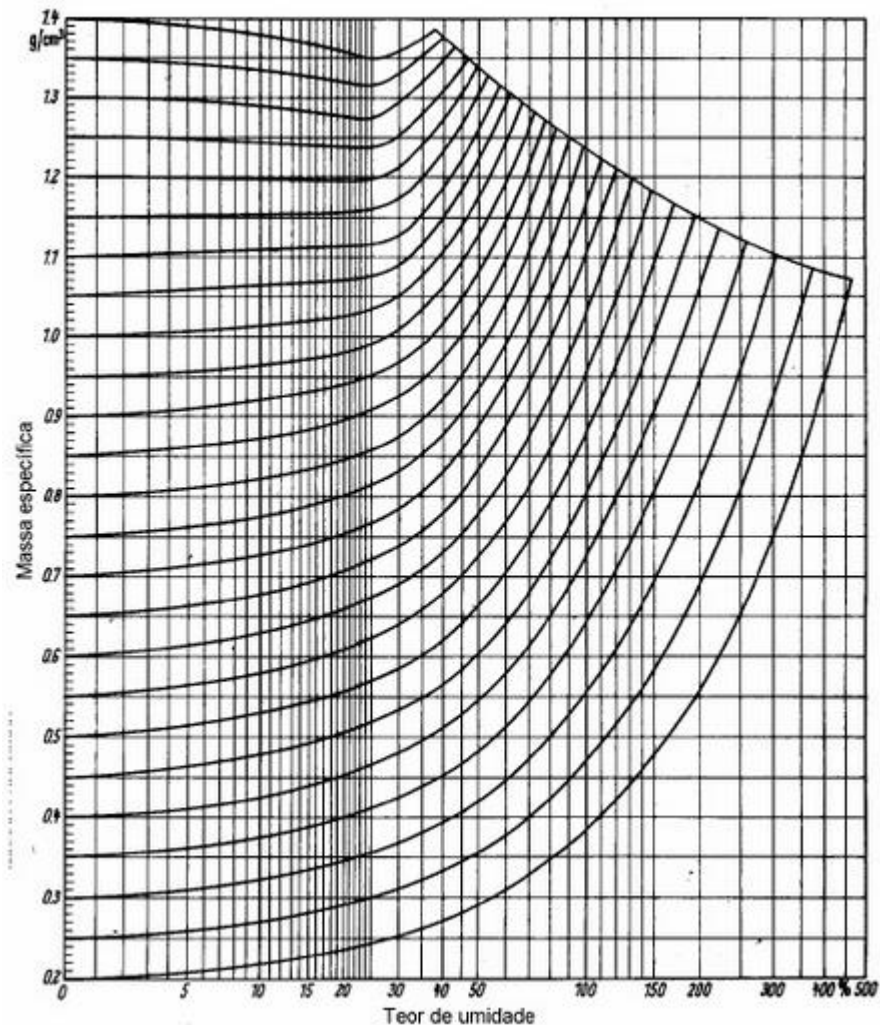
Gonzaga (2006) cita que a madeira de balsa (*Ochroma pyramidale*) é a que apresenta a menor densidade (200 kg.m^{-3}) e a de guáiaço (*Guaiacum officinale*) a de maior densidade (1200 kg.m^{-3}). Para Zenid (2009), a de maior densidade é a aroeira com 1100 kg.m^{-3} .

Para a madeira, a variação do teor de umidade influi de maneira significativa na densidade da peça. Kollmann (1959) relacionou essa influência através de um diagrama, conforme Figura 9.

A norma ABNT-NBR 7190 (1997) define a densidade da madeira de duas formas: a básica (ρ_b), como a razão entre a massa seca e o volume saturado da madeira; e a aparente (ρ_a), como a razão entre a massa e o volume, ambos com a madeira numa certa umidade conhecida. Comumente adota-se 12% como umidade padrão (ABNT, 1997).

Dessa forma, a densidade básica sempre será menor que a aparente, já que com a madeira totalmente seca tem-se o menor peso possível e com a madeira saturada de água, tem-se o maior volume possível do corpo de prova (GONÇALVES, 2000).

Figura 9 - Diagrama densidade da madeira x teor de umidade



Fonte: (KOLLMANN, 1959)

Ballarin e Palma (2003) encontraram para o *Pinus taeda* densidades entre 420 kg.m^{-3} a 787 kg.m^{-3} , chegando a uma média de 605 kg.m^{-3} , com coeficiente de variação (CV) de 14,63%. Segundo os autores, essa grande variabilidade dentro de uma mesma espécie é comum devido a fatores genéticos, silviculturais e anatômicos, como a presença de madeira juvenil ou adulta, por exemplo. No Quadro 1 constata-se as densidades aparentes de algumas espécies de pinus. Notam-se que os valores estão dentro da faixa de 420 kg.m^{-3} a 680 kg.m^{-3} . Novamente tem-se numa mesma espécie diferentes valores.

Quadro 1 - Densidade aparente ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 12% de umidade de algumas espécies de pinus

Espécie	Stark, Cai e Carll (2010)	Zenid (2009)	Ballarin e Palma (2003)	ABNT-NBR 7190 (1997)
<i>Pinus radiata</i>	420	-	-	-
<i>Pinus elliottii</i>	-	480	-	560
<i>Pinus oocarpa</i>	550	-	-	538
<i>Pinus taeda</i>	-	-	605	645
<i>Pinus caribaea</i>	680	-	-	579

Fonte: (Autor, 2016)

2.2.4.2 Umidade

A umidade da madeira, é definida como a quantidade de água presente nesta. (GONÇALVEZ, 2000). Também se usa o termo higroscopicidade para relacionar a umidade da madeira, que é a capacidade que todo material tem em absorver água do ambiente, em forma de vapor (PEÑA e ROJAS, 2006).

O teor de umidade vem a ser então a relação entre a massa de água contida na madeira e a massa dessa madeira completamente seca. Seu resultado é expresso em porcentagem (%) (FRANZOI, 1992). Gonçalves (2000) cita duas formas de se calcular o teor de umidade da madeira, conforme as Equações (2) e (3).

$$\text{TU}_{\text{bs}} = \frac{M_i - M_s}{M_s} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$\text{TU}_{\text{bu}} = \frac{M_i - M_s}{M_i} \cdot 100\% \quad (3)$$

Onde:

TU_{bs} = teor de umidade da madeira na base seca, em %;

TU_{bu} = teor de umidade da madeira na base úmida, em %;

M_i = massa inicial úmida, em g;

M_s = massa final seca, em g.

Segundo Kollmann (1959) a água está presente na árvore como substância primordial para manutenção de sua vida. Portanto, logo que a árvore é abatida, sua madeira verde contém (em base úmida) de 25% a 50% de água no cerne e de 29% a 67% no alburno e imediatamente começa a perder essa umidade, diminuindo o seu teor. Para Franzoi (1992), certas espécies de pinus podem passar dos 75% de umidade (em base úmida), o que equivale a 300% em base seca.

A norma ABNT-NBR 7190 (1997) normaliza o procedimento a ser realizado para determinação do teor de umidade de peças de madeira.

Para Franzoi (1992), há três tipos de água presente na madeira:

- água de constituição: faz parte da química da madeira e só é eliminada se a madeira for destruída;
- água de impregnação: também chamada de água higroscópica, se localiza no interior das paredes das células, entre as microfibrilas e é a responsável pela variação do volume da madeira.
- água livre: é aquela contida nos espaços vazios (vasos e poros), circulando livremente.

Num processo de secagem da madeira, ou seja, da retirada de água de seu interior (seja de forma natural ou forçada), a primeira água a sair é a água livre. Quando toda essa água foi eliminada, começa a ser retirada a água de impregnação, que é a fase mais difícil da secagem da madeira e onde podem ocorrer os defeitos de secagem, como empenamentos e rachaduras por exemplo (PEÑA e ROJAS, 2006).

O limite entre o mínimo de água livre e o máximo de água de impregnação é o chamado Ponto de Saturação das Fibras (PSF). Até atingir esse ponto, a madeira perde água com facilidade e sem prejuízos à peça. Abaixo do PSF é que a retração ocorre, já que a água da parede das células é retirada. Em contrapartida, se feita de forma eficiente e com qualidade, secar a madeira abaixo do PSF garante à mesma maiores resistências mecânicas (GONÇALVES, 2000).

Outra importante definição com relação à umidade é a Umidade de Equilíbrio da Madeira (UE), que vem a ser o equilíbrio que a mesma atinge com a umidade relativa do ambiente (GONÇALVES, 2000). Peña e Rojas (2006) definem a UE como aquele teor de umidade em que as forças de absorção da madeira se igualam às forças de secagem do ar, ou ainda, quando

o teor de umidade chega a ser estável, quando não ocorre mais ganho ou perda de água para o meio (FRANZOI, 1992).

A umidade de equilíbrio da madeira varia de acordo com a Umidade Relativa do Ar (UR) e a temperatura do local onde a peça está inserida. O Quadro 2 mostra várias UE de diferentes cidades do país. Tem-se pelos dados que a cidade onde a madeira apresenta menor UE média é Piracicaba, com 12,9% e Belém a maior UE média com 18,6%. A mínima UE (9,5%) é de Goiânia e a maior UE (20,6%) de Belém. (GALVÃO, 1975).

Quadro 2 - Umidade de equilíbrio da madeira para cidades no Brasil

Cidade	Máxima (%)	Mínima (%)	Média (%)
Belém	20,6	16,6	18,6
Belo Horizonte	16,2	11,3	13,7
Curitiba	17,8	15,7	16,7
Fortaleza	16,6	13,8	15,2
Goiânia	16,8	9,5	13,2
Manaus	19,2	14,9	17,0
Porto Alegre	17,4	12,7	15,0
Recife	17,1	14,6	15,8
Rio de Janeiro	15,8	14,9	15,3
Salvador	16,7	15,3	16,0
São Paulo	17,0	14,2	15,6

Fonte: (GALVÃO, 1975)

2.2.4.3 Anisotropia e variação volumétrica

Callister (2012) define a anisotropia como característica de um material que tem suas propriedades físicas dependentes da direção cristalográfica na qual as medições são efetuadas. Tal característica está associada à diferença do espaçamento atômico ou iônico. Os materiais que possuem essa característica são chamados de materiais anisotrópicos. Já os que não possuem tal característica, ou seja, suas propriedades independem do plano cristalográfico, são chamados materiais isotrópicos.

A anisotropia da madeira, ou seja, o fato dela possuir três planos de corte: axial (ou longitudinal), tangencial e radial é uma de suas principais características físicas e conhecê-la e

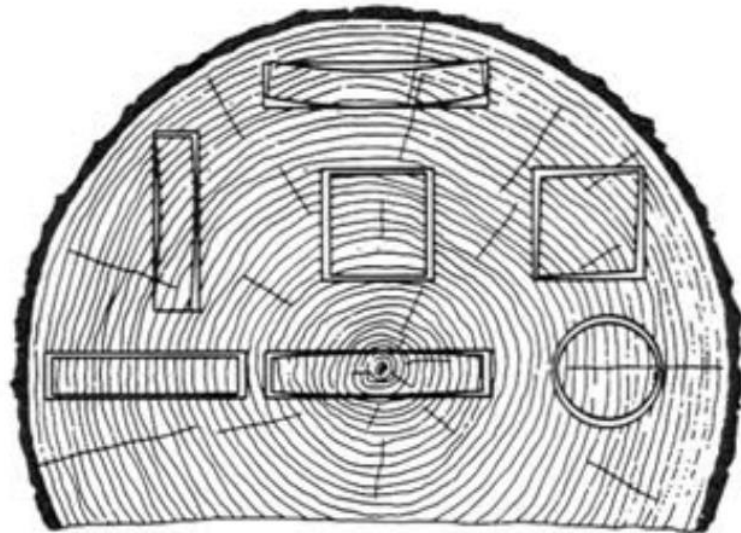
saber anular seus efeitos é o que todos os produtores madeireiros buscam (GONÇALVES, 2010).

A norma ABNT-NBR 15.930 (2011) já é mais específica quanto à anisotropia, no caso, para a madeira. Define essa característica como sendo a ação desse material em inchar ou contrair desigualmente segundo os sentidos de crescimento radial, tangencial ou longitudinal. Cita ainda que essas ações podem ocorrer em três casos: no processo de secagem, no acondicionamento e durante sua vida útil, conforme é utilizada.

Segundo Iwakiri (2005), a medida que as toras de madeira são convertidas em elementos menores, aumenta-se a homogeneidade da madeira e conseqüentemente sua isotropia. Isso ocorre porque quanto menor a peça, menor a variação volumétrica ocorrida em decorrência da perda ou do ganho de umidade.

A diferença de retratibilidade em peças de madeira pós secagem, conforme varia o plano de corte da mesma é mostrada na Figura 10. Cada peça retirada de uma região da tora, apresenta entre si diferentes graus de variação dimensional e comportamento quanto ao empenamento.

Figura 10 - Diferentes retratibilidades de peças de madeira pós secagem, em comparação ao local de obtenção da mesma na tora



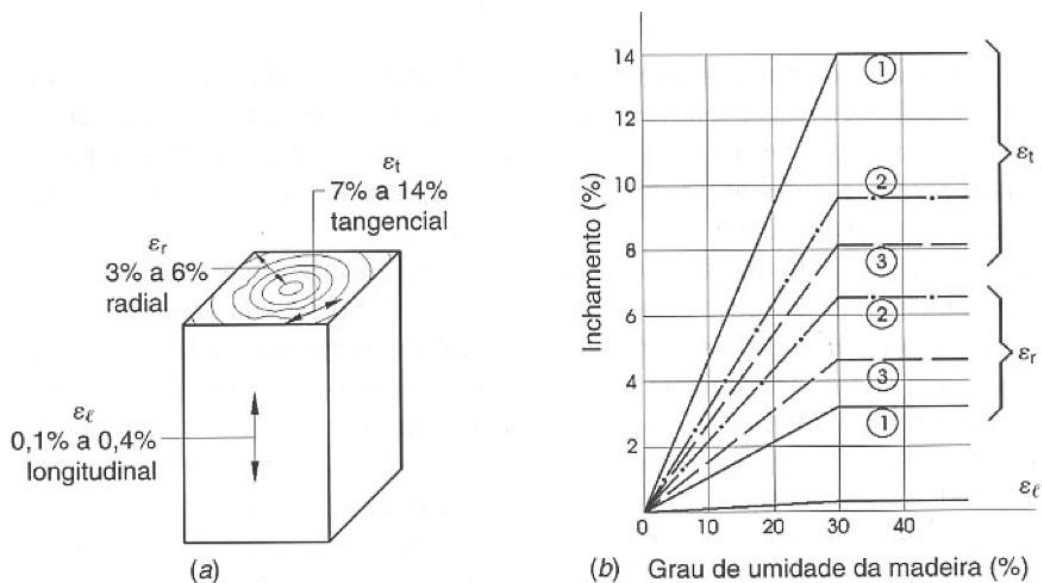
Fonte: (GONÇALVES, 2000)

Para Keinert Jr. et al (1992) a instabilidade dimensional da madeira é a característica mais indesejável do setor madeireiro. Para os autores, a anisotropia limita o uso da madeira e não a conhecer pode gerar grandes transtornos na qualidade do produto. Esses autores estudaram a

relação entre a contração e o teor de umidade de duas espécies de Pinus, o *Pinus taeda* e o *Pinus eliottii*. Os autores encontraram relação direta entre a variação de umidade da madeira e a variação dimensional da peça. Com relação as duas espécies investigadas, concluíram que o *Pinus eliottii* apresentou coeficientes menores que os do *Pinus taeda*.

O comportamento de três espécies de madeira: carvalho, eucalipto e pinus quanto à variação de umidade e as retrações de cada plano de corte é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Diagramas de variação volumétrica: (a) vista isométrica da madeira; (b) inchamento em função do teor de umidade da madeira para 1) carvalho, 2) eucalipto e 3) pinus.



Fonte: (PFEIL e PFEIL, 2003)

Nota: ϵ_t : inchamento tangencial; ϵ_r : inchamento radial; ϵ_l : inchamento longitudinal;

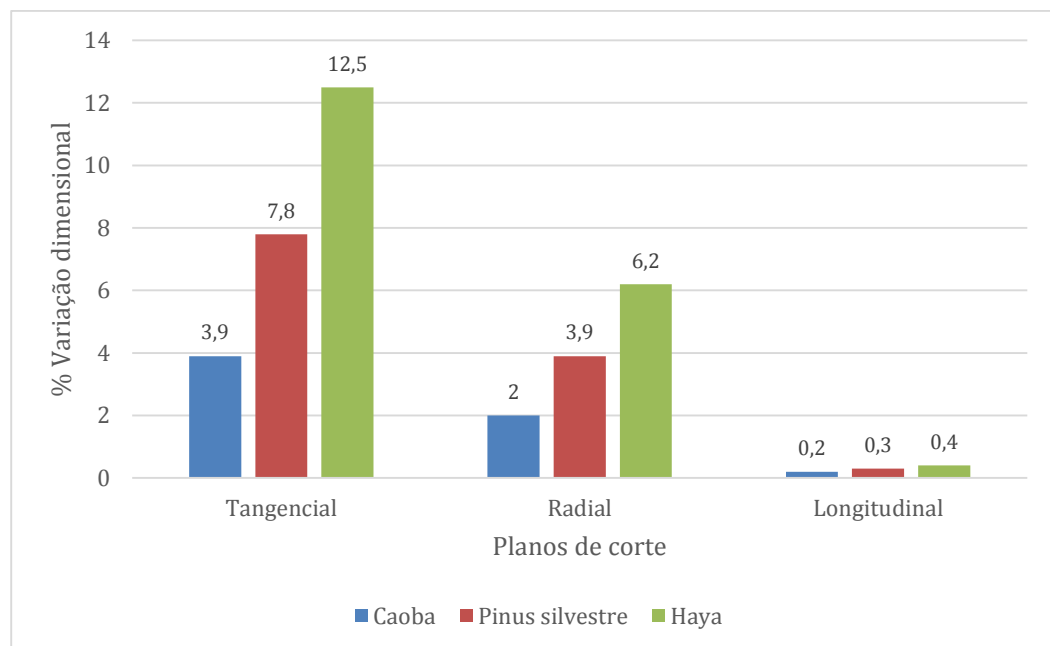
O gráfico ilustrado na Figura 11b mostra que o inchamento ou a retração da madeira cresce até 30% de umidade. Após esse teor, ou seja, acima do PSF, não há mais relação da variação volumétrica com o ganho ou perda de umidade. Observa-se ainda que a retração tangencial é praticamente o dobro da retração radial e que a retração longitudinal é praticamente zero, sendo desprezível (PFEIL e PFEIL, 2003). Essa variação ocorre apenas na faixa de umidade de zero até o PSF, porque a água livre presente na madeira acima dessa faixa (presente nos vazios celulares) não altera o volume da mesma, no ganho ou perda de umidade. (FRANZOI, 1992).

Trianoski *et al.* (2013) avaliaram a estabilidade dimensional de oito espécies de Pinus: *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var.

hondurensis, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii* e o *Pinus taeda*. Através de coleta de árvores das regiões de Itararé/SP e Ventania/PR, foram avaliadas as contrações radial, tangencial e volumétrica, além da massa específica verde, massa específica aparente a 12% e massa específica básica. A contração radial ficou entre 1,88% e 3,38%, sendo o *Pinus taeda* a espécie que apresentou o valor mais baixo. Para a contração tangencial, os valores foram de 5,74% a 6,55%, e para a contração volumétrica os valores foram de 8,67% a 10,64%, sendo o *Pinus chiapensis* a espécie que apresentou o menor valor em ambos os casos. Por fim, a anisotropia de contração (relação entre a contração tangencial e a radial) foi de 2,20% a 3,26%. Em geral, todas as espécies estudadas apresentaram instabilidade dimensional média alta, sendo a espécie *Pinus chiapensis*, a mais instável. A espécie que apresentou menor anisotropia foi a de *Pinus taeda*, o que justifica seu grande uso nas indústrias madeireiras que trabalham com o pinus. Os autores ainda concluíram que não houve correlação entre a massa específica, a contração volumétrica e a anisotropia de contração.

Observa-se na Figura 12 que realmente a contração tangencial é superior à contração radial sendo praticamente o dobro e ainda que o valor da contração longitudinal é mesmo desprezível. Nesse caso foram estudados três tipos de madeira: Caoba (*Swietenia macrophylla*), Pinus silvestre (*Pinus sylvestris*) e Haya (*Fagus sylvatica*). (PEÑA E ROJAS, 2006)

Figura 12 - Variação da contração em diferentes planos de cortes, para as madeiras de caoba, pinus silvestre e haya.



Fonte: adaptado de (PEÑA e ROJAS, 2006)

Gonzaga (2006) descreve a Equação (4) como uma forma de calcular a retração ou o inchamento de peças de madeira, a fim de antecipar possíveis problemas.

$$\Delta D = \frac{D_0 \cdot C \cdot \Delta U}{PSF} \quad (4)$$

Onde:

ΔD = variação dimensional em um certo sentido de corte, em mm;

D_0 = dimensão inicial nesse sentido de corte, em mm;

C = contração da espécie no sentido de corte, em %;

ΔU = variação de umidade a qual a peça estará submetida, em %;

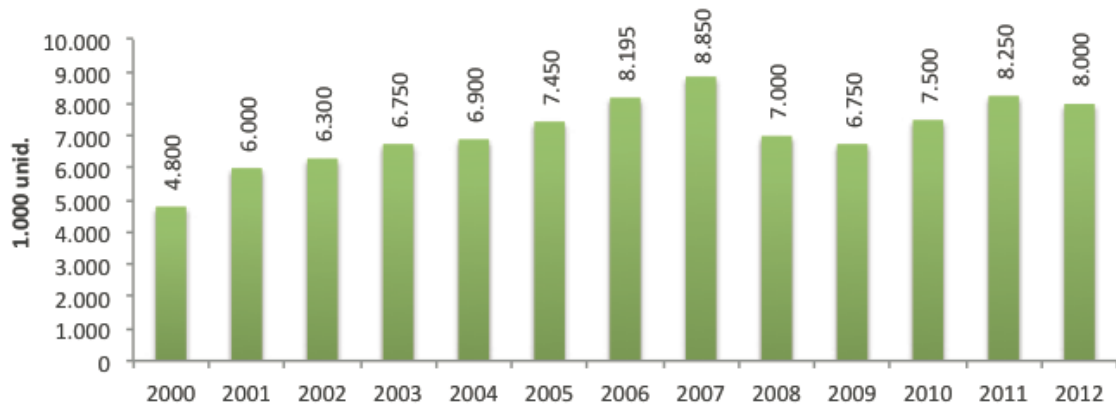
PSF = ponto de saturação das fibras para a espécie utilizada, em %

2.3 PRODUTO DE MAIOR VALOR AGREGADO - PMVA

Existem diversas formas da madeira chegar até o consumidor final. Os diversos tipos de produtos da cadeia da madeira que são oriundos da produção florestal são mostrados na Figura 13.

Dentre os diversos produtos madeireiros, os de maior complexidade produtiva, que demandam maiores atenções, pesquisas e tecnologias, são os PMVA - Produtos de Maior Valor Agregado, sendo eles: *blanks*, pisos, janelas, molduras, painéis colados lateralmente e kits portas, sendo esse último o segmento mais representativo e competitivo dentro do segmento. A produção de kit porta acumulou um crescimento de 67% entre os anos de 2000 a 2012, ou seja, um crescimento anual de 4,3%, conforme pode ser visualizado na Figura 14. (ABIMCI, 2013)

Figura 14 - Produção de portas de madeira entre 2000 e 2012.



Fonte: (ABIMCI, 2013)

Vidal e Hora (2014) definem PMVA como produtos de madeira que são reprocessados, com enfoque na agregação de valor, como portas, molduras, piso e painéis EGP. Os demais painéis de madeira, como OSB, MDF, MDP, entre outros, para esses autores são classificados como PMR - Painéis de Madeira Reconstituída.

2.4 PAINEL EGP

A produção de painéis a base de madeira deu início no final século XIX, com os painéis compensados - lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas, formando um ângulo de 90° entre as camadas. Tais painéis são definidos como painéis compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e/ou fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva com ou sem a adição de outros componentes químicos (IWAKIRI, 2005). Ainda segundo Iwakiri (2005), o uso de painéis de madeira como substituto à madeira sólida se deve a três principais motivos:

- a) dimensões: a largura e comprimento máximos de uma peça de madeira sólida estão diretamente ligados ao diâmetro e altura da árvore;
- b) anisotropia: a madeira sólida tem alto grau de anisotropia, que nos painéis podem ser amenizados;
- c) defeitos naturais: nos painéis de madeira os defeitos (nós, bolsas de resina, inclinação de grã etc) podem ser evitados.

Ainda segundo a ABIMCI (2013), dentro dos PMVA de pinus, destaca-se o painel EGP - *Edge Glued Panel* (traduzindo para o português, painel colado lateralmente - Figura 15) tendência entre as indústrias madeireiras que utilizam madeira reflorestada.

Figura 15 - Imagem de dois painéis EGP



Fonte: (LESOBALT, 2015)

Para Iwakari (2005), o painel EGP é caracterizado por um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente e nos topos através de emendas do tipo “*finger joint*”, mantendo a característica de madeira maciça, porém com melhor aproveitamento da madeira, já que devido à possibilidade de união de topos, permite a utilização de grande parte da madeira serrada (convertida em *blocks* – pequenos pedaços) e até de resíduos de serrarias. Em sua maioria, utilizam os adesivos Poliacetato de Vinila (PVA) e Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI).

Para a norma ABNT NBR 15.930 (2011) o painel EGP é produzido por um conjunto de peças de madeira (denominadas sarrafos) coladas lateralmente formando um painel único, sem necessariamente haver colagem de topo nos sarrafos.

A norma EN 12.775 (2001) define o painel de madeira colada lateralmente, aqui chamado de EGP, como “*solid wood panel*”, ou seja, um painel produzido com pedaços de madeira colada “*edge-to-edge*” (lateralmente) ou “*face-to-face*” (multicamadas). Dessa forma, tanto o painel EGP, quanto os painéis sarrafeados ou compensados, são contemplados pela referida norma. Tal norma ainda classifica os painéis de madeira sólida: de acordo com a composição do mesmo (de uma única camada ou multicamadas); de acordo com a aplicação (em condições seca, úmida ou exterior); de acordo com o uso (geral ou estrutural); de acordo com a espécie de madeira utilizada (conífera ou folhosa); de acordo com o comprimento do sarrafo (com corte

de topo ou sem corte); de acordo com a superfície (cru, lixado, texturizado ou acabado com tinta ou verniz).

Dilik (2005), define o painel EGP como *Edge Glued Wood Panel* (EGWP), um painel de madeira produzido a partir de pequenas lamelas de uma mesma madeira maciça, coladas apenas lateralmente, de modo que as fibras fiquem sempre paralelas. Ozkaya (2011b) define esse tipo de painel como *Edge Wooden Panel* (EWP). Porém, nenhum dos dois faz qualquer definição diferente da que está sendo utilizada nesse trabalho. Portanto utilizar-se-á neste estudo apenas o termo EGP para mencionar o painel de madeira colado lateralmente.

Dilik, Erdinler e Kurtoglu (2012) estudaram as características do produto e da indústria do painel de madeira colado lateralmente na Turquia. Os dados coletados, como as características dos painéis, classes de qualidade, espécies utilizadas, dimensões de sarrafos e capacidade de produção, foram comparados com os outros tipos de painéis de madeira. Os autores concluíram que o painel EGP: possui características superiores aos demais painéis a base de madeira; que seu processo produtivo é mais simples e de fácil controle; que o custo de instalação de uma indústria desse painel é bem menor que de outro tipo de painel. Também concluíram que é necessário conhecer e controlar as variáveis produtivas, de modo que as vantagens desse tipo de painel não sejam afetadas por uma má fabricação; e que na Turquia esse tipo de indústria tem crescido em comparação às demais do setor.

Nicholls (2010) e Dilik (2005) citam as vantagens e desvantagens do uso de painéis EGP quando comparados a madeira:

Vantagens:

- o painel EGP é considerado como painel de madeira sólida e por isso não denigre a naturalidade da madeira, não é considerado reconstituído;
- por ser considerado painel de madeira sólida tem textura, cor e aparência ricas e decorativas;
- podem ter alta estabilidade dimensional e altas resistências características;
- é mais vantajoso na produção de móveis desmontados;
- é muito adequado para revestimento e acabamento de superfície, em função do seu alto acabamento;
- grande gama de opções de dimensões (largura, comprimento e espessura);
- fácil usinabilidade - máquinas com longa vida útil;

- baixo custo de investimento fabril, se comparado a de outros painéis a base de madeira (10 vezes menor que uma fábrica de MDF ou OSB).

Desvantagens:

- assim como a madeira, o painel EGP sofre variação dimensional quando ocorre variação na umidade de equilíbrio da madeira, ou seja, ao longo de sua vida útil contrai e incha conforme perde ou ganha umidade;
- pode sofrer oxidação e mudar de cor;
- não tem resistência contra fungos e insetos, a menos que receba tratamento;
- podem apresentar falhas como nós, grã reversa, bolsas de resina etc.

Existe ainda uma variação desse painel, chamada de "*threeply*", que é um painel de madeira constituído de três camadas cruzadas de painel EGP. Seria como um compensado que ao invés de ser produzido com lâminas, fora produzido com painel EGP. Esse painel tem grande resistência física e mecânica (quando comparado ao painel EGP simples e aos compensados). Muito utilizado na construção civil como caixas para concreto reutilizáveis (IWAKIRI, 2005).

No Brasil, o pinus é a principal matéria-prima utilizada na produção de painel EGP (ABIMCI, 2013). Segundo Foelkel (2008) uma das razões para que a madeira de pinus seja uma das mais requisitadas para a produção de painel EGP está no fato de ter coloração clara, gerando um produto final de bom visual e com bom acabamento. Ainda segundo esse autor, esse mercado vinha crescendo entre 5 e 10% ao ano, na contramão dos dados apresentados pela ABIMCI (2013). Isso tudo indica que as indústrias precisam investir em melhorias de tecnologia, fazendo com que o painel EGP de pinus seja um produto de qualidade e que possa ser utilizado em substituição aos painéis de madeira reconstituída, como MDF, OSB, compensados, entre outros.

2.4.1 Processo produtivo dos painéis EGP

O processo produtivo do painel EGP é relativamente simples, embora cada etapa tenha de ser muito bem controlada para que as variáveis envolvidas garantam um produto de qualidade.

Segundo Iwakiri (2005), pode-se dividir a produção do EGP em três etapas:

- i. preparação dos sarrafos ou lamelas;
- ii. junção lateral dos sarrafos;
- iii. acabamento do painel.

2.4.1.1 Preparação dos sarrafos

Os sarrafos, ou lamelas, são obtidos a partir do refilo de tábuas de madeira. Antes ou após o refilo as peças são aplainadas para que as faces tenham bom acabamento a fim de deixar à mostra possíveis defeitos como nós, manchas, bolsas de resina etc. A largura dos sarrafos geralmente depende do aproveitamento da tábua. As tábuas podem ser refiladas já secas ou a serem secas posteriormente (DILIK, 2009).

Dilik (2009) ainda cita que os sarrafos podem ou não ser destopados no comprimento para eliminação dos defeitos (o que geralmente é o realizado). Se forem destopados, tal processo pode ser manual (destopadeiras manuais) ou automático (otimizadoras). O objetivo principal é utilizar o maior comprimento possível, uma vez que peças curtas resultam em muitas uniões de topo, ou seja, alto consumo de cola. Ainda segundo o autor, as otimizadoras fornecem 15% de economia de material. Após destopo das peças, em caso de emenda de topo do tipo *finger joint*, as peças são então usinadas em forma de dentes. Segundo o autor, o ideal é utilizar peças com comprimento igual ou superior a 15 cm. Afirma ainda que o uso de peças unidas de topo dá maior estabilidade ao painel e ainda dá um aumento em 6,5% no rendimento da madeira.

Por fim, será necessário aplainar as duas bordas do sarrafo (S2S), a fim de prepará-las para receber a cola. Deve-se garantir que as mesmas estejam uniformemente quadradas e lisas. Não se deve realizar o aplainamento da borda com mais de 24h de antecedência à colagem, pois acima desse tempo, os poros da madeira já se fecharam. Uma boa superfície de colagem garante ótima aderência do adesivo no interior da madeira. (NICOLLS, 2010).

Mitchell, Wiedenbeck e Ammerman (2003) em seu guia de auxílio a supervisores de indústrias madeireiras dos Estados Unidos, relatam que essa etapa de aplainar a borda para prepará-la para a colagem é a operação mais importante de fabricação do EGP. Segundo os autores, a superfície após o aplainamento, deve estar suave e reta, com paralelismo longitudinal de borda a borda, livre de fibras soltas e sem polimento, ou seja, com poros abertos.

2.4.1.2 Junção lateral dos sarrafos

Para River e Okkonen (1991) a viscosidade do adesivo deve ser o suficiente para que a superfície de colagem receba uma gramatura de $200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$. E quanto à pressão de colagem, esses autores afirmam que essa variável depende muito da espécie de madeira. Para madeiras de alta densidade, como o carvalho, o ideal é uma pressão entre $200\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ a $250\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ ($14\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ a $17,6\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$). Para madeiras de média densidade, como a cerejeira, o ideal seria de $150\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ a $200\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ ($10,6\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ a $14\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) e para madeiras de baixa densidade como o pinus, pressão entre $100\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ a $150\text{ lbf}\cdot\text{in}^{-2}$ ($7\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ a $10,6\text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$). Além dessas orientações, os autores ainda chamam a atenção para a colagem de madeiras porosas. Segundo os mesmos, apesar de madeiras porosas receberem cola com facilidade, os poros podem ajudar como rota de fuga para o adesivo, ou seja, para madeiras dessa característica, é necessário uso de mais adesivo que o comum.

Geralmente a união dos sarrafos é realizada com aplicação de cola PVA e pressão a frio por alta frequência. Após a colagem, é importante que o painel EGP seja climatizado por pelo menos 24 horas, antes de continuar o processo produtivo. Isso faz com que a umidade dos sarrafos se equalizem, a fim de evitar a ocorrência de juntas "*sunken*" (depressões na linha de cola). Isso ocorre pelo aumento no teor de umidade da madeira na porção imediatamente adjacente à linha de cola, devido à absorção de água presente no adesivo, resultando nessas depressões (pós inchamento) (IWAKIRI, 2005).

2.4.1.3 Acabamento do painel

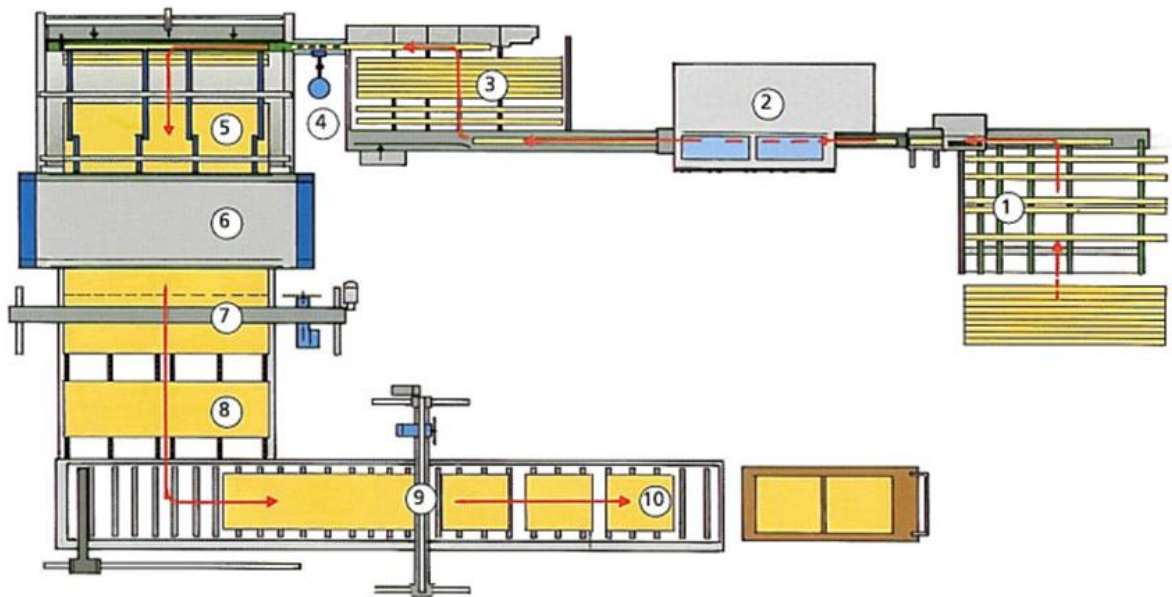
Depois de prensado o painel e posterior descanso de pelo menos 24h, o mesmo deve ser esquadrejado, o que é feito em serra circular esquadrejadeira, a fim de garantir seu total esquadro. Estando esquadrejado, o painel é então calibrado. A calibração é realizada através da combinação de cabeçote com faca e eixo com lixa. O objetivo da calibração é a determinação da espessura do painel. Pós calibração, o painel é lixado para acabamento de superfície para ser utilizado na forma cru, ou ainda receber revestimento e/ou pintura. (GONÇALVES, 2000).

Tem-se na Figura 16 um exemplo de layout para uma fábrica de painel EGP da Weinig (2015) onde: 1) mesa de entrada dos sarrafos; 2) plaina S2S - preparação das bordas do sarrafo para colagem; 3) mesa de transferência; 4) aplicação do adesivo; 5) estação de agrupamento; 6) prensa de união lateral e cura do adesivo em alta frequência; 7) corte longitudinal -

determinação da largura do painel; 8) mesa de transferência; 9) corte transversal - determinação do comprimento do painel; 10) mesa de transporte final.

Figura 16 - Exemplo de layout de fabricação de painel colado lateralmente.

SISTEMA DE COLAGEM DE PAINEL DE MADEIRA



1. Alimentadores
2. Plana
3. Classificação visual
4. Aplicação de adesivo
5. Agrupamento
6. Prensa e cura do adesivo
7. Seccionadora (largura)
8. Estação de transferência
9. Seccionadora (comprimento)
10. Transporte final

Dados técnicos

Largura dos sarrafos	30 - 150 mm
Espessura do painel	11 - 60 mm
Comprimento do painel	300 - 5.500 mm
Largura do painel	variável
Espécies de madeira	todas
Tipo de adesivo	todos
Alta frequência	15 - 120 kW

Fonte: adaptado de (WEINIG, 2015)

2.4.2 Fatores que influenciam no desempenho do painel EGP

2.4.2.1 Largura dos sarrafos e do painel

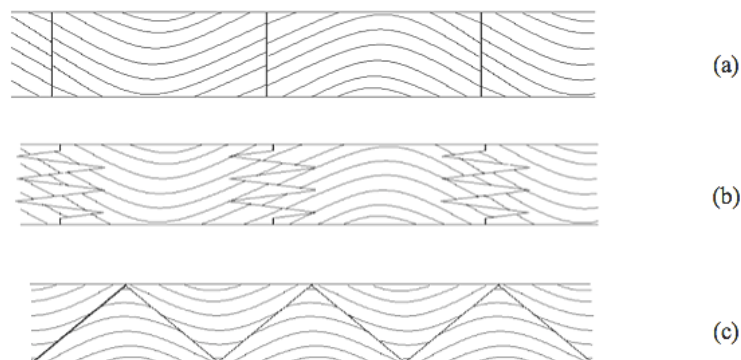
Segundo Iwakiri (2005) os sarrafos de um painel colado lateralmente devem ter de 20 a 100 mm de largura e de 20 a 40 mm de espessura. Ainda segundo o autor, peças com menor largura apresentam melhor estabilidade dimensional em relação às peças mais largas, por isso

o ideal é que os painéis sejam produzidos com sarrafos de baixa largura, porém isso não ocorre devido a um maior consumo de adesivos e custos operacionais.

Nicholls (2010) estudou a produção de painéis do tipo EGP com madeira de *Alaska birch* (*Bétula neolaskana*) com o intuito de fornecer aos fabricantes de móveis do Alasca informações importantes na fabricação desse tipo de painel, já que, para esse autor, não existem muitas referências específicas sobre o assunto. O estudo abordou processo de produção e equipamentos, considerações sobre o controle de qualidade, defeitos típicos nesse tipo de painel, cor da madeira, estabilidade do EGP, além de estratégias de marketing. Nesse estudo, esse autor afirma que para painéis de maior qualidade, é necessário a utilização de *blanks* (sarrafos) mais estreitos, no máximo com 76,2 mm (3 in), porém alerta que quanto menor os sarrafos, maior a utilização de cola e conseqüentemente maior será o custo. Em seu estudo não citou nada a respeito da espessura dos sarrafos.

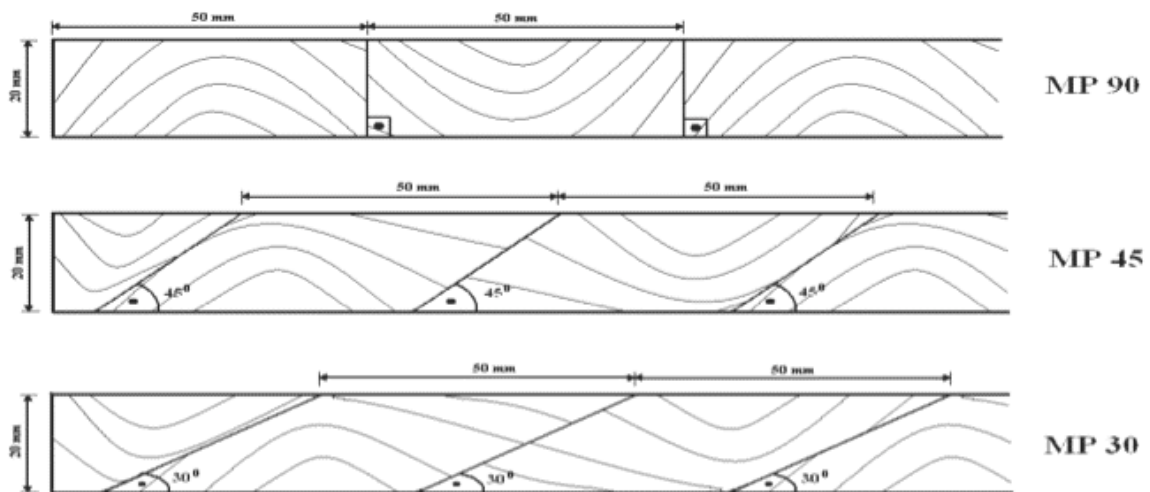
Ozkaya (2011b) em seu trabalho estudou o módulo de elasticidade à flexão em painéis EGP com diferentes larguras de sarrafos e diferentes tipos de junção. Foram utilizados três tipos de madeira: *Fagus orientalis*, *Abies bornmülleriana* e *Pinus brutia*, todas espécies facilmente encontradas na Turquia. O adesivo utilizado foi do tipo PVA, classe D3, com gramatura de 150 g.m⁻² a 160 g.m⁻². Os corpos de prova foram mantidos em câmara de climatização com temperatura de 20 ± 2 °C, e umidade relativa de 65 ± 5 °C. Os três cortes de sarrafos utilizados pelo autor são visualizados na Figura 17. O mesmo concluiu que não houve diferença nos valores encontrados quando se modificou o plano de corte. Com relação aos três tipos de uniões, a de junção plana foi a que obteve os melhores resultados, seguido pela junção tipo *finger joint* e por fim a triangular.

Figura 17 - Painel EGP: (a) sarrafos com junção plana; (b) junção por *finger joint*; (c) junção triangular



Em outro estudo publicado por Ozkaya (2011a), o autor investigou a espécie de *Pinus sylvestris*, madeira mais utilizada na Turquia. O método utilizado foi o mesmo citado em Ozkaya (2011b), porém além da alteração na espécie de madeira analisada, o autor estudou outras três formas de formação do painel: com junção lateral, junção inclinada a 45° e junção inclinada a 30°, mostradas na Figura 18. O autor obteve os melhores resultados de resistência à flexão para os painéis produzidos com junção dos sarrafos em 450.

Figura 18 - Painel EGP: MP90) sarrafos com junção plana; MP45) junção com ângulo de 45°; MP30) junção com ângulo de 30°.



Fonte: (OZKAYA, 2011a)

Quanto a largura do painel, painéis acima de 889 mm (35") tem grande chance de sofrer empenamento do tipo encanoamento, mesmo tomando-se cuidado com as demais variáveis. Isso ocorre porque os sarrafos centrais trocam umidade com menor intensidade que os sarrafos mais próximos da borda. O mesmo ocorre para painéis acima de 1905 mm (75"), no caso do encurvamento e arqueamento (NICHOLLS, 2010).

2.4.2.2 Umidade dos sarrafos e do painel

Para Nicholls (2010) a umidade dos sarrafos depende da região onde o painel será utilizado. Em seu estudo, um documento técnico orientativo aos fabricantes de EGP da região do Alasca, o autor sugere a utilização de sarrafos com umidade entre 6 e 8 %. Segundo o autor, não deve haver diferença de umidade acima de 2 % entre os sarrafos de um mesmo painel.

Outro importante controle é a diferença entre a umidade do painel pronto e a da umidade de equilíbrio do meio fabril ou do local de aplicação. River e Okkonen (1991) estudaram o efeito dessa diferença. Segundo os autores, uma diferença superior a 2% ocasiona retração ou inchamento da peça, quando esta perde ou ganha umidade, respectivamente. No Quadro 3 temos os resultados do estudo desses autores na variação da largura em uma tábua de 76mm (3 in) de três diferentes espécies: *red oak* (*Quercus spp*), *hard maple* (*Acer saccharum*) e *white pine* (*Pinus strobiformis*). Observa-se pelos resultados que numa variação de 4 % a tábua de carvalho variou de 0,48 mm a 1,12 mm, ou seja, de 0,6 % a 1,47 % na largura, devido a variação de umidade.

Quadro 3 - Variação na largura de uma tábua de 76 mm conforme diferença entre UE e teor de umidade inicial do painel

Variação na largura de uma tábua de 76 mm (mínimo e máximo - em mm)			
Diferença entre UE e umidade do painel (%)	<i>Red oak</i>	<i>Hard maple</i>	<i>White pine</i>
1	0,13 a 0,28	0,08 a 0,20	0,05 a 0,15
2	0,23 a 0,56	0,15 a 0,38	0,10 a 0,30
3	0,36 a 0,84	0,23 a 0,56	0,15 a 0,48
4	0,48 a 1,12	0,30 a 0,76	0,20 a 0,64

Fonte: adaptado de (RIVER E OKKONEN, 1991)

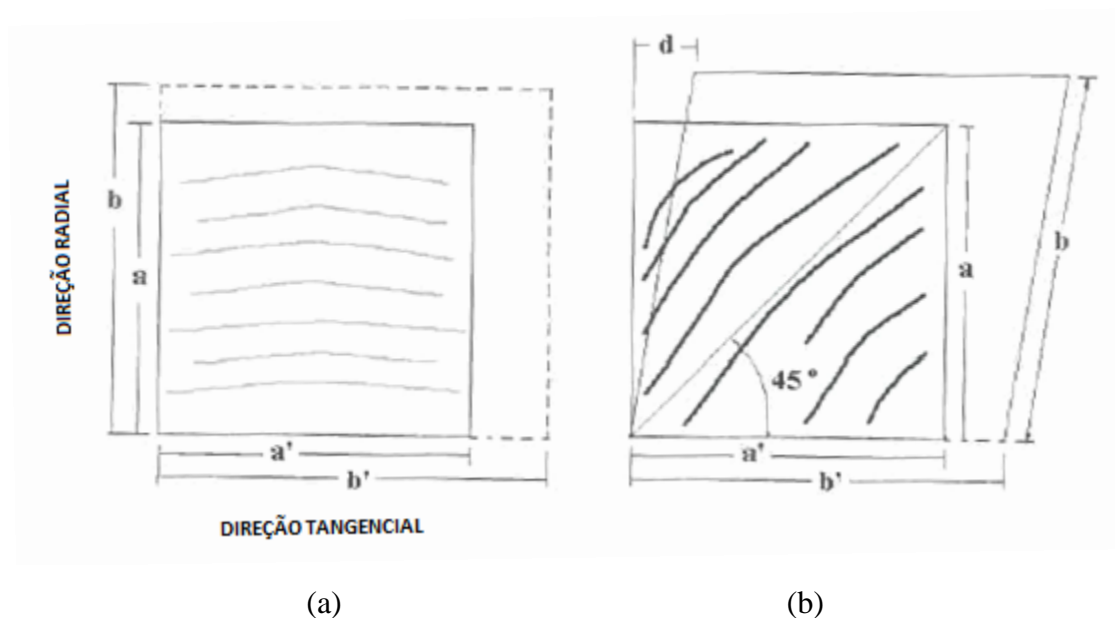
2.4.2.3 Presença de madeira juvenil

Serrano e Cassens (1998) descobriram que a estabilidade dimensional do painel EGP pode ser influenciada pela presença e quantidade de madeira juvenil. Os autores observaram que em painéis produzidos com madeiras de diâmetros menores (madeiras jovens) a estabilidade foi menor que os produzidos com madeiras com diâmetros maiores. Para EGP com madeira juvenil, a retração foi de 6,5% na direção radial e 9,9% na direção tangencial, enquanto que para os de madeira tardia, foram de 5,5% e 8,3% respectivamente. Isso ocorreu, segundo os autores porque as paredes celulares do lenho juvenil são mais propícias ao ganho e perda de água, facilitando assim a retração ou inchamento.

2.4.2.4 Orientação dos anéis de crescimento

Conhecer a anisotropia da madeira é fator fundamental para produzir um painel EGP de boa qualidade e desempenho. Utilizar espécies de madeiras com alto grau de anisotropia significa ter um painel com grandes chances de empenamento. A contração da madeira no sentido tangencial é maior em relação à contração no sentido radial, como mostrado na Figura 19 (IWAKIRI, 2005).

Figura 19 - Retração da seção transversal – (a) comportamento numa seção tangencial e radial; (b) comportamento com os anéis de crescimento orientados na diagonal.



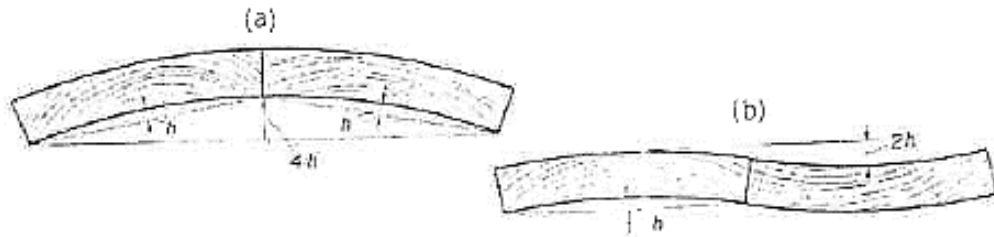
Fonte: adaptado (IWAKIRI, 2005)

O ideal seria que as tensões decorrentes da anisotropia se anulassem, o que dificilmente acontece na prática. A grande importância do fator anisotrópico é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, maior a probabilidade da madeira sofrer fendilhamento e empenamento e o painel EGP contribui para que isso não aconteça, desde que produzido de maneira correta, ou seja, com as melhores combinações de características possíveis (REMADE, 2001).

Iwakiri (2005) ainda cita que quando os sarrafos são colados lateralmente para formar um painel e os mesmos possuem orientação similar entre si, o empenamento do painel em decorrência de um aumento ou diminuição do teor de umidade é aproximadamente quatro vezes maior que o empenamento individual dos sarrafos. Porém, quando no processo de colagem se

leva em consideração essa orientação e a faz de forma oposta, é certo que há melhora de estabilidade dimensional do referido painel, como mostrado na Figura 20. Para o autor o ideal ainda é realizar a colagem apenas com peças radiais, o que industrialmente se torna inviável.

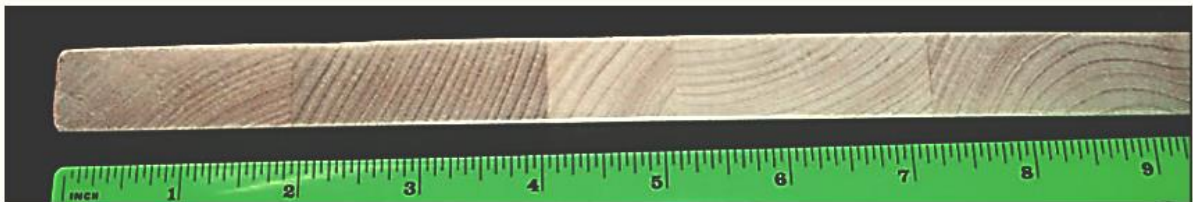
Figura 20 - Empenamento de painéis EGP com (a) dois sarrafos orientados tangencialmente e (b) dois sarrafos com orientação cruzada.



Fonte: (IWAKIRI, 2005)

Nicholls (2010) também afirma que os sarrafos devem ter anéis de crescimentos orientados em direções opostas, ou seja, impedir que todos fiquem com as "conchas" para cima ou para baixo, em caso de sarrafos tangenciais. Isso garante que um sarrafo ajudará o outro a conter as variações volumétricas em função da diferença de umidade - ganho ou perda de água. Na Figura 21 visualiza-se essa orientação recomendada pelo autor.

Figura 21 - Painel EGP colado com sarrafos em direções opostas.



Fonte: (NICHOLLS, 2010)

Gonzaga (2006) também cita que o melhor a ser feito é a alternância dos sarrafos, com anéis de crescimento para baixo e para cima, pois num somatório de encaamentos, os mesmos podem se anular, enquanto que um painel formado com todos os anéis numa mesma direção, pode além do empenamento, levar o painel ao descolamento. O autor cita ainda quatro recomendações:

- que todas os sarrafos estejam igualmente secos e que sejam da mesma espécie;
- que os sarrafos estejam em equilíbrio com a umidade do ambiente;
- que se procure usar sarrafos de menores largura (porém, não citou valores);

- que se utilize espécies que possuem baixos índices de contração.

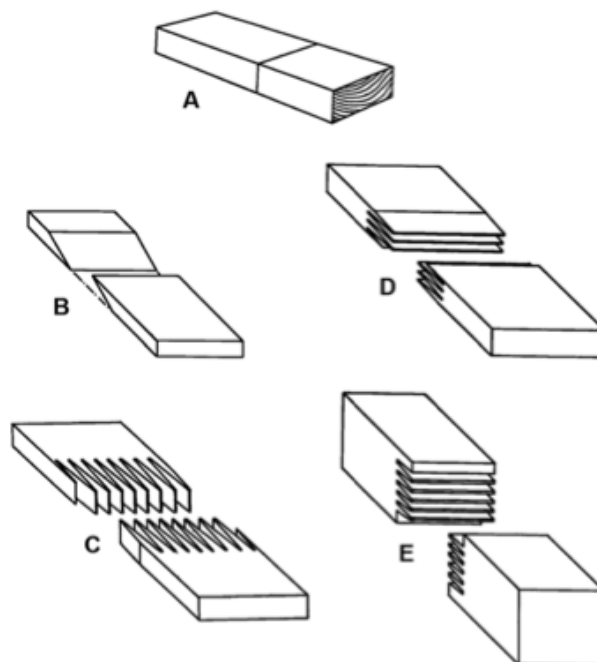
Para o Gonzaga (2006), o melhor ainda seria a utilização apenas de sarrafos cortados no sentido radial, o que o próprio cita não ser de fácil execução na prática.

2.4.3 União de topo tipo *finger joint*

A ABNT-NBR 15.930 (2011) define a madeira colada do tipo *finger joint* como um conjunto de peças unidas de topo e coladas em forma de "encaixe de dedos" no sentido do comprimento das fibras. Cita ainda que esse tipo de união é encontrado em peças de madeira utilizadas na fabricação de batentes, alizares e folhas de porta.

Para Frihart e Hunt (2010) a união do tipo *finger joint* é definida como a colagem de madeira de topo. Segundo os autores, tal união permite o uso de peças selecionadas o que garante um melhor aproveitamento qualitativo e quantitativo da madeira. Ainda segundo os autores, esse tipo de união é tão forte quanto a madeira maciça. Os diferentes tipos de emenda *finger joint* são visualizados na Figura 22.

Figura 22 - União do tipo *finger joint*: (a) peça unida no comprimento; (b) união do tipo simples-lida; (c) *finger* estrutural vertical; (d) *finger* estrutural horizontal; (e) *finger* não estrutural.



Os painéis EGP que possuem emenda de topo são denominados pela EN 12.775 (2001) de "SC - *show cuts*", ou seja, painéis que mostram os cortes em sua extensão. Os que são produzidos sem emendas de topos, ou seja, com peças inteiras são denominados "NC – *not cut*".

2.4.4 Possíveis defeitos dos painéis EGP

Os defeitos encontrados em painéis colados lateralmente geralmente estão relacionados a três fatores: umidade, usinagem e/ou operação humana. Tais defeitos podem ser detectados durante a fabricação ou apenas pós entrega (NICHOLLS, 2010).

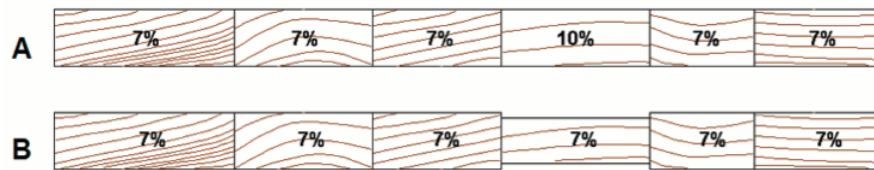
Para Mitchell, Wiedenbeck e Ammerman (2003), a maioria dos problemas em painéis EGP origina-se no controle da umidade da madeira e, conseqüentemente do painel, antes, durante e após a fabricação.

2.4.4.1 Delaminação

No Brasil a delaminação do EGP é popularmente chamada de "linha-de-cola", e ocorre quando há visivelmente a formação de uma linha contínua que separa nitidamente um sarrafo do outro. Não há necessidade de haver abertura dessa linha, ou seja, o descolamento. O simples fato de formar uma linha de fronteira entre os sarrafos, já caracteriza o defeito, o que é indesejado. Isso ocorre devido a diferença de umidade entre os sarrafos. Por exemplo, se um sarrafo tem 8% de umidade e ao lado há um outro sarrafo com 15%, ao entrar em equilíbrio com o ambiente, os sarrafos vão se comportar fisicamente de maneira diferentes. Um irá sofrer variação volumétrica diferente do outro e isso fará com que se acentue a fronteira de colagem, formando um pequeno degrau entre os sarrafos, na ordem do milésimo de mm, chamado de "*sunken*". Para evitar esse tipo de defeito, orienta-se que após colagem, antes de serem calibrados/lixados, os painéis devem "descansar" por pelo menos 24h (NICHOLLS, 2010).

Mitchell, Wiedenbeck e Ammerman (2003) já citavam esse problema da junta "*sunken*". Na Figura 23 vê-se um exemplo de um painel EGP fabricado com 6 lamelas, sendo 5 com teor de umidade de 7% e uma com umidade de 10%. Após atingir o equilíbrio com o ambiente, que nesse caso supôs-se ser de 7%, observa-se que a lamela de 10% sofreu retração volumétrica, criando assim um pequeno degrau no limite entre ela e suas lamelas vizinhas.

Figura 23- Painel EGP: (A) logo após calibração; (B) após entrar em equilíbrio com o meio



Fonte: (MITCHEKK, WIEDENBECK e AMMERMAN, 2013)

River e Okkonen (1991) estudaram o efeito da umidade na delaminação de painéis EGP. Para os pesquisadores, três principais fatores contribuem para a delaminação: a espécie da madeira, a viscosidade do adesivo e a pressão de colagem. A espécie da madeira é difícil de ser controlada, porém deve ser levada em conta no processo de colagem. Madeiras mais densas são mais difíceis de serem unidas lateralmente. A viscosidade do adesivo deve ser a mais baixa possível no limite do escoamento, para que a cola flua sobre as superfícies e atinja todos os pontos. Quanto mais antiga for a cola, maior será sua viscosidade. Quanto a pressão, essa depende da espécie de madeira a ser utilizada como discutido no item 2.4.1.2.

2.4.4.2 Empenamento

O empenamento em painéis EGP podem ocorrer de três formas: o arqueamento ou encurvamento (quando a deformação é em relação ao comprimento); o encanoamento (quando a deformação é em relação à largura) e o torcimento (quando ocorre as duas deformações de forma simultânea) (GONÇALVES, 2000), como ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Tipos de empenamento da madeira



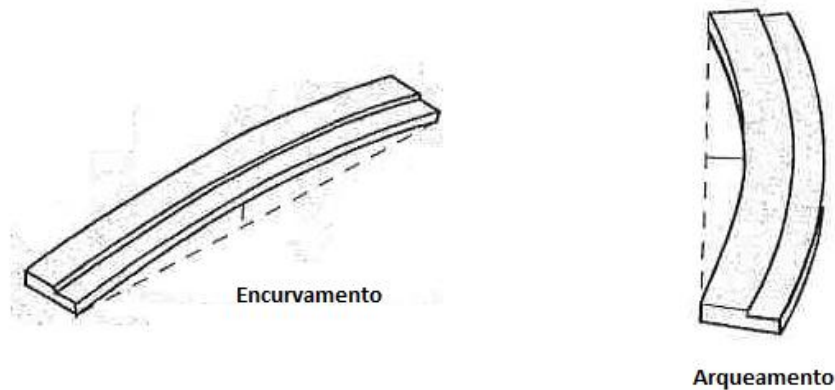
Fonte: adaptado (EQUIPE DE OBRA, 2011)

Para Nicholls (2010) o empenamento ocorre quando o painel é composto por sarrafos largos (acima de 76,2 mm – 3 in) ou ainda quando o painel é muito largo (acima de 889mm – 35 in). Quando as duas combinações ocorrem, não há como evitar tal defeito.

Mitchell, Wiedenbeck e Ammerman (2003), também citam que o empenamento pode ser evitado ou ao menos diminuído quando se utilizam sarrafos com direção dos anéis de crescimento de forma alternada, aumentando assim a estabilidade do painel.

O encurvamento e o arqueamento para os batentes, descritos pela ABNT-NBR 15.930 (2011) são mostrados na Figura 25. Essa norma não descreve o encanoamento, que também foi estudado nesse trabalho.

Figura 25 - Empenamento de batentes descritos pela ABNT - NBR 15.930 (2011)



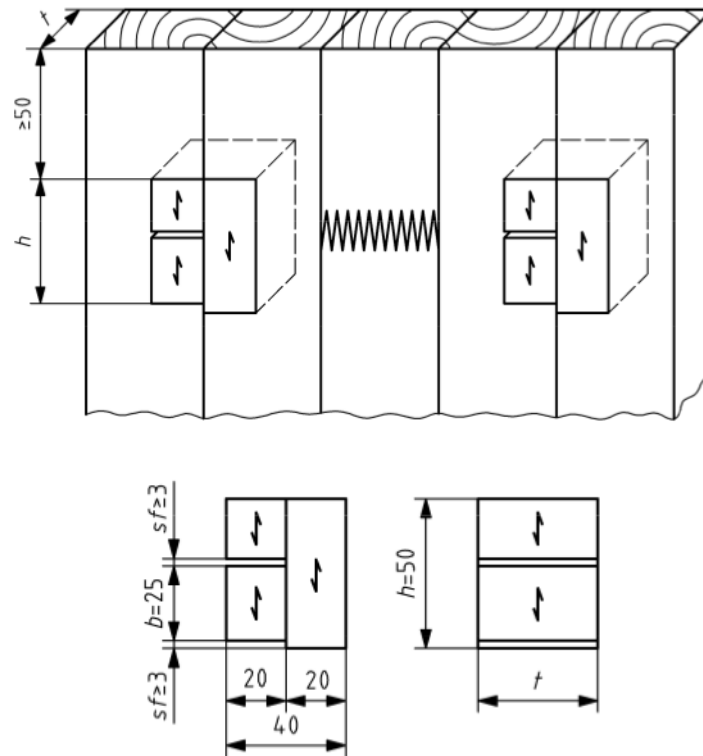
Fonte: (ABNT-NBR 15.930, 2011)

2.4.4.3 Descolamento

O descolamento, diferente da delaminação, ocorre quando há ruptura na linha de cola. Os motivos podem ser: má formação da linha de cola - aplainamento mal feito; linha faminta; uso de adesivo impróprio (adesivo para uso interno quando a peça será de uso externo, por exemplo); ou má condução dos procedimentos de produção (pressão, tempo e/ou temperatura de cura de cola fora da especificação do fabricante). Para evitar esse defeito, deve-se obedecer as orientações do fabricante do adesivo (NICOLLS, 2010).

A norma EN 13.354 (2009) estabelece um método de ensaio para determinação da qualidade de ligação em painéis sólidos de madeira simples (EGP) ou multicamadas (compensados), através de teste de cisalhamento. Na Figura 26 tem-se a forma e dimensões do corpo de prova.

Figura 26 - Exemplo do corte de corpos de prova para teste de resistência da linha de cola de painéis EGP – dimensões em mm



Fonte: (EN 13.354, 2009)

Dependendo ainda do tipo de painel (uso seco, uso úmido ou externo) é necessário o pré-tratamento por algumas horas do corpo de prova imerso em água, antes do teste mecânico. Porém, por não ser objeto desse estudo, optou-se por não dar ênfase ao ensaio de resistência de linha de cola.

2.4.4.4 Defeitos oriundos de classificação visual

A EN 13.017 (2001) propõe uma classificação aos painéis EGP, levando em consideração defeitos naturais da madeira que podem ou não ser retirados dos sarrafos antes da junção de topo e colagem lateral. Tais defeitos podem ser: nós, bolsas de resina, medula, manchas azuladas, pequenas fissuras, trinca, orifícios de insetos etc. Para tanto, adota 05 classes de painéis: A/A; A/B; B/B; B/C e C/C. Cada classe é composta de duas letras, sendo uma para cada face do painel. Classes A, B e C estão, nessa ordem, de forma crescente quanto à qualidade do painel, ou seja, um painel A/A tem melhor classificação que um C/C. A referida norma traz de maneira bem específica quais defeitos, tamanhos e quantidades são aceitos em cada classe.

Outro defeito que pode ser classificado como de classificação visual é a coloração do painel. Comercialmente, painéis EGP com uniformidade de cor possuem valor agregado maior que painéis mesclados. Ainda, podem ocorrer casos em que o cliente não aceite lamelas de coloração contrastante com outras num mesmo painel. Para se evitar diferença de cores entre as lamelas, deve ser feita classificação visual antes da prensagem. Tal classificação pode ser manual ou automática. Na Figura 27 tem-se um exemplo de um painel EGP com cor mesclada.

Figura 27 - Exemplo de painel EGP com diferença de tonalidade e de grã entre os sarrafos.



Fonte: (MITCHEKK, WIEDENBECK e AMMERMAN, 2013)

2.4.4.5 Defeitos dimensionais

Após o corte final, é importante que o painel esteja dentro de suas dimensões nominais. A EN 13.353 (2003) determina as seguintes tolerâncias dimensionais para os painéis sólidos de madeira, no qual estão inclusos o painel EGP:

- comprimento do painel: $\pm 2,0$ mm;
- largura do painel: $\pm 2,0$ mm;
- espessura do painel: $\pm 1,0$ mm;
- empenamento: $\pm 1,0$ mm.m⁻¹

Não foram encontrados na literatura estudos que avaliam a influência da largura e da disposição dos anéis de crescimento dos sarrafos, no desempenho físico do painel EGP, que é o proposto nesse trabalho. Porém vários outros estudos são encontrados. A maioria trata da resistência da linha de colagem, com variação no tipo de adesivo, na espécie de madeira, na gramatura de cola, na pressão aplicada, na umidade dos sarrafos etc. Ou ainda, estudos específicos e inéditos, como o de Sütçü e Karagöz (2013) por exemplo, que estudaram a

influência de parâmetros de usinagem na rugosidade de superfície de EGP de três diferentes tipos de madeira.

2.5 COLAGEM DA MADEIRA

Para Iwakiri (2005) a colagem da madeira contribui de forma direta na conservação dos recursos florestais, uma vez que permite a utilização integral da madeira, ou seja, o aumento de seu aproveitamento.

A argila e a lama foram as primeiras substâncias a serem empregadas como adesivos, seguindo-se pelas ceras, resinas, sangue, ovos e ossos. Há relatos que há mais de 4.000 anos a.C, as substâncias já eram utilizadas como adesivos. O aumento na utilização de adesivos se deu com o surgimento de máquinas de beneficiamento de madeira. Em 1929 surgiu a primeira resina sintética, a fenolformaldeído. Três anos mais tarde, em 1931, surgiu a uréia-formaldeído e ainda no final da década de 30, a melamina-formaldeído (IWAKIRI, 2005).

É necessário conhecer muito bem a cola a ser utilizada na produção de um painel EGP. A temperatura local, da madeira e a umidade do ar influenciam diretamente na cura do adesivo. Deve-se, então, seguir à risca as determinações do fabricante do mesmo. Em estações frias (outono e inverno) a cura da cola pode demorar até duas vezes que no verão. Em épocas ou regiões muito frias, sugere-se que a cola seja aquecida para não perder suas propriedades aderentes. (NICHOLLS, 2010).

2.5.1 Física e química da colagem na madeira

Segundo Iwakiri (2005), os mecanismos envolvidos no processo de adesão podem ser explicados por 3 teorias:

- teoria mecânica: justifica a colagem como processo da solidificação de um adesivo líquido que se prende fortemente a superfícies porosas (por exemplo a madeira), formando ganchos;
- teoria da difusão de polímeros: para essa teoria, a adesão se dá pela difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular;
- teoria da adesão química: por fim, segundo essa teoria, a colagem se realiza através de ligações primárias, iônicas ou covalentes, e/ou por ligações secundárias: intermoleculares.

2.5.2 Propriedades dos adesivos

2.5.2.1 Viscosidade

A viscosidade de um fluído pode ser definida como a resistência ao fluxo num escoamento, ou seja, a fluidez de um líquido está diretamente ligada à sua viscosidade. Adesivos com viscosidade alta resultam em maior dificuldade de espalhamento e menor penetração na estrutura capilar da madeira, já que forma uma linha de cola mais espessa. Quanto mais antigo o adesivo, maior será sua viscosidade (IWAKIRI, 2005).

2.5.2.2 Tempo de gelatinização

O tempo de gelatinização é o período que compreende desde a preparação do adesivo (adição de catalisadores, extensores, mistura etc) até o início do endurecimento do mesmo, conhecido como fase de gel - ponto máximo de elasticidade. Essa propriedade está relacionada à vida útil do adesivo e à sua reatividade. Quanto maior o tempo de gelatinização, maior o tempo para sua manipulação (IWAKIRI, 2005).

2.5.2.3 Teor de substâncias sólidas

O teor de sólidos é a quantidade de substâncias sólidas contida no adesivo. Com o passar do tempo, ocorre a volatilização dos componentes e conseqüentemente a cura e solidificação da resina. Assim, quanto maior o teor de sólidos, menor é o tempo de manipulação do adesivo, porém melhor será sua adesão ao material, até certo limite (IWAKIRI, 2005).

2.5.2.4 Potencial de Hidrogênio (pH)

Segundo Iwakiri (2005), o potencial de Hidrogênio (pH) do adesivo deve estar na faixa de 2,5 a 11. Acima ou abaixo dessa faixa, o adesivo pode causar degradação das fibras da madeira. Além disso, há adesivos que curam em meio ácido (por exemplo a uréia-formaldeído) e outros que curam em meio básico (por exemplo o fenolformaldeído). Por isso é importante levar em conta o pH da madeira que se pretende colar.

2.5.3 Acetato de polivinila (PVA)

Iwakiri (2005) classifica os adesivos em três grupos:

- Adesivos naturais: derivados de origem animal (glutina, caseína e albumina por exemplo);
- Adesivos sintéticos termoplásticos: polivinil acetato, polietileno, poliestireno etc.
- Adesivos sintéticos termoendurecedores / termofixos: uréia-formaldeído, melamina-formaldeído, fenolformaldeído, isocianato etc.

O adesivo acetato de polivinila, popularmente conhecido como cola PVA foi criado em 1950 e é a resina mais utilizada até hoje pelas indústrias de painéis de madeira. É um adesivo termoplástico e sua cura se dá à temperatura ambiente. Devido a sua baixa resistência a umidade, é utilizada para painéis de uso interior. Por ser a base de água, tem fácil e seguro manuseio, não tem cheiro, não é inflamável, tem baixo custo e possuem rápida secagem. (IWAKIRI, 2005).

Este adesivo foi o utilizado na produção dos corpos de prova deste trabalho.

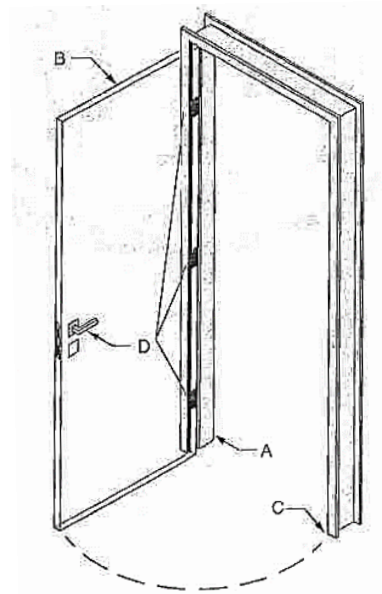
2.6 KIT PORTA PRONTA (KPP)

Segundo divulgado pela REMADE (2003) o segmento de KPP é, ao lado do de painéis de madeira, o setor mais representativo e competitivo do segmento de PMVA. A ABIMCI estimava que o Brasil tinha capacidade instalada para produção de 7 milhões de portas/ano, distribuída em mais de 2.300 unidades fabris. Dessas, cerca de 80% estavam nos estados do Paraná e Santa Catarina. Ainda, segundo a associação somente 10 desses fabricantes produzem mais de 15.000 portas/mês, concentrando cerca de 50% da produção nacional desse produto, sendo que nesse ano de 2003 não havia ainda a preocupação com a padronização das portas pela construção civil nacional, fato que hoje já não ocorre (REMADE, 2003).

Em 2012 a produção de portas no Brasil foi de 8 milhões de unidade, segundo Tomaselli (2013). Em artigo que relata o desenvolvimento da construção civil no país para atender as demandas de crescimento populacional e grandes eventos, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, o pesquisador cita que de 2008 a 2016 (projeção) o crescimento de moradias será de 2,7%, passando de 57,7 milhões para 71,4 milhões, enquanto a população brasileira passará de 190 milhões para 209,3 milhões (crescimento de 1,2%) e a de pessoas por família declinará de 3,11 para 2,82 (decréscimo de 1,2%).

A norma ABNT-NBR 15.930 (2011) define a porta como um componente construtivo que tem como principal função permitir ou impedir a passagem de pessoas, animais e objetos, entre espaços e ambientes, tendo como componentes: batente ou marco, folha de porta, alizares e ferragens. Quando esse componente construtivo já é fornecido montado de fábrica, dá-se o nome de kit porta, porta pronta ou kit porta pronta, como ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Kit porta pronta e seus componentes: (A) batente ou marco; (B) folha de porta; (C) alizar ou guarnição; (D) ferragens – dobradiças e fechadura



Fonte: (ABNT-NBR 15.930, 2011)

Para Lopes (2013) a inovação da porta industrializada como kit porta pronta em 1996 foi um passo importante para a padronização na indústria, nos projetos arquitetônicos e civis, nos canteiros de obras, enfim, na cadeia toda. Tal padronização contribuiu para a redução de custos, aumento da produtividade e queda de patologias pós-instalação.

O batente, objeto principal desse estudo, também é conhecido como marco ou aduela. A ABNT-NBR 15.930 (2011) define o batente como sendo a parte fixa da porta destinada a garantir o vão e sustentar a folha e é constituído pelo montante: qualquer uma das peças verticais (também conhecido como ombreira ou perna) e pela travessa: peça horizontal que compõe o perímetro do batente (também conhecida como cabeça ou cabeceira). O batente é dito maciço quando é constituído de peças de madeira maciça natural, inteiriças ou unidas por encaixe, colagem e/ou emendas do tipo *finger joint* ou EGP.

Esse estudo dará ênfase nos batentes maciços produzidos através de painel EGP de pinus.

A grande maioria dos fabricantes (cerca de 80%) de kit porta estão na região sul do país, nos estados do Paraná e Santa Catarina. A região sudeste vem em seguida, contribuindo com 12,5% do total de fabricantes desse produto (ABIMCI, 2013).

Os principais fabricantes nacionais de kit porta pronta (pertencentes ao PSQ-PME da ABIMCI) e a atual situação da certificação dos kits e de seus componentes são mostrados através da Figura 29, onde:

PIM – Porta Interna de Madeira

PEM – Porta de Entrada de Madeira

PIM RU – Porta Interna de Madeira Resistente a Umidade

PEM RU - Porta de Entrada de Madeira Resistente a Umidade

PXM - Porta Externa de Madeira

PIA - Porta Isolante Acústica

PRF - Porta Resistente ao Fogo



Fabricante com certificação ABNT



Fabricante com certificação ABNT em andamento (ensaios em andamento)



Fabricante com ensaios realizados (ainda não há norma vigente para certificação

ABNT)

Figura 29 - Fabricantes nacionais de portas participantes do PSQ-PME

PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE		ABNT NBR 15930-2 Status em: 30 de Abril de 2015																			
PARTICIPANTES		KIT PORTA (completo com ferragens)																			
MARCA	FABRICANTE	FOLHA PIM	FOLHA PIM RU	FOLHA PIM RU	FOLHA PIM RU	MARCO PIM	MARCO PIM	KIT PIM	KIT PIM RU	KIT PIM RU	KIT PIA C1	KIT PIA C2	KIT PIA C3	KIT PIA C4	KIT PIA C5	KIT PIA C6	KIT PIA C7	KIT PIA C8	KIT PIA C9	KIT PIA C10	
	ADAMS S/A MADEIRAS Estrada Municipal, DKM. 455 - Linha Santana Km 1 - Castanho Fone: (49) 3581-3611 - www.adams.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	COMPENSADOS E LAMINADOS LAVRASIA S/A Av. Senador Ivo D'Aguiar, 385 - PRQ Industrial I 89.460-000 - Canoinhas / SC Fone: (41) 3314-5757 - www.lavrasia.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	E.A.C. FLORESTAL S/A Lote Rural Q2, Q2 - Rincão do Paimal 83.413-575 - Colombo / PR Fone: (41) 3959-1234 - www.seivaindustri.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	EUCATEX DISTRIBUIÇÃO E LOGÍSTICA LTDA Av. Pres. Hildebrando Kubitschek, 1839 - Anjar 11 - Torre I Itaim Bto 04.543-900 - São Paulo / SP Fone: (11) 3049-2300 - www.eucatex.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	EMPRESA INDUSTRIAL E COMERCIAL FLECK S/A Av. Ivo D'Aguiar Foneca, 1013 - Industrial N 1 89.460-000 - Canoinhas / SC Fone: (47) 3621-7878 - www.flecko.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	FAMOSSUL MADEIRAS S/A Av. Paraná, 970 - Tripolândia 83.860-971 - PR / PR Fone: (41) 3632-8300 - www.famossul.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	INDUSTRIA DE MADEIRAS FAQUEADAS PUMIRMA S/A Rua Dom Pedro II, 476 - Centro 89.790-000 - Ituporanga / SC Fone: (49) 3438-1210 - www.faqueadas.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	LINHA PARANA MADEIRA LTDA Rua Vitorino Gomes, 100 - Sede 89.200-000 - São Carlos / SC Fone: (49) 3162-8300 - www.kils.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	MADEIRA INDUSTRIAL E COMERCIO DE MADEIRAS LTDA Rua Helio de Mello, 1480 - Av. Industrial 88.514-000 - Itaipava / SC Fone: (49) 3251-0699 - www.madepar.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	MARQUEL MARCHETTI INDUSTRIA E COMERCIO LTDA Rua Três De Maio, 61 - Sede 89.140-000 - Itaipava / SC Fone: (47) 3357-8180 - www.portasalamo.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	PMINTEL LOPES EMGANHARIA E ARQUITETURA LTDA Av. Menino Marcelo, 4501 - Santana 57.046-000 - Macaé / RJ Fone: (82) 2126-8000 - www.multidoor.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	RANDA INDUSTRIA E COM. DE PORTAS E COMPENSADOS LTDA Av. Tanque Campesão dos Santos, 539 - São Cristóvão 84.640-000 - Ilhoruna / PR Fone: (42) 3553-1378 - www.randa.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	REFLORESADORES UNIDOS S/A Rodovia RS 020, Km 135, 5A - Vila Unidos 95.200-000 - Camboriú dos Sul / RS Fone: (54) 3251-2222 - www.ecoporta.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	SALVATO INDUSTRIA E COMERCIO DE MADEIRA LTDA Rua Carteiro Colombo, 145 - Bairro Póço Um 88.819-139 - Criciúma / SC Fone: (48) 3438-7045 - www.salvato.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	SINCOL S/A INDUSTRIA E COMERCIO Rua Alemanha, 197 - Sorgado 89.500-000 - Capadour / SC Fone: (11) 3769-5900 - www.sincol.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	TEG TECNOLOGIA EM PORTAS E ABERTURAS LTDA Av. Paraná, 50N - Galpão 3 - Ponte Alta 83.860-971 - PR / PR Fone: (41) 3632-8300 - www.tegportas.com.br	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: (PSQ-PME, 2015)

2.7 CERTIFICAÇÃO E NORMAS DE DESEMPENHO PARA PORTAS DE MADEIRA

Há 13 anos a REMADE (2003) informou que o Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) incluía mais um novo segmento em seu rol, o de portas. Tal programa de certificação seria composto de 3 fases:

- revisão das normas: fase pela qual as normas técnicas brasileiras que tratam de portas deveriam ser revisadas e aglutinadas, levando-se em consideração principalmente as características dimensionais e desempenho do produto. Tal revisão também levaria em conta as normas internacionais, como a ISO e a EN;
- diagnóstico: levantamento da situação daquela atualidade, com visitas a fabricantes de portas, levantando os parâmetros de controle da qualidade dos produtos e dos processos; contato com os consumidores (construtoras) e com laboratórios de pesquisa, a fim de colher subsídios para a definição de parâmetros e melhoria da qualidade dos produtos. Todos os levantamentos passariam pela aprovação do Conselho Nacional de Qualidade da Madeira (CNQM);
- implantação: previsto para fevereiro de 2004 a implantação do PSQM-Portas se daria pelos lançamentos dos documentos aprovados e o convite a todos os fabricantes a participar do programa. Aos aceitos, seriam realizadas auditorias de certificação e por fim, a inserção do PSQ-Portas ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) que tem por objetivo "apoiar o esforço brasileiro de modernidade pela promoção da qualidade e produtividade do setor da construção habitacional, com vistas a aumentar a competitividade de bens e serviços por ele produzidos, estimulando projetos que melhorem a qualidade do setor".

A inclusão desse novo segmento iniciou algo que o setor de portas aguarda com grande expectativa, que é a consolidação do programa setorial de qualidade, por meio das certificações dos maiores fabricantes do país. Desde o início da iniciativa em 2003, cinco fabricantes fizeram-se presentes: Seiva Camilotti, Portas Álamo, Fuck, Multidoor e Sincol.

Após 08 anos de estudos e diagnósticos, em 25 de dezembro de 2011 a ABNT publica a NBR 15.930 - Portas de Madeiras para Edificações - partes 1 (Terminologia e Simbologia) e 2 (Requisitos).

A ABNT-NBR 15.930 (2011) estabelece cinco classes de portas: Portas Internas de Madeira (PIM); Portas de Entrada de Madeira (PEM; PIM Resistente à Umidade (PIM-RU); PEM Resistente à Umidade (PEM-RU) e Porta Externa de Madeira (PXM). Os ensaios mecânicos e físicos do PSQ-PME são realizados pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo.

Em setembro de 2012 a ABIMCI lançou então em Curitiba/PR o PSQ-PME, contando com mais 10 associados, além dos 05 citados anteriormente: Randa, Eucatex, Faqueadas, Vert, Kits Aero, Ecoporta, Salvaro, Lavrasul, Teg e Famossul (PORTAS DE MADEIRA, 2013).

O objetivo principal do PSQ-PME é proporcionar às empresas que seus produtos atendam às exigências do mercado e da norma técnica em vigor, garantindo parâmetros internacionais de qualidade. O programa funciona em parceria com a ABNT e o IPT (ABIMCI, 2013). O selo do PSQ-PME que os fabricantes de portas participantes do grupo utilizam em suas propagandas é mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Selo do PSQ-PME para os fabricantes de portas de madeira



Fonte: (PSQ-PME, 2015)

Para Lopes (2013) o programa eleva as portas nacionais a um patamar de qualidade global, deixando para trás restrições de especificação obsoletas que viciaram o mercado da construção civil. Acredita que se inicia agora um ciclo virtuoso que associa desempenho e design. Além disso, segundo o autor, o PSQ atuará dentro do PBQP-H do Ministério das Cidades no combate à não conformidade. Se algum produto (porta, marco ou alisares) estiver em desacordo com a norma específica, o produto pode ser considerado de pirataria, o fabricante é multado e o produto retirado do mercado.

Em paralelo a publicação da NBR 15.930 (em dezembro 2011) e do lançamento do PSQ-PME (em setembro 2012), a ABNT publicou em julho de 2013 a ABNT-NBR 15.575 (2013) - Desempenho de Edificações Habitacionais. Tal norma define parâmetros técnicos para acústica, iluminação, durabilidade e manutenção dos componentes de uma edificação, transmitância térmica, entre outros conceitos que não eram considerados pelas construtoras. Como as construtoras de edificações habitacionais devem seguir as exigências da norma NBR 15.575, isso fará com que os fabricantes desses componentes das edificações também se preocupem em seguir um certo padrão mínimo de qualidade que atenda à sua norma técnica em específico e consequentemente à ABNT-NBR 15.575 (2013). Outro ponto importante e que contribuirá para que os fabricantes atendam às normas técnicas, é que os órgãos de crédito público com fomento do governo passaram a exigir, para as construções iniciadas a partir de julho de 2013, o atendimento à NBR. Importante ainda ressaltar que a NBR 15.930 é a primeira norma publicada que leva em consideração a NBR 15.575. (SILVA, 2013).

Os ensaios executados em laboratório são realizados em produtos coletados e lacrados por auditores da ABNT. Tais ensaios são para avaliar as dimensões e as variações dimensionais pós-acondicionamento em estufa que simula o ambiente onde o produto estará instalado. Após os ensaios os resultados são enviados pelo IPT à ABNT, que é a certificadora do programa, que então os analisa e define se o produto e, consequentemente o fabricante, está dentro dos requisitos mínimos exigidos pela norma (BARREIROS, 2013). Além disso, é necessário ainda que o fabricante passe por uma auditoria de gestão da qualidade, onde é auditado todo o processo de qualidade da empresa, como controle de documentos, atendimento ao cliente, tratamento de não conformidades, rastreabilidade do processo e controle de fornecedores. A certificação é concedida por um período de 3 anos e os ensaios físicos e mecânicos de manutenção são feitos a cada 6 meses. Estima-se que o custo total de investimento do fabricante seja em torno de R\$ 120 mil para um ciclo de três anos (DYTZ, 2013).

Em abril de 2014, segunda a revista Portas de Madeira (2014), o mercado nacional passou a contar com os primeiros produtos certificados pela NBR 15.930: folhas de portas. Dos 15 fabricantes participantes do PSQ-PME, 11 possuem certificação para folha de porta do tipo PIM, 07 para folha de porta do tipo PEM e 01 para folha de porta do tipo PIM-RU. Nenhum fabricante ainda possui certificação do KPP. O motivo são os resultados dos ensaios dos batentes que não atenderam as exigências mínimas da norma quanto à estabilidade dimensional, razão que motivou a realização desse trabalho.

Em abril de 2015, conforme divulgado pelo PSQ-PME (2015) o número de fabricantes dentro do programa aumentou para 16, sendo os mesmos 11 com certificação para folha de

porta tipo PIM, 08 para folha de porta tipo PEM (aumento de 01 fabricante em relação a 2014) e 01 para folha de porta do tipo PIM-RU. Ainda hoje, não há nenhum fabricante com certificação para o KPP e o motivo continua o mesmo: a instabilidade dimensional dos batentes.

2.7.1 Batentes de madeira

As medidas dos batentes são padronizadas pela norma ABNT-NBR 15.930 (2011), conforme mostrado na Figura 31. Além do ensaio do kit porta pronta, dentro de uma das classes de uso, os componentes (folha de porta e batente) são ensaiados de forma individual, conforme indica a mesma norma.

Figura 31 - Medidas padronizadas para os batentes de madeira para portas de abrir

Descrição	Tipologia do marco	Dimensões do marco para os padrões mm			
		Leve	Médio	Pesado	Superpesado
Espessura da alma dos montantes e travessa(s) do marco (E)	Com rebaixo	30	35	45	50
	Com ressalto	20	25	30	35
Profundidade do rebaixo ou do ressalto do marco (P)	Com rebaixo	Espessura da folha + 2 mm; em caso de emprego de amortecedor, deve-se somar a sua espessura			
	Com ressalto				
Largura do rebaixo ou do ressalto do marco (e)	Com rebaixo	10	10	15	15
	Com ressalto	10	10	15	15
Largura dos montantes e travessa do marco (L)	Marco envolvente	Deve acompanhar a largura nominal prevista para a parede			
	Marco não envolvente	Fica a cargo de acordo entre o produtor e o consumidor, respeitado o mínimo de:			
		70	70	90	90

Fonte: (ABNT - NBR 15.930, 2011)

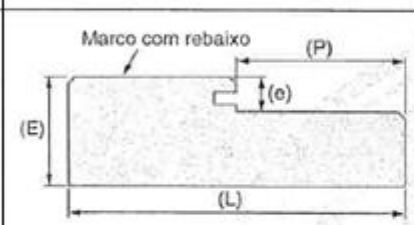

Os testes realizados nos batentes previstos na referida norma, e que foram alguns dos feitos nesse trabalho, são de aspectos visuais, de variações dimensionais e de desvios de forma e planicidade. Os valores admitidos pela norma e os defeitos aceitáveis são mostrados nas Figuras 32, 33 e 34, respectivamente.

Figura 32 - Padrões de aparência para componentes de porta de madeira maciça.

Características e/ou defeitos	Padrão de aparência		
	C	B	A
Presença de fungos que atacam a madeira	Não	Não	Não
Presença de insetos xilófagos que destroem a madeira	Não	Não	Não
Presença de medula	Sim	Sim	Não
Presença de fissura de compressão	Não	Não	Não
Presença de cerne quebradiço	Não	Não	Não
Presença de apodrecimento ou ardido	Não	Não	Não
Esmoado ou quina morta aparente	Não	Não	Não
Furos de insetos mortos na face aparente (quantidade) com ou sem retoques ^a	Até 7	Até 3	Não
Furos de insetos mortos na contraface	Sim	Sim	Sim
Bolsas de resina na face aparente (diâmetro inscrito) com ou sem retoques	Até 3 cm	Até 1 cm	Não
Arreverso ou grã reversa na face aparente	Até 3 %	Até 1 %	Até 0,5 %
Nó firme na face aparente (diâmetro inscrito) ^a	Até 7 cm	Até 5 cm	Até 3 cm
Nó solto ou quebrado (nó morto)	Não	Não	Não
Rachaduras de topo abertas	Sim	Não	Não
Fissuras superficiais abertas na face aparente	Sim	Não	Não
Fissuras superficiais na contraface	Sim	Sim	Sim
Emenda lateral tipo EGP visível	Sim	Sim	Sim
Emenda no comprimento tipo <i>finger joint</i> visível	Sim	Não	Não
^a Não aplicável a espécies exóticas decorativas			

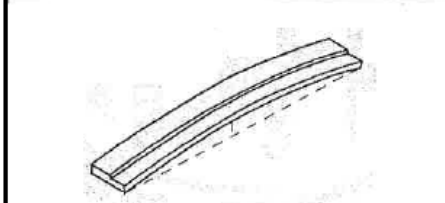
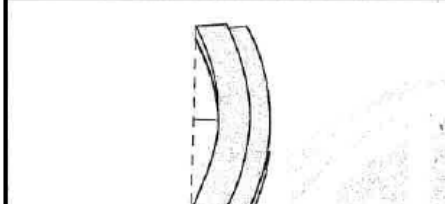
Fonte: (ABNT - NBR 15.930, 2011)

Figura 33 - Padrões e limites para a variação dimensional de batentes de madeira.

Croquis	Dimensões	Padrões e limites para a variação dimensional dos montantes e travessa(s) do marco mm		
		VN 1	VN 2	VN 3
	Largura dos montantes e travessa(s) – (L)	1,5	1,0	0,5
	Espessura dos montantes e travessa(s) – (E)	1,5	1,0	0,5
	Largura do rebaixo do batente – (P)	1,5	1,0	0,5
	Profundidade do rebaixo do batente – (e)	1,5	1,0	0,5

Fonte: (ABNT - NBR 15.930, 2011)

Figura 34 - Padrões e limites para o desvio de forma de batentes de madeira.

Croquis	Variações e desvios em relação ao prisma de base retangular	Padrões e limites dos desvios de forma dos montantes e travessa(s) do marco mm		
		VN 1	VN 2	VN 3
	Encurvamento dos montantes	3,0	2,0	1,0
	Encurvamento da(s) travessa(s)	1,5	1,0	0,5
	Arqueamento dos montantes	2,0	1,5	1,0
	Arqueamento da(s) travessa(s)	1,0	0,7	0,5

Fonte: (ABNT - NBR 15.930, 2011)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os materiais utilizados neste trabalho (matéria-prima e produção), bem como a metodologia aplicada (planejamento experimental e descrição de cada teste realizado).

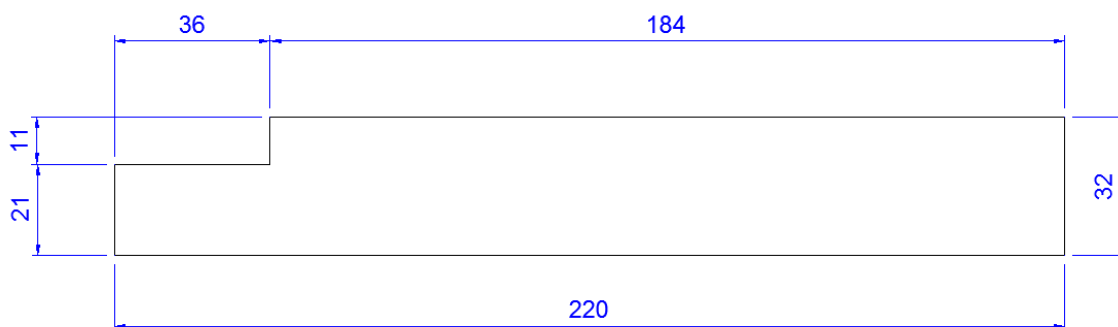
3.1 MATÉRIA-PRIMA

Para a produção dos corpos de provas, foi utilizada a madeira de *Pinus taeda*, proveniente de reflorestamento da região de Sengés/PR. A madeira em forma de tora foi recebida em uma indústria madeireira da mesma cidade onde foi serrada, seca artificialmente em estufa controlada e então transformada em *blanks* através da união de topo conhecida como *finger joint*. Esses *blanks* são matérias-primas para a produção dos painéis EGP de pinus, que por fim são utilizados na produção dos batentes para os KPPs - kits porta pronta.

3.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para realização do trabalho foram produzidos 48 (quarenta e oito) batentes, utilizados como corpos de prova, com dimensão final de 2120 x 220 x 32 mm (comprimento x largura x espessura), com perfil mostrado na Figura 35, sendo utilizados 03 corpos de prova para cada variável estudada.

Figura 35 - Perfil do batente utilizado como corpo de prova – medidas em mm



Fonte: (AUTOR, 2016)

A primeira etapa do processo de produção dos corpos de prova foi utilizar tábuas de *Pinus taeda* de 2150 mm de comprimento, com densidade aparente na faixa de 500 kg.m^{-3} ($\pm 100 \text{ kg.m}^{-3}$), seca a umidade de 8 a 12%, com largura variando entre 150 mm e 300 mm e espessura de 40 mm. As tábuas foram, então, aplainadas com 36 mm de espessura e refiladas em régua (também chamados de refilos ou lamelas) de 34 mm, 58 mm, 74 mm e 114 mm de largura, de acordo com a demanda deste trabalho, como mostradas nas Figuras 36 e 37. Para isso utilizou-se uma plaina Newmann com potência de 70 cv e velocidade de avanço de 30 m.min^{-1} e uma refiladeira Raimann com potência de 35 cv e velocidade de avanço de 30 m.min^{-1} .

Figura 36 - Processo de aplainamento: (a) entrada das tábuas com 36 mm de espessura e (b) saída com 33 mm



Fonte: (AUTOR, 2016)

Figura 37 - Processo de refilo: (a) entrada das tábuas e (b) saída e classificação das lamelas em diversas larguras



Fonte: (AUTOR, 2016)

Após refilo, parte das lamelas foram classificadas a fim de se obter apenas peças isentas de defeitos como nós, medula ou bolsas de resina e então separadas conforme os planos de cortes, obtendo assim as chamadas lamelas *clear* radiais e tangenciais. Outras peças, com tais defeitos, foram destopadas em destopadeiras *Wood Working Machine* com potência de 5cv e convertidas em pequenos *blocks* de 100 mm a 500 mm de comprimento (Figura 38), que na sequência foram emendados através de processo *finger joint* (já descrito no item 2.4.3 deste trabalho) obtendo assim peças longas de 2150 mm de comprimento, chamadas de *blanks*, com certa mistura de peças radiais e tangenciais, conforme Figura 39.

Figura 38 - Processo de destopo: (a) entrada das lamelas com defeitos e (b) tambor com estoque de *blocks*



Fonte: (AUTOR, 2016)

Figura 39 - Processo de *finger*: (a) usinagem de *finger joint* nos *blocks* e (b) saída dos *blanks*



Fonte: (AUTOR, 2016)

Posteriormente a obtenção das lamelas *clear* e *blanks*, os sarrafos foram aplainados para formação da linha de cola, que vem a ser o aplainamento lateral das superfícies da peça, obtendo peças de 32 mm, 56 mm, 75 mm e 112 mm de largura. Foi utilizada plaina moldureira da marca Weinig, com velocidade de avanço de $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ e potência de 160 cv. Em seguida foram colados lateralmente e prensados em prensa de alta frequência da marca Metrisa para formação dos painéis EGP com $2150 \times 224 \times 33 \text{ mm}$, conforme Figura 40. Utilizou-se na colagem cola PVA - D4 da marca Franklin Multibond X80 com pressão de 50 bar no pistão lateral e 100 bar no pistão superior por 2 minutos.

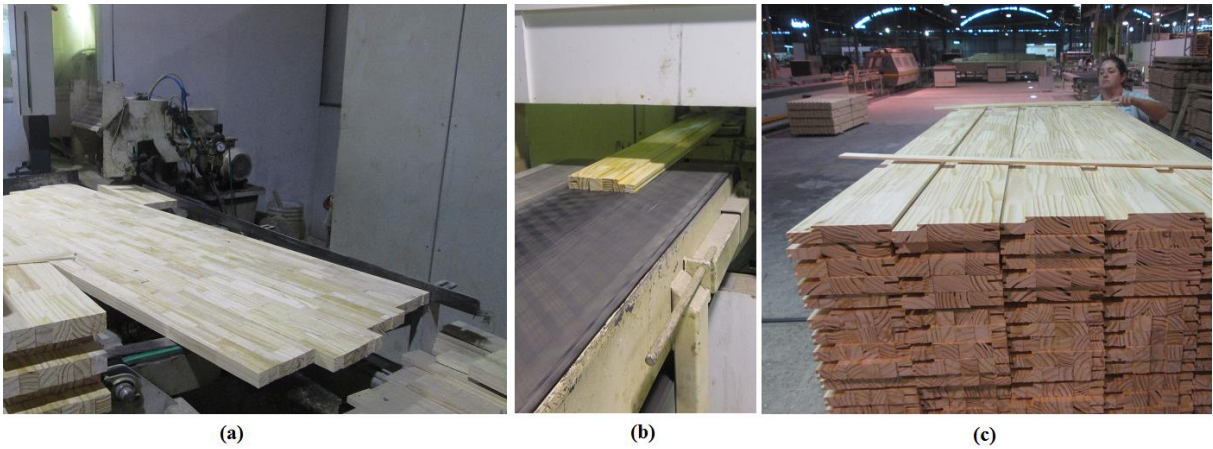
Figura 40 - Processo de prensagem e colagem: (a) aplicação do adesivo e (b) saída e estoque dos painéis



Fonte: (AUTOR, 2016)

Após formação dos painéis, os mesmos passaram por descanso de 24h. Terminado esse prazo, foram moldurados em batentes de $2150 \times 220 \times 32 \text{ mm}$ e posteriormente destopados em peças de 2120 mm de comprimento, formando assim os 48 corpos de prova com medida final de $2120 \times 220 \times 32 \text{ mm}$. O processo de molduragem e o lote de corpos de prova produzidos são mostrados na Figura 41.

Figura 41 - Processo de molduragem: (a) entrada dos painéis; (b) saída dos batentes moldurados e (c) lote de batentes



Fonte: (AUTOR, 2016)

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O método escolhido para o presente estudo foi o fatorial completo. Sendo assim, para todas as análises propostas, foram utilizados 02 fatores com 04 níveis cada um. Dessa forma foram preparados 48 corpos de provas, sendo 03 repetições para cada uma das 16 possíveis combinações, conforme prevê a ABNT-NBR 15.930-2 (2011).

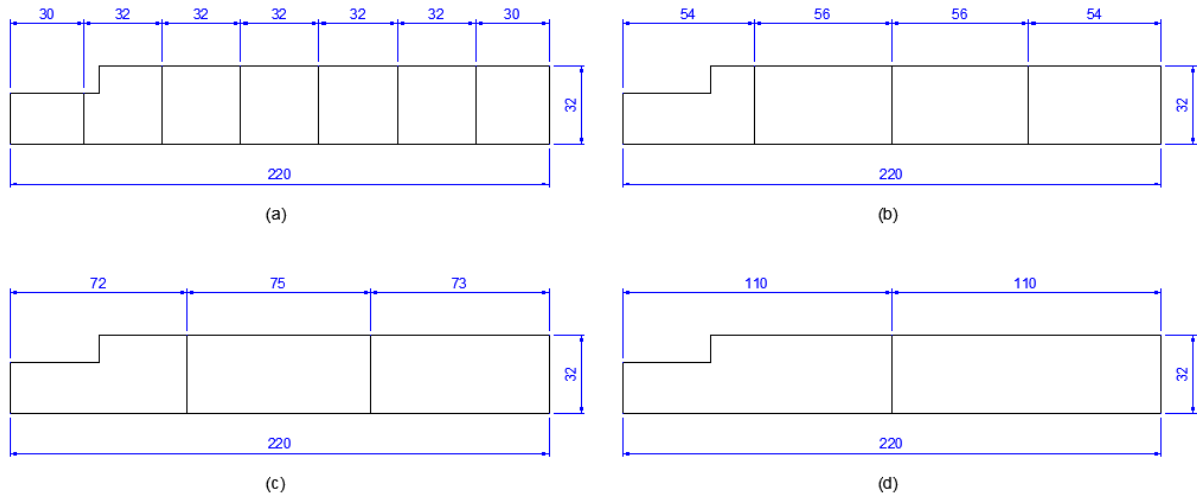
3.3.1 Fator A – Largura das lamelas

Para estudo dessa variável foram avaliados 04 níveis:

- A1 – corpo de prova preparados com 07 lamelas de 32mm;
- A2 – corpo de prova preparados com 04 lamelas de 56mm;
- A3 – corpo de prova preparados com 03 lamelas de 75mm;
- A4 – corpo de prova preparados com 02 lamelas de 112mm.

O arranjo dos 04 níveis A é mostrado na Figura 42, com o batente sendo visto de topo, após o aplainamento (molduragem do perfil) com medida final de 220 mm de largura.

Figura 42 - Arranjo físico para produção dos corpos de prova para estudo do fator A – dimensões já acabadas após aplainamento (molduragem do perfil), sendo (a) corpos de prova A1, (b) corpos de prova A2, (c) corpos de prova A3 e (d) corpos de prova A4.



Fonte: (AUTOR, 2016)

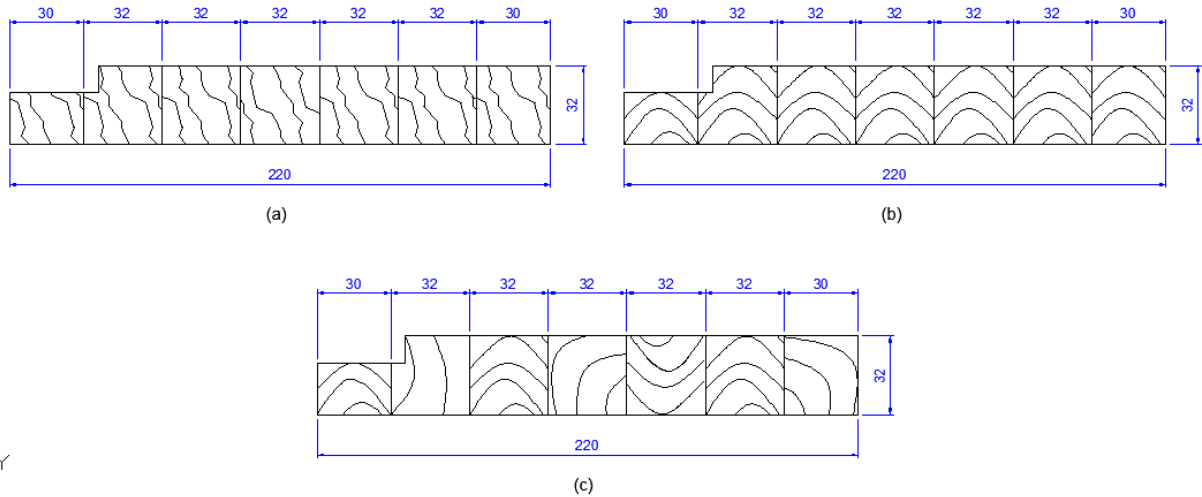
3.3.2 Fator B - Disposição dos anéis de crescimento das lamelas

Para estudo dessa variável foram avaliados 04 níveis:

- B1 – corpo de prova sem emenda longitudinal e com lamelas radiais;
- B2 – corpo de prova sem emenda longitudinal e com lamelas tangenciais numa mesma direção;
- B3 – corpo de prova sem emenda longitudinal e com lamelas tangenciais em direções cruzadas (radial + tangencial);
- B4 - corpo de prova com emenda longitudinal do tipo "*finger joint*".

O arranjo de 03 dos 04 níveis B é mostrado na Figura 43, com o batente sendo visto de topo, após o aplainamento (molduragem do perfil) com medida final de 220 mm de largura. Para o nível tipo 04, não se importou com a disposição dos anéis de crescimento, uma vez que toda a peça no sentido longitudinal possui emenda de topo do tipo *finger joint*.

Figura 43 - Arranjo físico para produção dos corpos de prova para estudo do fator B – dimensões já acabadas após aplainamento (molduragem do perfil), sendo (a) arranjo radial - corpos de prova B1, (b) arranjo tangencial - corpos de prova B2 e (c) arranjo cruzado



Y

Fonte: (AUTOR, 2016)

Dessa forma, neste trabalho foram avaliados dois fatores: i. largura das lamelas e ii. arranjo físico dos anéis de crescimento, com quatro níveis cada um, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Fatores e níveis do planejamento experimental

Fatores	Níveis			
	1	2	3	4
A - Largura das lamelas (mm)	32	56	75	112
B - Arranjo físico dos anéis de crescimento	Radial	Tangencial	Cruzado	<i>Finger joint</i>

Fonte: (AUTOR, 2016)

3.4 ENSAIOS

Os testes realizados neste trabalho foram:

- Aspecto visual da superfície dos batentes;
- Umidade antes e após o acondicionamento;
- Densidade aparente dos batentes antes e após acondicionamento;
- Variações dimensionais dos batentes em relação às dimensões nominais (VN);

- Desvios de forma e de planicidade dos batentes (empenamento): encurvamento, arqueamento e encanoamento;

3.4.1 Materiais

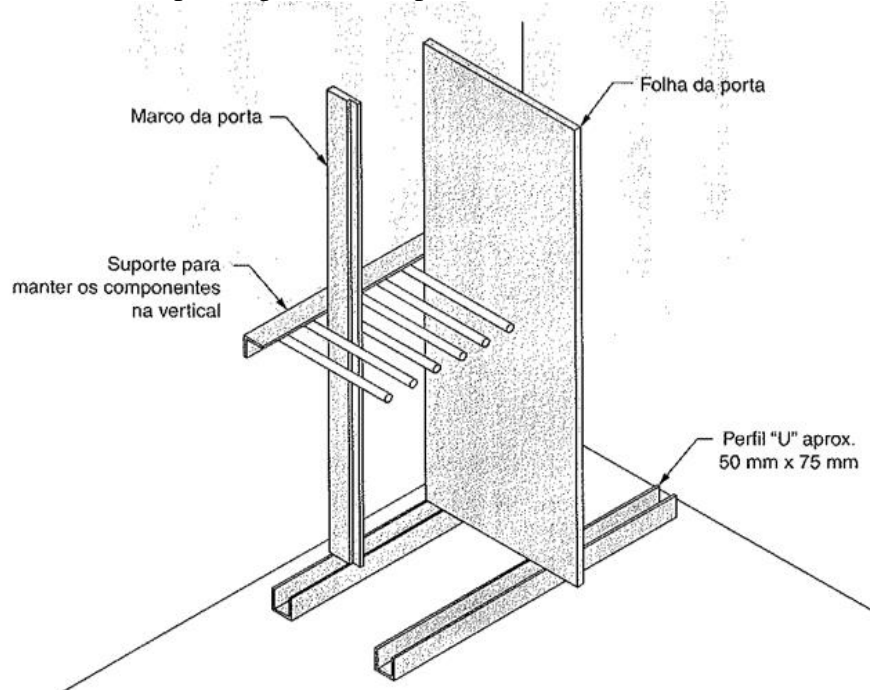
- trena de aço com resolução mínima de 1 mm e curso compatível com o comprimento das peças, ou seja, 2110 mm;
- luxímetro, escala de 100 lux a 600 lux, resolução mínima de 25 lux;
- medidor de umidade da madeira eletrônico da marca Marrari - modelo M51;
- câmara climatizada com controle de temperatura (21°C a 25 °C) e umidade relativa (45% a 55%), com capacidade de acomodar os batentes dispostos na vertical. Segundo a ABNT-NBR 15.930(2011) internamente a câmara deve conter suportes para manter os componentes na vertical de maneira a minimizar a aplicação de quaisquer esforços. As bordas inferiores devem ser apoiadas em perfis metálicos tipo "U" instalados no piso da câmara, conforme Figura 44;
- termo higrógrafo para verificação e registro das temperaturas e teores de umidade ao longo do período de acondicionamento;
- paquímetro ou micrômetro com resolução mínima de 0,1 mm e curso maior que 220 mm;
- balança para verificação da massa com resolução mínima de 0,1 kg;
- régua metálica rígida de alumínio com seção retangular de 30x70mm e espessura de 1,5 mm com comprimento superior ao do batente analisado, neste caso, acima de 2110 mm;
- duas braçadeiras metálicas móveis com distanciadores (calços idênticos) de 70 x 20 x 20 mm que permitam fixação provisória em qualquer cota da régua.

3.4.2 Método

Após preparação (colagem / aplainamento) dos corpos de provas (batentes) na fábrica, os mesmos foram embalados com plástico do tipo *stretch*, com o intuito de isolar as peças para que a troca de umidade com o ar ambiente não ocorresse até que se iniciassem os testes e o acondicionamento pré-teste previsto.

Os testes foram realizados no Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/SP.

Figura 44 - Modelo dos suportes para os componentes na câmara climatizada.

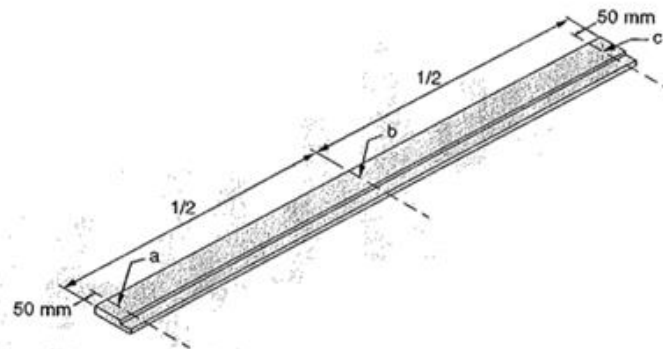


Fonte: (ABNT-NBR 15.930-2, 2011)

Os resultados foram organizados com auxílio do Excel 2007. A ordem de medição de cada corpo de prova, em seus respectivos testes, foi de forma aleatória, seguindo o planejado simulado pelo software Minitab v17, que também foi utilizado para tratamento estatístico dos dados.

Antes de iniciar os testes, os batentes tiveram suas faces mapeadas com caneta de tinta indelével, seguindo instruções da NBR 15.930 (2011), conforme croqui demonstrado na Figura 45 e numerados de 01 a 48, conforme Quadro 5. O lote total de peças produzidas para os testes é mostrado na Figura 46.

Figura 45 - Croqui com eixos de referência para batentes.



Fonte: (ABNT-NBR 15.930, 2011)

Quadro 5 – Numeração dos corpos de prova

Amostra	Ordem de medição*	Largura das lamelas	Arranjo físico dos anéis de crescimento
1	25	32 mm	lamelas radiais
2	1		
3	30		
4	26		
5	47		lamelas tangenciais
6	6		
7	2		
8	27		
9	15		lamelas cruzadas
10	18		
11	7		
12	12		
13	40	56 mm	lamelas radiais
14	29		
15	24		
16	22		
17	37		lamelas tangenciais
18	9		
19	38		
20	16		
21	41		lamelas cruzadas
22	8		
23	5		
24	44		
25	43	75 mm	lamelas radiais
26	35		
27	46		
28	14		
29	3		lamelas tangenciais
30	13		
31	32		
32	20		
33	45		lamelas cruzadas
34	10		
35	17		
36	31		
37	39	112 mm	lamelas radiais
38	48		
39	42		
40	33		
41	11		lamelas tangenciais
42	21		
43	36		
44	4		
45	28		lamelas cruzadas
46	34		
47	23		
48	19		
			lamelas com <i>finger joint</i>

*Ordem de medição determinada pelo software Minitab v17.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Figura 46 - Corpos de prova demarcados.



Fonte: (AUTOR, 2016)

3.4.2.1 Aspecto visual da superfície

Os batentes foram observados quanto a seus aspectos visuais. A verificação foi realizada a olho nu, sob iluminação de $300 \text{ lux} \pm 25$, e o observador em pé, de frente para o componente a 1m de distância. A iluminação foi disposta de maneira a não projetar sombras ou reflexos que pudessem causar prejuízo à avaliação. Ambas as faces foram avaliadas e os resultados anotados em tabela, comparando os resultados obtidos com os possíveis defeitos citados na Figura 32, como presença de fungos, medula, esmoado, furos de insetos, nós, rachaduras, fissuras etc.

3.4.2.2 Determinação da umidade antes e após o acondicionamento

Antes do acondicionamento, cada corpo de prova foi submetido a verificação de umidade através de aparelho digital da marca Marrari, modelo M51, medindo 03 pontos, conforme prevê a ABNT-NBR 15.930 (2011) e ilustrado na Figura 47. Após o acondicionamento, as medições

foram novamente efetuadas, nos mesmos pontos. Em ambos os casos, a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação foram calculados e os resultados anotados em tabela para serem analisados posteriormente.

Figura 47 - Medição de umidade do corpo de prova no ponto “a”.



Fonte: (AUTOR, 2016)

3.4.2.3 Determinação da densidade aparente antes e após o acondicionamento

Antes e após o acondicionamento, cada corpo de prova foi submetido a determinação da densidade aparente. Para isso, foram aferidas as suas massas em balança apropriada, conforme Figura 48. O resultado obtido foi utilizado na Equação (1) e a densidade aparente determinada. Em ambos os casos, a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação foram calculados e os resultados anotados em tabela para serem analisados posteriormente.

Figura 48 - Medição de massa do corpo de prova

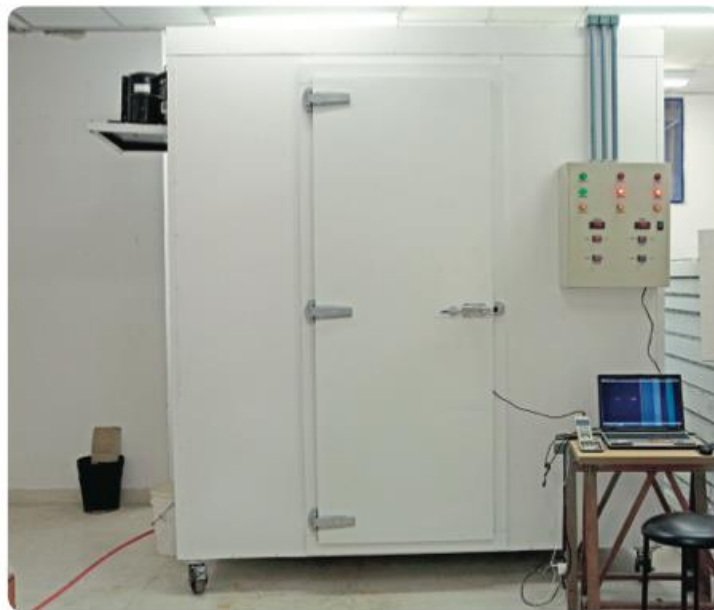


Fonte: (AUTOR, 2016)

3.4.2.4 Variações dimensionais dos batentes (largura e espessura)

Os 48 corpos de provas foram acondicionados em uma única vez, em pé em câmara climatizada e controlada (Figura 49), sem contato com o piso, durante 168 horas, com controle de temperatura e umidade relativa do ar iguais a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e a $50 \pm 5\%$, respectivamente, e registradas pelo termo higrógrafo.

Figura 49 - Vista externa da câmara de climatização do IPT



Fonte: (BARREIROS, 2013)

Na Figura 50 visualiza-se o interior da câmara de climatização com os 48 batentes acondicionados.

Passadas as 168 horas, os corpos de prova foram retirados da câmara de climatização e com o emprego de paquímetro foram verificadas as medidas da seção transversal nas posições correspondentes aos eixos a, b e c, conforme indicados na Figura 45. Foram medidas: largura e espessura do batente. Os valores foram anotados e comparados à medida inicial. Por fim, determinou-se a variação nominal (VN), ou seja, a diferença entre os valores medidos e os iniciais, levando em consideração os valores máximos de variação. Os resultados foram comparados com os valores da Figura 33.

Figura 50 - Interior da câmara de climatização



Fonte: (AUTOR, 2016)

3.4.2.5 Desvios de forma e de planicidade dos batentes (empenamento)

Nesse teste foram verificadas três formas de empenamento: o encurvamento, o arqueamento e o encanoamento de cada um dos corpos de prova. Os resultados foram comparados com os valores da Figura 34.

A) Encurvamento

Após verificação das variações dimensionais, os corpos de prova foram analisados quanto ao possível encurvamento pós-acondicionamento. Para tanto, a borda do batente (aquela que receberá o alizar) foi colocada em uma superfície plana e horizontal, de maneira a ficar totalmente apoiada.

Posicionou-se e travou-se um dos calços em uma das extremidades da régua, aplicando-a na extremidade da face aparente do batente (face que forma o vão de luz da porta - face com rebaixo), alinhado ao eixo "a". O outro calço foi posicionado e travado no eixo "c" (ver eixos na Figura 45).

Mediu-se com paquímetro o afastamento entre a régua e a face aparente do batente, no eixo "b". Subtraiu-se a medida dos calços, obtendo-se o valor do encurvamento, em mm. A

NBR determina arredondar os valores para décimo de mm. Os resultados foram anotados como valores absolutos, independente se o empenamento ocorreu para cima ou para baixo.

Na Figura 51 observa-se a medição do encurvamento no ponto b, centro do comprimento do batente.

Figura 51 - Medição do encurvamento do batente



Fonte: (AUTOR, 2016)

B) Arqueamento

Da mesma forma, pós-acondicionamento, a face longitudinal oposta do batente (aquela que ficará em contato com o vão na instalação) foi colocada em uma superfície plana e horizontal, de maneira a ficar totalmente apoiada.

Posicionou-se e travou-se um dos calços em uma das extremidades da régua, aplicando-a na extremidade da borda do batente, alinhado ao eixo "a". O outro calço foi posicionado e travado na mesma borda, no eixo "c" (ver eixos na Figura 45).

Mediu-se com paquímetro o afastamento entre a régua e a borda do batente, no eixo "b". Subtraiu-se a medida dos calços, obtendo-se o valor do arqueamento, em mm. A NBR determina arredondar os valores para décimo de mm. Os resultados foram anotados como valores absolutos, independente se o empenamento ocorreu para cima ou para baixo.

Na Figura 52 observa-se a medição do arqueamento no ponto b, centro do comprimento do batente.

Figura 52 - Medição do arqueamento do batente



Fonte: (AUTOR, 2016)

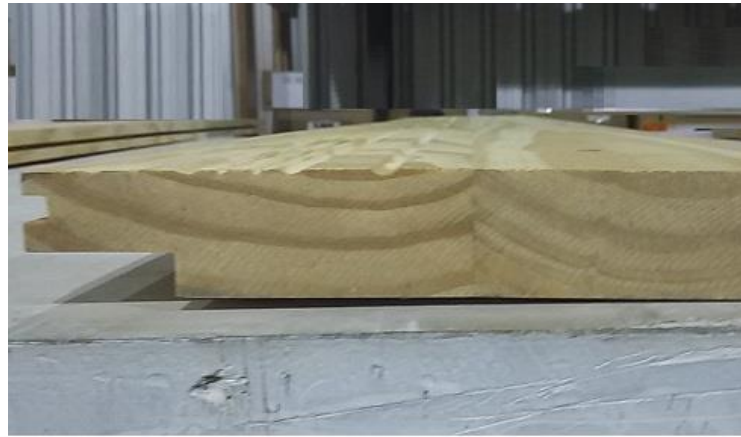
C) Encanoamento

Também pós-acondicionamento, o encanoamento da peça foi medido. A NBR 15.930 não prevê testes para esse tipo de empenamento, porém optou-se por realizá-lo pois acredita-se que esse tipo de desvio trará resultados interessantes para enriquecer a discussão das variáveis de estudo desse trabalho.

Para tanto, levou-se em consideração o mesmo método adotado nos dois testes anteriores, citados pela NBR 15.930. Posicionou-se a face do batente sobre uma superfície plana e horizontal, de maneira a ficar totalmente apoiada e com o auxílio de um paquímetro mediu-se a distância da face superior em relação à superfície plana. Posteriormente, mediu-se a espessura da mesma peça e a diferença aritmética dos resultados foi tomada como a medida do encanoamento da peça. Os resultados foram anotados como valores absolutos, independente se o empenamento ocorreu para cima ou para baixo.

Na Figura 53 observa-se a medição do encanoamento do batente.

Figura 53 - Medição do encanoamento do batente: (a) região de encanoamento e (b) medição com paquímetro



(a)



(b)

Fonte: (AUTOR, 2016)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos para as 05 diferentes análises realizadas e as discussões pertinentes a cada análise que foram feitas de maneira aleatória, conforme descrito no Quadro 5.

4.1 ASPECTO VISUAL DA SUPERFÍCIE

Os resultados da análise visual de superfície, após o acondicionamento das peças são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados da análise visual de superfície

Peça	Resultado	Peça	Resultado	Peça	Resultado	Peça	Resultado
01	nada a relatar	13	nada a relatar	25	nada a relatar	37	nada a relatar
02	nada a relatar	14	nada a relatar	26	nada a relatar	38	nada a relatar
03	nada a relatar	15	nada a relatar	27	nada a relatar	39	nada a relatar
04	nada a relatar	16	nada a relatar	28	nada a relatar	40	nada a relatar
05	nada a relatar	17	nada a relatar	29	nada a relatar	41	nada a relatar
06	nada a relatar	18	nada a relatar	30	nada a relatar	42	nada a relatar
07	nada a relatar	19	nada a relatar	31	nada a relatar	43	nada a relatar
08	nada a relatar	20	nada a relatar	32	nada a relatar	44	nada a relatar
09	nada a relatar	21	nada a relatar	33	nada a relatar	45	nada a relatar
10	nada a relatar	22	nada a relatar	34	nada a relatar	46	nada a relatar
11	nada a relatar	23	nada a relatar	35	nada a relatar	47	nada a relatar
12	nada a relatar	24	nada a relatar	36	nada a relatar	48	nada a relatar

Fonte: (AUTOR, 2016)

Nenhuma das 48 amostras apresentaram qualquer modificação ou defeito em ambas as faces da superfície após acondicionamento. Dessa forma, segundo ABNT-NBR 15.930-2 (2011), comparando os dados com as referências apresentadas na Figura 32, pode-se classificar todas as peças testadas no padrão A.

Isso era esperado, já que todas as peças no momento da preparação dos corpos de prova foram produzidas com lamelas isentas de qualquer defeito. Dessa forma, foi verificado que

independente do tamanho das lamelas ou do arranjo físico adotado, o acondicionamento não ocasionou nenhum tipo de imperfeição, ou seja, o aspecto visual das peças foi mantido.

4.2 UMIDADE ANTES E APÓS O ACONDICIONAMENTO

O teor de umidade (TU) foi medido em três pontos de cada peça, como descrito no item 3.4.2.2, antes e após acondicionamento padrão. O TU neste trabalho não foi considerado como uma variável, pelo contrário, considerou-se que todas as peças tinham TU entre 8% a 12%. A medição do TU nas peças tem por objetivo: i. avaliar se as peças realmente apresentaram valores de umidade dentro da faixa pretendida e ii. possuir dados para discussão do quanto os fatores estudados influenciaram na umidade final da peça, por isso a análise principal neste caso é a da variação do teor de umidade, ou seja, a diferença entre TU_i e TU_f , ou seja ΔTU .

Na Tabela 2 são apresentados os valores mínimos e máximos encontrados para TU antes e após o acondicionamento (TU_i e TU_f , respectivamente) além dos resultados estatísticos da média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV). N é o número de amostras.

Tabela 2 – Resultados dos teores de umidade médio antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
TU_i (%)	48	8,4%	11,3%	15,5%	1,55%	13,64
TU_f (%)	48	9,7%	12,3%	14,0%	1,12%	9,15
ΔTU^* (%)	48	-1,6%	1,0%	3,4%	-	-

Nota: * $\Delta TU = (TU_f - TU_i / TU_i)$.

ΔTU negativo significa perda de umidade.

Os valores mínimo e máximo de ΔTU foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não apenas as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Pelos valores medidos, observa-se que as peças possuíam antes do acondicionamento um teor de umidade de 8,4% a 15,5%, com média de 11,3%. A média manteve-se dentro da faixa pretendida (8% a 12%), porém 12 peças ficaram acima de 12% de umidade inicial.

Após o acondicionamento, o TU passou para a faixa de 9,7% a 14,0%, com média de 12,3%, um aumento médio de 1%. Cabe ressaltar, que o TU mínimo também subiu de 8,4% para 9,7%, porém o TU máximo diminuiu de 15,5% para 14,0%. Podemos confirmar com esse teste que ao se manter as peças na câmara de climatização, as mesmas atingiram certa umidade de equilíbrio, quando passaram de 11,3% para 12,3%, fato previsto por Franzoi (1992),

Gonçalves (2000) e Peña e Rojas (2006). Observa-se ainda que houve uma diminuição na dispersão dos dados, uma vez que o CV diminuiu, garantindo maior homogeneidade da umidade do lote após acondicionamento.

Quanto a variação de umidade (ΔTU), das 48 peças climatizadas, 08 perderam umidade e as demais ganharam umidade, sendo que as peças que perderam umidade, possuíam TU_i médio acima de 13,1%. Essa capacidade de perder ou ganhar umidade era prevista e foi citada por Peña e Rojas (2006) como higroscopicidade.

Verifica-se, portanto, que, no geral, o lote de peças quando acondicionado em câmara climatizada por 07 dias com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 5\%$, ganhou umidade.

Efetuada em seguida a análise de variância (ANOVA) para a variação de umidade ΔTU ocorrida na climatização, a fim de determinar o efeito dos dois fatores estudados - largura das lamelas e arranjo dos anéis - de forma isolada e a interação entre eles, tem-se que nenhum dos fatores atingiu um nível de significância de pelo menos 10%, ou seja, tem-se que nenhum desses fatores, de forma isolada ou combinada, contribuiu para uma tendência de variação de umidade. Os resultados da análise ANOVA são observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise de variância para as médias de ΔTU

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	2,744	0,9147	0,47	0,708
Anéis (B)	3	7,388	2,4625	1,25	0,306
A x B	9	14,528	1,6142	0,82	0,600
Erro residual	32	62,793	1,9623		
Total	47	87,452			
$R^2 = 0,2820$					
$R^2_a = 0,0001$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se a partir dos dados da Tabela 3 que o fator que mais influenciou na variação de umidade foi o arranjo dos anéis de crescimento (B). Mesmo assim, o valor de 0,306 de P mostra que o nível de significância é de 30%, bem acima dos pelo menos 10% tomados como aceitáveis ou ainda dos 5% desejáveis. Já para a largura das lamelas (A), o valor de P foi de

0,708, muito acima do limite aceitável para significância. A interação largura das lamelas x arranjo dos anéis (A x B) teve como $P = 0,6$ e $F = 0,82$.

Com $R_a^2 = 0,0001$ tem-se que nenhum dos dois fatores influenciaram na variação de umidade das peças, ou seja, o tempo de climatização se mostrou eficiente para todas as peças, independentemente do tipo de painel construído. Isso confirma o citado por Franzoi (1992) que a umidade de equilíbrio da madeira independe do tipo de madeira e da quantidade de lenho primaveril ou outonal.

4.3 DENSIDADE APARENTE ANTES E APÓS O ACONDICIONAMENTO

Outro dado levantando no estudo foi a densidade aparente (ρ_a) de cada amostra, antes e após o acondicionamento. A densidade neste trabalho não foi considerada como uma variável, pelo contrário, considerou-se que todas as peças teriam como densidade aparente valores entre 400 kg.m^{-3} e 600 kg.m^{-3} .

A verificação da densidade aparente nas peças tem por objetivo: i. avaliar se as peças realmente apresentaram valores de densidade dentro da faixa pretendida e ii. ter dados para discussão do quanto os fatores estudados influenciaram na variação de densidade média aparente ($\Delta\rho_a$), ou seja, a diferença entre a densidade média inicial (antes do acondicionamento) e a densidade média final (após o acondicionamento).

Os valores mínimos e máximos encontrados para ρ_a antes e após o acondicionamento (ρ_{ai} e ρ_{af} , respectivamente) e também os resultados estatísticos da média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da densidade aparente antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
$\rho_{ai} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$	48	380,98	468,81	558,80	47,36	10,10
$\rho_{af} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$	48	376,88	471,32	571,01	49,78	10,56
$\Delta\rho_a \text{ (%)}$		-2,79%	0,49%	3,23%	-	-

Nota: * $\Delta\rho_a = (\rho_{af} - \rho_{ai} / \rho_{ai})$

$\Delta\rho_a$ negativo significa diminuição na densidade

Os valores mínimo e máximo de $\Delta\rho_a$ foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não apenas as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Pelos valores medidos, observa-se que as peças possuíam antes do acondicionamento uma densidade aparente na faixa de $380,98 \text{ kg.m}^{-3}$ a $558, \text{ kg.m}^{-3}$, com média de $468,81 \text{ kg.m}^{-3}$. A média manteve-se dentro da faixa pretendida (400 kg.m^{-3} a 600 kg.m^{-3}), porém 06 peças apresentaram densidade abaixo de 400 kg.m^{-3} .

Após o acondicionamento, a ρ_a passou para a faixa de $376,88 \text{ kg.m}^{-3}$ a $571,01 \text{ kg.m}^{-3}$, com média de $471,32 \text{ kg.m}^{-3}$, um aumento médio de 0,54%. As densidades aparentes ficaram dentro da faixa também encontrada por Ballarin e Palma (2003), porém com CV de 10,56%, enquanto os autores tiveram um CV de 14,63%.

Quanto a variação de densidade aparente ($\Delta\rho_a$), 12 peças das 48 amostras tiveram diminuição na densidade, entre 0,04% e 1,52%. As demais tiveram aumento na densidade, na faixa de 0,07% a 3,23%.

Para explicar esse fato, já que a densidade é uma razão entre a massa e o volume de uma peça, precisa-se analisar o comportamento dessas duas variáveis. Os dados mínimo, máximo e médio, desvio-padrão e CV para a massa e o volume das peças são mostrados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Resultados das massas antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
m_i (kg)	48	5,686	6,997	8,340	0,707	10,10
m_f (kg)	48	5,700	7,077	8,530	0,740	10,46
Δm (%)		-1,18%	1,12%	4,12%	-	-

Nota: * $\Delta m = (m_f - m_i) / m_i$

Δm negativo significa diminuição na massa

Os valores mínimo e máximo de Δm foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não apenas as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Tabela 6 – Resultado dos volumes antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
v_i (m^3)	48	0,01492	0,01492	0,01492	0,0000	0,00
v_f (m^3)	48	0,01485	0,01502	0,01527	0,0009	0,61
Δv (%)		-0,50%	0,62%	2,34%	-	-

Nota: * $\Delta v = (v_f - v_i) / v_i$

Δv negativo significa diminuição no volume

Os valores mínimo e máximo de Δv foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se pelos dados de massa que Δm mínimo de -1,18% significa que algumas peças tiveram diminuição em sua massa. Consultando os dados gerais de cada peça, tem-se que foram 12 peças e exatamente as que perderam teor de umidade, ou seja, se a peça perdeu umidade obrigatoriamente perdeu massa ao mesmo tempo. E da mesma forma que ocorreu com a média do teor de umidade, no geral as peças tiveram aumento de massa (1,12%).

Outro ponto importante a ressaltar sobre a massa é que o valor mínimo após acondicionamento subiu de 5,686 kg (amostra número 35) para 5,700 kg (amostra número 24), ou seja, as peças que perderam massa não passaram do limite mínimo que já estava a amostra número 35, que teve aumento de massa. Isso mostra a busca das peças para o equilíbrio.

Com relação aos dados de volume das peças, apenas 06 peças perderam volume, fazendo com que Δv mínimo fosse de -0,50%. Na média, o lote de peças teve um aumento de volume na ordem de 0,62%.

Verifica-se, portanto, que, no geral, o lote de peças quando acondicionado em câmara climatizada por 07 dias com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 5^\circ\text{C}$, teve sua densidade aparente aumentada. Isso pode ser explicado pelo fato das peças terem o teor de umidade médio também aumentado.

O aumento da umidade média em 1% provocou aumento de massa (1,12%) e conseqüentemente, aumento de densidade média (0,49%) e também houve aumento de volume médio (0,62%), isso nos faz acreditar que a maioria das peças adquiriu água de impregnação, água capaz de aumentar o volume da peça, conforme citado por Kollmann (1959), Franzoi (1992) e Gonçalves (2000).

Efetuada em seguida a análise de variância (ANOVA) para a variação de densidade aparente ($\Delta\rho_a$) ocorrida na climatização, a fim de determinar o efeito dos dois fatores estudados - largura das lamelas e arranjo dos anéis - de forma isolada e a interação entre eles, tem-se que nenhum atingiu um nível de significância de pelo menos 10%, ou seja, tem-se que nenhum desses fatores, de forma isolada ou combinada, contribuiu para uma tendência de variação de densidade. Os resultados dessa análise ANOVA são observados na Tabela 7.

Observa-se por esses dados que o fator que mais influenciou na variação de densidade foi o arranjo dos anéis de crescimento (B), assim como ocorreu no teste anterior de variação de umidade. Mesmo assim, o valor de 0,691 de P mostra que o nível de significância é de aproximadamente 70%, bem acima dos pelo menos 10% tomados como aceitáveis ou ainda dos 5% desejáveis. Já para a largura das lamelas (A), o valor de P foi de 0,955, muito acima do limite aceitável para significância, e aceito como normal, já que a largura dos sarrafos num

painel EGP não deve mesmo interferir na densidade do mesmo, já que a densidade é uma propriedade física ligada a anatomia da madeira, conforme Pfeil e Pfeil (2003). A interação largura das lamelas x arranjo dos anéis (A x B) teve como $P = 0,814$ e $F = 0,57$.

Tabela 7 - Análise de variância para as médias de $\Delta\rho_a$

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	0,3934	0,1311	0,11	0,955
Anéis (B)	3	1,7943	0,5981	0,49	0,691
A x B	9	6,2184	0,6909	0,57	0,814
Erro residual	32	39,0266	1,2196		
Total	47	47,4327			
$R^2 = 0,1772$					
$R^2_a = 0,0001$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Dessa forma, com $R^2_a = 0,0001$ tem-se que nenhum dos dois fatores influenciaram na variação de densidade das peças.

4.4 VARIAÇÕES DIMENSIONAIS DOS BATENTES EM RELAÇÃO ÀS DIMENSÕES NOMINAIS (VN)

Neste trabalho, a análise das variações dimensionais dos batentes leva em conta duas dimensões: a largura e a espessura dos mesmos. O objetivo é avaliar se as variações estão dentro das permitidas pela ABNT NBR 15.930-2 (2011) e se os fatores largura das lamelas e arranjo dos anéis de crescimento influenciam nessa variação.

4.4.1 Estudo da variação da largura dos batentes

Os valores mínimos e máximos encontrados para a largura do batente antes e após acondicionamento (L_i e L_f , respectivamente), para a variação de largura (ΔL) e também os resultados estatísticos da média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para essas variáveis são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado das larguras dos batentes antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
L_i (mm)	48	219,95	220,00	220,10	0,02	0,01
L_f (mm)	48	219,40	220,41	221,50	0,49	0,22
ΔL (mm)		-0,60	0,41	1,50	-	-
ΔL (%)		-0,27%	0,19%	0,68%		

Nota: * $\Delta L = (L_f - L_i / L_i)$

ΔL negativo significa diminuição na largura

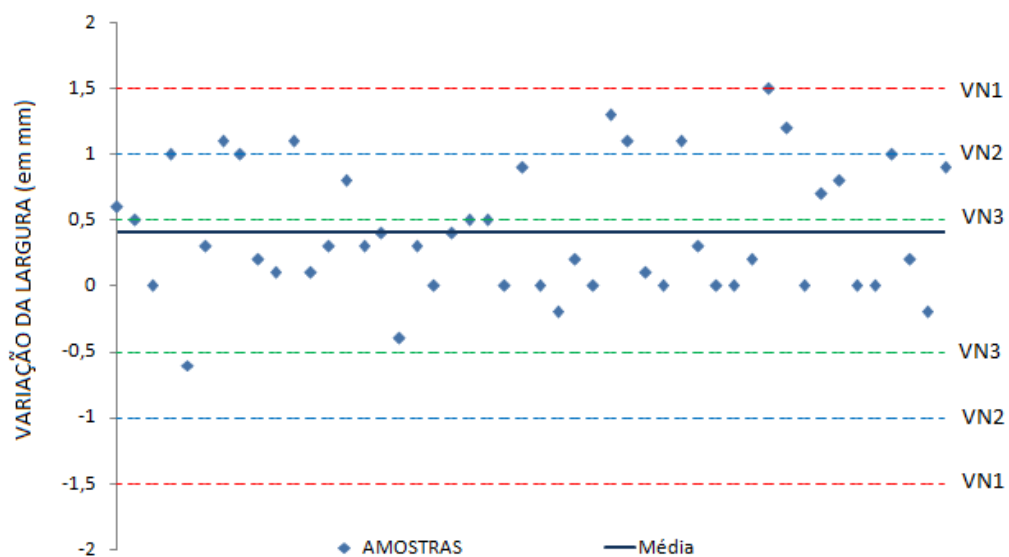
Os valores mínimo e máximo de ΔL foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não apenas as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

Pelos valores medidos, observa-se que as peças apresentaram, após acondicionamento, larguras na faixa de 219,40 mm a 221,50 mm, tendo o lote como média, um acréscimo de 0,41 mm, ou 0,19%. Isso é justificado pelo fato da grande maioria das peças terem recebido umidade, aumentando assim suas dimensões, dando indício mais uma vez que a umidade recebida é a água de impregnação. Tais valores estão dentro do citado por River e Okkonen (1991) para a madeira de *white pine*.

Comparando esses dados de variação de largura, com os permitidos pela ABNT-NBR 15.930-2 (2011) - Figura 33 – vê-se pela Figura 54 que todas as peças ficaram dentro do limite mínimo e máximo de variação, recebendo pelo menos a classificação VN1 = 1,5.

Figura 54 - Gráfico de dispersão para a variação de largura



Fonte: (AUTOR, 2016)

Do total de 48 peças, 31 peças (64,58%) apresentaram até 0,5 mm de variação, e podem ser consideradas, portanto, como VN3; 10 peças (20,83%) com variação de largura entre 0,5 mm e 1,0 mm, classificadas como VN2; e 7 peças (14,58%) com variação de 1,0 mm a 1,5 mm, consideradas VN1.

Efetuada a análise de variância (ANOVA) para a variação de largura (ΔL) ocorrida na climatização, a fim de determinar o efeito dos dois fatores estudados - largura das lamelas e arranjo dos anéis - de forma isolada e a interação entre eles, tem-se que nenhum atingiu um nível de significância de pelo menos 10%, ou seja, tem-se que nenhum desses fatores, de forma isolada ou combinada, contribuiu para uma tendência de variação de largura. Os resultados da análise ANOVA para a largura são observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise de variância para as médias de ΔL

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	0,2856	0,09521	0,19	0,900
Anéis (B)	3	0,5356	0,17854	0,36	0,779
A x B	9	2,7169	0,30187	0,62	0,775
Erro residual	32	15,6867	0,49021		
Total	47	19,2248			
$R^2 = 0,1840$					
$R^2_a = 0,0001$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se a partir desses dados da Tabela 9 que o fator que mais influenciou na variação de largura foi o arranjo dos anéis de crescimento (B), assim como ocorreu nos testes anteriores de variação de umidade e de densidade. Mesmo assim, o valor de 0,779 de P mostra que o nível de significância é de aproximadamente 78%, bem acima dos pelo menos 10% tomados como aceitáveis ou ainda dos 5% desejáveis. Já para a largura das lamelas (A), o valor de P foi de 0,900, muito acima do limite aceitável para significância. A interação largura das lamelas x arranjo dos anéis (A x B) teve como P = 0,775 e F = 0,62.

A não influência desses dois fatores na variação de largura deve-se ao fato de que o que mais contribuiu para a contração ou inchamento (diminuição ou aumento) da peça, em uma, duas ou três dimensões é a largura do painel EGP e não o tamanho das lamelas e/ou o arranjo

físicos dos anéis dos sarrafos. Dessa forma, batentes de até 220 mm sofreram no máximo 1,5 mm, ou seja, 0,75%, para um aumento médio de 1% no teor de umidade. Esses valores estão dentro índices mencionados por River e Okkonen (1991). Dessa forma, com $R^2_a = 0,0001$ tem-se que nenhum dos dois fatores influenciaram na variação de largura das peças.

4.4.2 Estudo da variação da espessura dos batentes

Os valores mínimos e máximos encontrados para a espessura do batente antes e após acondicionamento (e_i e e_f , respectivamente), da variação de espessura (Δe) e também os resultados estatísticos da média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para essas variáveis são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado das espessuras dos batentes antes e após acondicionamento

	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
e_i (mm)	48	31,95	32,00	32,10	0,02	0,06%
e_f (mm)	48	32,00	32,14	32,56	0,14	0,42%
Δe (mm)		0,00	0,14	0,56	-	-
Δe (%)		0,00%	0,06%	0,25%		

Nota: * $\Delta e = (e_f - e_i / e_i)$

Δe negativo significa diminuição na espessura

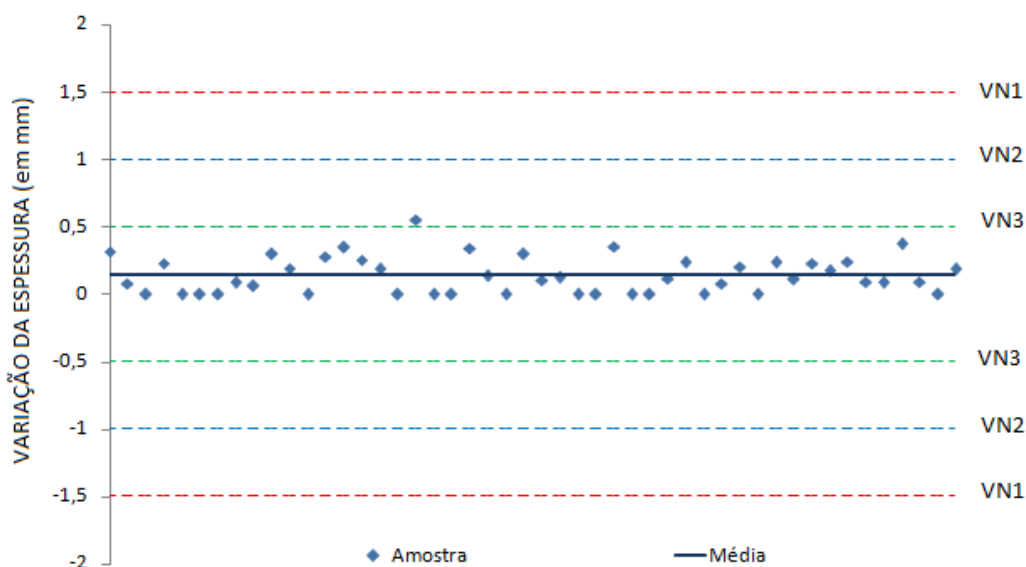
Os valores mínimo e máximo de Δe foram calculados levando-se em conta as 48 amostras e não apenas as que apresentaram os menores e maiores valores.

Fonte: (AUTOR, 2016)

As peças apresentaram, após acondicionamento, espessuras na faixa de 32,00 mm a 32,56 mm, tendo o lote como média 32,14 mm, um acréscimo de 0,14 mm, ou 0,44%. Isso é justificado pelo fato da grande maioria das peças terem recebido umidade, aumentando assim suas dimensões, dando indício mais uma vez que a umidade recebida é a água de impregnação. Não foram encontrados registros na literatura de índices de aumento ou diminuição de espessura de painel EGP para que pudessem ser comparados aos dados desse trabalho.

Comparando esses dados de variação de espessura, com os permitidos pela ABNT-NBR 15.930-2 (2011) - Figura 33 - vemos pela Figura 55 que todas as peças ficaram dentro do limite mínimo e máximo de variação para $VN2 = 1,0$.

Figura 55 - Gráfico de dispersão para a variação de espessura



Fonte: (AUTOR, 2016)

Do total de 48 amostras, 47 peças (97,92%) tiveram até 0,5 mm de variação e por isso são consideradas, portanto, como VN3 e apenas 01 peça (2,08%) – amostra número 18 - com variação de 0,5 mm a 1,0 mm, considerada como VN2.

Os resultados da análise ANOVA para a espessura são observados na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de variância para as médias de Δe

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	0,07644	0,025478	1,23	0,316
Anéis (B)	3	0,02023	0,006742	0,32	0,807
A x B	9	0,10174	0,011304	0,54	0,831
Erro residual	32	0,66410	0,020753		
Total	47	0,86250			
$R^2 = 0,2300$					
$R^2_a = 0,0001$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Efetuada a análise de variância para a variação de espessura (Δe) ocorrida na climatização, a fim de determinar o efeito dos dois fatores estudados - largura das lamelas e arranjo dos anéis - de forma isolada e a interação entre eles, tem-se que nenhum atingiu um

nível de significância de pelo menos 10%, ou seja, tem-se que nenhum desses fatores, de forma isolada ou combinada, contribuiu para uma tendência de variação de largura.

Diferentemente do que se observou até agora, o fator que mais influenciou na variação de espessura foi a largura das lamelas (A), mesmo assim, o valor de 0,316 de P mostra que o nível de significância é de aproximadamente 32%, bem acima dos pelo menos 10% tomados como aceitáveis ou ainda dos 5% desejáveis. Já para o arranjo físico dos anéis (B), o valor de P foi de 0,807, muito acima do limite aceitável para significância. A interação largura das lamelas x arranjo dos anéis (A x B) teve como $P = 0,831$ e $F = 0,54$.

A não influência desses dois fatores na variação de espessura mostra que independente do tipo de arranjo de anéis ou da largura dos sarrafos, o inchamento ou contração irão ocorrer seja qual for o arranjo produtivo. Dessa forma, com $R^2_a = 0,0001$ tem-se que nenhum dos dois fatores influenciaram na variação de espessura das peças.

4.5 DESVIOS DE FORMA E DE PLANICIDADE DOS BATENTES (EMPENAMENTO) - ENCURVAMENTO, ARQUEAMENTO E ENCANOAMENTO DA PEÇA

A análise dos desvios de forma e de planicidade dos batentes foi feita em três partes: i. para o encurvamento; ii. para o arqueamento e iii. para o encanoamento, apesar deste último não ser solicitado pela ABNT NBR 15.930-2 (2011). O objetivo da análise foi avaliar se as ocorrências estão dentro dos limites permitidos pela referida norma e se os fatores largura das lamelas e arranjo dos anéis de crescimento influenciam nesses três desvios.

Os valores mínimos e máximos encontrados para esses três desvios e também os resultados estatísticos da média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) estão mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados dos desvios dos batentes após acondicionamento

Desvios	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio-padrão	CV (%)
Encurvamento (mm)	48	0,20	2,96	10,00	2,15	72,69%
Arqueamento (mm)	48	0,00	0,38	1,10	0,25	65,67%
Encanoamento (mm)	48	0,10	0,38	1,20	0,23	61,81%

Fonte: (AUTOR, 2016)

Os resultados da Tabela 12, especificamente CV de 72,69%, 65,67% e 61,81%, para encurvamento, arqueamento e encanoamento, respectivamente, mostram que a variação nos três desvios foi grande.

A análise da variância (ANOVA) nos fornece então dados que comprovam que os dois fatores estudados: largura das lamelas e arranjo físico (ou orientação) dos anéis de crescimento exercem influência nos três desvios e que a interação entre os dois fatores também exerceu tal influência. Com nível de significância de 1% existiu diferença estatística entre os dados coletados.

Os dados das Tabelas 13, 14 e 15 mostram que é grande a interação dos fatores perante as três formas de desvio. Devido a isso, tratou-se cada um deles de forma individual.

Tabela 13 - Análise de variância para as médias de encurvamento

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	17,879	5,9597	19,87	0,000
Anéis (B)	3	44,042	14,6808	48,94	0,000
A x B	9	146,134	16,2371	54,12	0,000
Erro residual	32	9,600	0,3000		
Total	47	217,655			
$R^2 = 0,9559$					
$R^2_a = 0,9352$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Tabela 14 - Análise de variância para as médias de arqueamento

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	0,3033	0,10111	4,08	0,000
Anéis (B)	3	0,5400	0,18000	7,26	0,015
A x B	9	1,2133	0,13481	5,44	0,001
Erro residual	32	0,7933	0,02479		
Total	47	2,8500			
$R^2 = 0,7216$					
$R^2_a = 0,5912$					

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

Tabela 15 - Análise de variância para as médias de encanoamento

Fator	GL	SQ	SMQ	F	P
Largura (A)	3	0,6603	0,22008	19,17	0,000
Anéis (B)	3	0,3875	0,12917	11,25	0,000
A x B	9	1,1661	0,12957	11,29	0,000
Erro residual	32	0,3674			
Total	47	2,5812			

$R^2 = 0,8577$
 $R^2_a = 0,7010$

Legenda: Grau de Liberdade (GL); Soma dos Quadrados (SQ), Soma Média Quadrática (SMQ), Estatística F (SMQ / SMQ erro); Resultado de p-valor (P); Coeficiente de Determinação (R²) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R²_a)

Fonte: (AUTOR, 2016)

4.5.1 Estudo da interação dos fatores no encurvamento

Na Tabela 16 tem-se as médias e desvios-padrões do encurvamento após o acondicionamento. A ABNT-NBR 15.930-2 (2011) determina 3 mm como valor máximo de encurvamento para batentes VN1 (Figura 34).

Tabela 16 - Valores médios do encurvamento em mm após acondicionamento

	Radial	Tangencial	Cruzada	Finger	Média
L32	2,5 (0,4)	2,8 (0,4)	2,6 (0,5)	4,1 (0,9)	3,0 (0,8)
L56	2,7 (0,5)	2,6 (0,3)	0,8 (0,1)	2,4 (0,2)	2,1 (0,9)
L75	9,6** (0,3)	0,9 (0,7)	0,4* (0,3)	4,4 (1,2)	3,9 (4,3)
L112	3,1 (0,3)	3,4 (0,9)	3,9 (0,1)	1,0 (0,2)	2,9 (1,3)
Média	4,5 (3,4)	2,5 (1,1)	1,9 (1,6)	3,0 (1,6)	

Obs: valor entre parênteses refere-se ao desvio-padrão. Valores em vermelho são resultados acima do permitido pela ABNT-NBR 15.930-2 (2011)

* Melhor combinação - menor encurvamento ** Pior combinação - maior encurvamento

Fonte: (AUTOR, 2016)

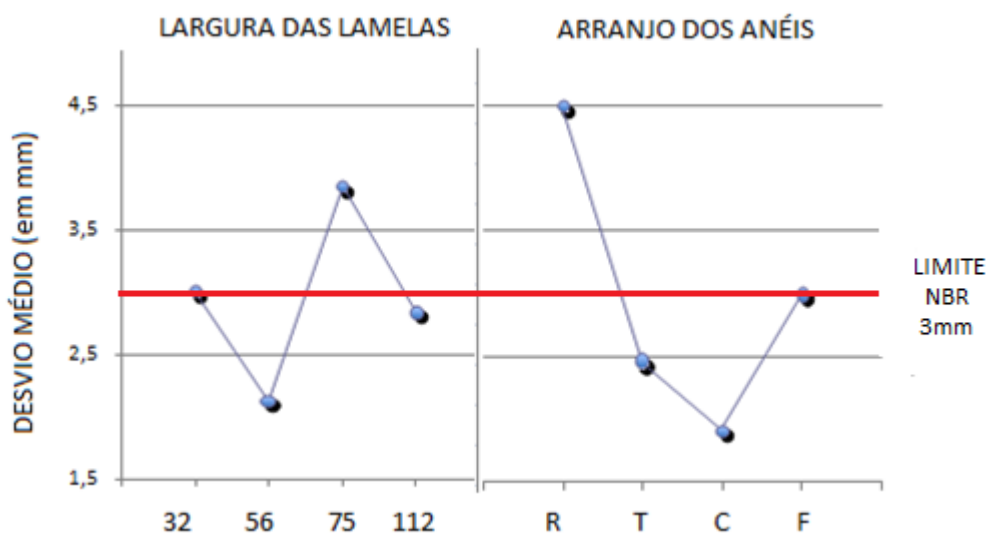
Observa-se que a combinação para o melhor desempenho do painel no caso do encurvamento se deu para o batente construído com lamelas de 75mm e orientação dos anéis de forma cruzada, cujo valor médio de encurvamento foi de 0,4 mm. Já a pior combinação está

também para batentes produzidos com lamela de 75mm, porém orientação radial. Tal resultado confirma a afirmação de Iwakiri (2005), Gonzaga (2006) e Nicholls (2010) de que a orientação cruzada é a melhor opção para a construção do painel EGP.

Deve-se também levar em conta a recomendação de Iwakari (2005) de não se usar sarrafos com largura acima de 100 mm. Isso fica comprovado pelos resultados da Tabela 16. Com exceção da construção com peças de *finger joint*, os demais arranjos para sarrafos com 112 mm tiveram encurvamento acima de 3 mm, fora do limite máximo ditado pela norma.

Dessa forma, observa-se na Figura 56 as linhas de tendência das médias para os dois fatores estudados.

Figura 56 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – encurvamento

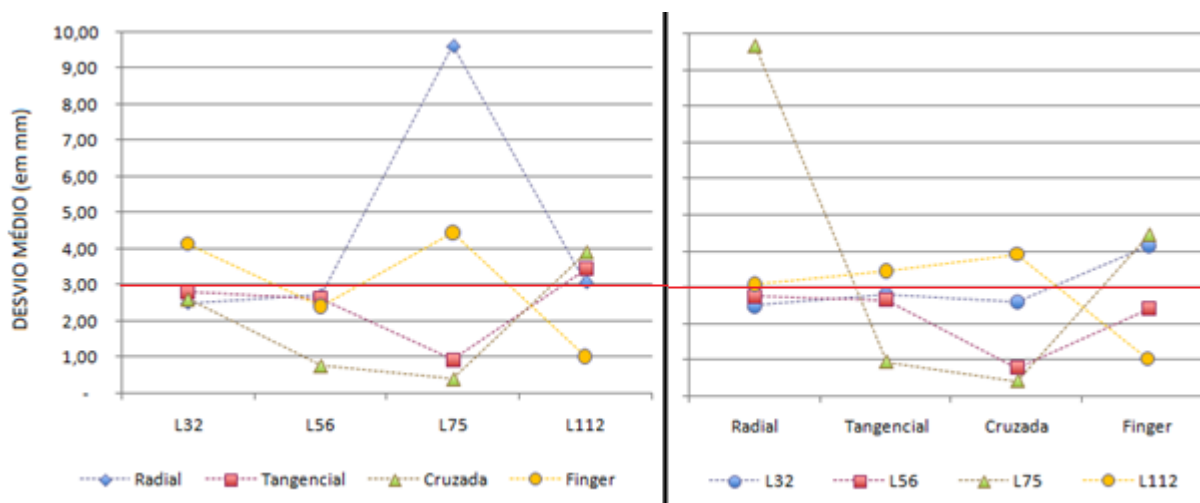


Fonte: (AUTOR, 2016)

Através da Figura 56, verificando de forma isolada as médias de cada fator para o encurvamento, observa-se que a melhor opção é a largura dos sarrafos (fator A) de 56 mm (nível 2) e no caso da orientação de anéis (fator B), a melhor opção fica com o arranjo de lamelas cruzadas (nível 3), ou seja, combinação A2B3. A combinação A3B1, ou seja, painel com lamela de 75 mm e orientação dos sarrafos na forma radial, é a pior opção para o encurvamento.

A interação dos dois fatores e quatro níveis para o encurvamento é mostrada na Figura 57.

Figura 57 - Interação dos fatores com as médias de encurvamento



Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se que (a) painéis com lamelas de 32 mm e 56 mm estão dentro do limite de encurvamento, já painéis com 75 mm ou 112 mm devem ser evitados, a não ser painéis com 75mm e orientação tangencial ou cruzada. (b) a orientação radial deve ser evitada para sarrafos de 75 mm e superiores; a tangencial e a cruzada deve ser evitada para sarrafos com 112 mm e na orientação *finger* tem-se como ponto ótimo o painel com sarrafos de 112 mm.

4.5.2 Estudo da interação dos fatores no arqueamento

Na Tabela 17 tem-se as médias e desvios-padrões do arqueamento após o acondicionamento. A ABNT-NBR 15.930-2 (2011) determina 2 mm como valor máximo de encurvamento para batentes VN1 (Figura 34).

Observa-se que houve 04 melhores combinações para o melhor desempenho do painel no caso do arqueamento, cujo valor foi de 0,17 mm: i. lamelas de 32mm e orientação dos anéis de forma cruzada; ii. lamelas de 56 mm e orientações radial e *finger* e iii. lamelas de 112 mm e orientação radial. Já a pior combinação foi para batentes produzidos com lamela de 32mm, porém com orientação *finger*. Tal resultado confirma novamente a afirmação de Iwakiri (2005), Gonzaga (2006) e Nicholls (2010) de que a orientação cruzada é a melhor opção para a construção do painel EGP.

Tabela 17 - Valores médios do arqueamento em mm após acondicionamento

	Radial	Tangencial	Cruzada	Finger	Média
L32	0,30 (0,17)	0,47 (0,06)	0,17* (0,06)	0,80** (0,26)	0,43 (0,27)
L56	0,17* (0,06)	0,43 (0,31)	0,30 (0,17)	0,17* (0,06)	0,27 (0,13)
L75	0,27 (0,21)	0,47 (0,15)	0,30 (0,0)	0,30 (0,20)	0,33 (0,09)
L112	0,17* (0,15)	0,73 (0,15)	0,73 (0,06)	0,23 (0,06)	0,47 (0,31)
Média	0,23 (0,07)	0,53 (0,14)	0,38 (0,25)	0,38 (0,29)	

Obs: valor entre parênteses refere-se ao desvio-padrão.

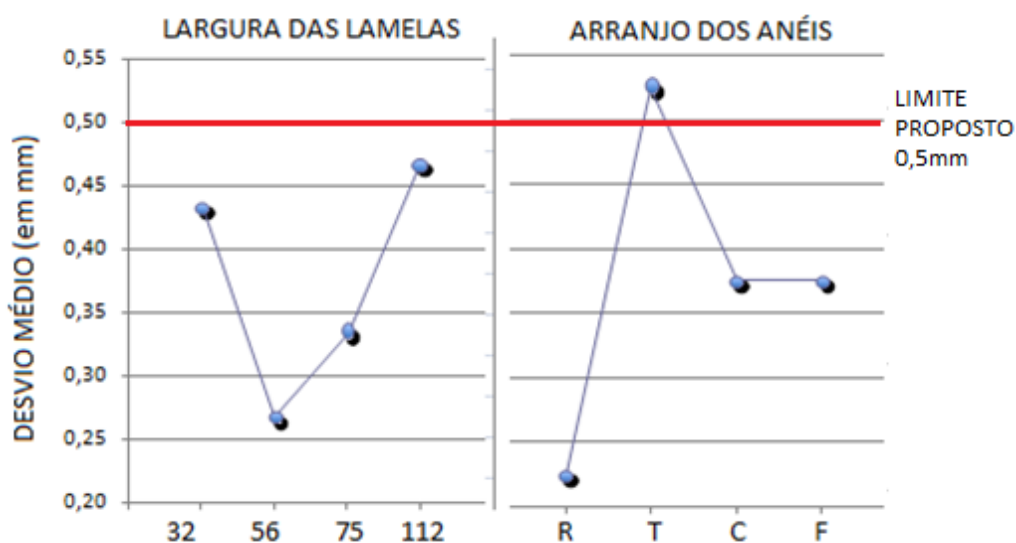
* Melhor combinação - menor arqueamento ** Pior combinação - maior arqueamento

Fonte: (AUTOR, 2016)

Também chama atenção um fato importante: nenhuma combinação teve resultados acima do permitido pela ABNT-NBR 17.930-2 (2011), ou seja, independente da combinação, todos tiveram bom desempenho na questão arqueamento. Dessa forma, como todas as combinações estão dentro do limite exigido na norma, adotou-se, apenas para efeito deste estudo, um novo limite: 0,5 mm, a fim de comparar as interações entre os fatores.

As linhas de tendência das médias para os dois fatores estudados no arqueamento são mostradas na Figura 58.

Figura 58 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – arqueamento

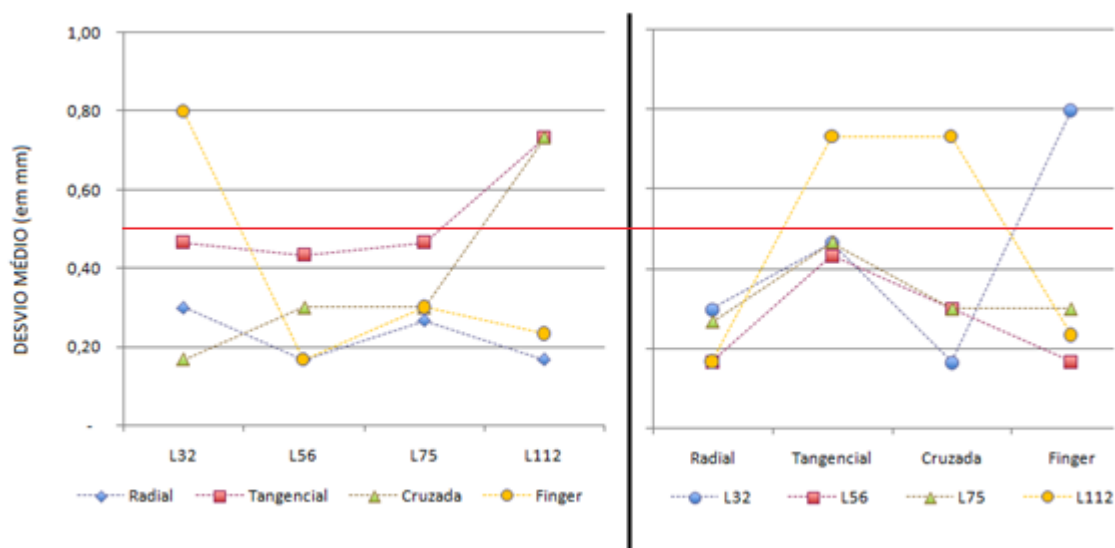


Fonte: (AUTOR, 2016)

Através da Figura 58, verificando de forma isolada as médias de cada fator para o arqueamento, observa-se que a melhor opção é a largura dos sarrafos (fator A) de 56 mm (nível 2), novamente, e no caso da orientação de anéis (fator B), a melhor opção fica com o arranjo de lamelas radial (nível 1), ou seja, combinação A2B1. A combinação A4B2, ou seja, painel com lamela de 112 mm e orientação dos sarrafos na forma tangencial, foi o que apresentou o pior resultado para o arqueamento.

Tem-se na Figura 59 a interação entre as 16 combinações efetuadas para as médias do arqueamento.

Figura 59 - Interação dos fatores com as médias de arqueamento



Fonte: (AUTOR, 2016)

Na Figura 59, observa-se que (a) painéis com lamelas de 56 mm e 75 mm estão dentro do limite de arqueamento, já painéis com 32 mm *finger* ficaram com resultado acima do estipulado neste estudo, além dos com lamela de 112 mm cruzada ou tangencial que também tiveram resultados acima. (b) a orientação *finger* deve ser evitada para sarrafos de 32 mm e os arranjos tangencial e cruzada devem ser evitados para sarrafos com 112 mm.

4.5.3 Estudo da interação dos fatores no encanoamento

Na Tabela 18 tem-se as médias e desvios padrões do encanoamento após o acondicionamento. A ABNT-NBR 15.930-2 (2011) não estipula limite e nem cita esse tipo de defeito de empenamento. Portanto, para esse estudo, adotou-se o valor de 0,5 mm como limite máximo.

Tabela 18 - Valores médios do encanoamento em mm após acondicionamento

	Radial	Tangencial	Cruzada	Finger	Média
L32	0,37 (0,06)	0,30 (0,10)	0,20 (0,10)	0,20 (0,00)	0,27 (0,08)
L56	0,17* (0,06)	0,30 (0,00)	0,30 (0,17)	0,37 (0,12)	0,28 (0,08)
L75	0,33 (0,12)	0,37 (0,06)	0,20 (0,10)	0,73 (0,25)	0,41 (0,23)
L112	1,03** (0,15)	0,40 (0,00)	0,30 (0,00)	0,50 (0,00)	0,56 (0,33)
Média	0,48 (0,38)	0,34 (0,05)	0,25 (0,06)	0,45 (0,23)	

Obs: valor entre parênteses refere-se ao desvio-padrão. Valores em vermelho são resultados acima do adotado como ideal neste estudo, já que a ABNT-NBR 15.930-2 (2011) não determina um valor para esse desvio.

* Melhor combinação - menor encanoamento ** Pior combinação - maior encanoamento

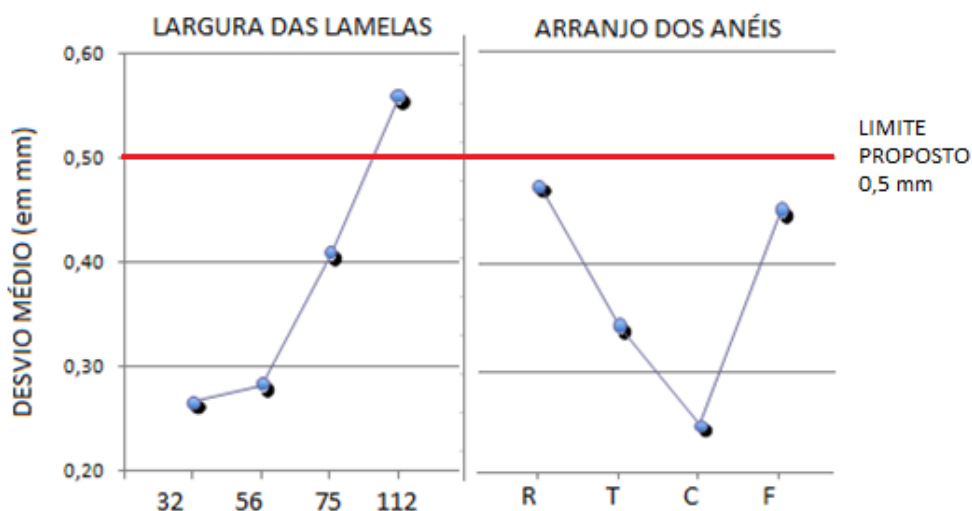
Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se que a melhor combinação no caso do encanoamento foi para o painel radial produzido com lamelas de 56 mm, cujo valor foi de 0,17. Já a pior combinação também foi para o painel radial, porém com lamelas de 112 mm. A melhor média geral ficou com o arranjo de lamelas cruzadas o que mais uma vez confirma as afirmações de Iwakiri (2005), Gonzaga (2006), Mitchell, Wiedenbeck e Ammerman (2003) e Nicholls (2010) de que a orientação cruzada é a melhor opção para a construção do painel EGP.

Analisando as linhas de tendência das médias para os dois fatores estudados, mostradas na Figura 60, e verificando de forma isolada as médias de cada fator para o encanoamento, observa-se que a melhor opção é a largura dos sarrafos (fator A) de 32 mm (nível 1), e no caso da orientação de anéis (fator B), a melhor opção fica com o arranjo de lamelas cruzadas (nível 3), ou seja, combinação A1B3. A combinação A4B1, ou seja, painel com lamela de 112 mm e orientação dos sarrafos na forma radial, foi o que apresentou o pior resultado para o

encanoamento. Observa-se nitidamente o quanto a largura das lamelas tem influência no encanoamento, citados por Iwakiri (2005), Nicholls (2010) e Gonçalves (2006). Os dados comprovam o que os autores estudaram, que quanto maior a largura dos sarrafos, maior a tendência do painel encanoar.

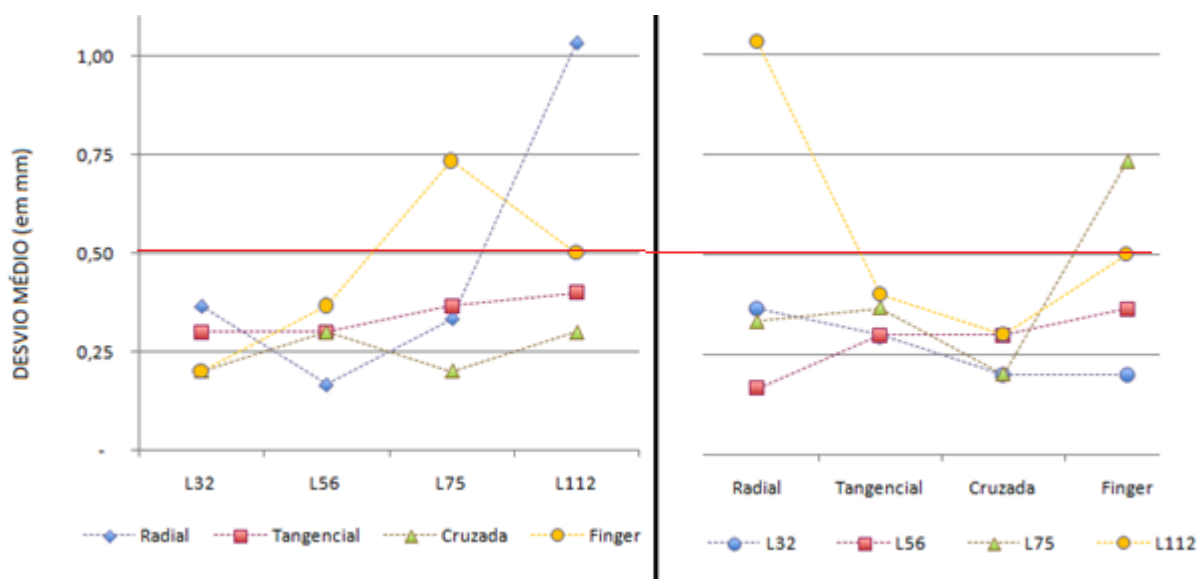
Figura 60 - Gráfico de tendência das médias para largura e arranjo dos anéis – encanoamento



Fonte: (AUTOR, 2016)

A interação dos fatores com as médias de encanoamento é mostrada na Figura 61.

Figura 61 - Interação dos fatores com as médias de encanoamento



Fonte: (AUTOR, 2016)

Observa-se que (a) painéis produzidos com lamelas de 32 mm e 56 mm possuem os melhores resultados, independentemente do tipo de arranjo escolhido. Vê-se claramente a tendência de aumentar os valores do encanoamento, quando se aumenta a largura dos sarrafos. (b) as orientações cruzada e radial (exceto a radial com 112 mm) apresentam os melhores resultados.

Por fim, com base nas 16 combinações possíveis e na interação dos fatores, observa-se pela Figura 62 um resumo dos melhores e piores resultados para o desvio de forma e de planicidade (empenamento) dos batentes produzidos com painel EGP de *Pinus taeda*.

Figura 62 - Resumo dos melhores e piores resultados para as combinações estudadas

FATOR A - LARGURA DAS LAMELAS	FATOR B - ORIENTAÇÃO DOS ANÉIS			
	B1 - RADIAL	B2 - TANGENCIAL	B3 - CRUZADA	B4 - FINGER
A1 - 32 mm			ENCANOAMENTO	
A2 - 56 mm	ARQUEAMENTO		ENCURVAMENTO	
A3 - 75 mm	ENCURVAMENTO			
A4 - 112 mm	ENCANOAMENTO	ARQUEAMENTO		

Legenda:

PIOR CASO

MELHOR CASO

Fonte: (AUTOR, 2016)

5 CONCLUSÃO

A seguir são descritas as conclusões obtidas neste trabalho.

A largura dos sarrafos e o arranjo físico dos anéis de crescimento:

- não influenciaram no aspecto visual de superfície das peças, visto que nenhuma peça apresentou problema visual após acondicionamento;
- não tiveram influência significativa sobre a variação do teor de umidade das peças após acondicionamento. O fato das peças passarem de uma média de umidade de 11,3% antes do acondicionamento para 12,3% (aumento médio de 1%) pós-acondicionamento, mostra que a climatização de 07 dias (168 horas) foi eficiente e uniforme, já que algumas peças tiveram seus teores de umidades diminuídos e outras aumentados, buscando o equilíbrio;
- não tiveram influência significativa sobre a variação de densidade das peças após acondicionamento. As peças apresentaram densidade aparente média de 468,81 kg.m^{-3} antes da climatização e passaram para 471,32 kg.m^{-3} pós-climatização, um aumento médio de 0,49%. Por consequência não tiveram influência significativa na variação de massa e de volume das amostras. Em média os painéis de EGP tiveram um inchamento (aumento de volume) na ordem de 0,62% com o aumento de 1% no teor de umidade;
- não influenciaram significativamente na variação dimensional das peças: largura e espessura. Os batentes tiveram um aumento médio de largura de 0,19% (0,41 mm) para um aumento de 1% no teor de umidade, dentro do esperado. A espessura teve um aumento médio de 0,06% (0,14 mm);
- influenciaram de maneira significativa (na ordem de 1% de significância) os desvios de forma e de planicidade dos batentes, ou seja, tiveram grande influência nos valores encontrados para encurvamento, arqueamento e encanoamento. Em média as peças tiveram 2,96 mm de encurvamento; 0,38 mm de arqueamento e 0,38 mm de encanoamento.

A análise de variância (ANOVA), ao nível de significância de 1% sobre os efeitos e suas interações sobre as médias dos desvios mostrou que:

- encurvamento: a melhor combinação se deu em A2B3, ou seja, painel com sarrafos de 56 mm e lamelas cruzadas. O uso de painéis com lamelas de 56 mm apresentou resultados dentro do exigido para todos os tipos de orientação. As orientações tangencial e cruzada apresentaram valores dentro do exigido para lamelas até 75 mm. Painéis com lamela de 112 mm devem ser evitados. Conclui-se ainda que é necessária atenção a esse valor de 3mm adotado como limite máximo pela ABNT-NBR 15.930-2 (2011), uma vez que se verificou que para batentes de madeira maciça de pinus, atingir esse valor é possível, porém difícil na prática devido a necessidade de restringir e afunilar as opções, o que torna a produção pouco prática.
- arqueamento: a melhor combinação se deu em A2B1, ou seja, painel com sarrafos de 56 mm e lamelas radial. Os melhores resultados foram para os painéis de 56 mm, para todas as orientações. A orientação radial obteve os melhores resultados para todos os tamanhos de lamela. Todas as combinações apresentaram resultados dentro do limite máximo exigido pela ABNT-NBR-15.930-2.
- encanoamento: a melhor combinação se deu em A1B3, ou seja, painel com sarrafos de 32mm e lamelas cruzadas. Os melhores resultados se deram com painéis de 32 mm e 56 mm, para todas as orientações. Painéis com lamelas de 112 mm não apresentaram bons resultados independente da orientação dos anéis. Comprovou-se que quanto maior a largura dos sarrafos, maior a possibilidade do encanoamento.
- no geral, a melhor combinação para minimizar os efeitos da anisotropia e os empenamentos está no uso de lamelas de 32 mm ou 56 mm com arranjo radial ou cruzado, Porém, é importante frisar que sempre que possível deve-se analisar de forma individualizada qual dos três empenamentos se quer neutralizar.

Com a pesquisa bibliográfica realizada acerca do tema e do problema proposto, observou-se que não há estudos específicos sobre o desempenho de painéis EGP na produção de batentes. A literatura existente generaliza o estudo dos painéis e trata com mais intensidade o encanoamento, como sendo o principal empenamento, deixando de lado o encurvamento e o arqueamento, justamente os dois desvios citados pela ABNT-NBR 15.930.

Por fim conclui-se que este estudo atingiu o objetivo proposto o que servirá de base para futuras investigações ligadas ao tema e que novas variáveis como variação da umidade, densidade da madeira, idade de corte e espécie, por exemplo, precisam ser investigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Estudo Setorial 2012. Curitiba: 2013. 128p.

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF. Brasília: 2013. 148p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.930: Portas de madeira para edificações. Rio de Janeiro, 2011.

BALLARIN, A. W., PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. Revista *Árvore*. vol. 27, n. 3, p. 371-380. 2003

BARREIROS, T. S. IPT realiza ensaios de desempenho da porta. Revista *Portas de Madeira*, n. 01, p. 34-37. 2013.

CALIL JR, C., MOLINA, J. C. Coberturas em Estruturas de Madeira - Exemplos de Cálculo. São Paulo: Pini, 2010. 214p.

CALLISTER. W. D. JR.: Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução, 8.ed. São Paulo: LTC. 2012. 844p.

DILIK, T. Edge glued wood panel market and innovations in the production technology. *Furniture Decoration Mag*. Istanbul Turkey, v. 69, p. 292-304. 2005

DILIK, T. Material revealing the solid wood privilege again - The solid wood, *Wood Machinery. Technology*. v. 39, p.50-53. 2009

DILIK, T., ERDINLER, S., KURTOGLU, A. Edge glued wood panel technology and an assesment on the development of edge glued wood panel industry. *American Journal of Applied Sciences*. v. 9 (10), p.1625-1635. 2012

DITZ, F. ABNT certifica conformidade à NBR 15.930. Revista Portas de Madeira. n. 01, p. 38-39, 2013.

EQUIPE DE OBRA. Madeira – Avaliação de resistência. 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/46/artigo254587-1.aspx>> Acesso em 20/08/2015.

EUROPEAN STANDARD. EN 12.775: Solid wood panels - Classification and terminology. 2001

EUROPEAN STANDARD. EN 13.017: Solid wood panels - Classification by surface appearance. 2001

EUROPEAN STANDARD. EN 13353: Solid wood panels (SWP) – Requirements. 2003.

EUROPEAN STANDARD. EN 13354: Solid wood panels – Bonding quality– Test Method. 2009.

FOELKEL, C. Edge Glued Panel. Pinus Letter, n. 8, 2008. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/pinus_08.html#cinco> Acesso em: 22/05/2014.

FRANZOI, L. C. N. A Secagem da Madeira. Bento Gonçalves: SENAI-CETEMO, 1992. 38p.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials. Bond Formation and Performance. In: Wood Handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 10.

GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. IPEF, p.53-65. 1975

GONÇALVES, M. T. T. Processamento da madeira. Bauru: USC, 2000. 242p.

GONZAGA, A. L. Madeira: uso e conservação. Brasília: Iphan/Monumenta. 2006. 246p.

IWAKIRI, S. Painéis de Madeira Reconstituída. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

KEINERT JR., S., ROZAS, E. C. E., ESTURION, J. A., MATSUNAGA, D. K., MICHAQUE, M. A. M., RINCOSKI, C. R. Relação entre a contração e o teor de umidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em vários ângulos de grã. *Ciência Florestal*, p.81-86. 1992.

KITS AERO. Porta frisadas. 2015. Disponível em: <<http://www.kitsaero.com.br/portas/frisada/>>. Acesso em 10/06/2015.

KOLLMANN, F. *Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid. 675p. 1959

LESOBALT. Edge Glued Panel. 2015. Disponível em: <<http://www.en.lesobalt.ru/products/edge-glued-panel>>Acesso em 30/06/2015

LOPES, R. P. O Brasil abre novas portas. *Revista Portas de Madeira*. n.01, p.06-07. 2013

LYINTERNATIONAL. Edge Glued Panel. 2015. Disponível em: <<http://www.lyinternational.us/rusbirch.htm>>Acesso em 30/06/2015

MENDES, L. M. *Pinus spp. na Produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MITCHELL, P. H., WIEDENBECK, J. AMMERMAN, B. *Rough Mill improvement guide for managers and supervisors*. USDA - United States Department of Agriculture. Forest Service. p.69. 2003

NICHOLLS, D. *Alaska Birch for Edge Glued Panel Production - Considerations for Wood Products Manufacturers*. USDA - United States Department Agriculture. Forest Service. 2010

OZKAYA, K. Study of the bending modulus of elasticity of edge glued wooden panels with different width joinings. *Technology*. v.14(2), p-67-73. 2011b

OZKAYA, K. The effects of different edge joining on the resistance of edge glued wooden panels. *Technology*. v.14(2), p-53-58. 2011a

PEÑA, S. V., ROJAS, I. M. *Tecnología de la Madera*. 3.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2006. 246p.

PFEIL, W., PFEIL, M. Estruturas de Madeira. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 241p

PORTAS DE MADEIRA. Guia Especial de Portas da ABIMCI. A Reengenharia da Porta. Edição I. Ano I. 2013

PORTAS DE MADEIRA. Guia Especial de Portas da ABIMCI. O fim da porta única. Edição II. Ano II. 2014

PSQ-PORTAS. Status da Certificação. Disponível em: http://www.psqportas.com.br/conformidade-status_da_certificacao.php. Acesso em: 30/08/2015.

REMADE. A Retratibilidade da Madeira: Revista da Madeira. n. 59, 2001. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject=Retratibilidade&title=A%20Retratibilidade%20da%20Madeira. Acesso em: 26/10/2014.

REMADE. Segmento de portas é exportador potencial: Revista da Madeira. n. 77, 2003. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=464&subject=Portas&title=Segmento%20de%20portas%20%C3%A9%20exportador%20potencial. Acesso em 11/08/2015.

RIVER, B. H., OKKONEN, E. A. Delamination of Edge-Glue Wood Panels - Moisture Effects. USDA - United States Department of Agriculture - Forest Service. 1991

SANTOS, P. T. Anéis de Crescimento – Xilema secundário. Banco de Imagens da Casa das Ciências. 2011. Disponível em http://imagem.casadasciencias.org/ver_img_prem.php?id=133. Acesso em 30/08/2015.

SERRANO, J.R.; CASSENS, D. Dimensional stability of red oak panels produced from small-diameter top logs. Forest Products Journal. vol. 48, p.71–74. 1998

SILVA, M. A. C. Construtoras devem seguir nova norma de desempenho - Norma ABNT 15.575 estabelece novo paradigma na construção civil. Revista Portas de Madeira. n.01, p.14-15. 2013.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-Based Composite Materials: Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite

Materials. In: Wood Handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 11.

SÜTÇÜ, A., KARAGÖZ, Ü. The Influence of Process Parameters on the Surface Roughness in Aesthetic Machining of Wooden Edge- Glued Panels (EGPs). *Bioresources*. vol. 8(4), p. 5435-5448. 2013

TOMASELLI, I. Construção Civil a todo vapor para atender demandas de crescimento do país. *Revista Portas de Madeira*. n.01, p.10-11. 2013.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M. de; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da Estabilidade Dimensional de Espécies de Pinus Tropicais. *Floresta e Ambiente*. p.398-406. 2013

VIDAL, A. C. F; HORA, A.B. da. Panorama de Mercado: painéis de madeira. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n.40, p.323-384. 2014

WEINIG. Dimter - Weinig Group. Edge gluing press for solid wood panels. 2015. Disponível em:

<http://www.weinig.com/fileadmin/assets/weinig/products/gluing_presses/PPT/Prospekt_ProfiPress_E.pdf>. Acessado em 28/08/2015.

ZENID, José Geraldo. *Madeira: uso sustentável na construção civil*. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p.