UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo

JANE ELIZA DE ALMEIDA LACOMBE

**Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de
serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção
civil**

São Carlos - SP
Dezembro – 2015

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO - IAU

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

JANE ELIZA DE ALMEIDA LACOMBE

**Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de
serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção
civil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura
e Urbanismo – Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutora em Arquitetura e
Urbanismo.

VERSÃO CORRIGIDA

Área de concentração:

Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador:

Prof. Titular Eduvaldo Paulo Sichieri

São Carlos - SP

Dezembro – 2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L142p Lacombe, Jane Eliza de Almeida
Painéis de madeira aglomerada produzidos com
resíduos de serragem e poliestireno expandido para
aplicações na construção civil / Jane Eliza de Almeida
Lacombe; orientador Eduvaldo Paulo Sichieri. São
Carlos, 2015.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo,
2015.

1. aglomerados. 2. serragem. 3. EPS. 4. adesivos.
5. resíduos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista **Jane Eliza de Almeida Lacombe**

Título da tese: **"Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil"**

Data da defesa: **03/12/2015**

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Eduvaldo Paulo Sichieri (orientador)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP)

Prof. Dr. **Francisco Antonio Rocco Lahr**
(Escola de Engenharia de São Carlos - USP)

Profa. Dra. **Kelen Almeida Dornelles**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP)

Dra. **Maria Fátima do Nascimento**
(Pesquisadora - Escola de Engenharia de São Carlos - USP)

Prof. Dr. **Norman Barros Logsdon**
(Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT)

Resultado:

Aprovado

APROVADO

APROVADA

APROVADO

APROVADO

Coordenadora e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Profa. Dra. **Cibele Saliba Rizek**

Aos meus anjos da guarda, com todo amor dedico este trabalho, principalmente aos que se empenharam por mim, pai e mães, e aos que surgiram e brilharam minha vida a partir desta fase, meu esposo e minha filha.

AGRADECIMENTOS

A Deus que nunca me deixou desanimar, acompanhou-me e socorreu-me em todos os momentos.

À minha família, pelo apoio e incentivo.

Ao Prof. Titular Eduvaldo Paulo Sichieri que aceitou me orientar e se dedicou para que este trabalho fosse concretizado.

Aos professores da banca, que contribuíram ricamente para este trabalho e, sobretudo ao Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, também pela assistência paciente.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação pelo incentivo, bem como pela infraestrutura a mim oferecida.

Aos meus pais, José Rosa e Natália, presentes maravilhosos, que me ampararam até aqui, pelo incentivo e a certeza desta finalização.

A meu esposo, amor, amigo, companheiro e principalmente parceiro dos momentos de divagações, Michel, que foi meu presente deste processo e meu deu o maior projeto de toda a vida, Isabela.

A meus irmãos Eduardo e Joyce, cunhados Luciana e Roberto e sobrinhas Beatriz, Vanessa e Carolina, pela alegria, entusiasmo e inspiração.

Aos meus sogros, Sr. Alexis e D. Rosa, que além de me apoiarem e me incentivarem, foram meus principais fornecedores de EPS, me ajudando imensamente.

Aos técnicos do laboratório, em especial ao Sergio, que estiveram ao meu lado prestando todo o serviço necessário nos mais difíceis momentos.

Às amigas de sala de aula no doutorado, Kamila, Luciana e Rosana e também aos da “salinha” Aline, André, Poliana, Paulo e Victor, pelo estímulo, apoio e amizade ao longo dessa trajetória.

À minhas família são-carlense, Claudia, Cíntia, Iara e Walter, que estiveram presente, sempre me apoiando.

Aos companheiros e alunos da UNEMAT que souberam compreender a ausência necessárias.

A todos os colegas e amigos que direta ou indiretamente contribuíram com ideias, sugestões ou simplesmente com sua amizade, inclusive aos que não foram citados, mas que vibravam com cada etapa e foram presentes em todos os momentos, o mais sincero agradecimento.

Ambiente limpo não é o que mais se
limpa e sim o que menos se suja.

Chico Xavier

As árvores são fáceis de achar
Ficam plantadas no chão
Mamam do sol pelas folhas
E pela terra
Também bebem água
Cantam no vento
E recebem a chuva de galhos abertos
Há as que dão frutas
E as que dão frutos
As de copa larga
E as que habitam esquilos
As que chovem depois da chuva
As cabeludas, as mais jovens mudas
As árvores ficam paradas
Uma a uma enfileiradas
Na alameda
Crescem pra cima como as pessoas
Mas nunca se deitam
O céu aceitam
Crescem como as pessoas
Mas não são soltas nos passos
São maiores, mas
Ocupam menos espaço
Árvore da vida
Árvore querida
Perdão pelo coração
Que eu desenhei em você
Com o nome do meu amor.

Arnaldo Antunes / Jorge Ben Jor

RESUMO

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. 2015. 193 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2015.

As placas de madeira aglomerada, amplamente empregadas para fabricação de móveis, estão consolidadas no mercado, mas merecem especial atenção devido ao seu alto custo quanto aos adesivos empregados e principalmente à vulnerabilidade à umidade se caso entre em contato com a mesma. Diante os fatos, este trabalho apresenta uma nova alternativa de adesivo, empregado por meio de aparas de isopor (EPS), largamente encontrados como resíduos, e o mesmo, ao envolver as partículas de madeira, material também empregado para a fabricação dos painéis, o torna apto para emprego em ambientes ligados diretamente à umidade, sejam eles internos ou externos à edificação. Com isso, o presente trabalho apresenta a elaboração e a proposta de utilização de um novo produto em forma de painel de madeira, produzido com serragem residual de serrarias, como partículas, e EPS (isopor) dissolvido, como adesivo, que possam ser empregados também na construção civil. Assim, foram produzidos painéis com quatro espécies de resíduos de madeira: pinus, eucalipto, teca e peroba. De cada uma das amostras, foram confeccionados dez painéis para a avaliação das características física, mecânica e outros ensaios. Dos resultados de caracterização física, pode-se concluir que os painéis estão conforme padrões exigidos pela norma brasileira NBR 14.810-2 – Chapas de madeira aglomerada” da ABNT (2006b), e, devido aos baixos valores de inchamento, são adequados à utilização em ambientes úmidos e/ou externos. Dos resultados de caracterização mecânica, os painéis apresentaram bons resultados quanto à ligação interna e compressão, indicando ser promissor o uso de isopor como adesivo bem como sua utilização atrelada a painéis de fechamento. Entretanto, como os resultados de flexão estática não foram satisfatórios, prova-se que tais painéis não podem ser solicitados estruturalmente. Quanto aos outros ensaios realizados, todos os resultados foram favoráveis e, se utilizados conforme especificações técnicas, tornam-se coerentes para empregos em edificação. Como resultado, observou-se que os painéis podem ser produzidos e utilizados no mercado da construção civil, certificando que o produto pode ser empregado de forma segura, desde que sejam conhecidas suas funções, tempo de uso e manutenções necessárias. Desta forma, pretende-se contribuir para a produção e a análise de novos materiais que possam colaborar com a melhoria ambiental.

Palavras-chave: Aglomerados, serragem, EPS, adesivos, resíduos.

ABSTRACT

LACOMBE, J. E. A. **Particleboards produced with residues of sawdust from sawmill and expanded polystyrene to the application in construction.** 2015. 193 f. Thesis (Doctoral Degree) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2015.

The Particleboards, which are widely employed to manufacturing furniture, are established in the market, but they deserve a special attention due to their high cost considering the adhesives used on them and, paramountly, due to their vulnerability to humidity if on contact with their own parts. Facing the facts, this work presents a new alternative adhesive, applied with Styrofoam trims (EPS), usually found as residues, it may be used for involving the particles of wood, which are also used for manufacturing of the panels, and it makes it suitable for the use in environments directly related to humidity, whether it is internal or external to the building. Therewith, this work introduce the explanation and the proposition of the use of a new product in the shape of wood panel, produced with residual sawdust from sawmills, as particles and the EPS (Styrofoam) dissolved as an adhesive, which might also be used in construction. So, panels have been produced with four kinds of residual wood: pine, eucalyptus, teak and peroba. From each one of the samples, it has been manufactured ten boards for the evaluation of the physical and mechanical characteristics and other tests. From the results of physical description, it may be concluded the panels are in conformity with the requirements of the Brazilian standard NBR 14810-2 - "Particleboards" from ABNT (2006b), and due to low swelling values are appropriate to use it in humid and or outdoor environments. The results of mechanical description, the panels have shown satisfying results as for the internal connection and compression, indicating it is promising the use of Styrofoam as an adhesive and also its use in cable management panels. However, since the results of the static bending were not sufficient, it is proved such panels cannot be ordered, structurally. As for the other tests, all the results were positive and if they were used according to the technical specifications, they would become consistent for the application in construction. As a result, it was observed the panels might be produced and used in the market of construction, confirming the product may be applied safely as long as their functions are recognized, useful life, and required maintenance. In this way, it is intended to contribute to the production and analysis of new materials which may collaborate to improvement of the environment.

Key-words: Particleboard, sawdust, EPS, adhesives, residues.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE GRÁFICOS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
INTRODUÇÃO	1
JUSTIFICATIVA	2
OBJETIVOS	3
Objetivo Geral	3
Objetivos Específicos	4
HIPÓTESE	4
IMPORTÂNCIA DO TEMA	4
ESTRUTURA DO TRABALHO	5
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
1.1. RESÍDUOS	8
1.1.1. Tratamento de resíduos e a reciclagem	8
1.1.2. Madeira e a serragem	10
1.1.3. Isopor	12
1.2. PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA	14
1.2.1. Painéis aglomerados	16
<i>1.2.1.1. Composição, propriedades e características</i>	19
1.2.2. Adesivos	22
1.3. PAINÉIS DE MADEIRA E A CONSTRUÇÃO CIVIL	25
1.3.1. Preconceitos	27
1.4. ESTUDOS EM PAINÉIS DE MADEIRAS AGLOMERADAS E AS ATUAIS POSSIBILIDADES	32
1.4.1. Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas	32
1.4.2. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeira tropical da Amazônia	33
1.4.3. Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona	34
1.4.4. Estudo da viabilidade de produção de painéis de partículas com resíduos de madeira	34

1.4.5. Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécie de reflorestamento	35
1.4.6. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais	36
1.4.7. Chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resina poliuretana de óleo de mamona e madeiras tropicais	36
1.4.8. Utilização de resíduos da madeira de candeia (<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET	37
1.4.9. Inclusão de resíduos plásticos urbanos na produção de painéis aglomerados	37
1.4.10. Aplicação de resíduos de madeira e plástico: confecção de compósito plástico-madeira e suas aplicações	38
1.4.11. Aspectos gerais quanto às análises	38
2. MATERIAIS E MÉTODOS	40
2.1. MATERIAIS	40
2.1.1. Espécies de madeira	40
2.1.2. Adesivos	41
2.1.3. Equipamentos	41
2.1.3.1. <i>Procedimentos de determinação do teor de umidade das partículas</i>	41
2.1.3.2. <i>Confecção dos painéis</i>	41
2.1.3.3. <i>Ensaio de caracterização</i>	43
2.1.3.4. <i>Outros ensaios</i>	44
2.2. MÉTODOS	46
2.2.1. Teor de umidade das partículas de madeira	46
2.2.2. Adesivo	48
2.2.3. Manufatura dos painéis	48
2.2.3.1. <i>Obtenção dos cavacos de madeira</i>	49
2.2.3.2. <i>Transformação dos cavacos em partículas</i>	49
2.2.3.3. <i>Peneiramento e seleção das partículas</i>	50
2.2.3.4. <i>Secagem das partículas até atingir a umidade desejada</i>	50
2.2.3.5. <i>Adição da resina e do solvente</i>	50
2.2.3.6. <i>Formação do colchão</i>	51
2.2.3.7. <i>Pré-prensagem</i>	52
2.2.3.8. <i>Prensagem</i>	53
2.2.3.9. <i>Resfriamento</i>	53

2.2.3.10. <i>Acondicionamento</i>	54
2.2.4. Composição dos painéis	55
2.2.5. Ensaio de caracterização	56
2.2.5.1. <i>Densidade</i>	57
2.2.5.2. <i>Teor de umidade</i>	57
2.2.5.3. <i>Absorção e inchamento</i>	57
2.2.5.4. <i>Tração perpendicular</i>	57
2.2.5.5. <i>Compressão longitudinal</i>	59
2.2.5.6. <i>Flexão estática</i>	60
2.2.6. Outros ensaios	61
2.2.7. Análise estatística	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.1. PROPOSTA PARA A REUTILIZAÇÃO E MELHOR EMPREGO DA SERRAGEM COMO RESÍDUO	66
3.2. ESTUDOS PRELIMINARES PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA	69
3.2.1. Análise e teste de adesão do EPS com a serragem	70
3.2.1.1. <i>Experimento com acetona</i>	71
3.2.1.2. <i>Experimento com gasolina</i>	72
3.2.1.3. <i>Experimento com thinner</i>	73
3.2.2. Avaliação da umidade das partículas	73
3.2.2.1. <i>Painéis fase I</i>	74
3.2.2.2. <i>Painéis fase II</i>	76
3.3. MANUFATURA DOS PAINÉIS	76
3.3.1. Fase I	76
3.3.2. Fase II	78
3.4. ENSAIOS FÍSICOS DA FASE I	83
3.4.1. Densidade	83
3.4.2. Teor de umidade	84
3.4.3. Estabilidade Dimensional	86
3.4.3.1. <i>Absorção em água</i>	86
3.4.3.2. <i>Inchamento em espessura</i>	87
3.5. ENSAIOS FÍSICOS DA FASE II	89
3.5.1. Densidade	89
3.5.2. Teor de umidade	91

3.5.3. Estabilidade Dimensional	94
3.5.3.1. Absorção em água	94
3.5.3.2. Inchamento em espessura	96
3.6. DISCUSSÃO DOS ENSAIOS FÍSICOS	99
3.6.1. Densidade	99
3.6.2. Teor de umidade	103
3.6.3. Estabilidade Dimensional	105
3.6.3.1. Absorção em água	105
3.6.3.2. Inchamento em espessura	108
3.7. ENSAIOS MECÂNICOS DA FASE I	111
3.7.1. Tração perpendicular	112
3.7.2. Compressão	114
3.7.3. Flexão estática	115
3.7.3.1. MOR	115
3.7.3.2. MOE	117
3.8. ENSAIOS MECÂNICOS DA FASE II	118
3.8.1. Tração perpendicular	118
3.8.2. Compressão	121
3.8.3. Flexão estática	123
3.8.3.1. MOR	124
3.8.3.2. MOE	126
3.9. DISCUSSÃO DOS ENSAIOS MECÂNICOS	128
3.9.1. Tração perpendicular	129
3.9.2. Compressão	131
3.9.3. Flexão estática	133
3.9.3.1. MOR	134
3.9.3.2. MOE	136
3.10. OUTROS ENSAIOS	138
3.10.1. Incêndio	139
3.10.2. Variações Térmicas	141
3.10.2.1. Análise termogravimétrica	142
3.10.3. Degradação	144
3.10.3.1. Análises qualitativas	145
3.10.3.2. Análises quantitativas	146
3.10.3.2.1. Absorção de água	146

3.10.3.2.2.	<i>Inchamento em espessura</i>	150
3.10.3.2.3.	<i>Ligação interna (tração perpendicular)</i>	154
3.10.4.	Desgaste	158
3.10.4.1.	<i>Abrasão</i>	158
3.10.4.2.	<i>Ataques Químicos</i>	159
4.	A CASA DOS PAINÉIS DE MADEIRA E EPS	164
4.1.	CADA UMA DE SUAS FUNÇÕES	165
4.1.1.	Piso	165
4.1.2.	Forro	167
4.1.3.	Vedação	168
4.1.4.	Outras	170
5.	CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES	172
6.	BIBLIOGRAFIA	177
	APÊNDICE	188

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução da taxa de crescimento da população, segundo o continente, em comparação com o Brasil e o Mundo	8
Figura 2	Evolução da geração <i>per capita</i> de resíduos e do PIB no Brasil	8
Figura 3	Fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira	10
Figura 4	Produção e consumo de painéis de madeira no Brasil (2002 – 2012)	15
Figura 5	Mapa de localização das indústrias de painéis de madeira	15
Figura 6	Mapa de localização das principais florestas plantadas, de Eucalipto e Pinus, no Brasil	18
Figura 7	Exemplo do Sistema Plataforma em madeira	26
Figura 8	Composição dos painéis e paredes avaliados	29
Figura 9	Componentes e especificação dos materiais empregados nos painéis I, II e III	30
Figura 10	Serragem das madeiras usadas para a fabricação dos painéis	40
Figura 11	Equipamentos usados para determinação de teor de umidade das partículas	41
Figura 12	Equipamentos e acessórios usados para confecção dos painéis I .	42
Figura 13	Fôrmas usadas para confecção dos painéis II	42
Figura 14	Equipamentos usados para confecção dos painéis III	43
Figura 15	Equipamentos de proteção individual	43
Figura 16	Acessórios necessários à realização dos ensaios	44
Figura 17	Termobalança com detalhe para micro balança	45
Figura 18	Corpos de prova na câmara de ensaio de envelhecimento acelerado	45
Figura 19	Máquina de ensaios de resistência a abrasão para classificação de placas cerâmicas	45
Figura 20	Secagem natural, ao ar, das partículas	46
Figura 21	Avaliação da massa do material para testes da mistura serragem e isopor	48
Figura 22	Obtenção dos cavacos de madeira	49
Figura 23	Transformação dos cavacos em partículas	49
Figura 24	Serragem em estabilização ao ar	50
Figura 25	Isopor transformado em adesivo	50
Figura 26	União do adesivo às partículas	51
Figura 27	Formação do colchão	51

Figura 28	Comportamento de separação do isopor em algumas placas	52
Figura 29	Acomodação do painel e espera para futura prensagem	53
Figura 30	Processo de prensagem das placas	53
Figura 31	Secagem inicial dos painéis para início da cura	54
Figura 32	Acondicionamento do material em espaço aberto	54
Figura 33	Placas acondicionadas em sala climatizada para estabilização	55
Figura 34	Corpos de prova para ensaios	56
Figura 35	Ensaio de tração perpendicular (ligação interna)	59
Figura 36	Ensaio de compressão longitudinal	59
Figura 37	Relatório resultante dos ensaios de flexão estática (grifos vermelhos da autora)	61
Figura 38	Ensaio de inflamabilidade	62
Figura 39	Nova proposta de fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira	66
Figura 40	Detalhe da reutilização de resíduos da nova proposta de fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira	66
Figura 41	Fluxograma de fabricação de painéis de madeira	67
Figura 42	Nova proposta de fluxograma de fabricação de painéis de madeira com uso de resíduos	69
Figura 43	Características do isopor ao ser colocado em contato com calor .	70
Figura 44	Comportamento do isopor com a serragem ao ser retirado do contato com calor	71
Figura 45	Demonstrativo do experimento do isopor com acetona e a união do adesivo com as partículas	72
Figura 46	Demonstrativo do experimento do isopor com gasolina como também a união do adesivo com as partículas	72
Figura 47	Demonstrativo do experimento do isopor com <i>thinner</i> como também a união do adesivo com as partículas	73
Figura 48	Resultado final das placas fabricadas com isopor, serragem e solvente <i>thinner</i>	82
Figura 49	Resultado final das placas da segunda fase	100
Figura 50	Madeira teca empregada para manufatura dos painéis	102
Figura 51	Móveis descartados pelo problema de inchamento em espessura	108
Figura 52	Comportamento dos corpos de prova submetidos à tração perpendicular, na ruptura	113
Figura 53	Comportamento dos corpos de prova de peroba na ruptura	121
Figura 54	Corpo de prova rompido em ensaio de compressão	133
Figura 55	Ensaio de flexão estática	134

Figura 56	Resultado das análises qualitativas dos ensaios de degradação	145
Figura 57	Residências brasileiras construídas com woodframe	165
Figura 58	Detalhe dos pisos nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira	166
Figura 59	Detalhe do forro nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira	167
Figura 60	Detalhe da vedação nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Quantidade de corpos de prova para os ensaios propostos	56
Tabela 2	Controle da Umidade das partículas de pinus (U%)	74
Tabela 3	Controle da Umidade das partículas de eucalipto (U%)	75
Tabela 4	Análise do tempo de repouso das placas de pinus com solvente gasolina	77
Tabela 5	Análise do tempo de repouso das placas de eucalipto com solvente gasolina	78
Tabela 6	Análise do tempo de repouso das placas de eucalipto com solvente <i>thinner</i>	79
Tabela 7	Análise do tempo de repouso das placas de peroba com solvente <i>thinner</i>	80
Tabela 8	Análise do tempo de repouso das placas de teca com solvente <i>thinner</i> .	80
Tabela 9	Análise do tempo de repouso das placas de pinus com solvente <i>thinner</i>	81
Tabela 10	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de pinus/EPS/gasolina	84
Tabela 11	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina	84
Tabela 12	Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de pinus/EPS/gasolina	85
Tabela 13	Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina	85
Tabela 14	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de pinus/EPS/gasolina	86
Tabela 15	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de eucalipto/EPS/gasolina	87
Tabela 16	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de pinus/EPS/gasolina	88
Tabela 17	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura de eucalipto/EPS/gasolina	88
Tabela 18	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	89
Tabela 19	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	90
Tabela 20	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	90
Tabela 21	Resultado dos ensaios de densidade das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i> .	91
Tabela 22	Resultado dos ensaios de umidade das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i> .	92

Tabela 23	Resultado dos ensaios de umidade das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	92
Tabela 24	Resultado dos ensaios de umidade das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	93
Tabela 25	Resultado dos ensaios de umidade das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	93
Tabela 26	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	94
Tabela 27	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	94
Tabela 28	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	95
Tabela 29	Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	95
Tabela 30	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	96
Tabela 31	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	97
Tabela 32	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	97
Tabela 33	Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	98
Tabela 34	Resumo dos resultados dos ensaios de densidade	101
Tabela 35	Valores da densidade da madeira e dos painéis estudados	101
Tabela 36	Resumo dos resultados dos ensaios de teor de umidade	104
Tabela 37	Resumo dos resultados dos ensaios de 2 horas de absorção de água ...	105
Tabela 38	Resumo dos resultados dos ensaios de 24 horas de absorção de água	107
Tabela 39	Resumo dos resultados dos ensaios de 2 horas de inchamento em espessura	109
Tabela 40	Resumo dos resultados dos ensaios de 24 horas de inchamento em espessura	110
Tabela 41	Resultados dos ensaios das chapas de tração perpendicular de pinus/EPS/gasolina	112
Tabela 42	Resultados dos ensaios das chapas de tração perpendicular de eucalipto/EPS/gasolina	112
Tabela 43	Resultados dos ensaios das chapas de compressão de pinus/EPS/gasolina	114
Tabela 44	Resultados dos ensaios das chapas de compressão de eucalipto/EPS/gasolina	114
Tabela 45	Resultados obtidos para módulo das chapas de ruptura de pinus/EPS/gasolina	116

Tabela 46	Resultados obtidos para módulo das chapas de ruptura de eucalipto/EPS/gasolina	116
Tabela 47	Resultados para módulo de elasticidade das chapas de pinus/EPS/gasolina	117
Tabela 48	Resultados para módulo de elasticidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina	117
Tabela 49	Resultados dos ensaios de tração perpendicular das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	119
Tabela 50	Resultados dos ensaios de tração perpendicular das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	119
Tabela 51	Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	120
Tabela 52	Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	120
Tabela 53	Resultado dos ensaios de compressão das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	122
Tabela 54	Resultado dos ensaios de compressão das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	122
Tabela 55	Resultado dos ensaios de compressão das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	123
Tabela 56	Resultado dos ensaios de compressão das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	123
Tabela 57	Resultados obtidos para módulo de ruptura das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	124
Tabela 58	Resultados obtidos para módulo de ruptura das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	124
Tabela 59	Resultados obtidos para módulo de ruptura das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	125
Tabela 60	Resultados obtidos para módulo de ruptura das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	125
Tabela 61	Resultado para módulo de elasticidade das chapas de pinus/EPS/ <i>thinner</i>	126
Tabela 62	Resultado para módulo de elasticidade das chapas de eucalipto/EPS/ <i>thinner</i>	127
Tabela 63	Resultado para módulo de elasticidade das chapas de peroba/EPS/ <i>thinner</i>	127
Tabela 64	Resultado para módulo de elasticidade das chapas de teca/EPS/ <i>thinner</i>	128
Tabela 65	Classificação dos valores de tração perpendicular	128
Tabela 66	Resumo dos resultados dos ensaios de tração perpendicular	130
Tabela 67	Resumo dos resultados dos ensaios de compressão longitudinal	131

Tabela 68	Resumo dos resultados dos ensaios de MOR	135
Tabela 69	Resumo dos resultados dos dados de MOE na flexão	136
Tabela 70	Resultados dos ensaios de inflamabilidade vertical (s)	140
Tabela 71	Resultados dos ensaios de inflamabilidade horizontal (mm/min)	140
Tabela 72	Resultados dos ensaios de absorção de água de pinus após UV	147
Tabela 73	Resultados dos ensaios de absorção de água de eucalipto após UV	147
Tabela 74	Resultados dos ensaios de absorção de água de peroba após UV	148
Tabela 75	Resultados dos ensaios de absorção de água de teca após UV	148
Tabela 76	Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de pinus após UV	150
Tabela 77	Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de eucalipto após UV	151
Tabela 78	Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de peroba após UV	151
Tabela 79	Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de teca após UV	152
Tabela 80	Resultados dos ensaios de ligação interna de pinus após UV	154
Tabela 81	Resultados dos ensaios de ligação interna de eucalipto após UV	155
Tabela 82	Resultados dos ensaios de ligação interna de peroba após UV	155
Tabela 83	Resultados dos ensaios de ligação interna de teca após UV	156
Tabela 84	Classificação de placas cerâmicas segundo a resistência à abrasão superficial	159
Tabela 85	Resultado dos ensaios de abrasão superficial	159
Tabela 86	Resultado dos ensaios de Ataques Químicos de todas as amostras	161
Tabela 87	Usos e funções dos painéis estudados de madeira e EPS	170

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Resultado de todos os dados de densidade apresentados até o momento	103
Gráfico 2	Resultado de todos os dados de teor de umidade apresentados até o momento	105
Gráfico 3	Resultado de todos os dados de absorção de água em 2 horas	106
Gráfico 4	Resultado de todos os dados de absorção de água em 24 horas	108
Gráfico 5	Resultado de todos os dados de inchamento em espessura em 2 horas	110
Gráfico 6	Resultado de todos os dados de inchamento em espessura em 24 horas	111
Gráfico 7	Resultado de todos os dados de tração perpendicular	131
Gráfico 8	Resultado de todos os dados de compressão apresentados até o momento	133
Gráfico 9	Resultado de todos os dados de MOR	136
Gráfico 10	Resultado de todos os dados de MOE	137
Gráfico 11	Exemplos de diagrama “Força X Deslocamento” de cada painel	138
Gráfico 12	Ensaio de TGA apresentando a variação de perda de massa pela variável temperatura	143
Gráfico 13	Ensaio de TGA apresentando a variação de perda de massa pela variável tempo	144
Gráfico 14	Resultados de absorção de água nas análises quantitativas dos ensaios de degradação	149
Gráfico 15	Resultados de inchamento em espessura nas análises quantitativas dos ensaios de degradação	153
Gráfico 16	Resultados de ligação interna nas análises quantitativas dos ensaios de degradação	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Características exigíveis para o EPS	13
Quadro 2	Produção, importação, exportação e consumo interno dos painéis de MDP	18
Quadro 3	Mercado de painéis no contexto brasileiro	25

INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais de construção mais antigos que o homem teve contato desde sua existência. As primeiras árvores, de onde se obtém o produto, existem há pelo menos 450 milhões de anos. Sua importância simbólica marca uma ligação com o homem e a sociedade em muitas culturas, representando o nascimento, a regeneração e até a própria vida. Já os primeiros bosques, criados com uso específico para comercialização, surgiram na América do Norte, onde o consumo desenfreado das florestas parecia ilimitada e fez surgir o início da preocupação quanto ao manejo sustentável (BEAZLEY, 1978). No Brasil, a extração madeireira está relacionada desde o descobrimento, uma vez que a retirada do pau-brasil na Mata Atlântica ocorreu já no início da exploração do país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRA, 1989).

O emprego da madeira ligado às edificações é anterior à descoberta do fogo, pois, segundo De Paula e Rozenwajm (2008), os homens pré-históricos utilizavam madeiras em vigas e pilares como abrigo em suas moradias. Sua utilização está presente até hoje nas construções em formas e tapumes, materiais comumente descartados, até em esquadrias e estruturas de telhados, onde são primordiais sua importância na instalação, além de estruturas e revestimentos.

Em países norte-americanos e europeus, a madeira é também aplicada nos sistemas construtivos de forma intensa, por meio de construções em que se utiliza o processo de industrialização, sendo destaque na escolha como material principal, não apenas pelo seu comportamento, mas principalmente nos quesitos ambientais de sustentabilidade. No Brasil, o quadro torna-se menos favorável apesar de haver um potencial florestal abundante, o preconceito em relação ao material é forte. A falta de confiabilidade ocorre devido à reprodução de técnicas inadequadas, usadas por muito tempo, o que comprometeu a qualidade nas construções até o momento (ESPÍNDOLA, 2010).

O emprego dos sistemas construtivos em madeira torna-se ainda mais favorável em regiões nas quais a matéria-prima disponível é abundante. No entanto, seu beneficiamento precisa de maior atenção quanto ao excesso de resíduos que pode ser gerado devido à falta de treinamento da mão de obra.

Considerando essa questão, é de suma importância que se busquem soluções para a sua reutilização ou reaproveitamento mais incisivo. Se for reorganizada a cadeia produtiva da

madeira, os resíduos podem ser reaproveitados no processo de produção de painéis, agregando valor ao material e transformando problemas em solução (GRASEL; SÁ 2010).

(...) Inclusive a indústria de chapas aglomeradas surgiu para o melhor aproveitamento de madeiras menos nobres e resíduos. De acordo com Brito¹ (1995), os EUA utilizam os resíduos de madeira como fonte principal de matéria-prima na indústria de aglomerados, no entanto, o Brasil utiliza no máximo 15% (LIMA; SILVA 2005).

A problematização dos resíduos junto ao meio ambiente é assunto de grande valia para investigações. O excesso de acúmulo pode gerar transtornos, como é o caso das serragens residuais que podem ocasionar focos de incêndios. Além disso, os desperdícios em demasia de alguns polímeros, como o isopor, provocam amontoados de lixos descartados em locais errôneos, e não acrescentam valor à sua reutilização. Tais detritos, se bem empregados, podem gerar subprodutos para a fabricação de painéis de madeira, para a qual são necessários dois materiais básicos: as partículas de madeiras e os adesivos. Sua utilização está voltada prioritariamente à indústria moveleira, e, em pequena proporção, à construção civil.

Atualmente, os aglomerados são fabricados principalmente com árvores de florestas plantadas, de pinus e eucalipto. Como adesivos, são empregados especialmente os à base de formaldeído, mas apresentam alguns empecilhos, como, por exemplo, o alto custo, além de alto teor de toxicidade.

JUSTIFICATIVA

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha, na década de 40, pela falta de disponibilidade do material natural, em decorrência do isolamento resultante da 2ª Guerra Mundial (KOLLMANN *et al.*, 1975). No Brasil, em 1966, começaram a ser produzidos pela indústria, iniciada pelo grupo francês Louis Dreiffus que criou a empresa Placas do Paraná, em Curitiba, devido à abundância de resíduos produzidos na região sul pela indústria moveleira local (MATTOS *et al.*, 2008). Sua utilização é muito difundida na construção civil, mas seu maior emprego está voltado para a indústria moveleira. Dada a vasta utilização da produção vigente, e a possível expansão e emprego nos novos sistemas construtivos que se iniciam no país, a ampliação na área de painéis de madeira é apropriada.

¹BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. *Revista da Madeira*, Curitiba, ano IV, n. 26, p. 34-39, 1995.

Diante dos fatos, observa-se que novos produtos podem ser gerados, como é o caso de um novo painel de madeira feito de aproveitamento de serragem madeireira, para partículas, e isopor, para adesivo, que podem ser absorvidos pelo mercado da construção civil, como alternativa para fechamento de sistemas construtivos inovadores em madeira.

O material proposto faz parte de uma pesquisa, iniciada em 2009, com base científica e aprovada, mostrando a possibilidade de se fabricar tal painel. Considerando o reaproveitamento e a união de materiais que podem ser combinados (o plástico e a serragem), foi elaborado um novo produto, e, acredita-se que o mesmo possa ser aceito pelos usuários da construção civil, como forma de novos investimentos, também em habitações.

Desta forma, o presente estudo pretende cooperar para a produção e a análise de novos materiais que colaborem com a melhoria ambiental. Assim, propõe-se um novo painel que contribua para um maior reaproveitamento de resíduos de isopor, o qual é descartado pelas indústrias e pelo uso em geral, diminuindo a quantidade de resíduos plásticos, os quais são considerados um problema devido ao grande volume. Além disso, reduz-se o emprego de materiais naturais, uma vez que as partículas de madeira a serem utilizadas podem ser encontradas em abundância em serrarias, onde, muitas vezes, é difícil o armazenamento, ajudando também na preservação do meio ambiente.

Como ineditismo, o trabalho aborda, além da utilização de isopor como adesivo, seu comportamento quando empregado com alguns tipos de partículas de diferenciadas densidades, ou seja, madeiras que não são tão empregadas para a fabricação de painéis aglomerados e que podem ser encontradas como resíduos em serrarias.

Espera-se que, de forma geral, a reutilização de resíduos seja uma das fontes de emprego para aproveitamento, acrescentando valores na esfera da sustentabilidade, pelo seu uso racional. Além disso, almeja-se que sua aplicação gere maneiras práticas e econômicas de novas produções de painéis de partículas.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é a produção de um novo produto, na forma de painel de madeira - com utilização de serragem residual como partículas, e plástico EPS (isopor) como adesivo - como uma nova opção para a construção civil e a comprovação da sua eficácia.

Objetivos Específicos

- Comprovar a eficiência do isopor (EPS) como adesivo, na substituição dos atuais materiais empregados para o devido fim.
- Propor a viabilização da utilização de serragem residual na produção das indústrias de painel de madeira aglomerada.
- Encontrar as serragens adequadas para a fabricação do painel que possa ser utilizado no mercado da construção civil;
- E por fim, indicar possíveis utilizações e/ou restrições dos painéis propostos.

HIPÓTESE

- Resíduos de serragens e isopor podem efetivamente ser aproveitados para a produção de painéis de madeira aglomerada.
- Os novos painéis podem ser usados na indústria moveleira, como também empregados na área da construção civil nos sistemas construtivos leves de madeira, que não suportem cargas expressivas.

IMPORTÂNCIA DO TEMA

A pesquisa se propôs a elaborar um produto alternativo preparado por meio de aproveitamento de resíduos para produção de materiais de construção.

O estudo pretende colaborar para o meio científico, de forma que, com melhores resultados de caracterização física e mecânica, os painéis possam ser produzidos e comparados aos já existentes e empregados comercialmente, nas construções, possibilitando maior utilização, bem como o reaproveitamento dos materiais que foram empregados.

Avaliando o processo de produção dos painéis de madeira aglomerada, e verificando as dificuldades no excesso de serragem desperdiçada, alto custo do adesivo e implicações ambientais, observa-se uma evolução se esses problemas forem aplicados e transformados no novo painel. Espera-se que não haja conflitos nem distanciamentos do conhecimento adquirido em laboratório e que possa haver a transferência do aprendizado até a área industrial.

O painel alternativo proposto é um material que possui vantagens quanto à viabilidade e baixo custo, representando boa opção para a área da construção civil, propiciando preservação do meio ambiente, pela melhor utilização dos recursos naturais bem como de reciclagem.

Conclui-se que a produção do novo painel, possibilita a inclusão de materiais inovadores na área da construção civil, como mais uma linha para fechamentos, revestimento de pisos e, forros em edificações com sistemas construtivos leves em madeira.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo, em que consta a fundamentação teórica, aborda as questões dos resíduos quanto ao tratamento e reciclagem, principalmente voltados à madeira e ao isopor. A seguir, são tratados os painéis reconstituídos de madeira, com especial destaque aos aglomerados. Com isso, são apontadas suas utilizações também na construção civil e quais os preconceitos enfrentados para sua efetiva especificação. Ao final, é apresentada uma compilação de recentes pesquisas que tratam sobre o reaproveitamento e/ou emprego de novos materiais para a produção de painéis aglomerados.

No capítulo 2, são discutidos os materiais e métodos adotados nesta pesquisa. Nos materiais, são apresentadas as descrições das madeiras, adesivos, equipamentos e acessórios. Nos métodos, há o relato dos procedimentos adotados desde a umidade das partículas, escolha do solvente utilizado no EPS, manufatura dos painéis e ensaios de caracterização e outros.

No capítulo 3, estão expostos e discutidos os resultados alcançados. Inicialmente são apresentadas as propostas para a reutilização e melhor emprego da serragem como resíduo. O próximo passo são os estudos preliminares para fabricação dos painéis de madeira com análises e testes de adesão do EPS com a serragem e avaliação da umidade das partículas. A seguir, são explicitadas todas as ocorrências durante a manufatura dos painéis e, enfim, os ensaios físicos de densidade, teor de umidade e estabilidade dimensional; mecânicos de tração perpendicular, compressão e flexão estática e, enfim, de inflamabilidade, variação térmica, degradação, abrasão e ataques químicos.

O capítulo 4 finaliza a proposta explicitando a função a que os painéis se propõem e quais os necessários ajustes para que o mesmo possa ser aplicado na construção civil.

Por fim, o capítulo 5 versa sobre as conclusões até o momento, as expectativas para futuras pesquisas e continuação para próximos trabalhos.

*Entendendo
o processo...*

Jane Eliza de Almeida Lacombe

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. RESÍDUOS

1.1.1. Tratamento de resíduos e a reciclagem

“...em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos supera a quantidade de bens consumidos” (ROCHA; JOHN, 2003).

Apesar de, ultimamente, o crescimento populacional se apresentar em taxas decrescentes na maioria dos continentes, quando analisados desde 1950 (Figura 01), sabe-se que o padrão de consumo é alto diante das facilidades da vida diária.

Figura 1 – Evolução da taxa de crescimento da população, segundo o continente, em comparação com o Brasil e o Mundo

Fonte: IBGE (2013)

Estudos feitos por Campos (2013), com dados do IBGE e do Ministério das Cidades, exemplificam tais constatações (Figura 2). A quantidade de resíduos urbanos gerada pela humanidade deu um grande salto, fato que preocupa a sobrevivência e a preservação do meio ambiente, tornando-se um grande problema da atualidade.

Figura 2 – Evolução da geração *per capita* de resíduos e do PIB no Brasil

Fonte: Campos (2013)

Consideram-se resíduos todos os dejetos não aproveitados pelo homem. Já os resíduos sólidos são caracterizados como os que não podem ser descartados em rede pública de esgotos, nem mesmo em corpos de água. Necessitam de tratamento para não causarem acúmulos inadequados, os quais podem provocar riscos à saúde pública como também ao meio ambiente, por causa de sua toxicidade. Sua classificação inclui a identificação criteriosa desde sua origem (ABNT, 2004b).

Como parâmetros gerais, são qualificados pela NBR 10004, da ABNT (2004a), em “perigosos” ou “não perigosos” conforme características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade. Os resíduos não perigosos, por sua vez, são analisados quanto a constituintes que são solubilizados em concentrações especiais conforme norma e podem ser subdivididos em “inertes” e “não inertes”.

A reutilização de resíduos é um dos pontos de maior relevância na sociedade atual. O cuidado com o meio ambiente, principalmente pelo seu acúmulo, torna-se premissa para pensamentos ativos quanto às questões da sustentabilidade.

Conforme Rocha e Cheriaf (2003), o aproveitamento de resíduos pode ser feito por meio de recuperação, valorização energética, reciclagem, reciclagem química, repleto ou reutilização, dependendo o modo em que será aproveitado. No entanto, para seu emprego, é necessário o conhecimento da unidade de geração, sua caracterização, potencial de aproveitamento, características limitantes do uso e de aplicação (ROCHA; CHERIAF, 2003). Todos os dados são indispensáveis para que seu uso não acarrete riscos ao meio ambiente e principalmente à população.

Para o desenvolvimento de reciclagem, John e Ângulo (2003) apontam metodologia que a torna eficaz e viável. O procedimento pode ser elencado em 5 etapas:

1. Processo de geração: em que são estimados a origem, custos, qual o processo que gera o resíduo e seu processo de gestão.
2. Caracterização: ensaios de personalização e análise de fases e separabilidade.
3. Seleção de usos potenciais: identificação de alternativas com potencial técnico e para pesquisa e desenvolvimento.
4. Desenvolvimento do produto.
5. Avaliação do produto: avaliação do desempenho técnico, sustentabilidade, viabilidade econômica e transferência da tecnologia.

Transformar resíduos de maneira consciente previne menores impactos e propicia melhores aplicações.

1.1.2. Madeira e a serragem

O Brasil possui ainda muitas áreas de florestas, seja ela nativa ou plantada. No entanto, seu beneficiamento precisa de maior atenção devido à quantidade de resíduos que gera.

Os resíduos madeireiros podem ser classificados em serragem, cepilho (maravalha) e lenha (costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de toras, restos de lâminas) e são encontrados em todas as fases, na indústria, com grande heterogeneidade. Por apresentarem baixa densidade, o acúmulo encarece sua coleta e transporte (NASCIMENTO *et al.* 2006), e, por consequência, seu uso está, muitas vezes, vinculado apenas para geração de energia, fornecendo pouco valor agregado ao material.

Para maior entendimento, a Figura 3 apresenta um fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira, desde a floresta até o consumidor final, mostrando grande parte das possibilidades de sua utilização.

Figura 3 – Fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira

Fonte: Ferreira (2002)² *apud* Grassel; Sá (2010).

²FERREIRA, O. P. Prospectiva tecnológica da cadeia produtiva madeira e móveis. São Paulo: Divisão de Produtos Florestais, 2002, p.65 (**Resumo**)

Analisando a referida cadeia produtiva, observa-se que tanto as florestas plantadas como as nativas produzem matérias-primas para as indústrias de móveis. Entretanto, as indústrias de painéis aglomerados têm como origem apenas as florestas plantadas, sendo descartados possivelmente seus resíduos (GRASEL; SÁ, 2010).

O excesso no acúmulo de detritos durante o manejo está diretamente ligado à falta de treinamento da mão de obra. Dados mostram que de uma tora é aproveitado apenas 40% a 60% de seu volume total. O restante é resíduo, sendo eles distribuídos em 71% lenha, 22% serragem e 7% cepilhos (LIMA; SILVA, 2005). Brand *et al.* (2002) apresentam dados ainda mais alarmantes em sua pesquisa, provando que o baixo rendimento é ainda maior quando avaliada uma serraria *in loco*. Pela análise verificada, no desdobro há um aproveitamento de apenas 34,87%. Esse baixo rendimento reitera as questões quanto à quantidade de resíduos gerados no processo produtivo.

Em outra pesquisa, realizada na cidade de Arapongas (PR), segundo maior pólo moveleiro do país, por Lima e Silva (2005), constatou-se que são gerados, por dia, em torno de 200 toneladas de resíduos, de forma que aproximadamente 95% desses são de madeira, distribuídos em pó de madeira (normalmente recolhido por sucção na empresa), cepilho e aparas.

Os detritos madeireiros trazem grandes problemas ambientais, e também à saúde, por causa de aspersão por parte dos trabalhadores e dos moradores locais em que se encontram as indústrias.

Um estudo realizado em Sinop (MT), norte do estado, dava conta em 1985 da existência de rejeito industrial madeireiro de aproximadamente 5000 m³ de serragem (pó de serra) mensais, que necessitam ser processados com algum fim industrial ou mesmo produtivo de alguma natureza. Esse rejeito era, e ainda é simplesmente queimado, causando problemas de natureza ambiental e sanitária (MARTA, 2007).

O armazenamento da serragem, além de resíduo ambiental, também é arriscado por constituir foco de pontos de incêndios, que, ao serem estocadas a céu aberto, causam destruição e possibilidades de riscos de intoxicação por causa da fumaça.

Conforme dados de Parrela (2012), no Brasil, a quantidade de queimadas detectada em 2010 foi 85% maior do que no ano anterior e o estado com maiores focos de incêndio foi Mato Grosso, com 6.693, representando aumento de 91%, em relação à 2009. Uma das grandes vilãs desses acontecimentos foram as serragens, que ficavam depositadas a céu aberto.

Na cidade de Marcelândia – MT (com aproximadamente 12.000 habitantes, a 670 km de Cuiabá), em agosto de 2010, durante dias foram queimadas várias serrarias e madeireiras. Conforme levantamento, 80% das madeireiras da cidade foram devastadas e mais de 100 casas foram destruídas (PARRELA, 2012).

ABIPA (2014) apresenta uma cartilha de gerenciamento de resíduos de madeira industrializada na construção civil para orientar o controle adequado dos resíduos, de maneira sustentável. Todo o material está baseado na resolução CONAMA 307, de 2002, que trata da gestão de resíduos da construção e demolição, em que se encaixam os resíduos de madeira. Nele, apresentam-se formas de destinação adequada para cada tipo de resíduo como as áreas de transbordo e triagem, eco pontos ou pontos de entregas voluntárias, reciclagem e aterros.

Assim, muitas investigações e estudos são observados nos meios científicos para o reaproveitamento efetivo da serragem residual, mas não são concretizadas por falta de exequibilidade no meio industrial. Para que sejam consolidadas, são necessárias algumas alterações desde o desdobro da madeira até o emprego efetivo em produtos de maiores valores agregados.

1.1.3. Isopor

Produzido pela primeira vez na Alemanha, em 1949 por Fritz Stastny e Karl Buchholz, químicos do laboratório Basf, o plástico celular rígido (EPS) é resultado do estireno expandido despolimerizado em água (STYROCORTE, 2014).

No Brasil, o material é conhecido como isopor, por sua fabricação ter sido primeiramente feita na empresa de mesmo nome, hoje conhecida como Knauf-Isopor Ltda. A partir de 2012, com a compra da Styrocorte, a empresa se encontra em- primeiro lugar na distribuição da produção para a construção civil e embalagens industriais. A empresa está instalada em vários países da Europa, ocupando o primeiro lugar mundial em processamento de EPS. No Brasil, suas unidades estão localizadas nas cidades de São Paulo, Atibaia, São Simão – SP, Cabo de Santo Agostinho – PE, Joinville – SC, Manaus – AM, Sapucaia do Sul – RS, Sarzedo – MG e Simões – BA (KNAUF, 2014).

Segundo dados da Associação Brasileira do Poliestireno Expandido – ABRAPEX (2014), o produto pode ser caracterizado como inodoro, não contaminante do solo, da água nem

do ar, 100% reaproveitável e reciclável podendo voltar à condição inicial de matéria-prima, através de tecnologia conhecida e simples.

Sendo procedente do petróleo e derivado da natureza, não é prejudicial ao meio ambiente por ser reciclável. Entretanto, se não reaproveitado de maneira correta, pode levar em média 150 anos para se decompor por não ser um produto biodegradável. Sua consistência provém de dois elementos químicos, o carbono e o hidrogênio, isento de qualquer material tóxico. Em seu interior, o gás existente é o próprio ar que se utiliza como gás expensor o pentano (AMBIENTE BRASIL, 2014).

Existem muitos mitos em relação aos gases utilizados para a expansão do poliestireno, matéria-prima que, expandida, gera o EPS. Entretanto, o gás utilizado é um hidrocarboneto que rapidamente se deteriora pela reação fotoquímica oriunda dos raios solares, não comprometendo, assim, o meio ambiente (AVESANI NETO, 2008).

Apesar de ser um material facilmente reciclado, o mesmo não é muito procurado para tal fim devido à inviabilidade econômica, pois representa somente 0,1% da composição do lixo, mesmo com seu volume ultrapassando 70 caminhões/dia (ABRAPEX, 2014). Seu interior contém apenas 2% de plástico e 98% de ar. Por isso pode ser considerado grande problema nos aterros, pois ocupa muito espaço e possui pouca serventia (AMBIENTE BRASIL, 2014).

Quanto às características do EPS, sua fabricação se subdivide em 7 tipos que se apresentam no Quadro 1.

Propriedades	Norma	Unidade	Tipos de EPS						
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidade aparente nominal	NBR 11949	kg/m³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente mínima	NBR 11949	kg/m³	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade térmica máxima (23°C)	NBR 12094	W/m.k	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	KPa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao cisalhamento	EN-12090	KPa	≥25	≥30	≥60	≥80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (se material classe F)	NBR 11948	Material retardante à chama							

Quadro 1 – Características exigíveis para o EPS
Fonte: Knauf (2014)

Quanto à durabilidade do EPS, a Associação Industrial do Poliestireno Expandido – ACEPE (2010) qualifica que ainda não há dados sobre seu limite, pois, se utilizado de maneira apropriada, pode garantir um desempenho adequado ao longo do tempo. Algumas restrições podem ser apontadas como, por exemplo, exposição direta a grandes temperaturas, bem como a união com solventes ou vapores do mesmo tipo.

Está presente, ultimamente, em várias aplicações, tanto na construção civil - devido às vantagens que oferece, de baixa condutibilidade térmica, leveza, resistência mecânica elevada, baixa absorção de água e insensibilidade à umidade, além de ser de fácil manuseio - quanto na indústria de embalagens, também por seus benefícios de amortecimento de impactos, sendo isolante térmico, impermeável e resistente à umidade, higiênico e totalmente inócuo, de baixo peso, resistente à compressão, econômico, adaptável, seguro e fácil de manusear e, por fim e não menos importante, por ser considerado ambientalmente correto.

O EPS é dissolvido por poucos tipos de líquidos. Alguns deles são os solventes orgânicos derivados do petróleo, como óleos, gasolina e diesel. Pode ser considerado inflamável, porém, se retirado da fonte de calor, sua chama se extingue, tornando-se novamente estável (AVESANI NETO, 2008).

Segundo Ambiente Brasil (2014), anualmente são consumidos cerca de 2,5 milhões de toneladas de EPS no mundo. No Brasil, houve um acréscimo de quase 300%, saltando de 9 mil toneladas para aproximadamente 36,5 mil toneladas, nos últimos 15 anos. Apenas 10% passa por reciclagem, e o restante vira descarte no meio ambiente.

Todo esse material, se bem selecionado, pode servir de matéria prima para geração de novos produtos.

1.2. PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

Os painéis de madeira reconstituída podem ser divididos em: HDF (*High Density Fiberboard*) - chapas de alta densidade, *Hardboard* - chapas de fibras duras, MDF (*Medium Density Fiberboard*) – painéis de fibra de média densidade e o MDP ou aglomerado (*Medium Density Particleboard*) – painéis de partículas de média densidade (ABIPA, 2014).

Pelos dados a seguir (Figura 4), verifica-se que os painéis de madeira, nos últimos anos, estiveram em constante crescimento, tanto em produção quanto em consumo. O crescimento

médio anual de produção foi de 8,9% a.a. e o de consumo 9,9% a.a. significando grande desenvolvimento (ABRAF, 2013).

Figura 4 – Produção e consumo de painéis de madeira no Brasil (2002 – 2012)

Fonte: ABRAF (2013)

No Brasil, as empresas que produzem estes painéis estão localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Pará (Figura 5). Em 2014, juntas, a capacidade instalada foi de 10,9 milhões de metros cúbicos anuais (ABIPA, 2014).

Figura 5 – Mapa de localização das indústrias de painéis de madeira

Fonte: ABIPA (2014)

Para esclarecimento, estão apresentadas as especificações de cada um dos painéis, conforme dados da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2014):

- HDF (*High Density Fiberboard*) são painéis homogêneos, de alta densidade, produzidos com fibras da madeira pinus e eucalipto, compactadas com resina sintética prensadas a alta temperatura. Pode ser usinado, curvado e feitos trabalhos em baixo relevo. Seu emprego está ligado a artesanatos em geral, brinquedos, pisos laminados, forros, divisórias e portas.

- *Hardboard* são chapas de fibras duras, aglutinada por alta temperatura, tempo e pressão, sem resina, usando como aglutinante a lignina do próprio eucalipto, a madeira empregada. Pela alta densidade e resistências físico e química, podem ser trabalhadas com estampas, curvas, como também serem moldadas, usinadas e cisalhadas. São usadas em forros, divisórias, portas, móveis e embalagens.

- MDF (*Medium Density Fiberboard*) painéis de fibra de média densidade produzidos com fibras da madeira, compactadas com resina sintética por alta temperatura, tempo e pressão. É o painel com maior capacidade nominal instalada no país, com 5,7 milhões de metros cúbicos ao ano. Fabricadas com pinus e eucalipto, sua principal característica é a usinagem em todos os lados, tanto nas bordas, quanto nas faces. Bastante utilizada em móveis, portas almofadadas e usinadas, batentes, peças torneadas pisos, rodapés e embalagens.

- MDP (*Medium Density Particleboard*) ou aglomerados são painéis de partículas de madeira de média densidade, feitas com resina sintética por alta temperatura, tempo e pressão controlados. Pode ser usado em peças que não precisam ser usinadas, nas indústrias moveleiras e marcenarias, tais como portas e tampos retos, laterais de móveis, prateleiras e divisórias. Segundo Donati (2007), houve a mudança de nome do aglomerado para MDP devido à evolução³ da prensagem para a fabricação do produto.

1.2.1. Painéis aglomerados

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na década de 40, na Alemanha, em decorrência do isolamento resultante da 2ª Guerra Mundial. Como havia a dificuldade para a produção de lâminas de boa qualidade para a fabricação de compensados, restaram apenas os resíduos de madeiras (DONATI, 2014). Sabe-se que, naquele momento, as florestas estavam

³Houve a alteração de prensas de pratos ou cíclicas para prensas contínuas, que permitem menores custos na produção com produtos de iguais e/ou maiores qualidades.

consumidas e restavam somente árvores de pequena idade, que seriam impróprias para madeira serrada. Assim, a necessidade de outros materiais propiciou a absorção pelo mercado de um novo produto oriundo dos resíduos existentes, surgindo os aglomerados.

Em seguida, também como consequência da 2ª Guerra Mundial, a produção de aglomerados foi paralisada, devido à indisponibilidade de resina. Em 1946, sua produção foi retomada. Embora os alemães tenham sido os responsáveis pela criação dos aglomerados, seu desenvolvimento se deve aos Estados Unidos que confeccionaram grande quantidade de painéis aglomerados, difundindo-os pelo país e, na década de 60, pelo mundo (MENDES *et al.*, 2003).

No Brasil, em 1966, as chapas de madeira aglomerada começaram a ser produzidas pela indústria iniciada pelo grupo francês Louis Dreiffus, que criou a empresa Placas do Paraná, em Curitiba, devido à abundância de resíduos produzidos na região sul, pela indústria moveleira local (MATTOS *et al.*, 2008).

O surgimento das chapas de madeira aglomerada no Brasil se deu pela escassez da madeira e pela necessidade e oportunidade de aproveitamento econômico dos resíduos industriais (ROQUE; VALENÇA, 1998). Atualmente a realidade torna-se distinta, pois há grandes áreas de florestas plantadas justamente para fornecer matéria-prima para a produção de painéis aglomerados.

Estudos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) apontam que, em 2008, o Brasil encontrava-se entre os 10 maiores produtores mundiais de aglomerados, liderados por Estados Unidos e Alemanha. Juntos, eles somavam 67% do mercado internacional. Naquele momento, o Brasil estava em 6º lugar, lançando no mercado 2,6 milhões de m³/ano (BNDES, 2010).

Avaliar o mercado internacional serve apenas de curiosidade, uma vez que o mesmo não fornece parâmetros para o mercado brasileiro, pois seu baixo custo aliado ao alto custo de transporte não favorece o comércio de importação/exportação. Quando esse fenômeno ocorre, há a relevância apenas para países próximos que pertencem ao mesmo bloco econômico em decorrência de seu baixo valor específico (ROQUE; VALENÇA, 1998).

Informações mais atuais (Quadro 2) demonstram que a produção de aglomerados vem crescendo a cada ano (ABIPA, 2014).

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo Interno	Capacidade Nominal Instalada m³
2005	2.048.957	78.400	25.750	2.101.607	2.800,000
2006	2.198.216	64.700	76.670	2.186.246	2.900,000
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085,000
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265,000
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020,000
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544,000
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790,000
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790,000

Quadro 2 – Produção, importação, exportação e consumo interno dos painéis de MDP
Fonte: ABIPA (2014)

Os principais fabricantes brasileiros são: Berneck em Araucária, no Paraná; Eucatex em Botucatu, São Paulo; Duratex em Itapetininga - São Paulo, Uberaba - Minas Gerais e Taquari no Rio Grande do Sul; Fibraplac em Glorinha, no Rio Grande do Sul; Arauco em Curitiba e Pien, no Paraná e por fim, Masisa em Montenegro, no Rio Grande do Sul (ABIPA, 2014).

Nas regiões sul e sudeste estão localizados os maiores pólos moveleiros. No Brasil, isso acontece propositadamente, para que haja uma boa distribuição da produção. Também as florestas plantadas de pinus e eucalipto se encontram a maioria nas mesmas regiões, fornecendo, assim, uma grande potencialidade à fabricação de painéis de madeira.

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF (2015), com dados da ABRAF (2013), “o Brasil possui cerca de 7,1 milhões de hectares de florestas plantadas, principalmente com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*” (Figura 6).

Figura 6 – Mapa de localização das principais florestas plantadas, de Eucalipto e Pinus no Brasil

Fonte: adaptado de SNIF (2015)

Além dessas, ainda podem ser incluídas as espécies de Acácia (*Acacia mearnsii* e *Acacia mangium*) com 148.311 ha, Seringueira (*Hevea brasiliensis*) 168.848 ha,

Paricá (*Schizolobium amazonicum*) 87.901 ha, Teca (*Tectona grandis*) 67.329 ha, *Araucaria angustifolia* 11.343 ha, *Populus* spp. 4.216 ha, e outras espécies com 33.183 ha. Todas essas encontram-se distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, Roraima, Amazonas, Pará, Maranhão, Mato Grosso, Acre, Paraná e Santa Catarina.

1.2.1.1. Composição, propriedades e características

Os aglomerados são painéis feitos de partículas de madeiras, ou diferentes tipos de material lignocelulósico, variando de 3 a 50 mm de espessura, ligados com algum tipo de resina termofixa, sintética ou natural, agindo como um adesivo, e colados de forma aleatória com calor e alta pressão, produzindo um colchão coeso, consistente e uniforme (ABNT, 2006a,b).

O fluxo de produção das chapas de madeira aglomerada apresenta algumas particularidades, e, segundo Iwakiri (2005), pode ser descrito em 13 etapas. São elas:

- 01 Geração de partículas – passo onde são definidos os elementos dimensionais que influenciam na qualidade do painel;
- 02 Secagem – etapa em que as partículas precisam ser mantidas entre 3% e 12% de umidade, dependendo do tipo de adesivo a ser utilizado, garantindo-lhe boa penetração (atualizado por NASCIMENTO, 2003);
- 03 Classificação – fase onde as maiores partículas farão parte da camada interna e as menores da camada externa, quando apresentado em multicamadas;
- 04 Aplicação do adesivo – passo importante e que necessita de atenção quanto ao controle de quantidade e homogeneidade de distribuição;
- 05 Formação do colchão;
- 06 Pré-prensagem – fase para estabilização e encontro da altura desejada além de melhorar a consistência;
- 07 Prensagem a quente – etapa em que a pressão, temperatura e tempo de fechamento da prensa são primordiais;
- 08 Resfriamento;
- 09 Acondicionamento – por pelo menos 48 horas;
- 10 Acabamento – fase em que se agrega valor ao produto;
- 11 Classificação – de acordo com padrões de qualidade pré-estabelecidos;
- 12 Embalagem; e
- 13 Armazenamento.

É interessante salientar que, a respeito das partículas, não há restrições quanto ao uso de algum tipo de espécie, podendo ser aproveitados resíduos industriais ou de exploração florestal, madeiras de baixa qualidade, não industrializáveis ou sem serventia, desde que sua geometria possa garantir uma boa densidade ao painel, havendo compatibilidade do adesivo com a permeabilidade da espécie a ser utilizada nas partículas. No Brasil, as mais utilizadas são provenientes de florestas plantadas de pinus e eucalipto, muitas vezes de plantio das próprias empresas que as estão fabricando.

Quanto às resinas, a mais empregada é a ureia formaldeído, em decorrência de seu baixo custo. Contudo a mesma fornece baixa resistência à umidade. Quando se necessita de características maiores de resistência, a mais indicada é a fenol formaldeído (ROQUE; VALENÇA, 1998). Entretanto, Dias (2005) comenta que, para sua utilização, há um inconveniente devido à emissão de formaldeído, substância tóxica, que, se avaliado pelas questões de controle ambiental, inviabiliza sua utilização.

Atualmente, intensas pesquisas têm sido realizadas com adesivos alternativos, principalmente com os que possuem base em óleo de mamona, chamados adesivos naturais. Pesquisas iniciadas no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQSC - USP), em São Carlos, apresentam baixo teor de toxicidade e vêm oferecendo bons resultados (DIAS, 2005).

As resinas, ou adesivos, podem ser considerados os grandes responsáveis pelo maior custo da produção, variando de 35% a 60%. A quantidade deve ser otimizada em função das propriedades requeridas e de acordo com as exigências mínimas de norma técnica (IWAKIRI, 2005).

Outras opções a serem acrescentadas à produção são alguns tipos de aditivos, que conferem melhores qualidades, como, por exemplo, os retardantes ao fogo, antimofos, repelentes a fungos e insetos, catalisadores ou endurecedores, enfim, substâncias que agregam melhores características ao produto final.

Os tipos de acabamentos das chapas podem ser natural ou cru, pintado ou revestido em uma ou em duas faces com algum material como *finish foil*- FF, que são películas de papel coladas à chapa crua, papel melamínico de baixa pressão – BP, que, por pressão, se funde ao painel formando uma só associação, lâminas de madeira, plásticos, PVC entre outros. (ROQUE; VALENÇA, 1998).

Estruturalmente, segundo a “NBR 14.810-1 – Chapas de madeira aglomerada Parte 1: Terminologia” da ABNT (2006a), podem ser encontradas chapas homogêneas ou em três camadas, de modo que as externas serão de partículas menores, e as internas com partículas maiores, proporcionando assim, um melhor acabamento e maior resistência. Outras configurações, segundo Iwakiri (2005), são também as de multicamadas ou graduada.

Até 2001, no Brasil, as chapas de madeira aglomerada não possuíam uma exigência mínima de qualidade, mas, se fossem exportadas, havia a necessidade de submissão a testes, conforme o país de recebimento (HASELEIN *et al.*, 2001). A partir de 2002, quando entrou em vigor a NBR 14.810, que trata da normatização, todas as placas produzidas precisam ser qualificadas e ensaiadas para aprovação no mercado nacional.

Segundo Maloney (1977), os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada, pois diminuem o efeito de anisotropia da madeira e contam com redução de heterogeneidade quanto às propriedades físicas e mecânicas em pontos aleatórios do painel, possibilitando, desta maneira, o controle das mesmas. Por meio das quantidades de resinas e da geometria das partículas, eliminam-se os defeitos, como a anisotropia, os nós, e as tensões internas, possibilitando o uso de resíduos, o que permite maiores produções com menores custos.

Molesmi (1974) ainda assegura que o ciclo de prensagem, temperatura, pressão e tempo, deve ser muito ordenado, pois nesses são definidas, muitas vezes, as propriedades finais.

Segundo a ABNT (2006b), “NBR14.810-2 - Chapa de madeira aglomerada Parte 2: Requisitos”, que trata da classificação das chapas de madeira aglomerada, a densidade média pode variar entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³. Os adesivos utilizados podem ser de natureza tipo uréica ou especiais, desde que haja verificação quanto ao teor de formaldeído a ser liberado. A geometria das partículas pode ser variável e o teor de umidade deve estar entre 5% e 11%.

A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI, informa que, “em geral, as chapas fabricadas no Brasil são de densidade média de 551 kg/m³ a 750 kg/m³, com a natureza do adesivo do tipo uréica, compostas por camadas de partículas de geometria variável e sem nenhum tratamento superficial” (ABIMCI, 2009).

1.2.2. Adesivos

O surgimento dos adesivos pode ser atribuído ao tempo em que os Faraós utilizavam sangue, ovos etc., há cerca de 4000 a.C. Já sua utilização com a madeira pode ser datada de 3000 a.C., para construção de mobiliários e sarcófagos e, acredita-se, que eram utilizados aqueles à base de albumina (IWAKIRI, 2005).

Para a indústria dos painéis de madeira, sua contribuição foi de grande importância, sendo os primeiros, e mais empregados, os adesivos à base de ureia formaldeído. Porém, só podem ser utilizados em áreas internas devido à pouca resistência à umidade. Com a necessidade de utilização em espaços externos, os adesivos de fenol formaldeído obtiveram bons resultados, contudo seu alto custo ainda proporciona grandes preocupações, fator que fomenta novas pesquisas quanto a alternativas para produtos resistentes à umidade (SOUZA, 2006).

Segundo Iwakiri (2005), os adesivos contribuem para colagem de aplicação e utilização da madeira, minimizando assim a existência dos problemas enfrentados quanto às suas dimensões, anisotropia e defeitos naturais. Também atuam positivamente quando o assunto são os painéis reconstituídos, pois cooperam para o maior aproveitamento do material (madeira). Entretanto é o componente de maior custo na produção, representando de 35% a 60%.

Classifica-se como adesivo o “material com propriedade aderente, ou seja, é uma substância com capacidade de manter unidos outros materiais em sua superfície” (IWAKIRI, 2005, p. 3). A NBR 14.810-1, da ABNT (2006a), define os adesivos ou as resinas como substâncias utilizadas com o intuito de aderir partículas de madeira em uma chapa de madeira aglomerada; podendo ser classificados como orgânicos e inorgânicos, de natureza uréica ou especiais, possuindo propriedades e características que exigem cuidado para suas utilizações.

Razera (2006) pondera que o processo de adesão somente é completado a partir do momento em que o adesivo passa da forma líquida para a sólida. Além disso, outro ponto importante a ser observado é quanto ao tempo em que tal transformação ocorre; afinal, neste período, é primordial que ocorra a ligação dos materiais.

Dall’Alba (2009, p. 37) define que “adesão é a atração de duas diferentes substâncias resultando forças intermoleculares entre elas. A coesão envolve somente forças atrativas intermoleculares entre as mesmas substâncias”.

Os mecanismos, no processo de adesão, podem ser qualificados em teoria mecânica, de difusão de polímeros e de adesão química. Teoria mecânica ocorre quando os adesivos curam-se por resfriamento ou solidificação, ou seja, quando o adesivo penetra no substrato ocorrendo a solidificação, formando ganchos que os prendem. A teoria da difusão de polímeros se dá através da difusão das cadeias dos polímeros em nível molecular (adesivos que curam pela evaporação do solvente ou da água) e, por fim, a teoria da adesão química ocorre quando os adesivos agem pela reação química, que é a adesão com ligações primárias, iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias (IWAKIRI, 2005).

O método de utilização dos adesivos constitui o derramamento do adesivo a ser empregado, que, dependendo da sua fluidez, há um bom espalhamento. Em seguida, a transferência é feita com os movimentos necessários para a sua completa absorção; e, finalmente, ocorre a penetração, indispensável para que haja a solidificação. Nesse momento, há a mudança do estado líquido para o sólido através de processos químicos e então uma total e completa utilização de suas propriedades.

Além do adesivo, a superfície em que o mesmo será utilizado possui primordial influência para a boa adesão. Para uso correto, o adesivo deve ser utilizado na forma líquida, molhando o substrato e proporcionando um ângulo de contato coerente com o seu desempenho. O ângulo de contato pode ser de 180° , sem umectação, ocorrendo a coesão máxima; de 0° , com umectação completa, utilizando a tensão superficial máxima, e, entre os dois valores, acontecendo a umectação incompleta, de forma que a ocorrência do fenômeno que se dá em ângulos inferiores a 90° já propicia uma boa molhabilidade⁴ (DALL'ALBA, 2009; IWAKIRI, 2005).

Alguns fatores podem ter influência direta quanto à capacidade de colagem dos adesivos na madeira. A viscosidade é um dos casos, desta forma, um adesivo muito viscoso, ou seja, pouco fluido, acaba dificultando sua utilização, porém se houver baixa viscosidade há maior absorção e, em casos extremos, pode ocorrer uma linha de “cola faminta”⁵ que proporciona pouca adesão. Dias (2005, p. 6) anota a definição de viscosidade como “grandeza que caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido, que se manifesta por meio de escoamento”.

⁴ Fenômeno que ocorre quando o líquido consegue espalhar-se sobre a superfície do substrato.

⁵ “Penetração excessiva e desaparecimento do adesivo através da estrutura porosa da madeira, resultando numa situação de quantidade insuficiente de adesivo na linha de cola.” (IWAKIRI, 2005, p. 07).

O tempo de gelatinização, ou *gel time*, também é outro fator que precisa ser analisado, pois está relacionado ao tempo desde a preparação do adesivo até seu ponto máximo de viscosidade aceitável para a aplicação, influenciando no tempo de prensagem e qualidade de adesão (IWAKIRI, 2005).

Além dessas, outras questões precisam ser pontuadas como o teor de substâncias sólidas, o pH, a composição e as características da madeira, as propriedades físicas (como umidade, densidade da madeira), e as propriedades químicas (como extrativos, cinzas) e, por fim, as propriedades mecânicas (como tensões internas e externas) (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos ainda são classificados quanto à cura, pois cada um se processa em uma diferente temperatura.

Com base nos estudos de Nascimento (2003) e Dias (2005), pode-se constatar que a ureia formaldeído cura-se de duas maneiras: à temperatura ambiente, através da redução do pH (ácido) com adição de catalizador, e à temperatura alta com cura à quente com temperatura de 90°C a 130°C. Já a fenol formaldeído possui temperatura de cura na faixa de 130°C a 160°C; para a melamina formaldeído a cura ocorre a temperatura não inferior a 125°C; o acetato de polivinila tem sua cura por evaporação do solvente (água), mesmo à temperatura ambiente; algumas poliuretanas apresentam cura a temperaturas de aproximadamente 90°C a 100°C; finalmente quanto aos novos adesivos à base de mamona, sua cura ocorre a temperatura ambiente, no entanto, podem ser aceleradas, com temperatura variando de 60°C a 90°C.

Tal conhecimento a respeito da cura dos adesivos é de suma importância para o seu processo de utilização, uma vez que provoca grande influência no custo do produto em decorrência da energia e tempo para sua ação.

Iwakiri (2005) classifica também os adesivos quanto às suas características e propriedades. Os mesmos podem ser naturais - sintéticos termoplásticos, sendo os mais utilizados o poliacetato de vinila (PVAc) e *hotmelt* - e sintéticos termoendurecedores/termofixos, que, quando aquecidos, tornam-se rígidos e insolúveis por meio de reações de policondensação. Podem ser citados os adesivos ureia formaldeído, para uso interno, melamina formaldeído, para uso intermediário, fenol formaldeído e resorcina formaldeído, para uso externo.

Rivero (2003) recomenda que, para haver uma boa ligação adesiva é necessário: (i) remover qualquer impureza que impeça o contato do adesivo com o aderente, (ii) abolir todos os produtos que não possuam afinidade com o adesivo, (iii) seguir rigorosamente as

recomendações indicadas pelos fabricantes, (iv) aplicar devida pressão - para que haja a cura do adesivo, (v) regularizar as superfícies, para haver um contato uniforme e, finalmente, (vi) evitar retrações acentuadas durante a cura, para que não apareçam tensões excessivas.

Estudos feitos por Calejari *et al.* (2004)⁶, *apud* Pedrazzi *et al.* (2006), demonstram que o teor de adesivo influencia tanto na resistência à flexão, quanto na ligação interna e no inchamento em espessura das chapas de madeira aglomerada, reduzindo a qualidade dos painéis se forem reduzidos seus teores. Pizzi (1994)⁷, *apud* Pedrazzi *et al.* (2006) constatou que, aumentando o teor de resina também aumentam as propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional. Seu volume está limitado diretamente ao custo e desempenho que fornece. Por fim, Azambuja (2006) completa que o adesivo não deve interferir quanto à coloração natural da madeira.

1.3. PAINÉIS DE MADEIRA E A CONSTRUÇÃO CIVIL

Apesar da utilização dos aglomerados estar diretamente ligada à fabricação de móveis, vários outros setores, como o da construção civil e embalagens podem empregá-los, conforme aponta o Quadro 3, desde que sejam observadas suas características e restrições.

PAINÉIS DE MADEIRA		USOS E APLICAÇÕES			
PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA
Painéis de Partículas					
Aglomerado				Construção Civil	Pisos, paredes, vigas l, escadas, forros, coberturas, tapumes, divisórias, barracões, lambris, portas e outros
Móveis	Estruturas e armações de poltronas, laterais, tampos, prateleiras, portas, mesas, estantes, carteiras escolares, armários de cozinha, divisórias, encostos, assentos, fundos de gavetas/armários, camas e outros
OSB				Embalagens	Caixaria em geral, plataformas para pallets, carretéis industriais, caixas e gabinetes para a indústria de eletro-eletrônicos, instalações comerciais e industriais, caixas e gabinetes pintados ou revestidos
Outros	Auto-falantes, embalagens em geral, painéis para decoração, stands, brinquedos, placas, painéis, biombo e outros		
MDP					
Waferboard					

Quadro 3 – Mercado de painéis no contexto brasileiro

Fonte: adaptado de ABIMCI (2014)

⁶ CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DACOSTA, L. P.; PEDRAZZI, C. **Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193-204, 2004.

⁷ PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 370p.

Dados da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2014), indicam que 95% da produção nacional de painéis de madeira aglomerada está vinculada ao pólo moveleiro. Sua utilização está voltada a dormitórios, salas e cozinhas, portas e armários, tampos de mesas, divisórias e estantes, enfim a vários usos desde que não estejam em contato com a água, pois possuem pouca resistência à umidade.

A utilização de painéis de madeira pode também se atrelar aos sistemas construtivos de estrutura leve, como o exemplo do Sistema Plataforma em madeira (Figura 7), no qual os painéis podem ser utilizados tanto em pisos, como paredes e também em forro. Em países da América do Norte e Europa, tal uso é bem difundido com produção altamente industrializada (ESPÍNDOLA, 2010).

Figura 7 – Exemplo do Sistema Plataforma em madeira

Fonte: adaptado de Espíndola (2010)

Recentemente, o Ministério das Cidades, através do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas - SINAT, aprovou a diretriz nº 005 intitulada “Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas – Sistemas leves tipo *Light Wood Framing*” (BRASIL, 2011) demonstrando empenho para que sejam realizados ensaios técnicos testando e avaliando os desempenhos do sistema em questão.

Os sistemas *Light Wood Framing* podem ser constituídos de chapas delgadas de OSB, chapas de madeira compensada ou outro tipo de madeira, ou chapas cimentícias; e para áreas internas também de gesso acartonado para *drywall*.

No Brasil, a respeito do emprego da madeira, ainda persiste o preconceito quanto à qualidade do material (ESPÍNDOLA, 2010). Pinto (2001) comenta que a mesma tem seu uso atrelado aos dois extremos das classes sociais. É acessível à população de baixa renda, mas utilizada de maneira precária, o que lhe dá pouca durabilidade. Se utilizada conforme exigências corretas, torna-se sofisticada e de alto valor e apenas alcançável às classes de maior poder aquisitivo, principalmente influenciada pela colonização europeia.

1.3.1. Preconceitos

Os preconceitos existentes quanto à utilização da madeira, como sistema construtivo, estão relacionados à baixa qualidade que proporcionam. Laroca *et al.* (2005) comenta que muitas estratégias de projeto construtivo são necessárias, tais como pingadeiras em fachadas, planos de telhados, proteção das águas pluviais por meio de condutores, entre outros; no entanto, os mesmos não são empregados nas habitações dando-lhes baixa resistência, relacionando-as assim à efemeridade e pobreza.

Outro ponto de discussão diz respeito ao desempenho térmico das edificações. Quando confrontadas aos materiais comumente empregados, como a alvenaria convencional de tijolo de 6 ou 8 furos, as edificações em madeira são consideradas desconfortáveis pelo usuário, “quentes no verão e frias no inverno”. Essas assimilações estão muitas vezes relacionadas às edificações construídas na década de 30, 40 e 50, em que eram usadas paredes de 2,2 cm de espessura de madeira e mata-junta para proteção das frestas (GIGLIO; BARBOSA, 2006). Os atuais sistemas construtivos industrializados de madeira se diferem dos anteriores, desde sua concepção, à execução, como também quanto às normalizações que os classificam.

Mesmo com informações de baixo desempenho térmico para painéis de madeira com constituição simples, Laroca (2002⁸ *apud* BARATA, 2008) confirma que paredes construídas

⁸ LAROCA, C. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável**. Curitiba, 2002. 83p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2002.

com dois ou mais elementos, desde que não estejam diretamente em contato, formando dessa maneira uma camada de ar, são mais eficientes no isolamento térmico e acústico.

Em pesquisa analisada em Curitiba – PR, Adriazola (2008), avaliou o comportamento térmico de painéis de madeira por meio de protótipos em escala reduzida, e comparou-os a protótipos de iguais dimensões construídos de alvenaria de tijolos, usados como referência. No total foram analisados cinco diferentes tipos de painéis de madeira utilizados nas vedações das paredes, e um protótipo de referência, em alvenaria de tijolos cerâmicos. Os painéis de madeira foram Wall⁹, OSB*, Aglomerado*, Cimento-madeira¹⁰, Compensado*.

Como conclusão da averiguação, os resultados revelaram que todos os tipos de painel de madeira avaliados apresentaram baixo desempenho térmico quando comparados à alvenaria convencional, rebocada em ambas as faces, comumente empregado nas habitações. Os protótipos em madeira foram todos construídos com painéis de paredes simples. Deste modo, a autora comenta que, se houver a duplicação desses painéis, poderia existir também, um melhor comportamento, pois em algumas situações analisadas, verificaram-se resultados muito próximos aos apresentados pelo bloco cerâmico.

Tomando como base essas considerações, Giglio (2005) avalia tal situação em sua pesquisa executada pelo método simplificado (através de cálculos) e, por simulações térmicas, sem o emprego de medições em protótipo. Neste estudo, a autora avalia painéis de vedação em madeira, entre eles os compostos por câmara de ar como também por outros elementos como os isolantes térmicos.

Foram analisadas quatro composições de paredes, todas em relação ao clima da cidade de Londrina, Paraná. São elas (Figura 11):

- (P1) painel formado por tábua de pinus de 2,2 cm no exterior e interior distantes 5 cm por câmara de ar não ventilada;

⁹Painel multicamadas formada por placas cimentícias de 3 mm de espessura reforçadas com fio sintético aplicadas nas faces externas do painel; internamente às placas cimentícias e também em ambas as faces, duas folhas de madeira – *pinus* -de 3 mm de espessura e; no miolo, com 28 mm de espessura, recheio de madeira – *pinus*, laminado.

¹⁰Painel confeccionado no Laboratório de Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal do Paraná, formado por 100 partes em Madeira, 275 partes Cimento, 12 partes de Água e 11 partes de Cloreto de Cálcio (4% peso do cimento) totalizando 398 partes/peso.

* Painéis comumente encontrados no mercado e empregados em construções de pequeno porte ou construções temporárias.

- (P2) painel formado por tábua de pinus de 2,2 cm no exterior e interior distantes em 5 cm com preenchimento em lã de vidro;
- (P3) painel formado por tábua de pinus de 2,2 cm, interna e externamente, câmara de ar não ventilada de 2,4 cm, chapa OSB de 1,2 cm, câmara de ar não ventilada 5 cm;
- (PRA) parede referencial A, com tábua de pinus de 2,2 cm de espessura, com mata-junta de madeira de pinus de 1,2 cm de espessura representando uma parede de baixo desempenho térmico;
- (PRB) parede referencial B, de bom desempenho térmico formada de alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos, de 9 cm, rebocados dos dois lados.

A composição dos painéis e paredes avaliados podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 – Composição dos painéis e paredes avaliados

Fonte: Giglio (2005)

Como resultados apresentados, para a região de Londrina, os painéis (P3) atingiram o melhor desempenho térmico, inclusive em relação à (PRB) dita como de bom desempenho. É interessante salientar que também os painéis duplos, com câmara de ar, foram bem classificados. Já os que possuíam elementos internos aumentando a resistência térmica do conjunto, também se aproximaram dos resultados de referências satisfatórias.

Prosseguindo com o mesmo raciocínio, é importante ressaltar ainda a pesquisa apresentada por Barata (2008), que propôs painéis leves de vedação externa em madeira. Foram produzidos protótipos em escala real para constatar sua possibilidade de execução e adequação ao zoneamento bioclimático brasileiro, segundo a norma NBR 15220 (ABNT, 2005a). Foram apresentadas três configurações de painéis experimentais para vedação externa (Figura 9), sendo eles:

- Protótipo I – multicamadas de 13,66 cm de espessura. Composto por 4 camadas (revestimento externo de lambri maciço, manta aluminizada, placa OSB e placa de acabamento interno) e 2 câmaras de ar (câmara de ar ventilada de 1,5cm e câmara de ar intermediária não ventilada no interior da ossatura em madeira serrada, 9,0cm);
- Protótipo II - multicamadas de 10 cm de espessura. Composto por 3 camadas (revestimento externo de lambri maciço, placa IBAPAC e placa de acabamento interno) e 2 câmaras de ar (câmara de ar ventilada de 1,5cm e câmara de ar não ventilada no interior da ossatura em madeira roliça, 5,0cm);
- Protótipo III – camada única de 5 cm produzida em ½ peça roliça aparelhada, unida horizontalmente uma sobre a outra com auxílio de uma barra rosca sem fim.

Figura 9 – Componentes e especificação dos materiais empregados nos painéis I, II e III

Fonte: Barata (2008)

De modo geral, como resultado, o autor recomenda projetos de painéis que tenham configuração em multicamadas, com ossatura estrutural e câmaras intermediárias de ar não ventilada. Tal recurso reduz o consumo de madeira por metro quadrado e possibilita o contraventamento do componente sendo a opção mais adequada quando se relaciona consumo de madeira e resistência térmica total.

Como foi provada sua eficácia, a utilização de painéis em habitação torna-se promissor para as habitações, principalmente utilizando-os em regiões em que a madeira seja abundante.

Outra preocupação quanto ao uso da madeira na construção civil, está ligada à segurança contra incêndio.

Pinto (2001) aponta não ser correto afirmar que apenas materiais incombustíveis (concreto, estrutura metálica, aço e alvearia) podem ser utilizados em construções para que haja segurança contra incêndios numa edificação, pois todos os materiais são passíveis a incêndios, ou seja, nenhum edifício é à prova de fogo.

Souza e Mitidieri (1988) explicam que existem requisitos e critérios a serem atendidos, vinculadas às exigências dos usuários – “necessidades que devem ser satisfeitas pelo edifício, a fim de que cumpra sua função” - que são de ordem qualitativa e quantitativa, respectivamente, e precisam ser aprovados quando utilizados em condições de exposição, independentemente do material. Pela ISO 6241/1984 são citadas 14 dessas exigências, entre elas segurança estrutural e ao fogo.

A Diretriz SINAT n° 005 apresenta a necessidade de verificação de determinadas condições. Entre eles estão, propagação e estabilidade sob a ação do fogo, nos pisos, e visibilidade em caso de incêndio; risco de inflamabilidade de paredes internas e externas, propagação de chamas e liberação de fumaça; e para o forro, risco de inflamação generalizada, propagação para outras unidades e fuga em situação de incêndio (BRASIL, 2011).

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), os requisitos quanto à segurança contra incêndio estão ligados à integridade do usuário, como proteção e saída da edificação em segurança. À edificação, para dificultar a propagação do incêndio e extingui-lo em tempo hábil, impedir ou tornar mínimo os danos à propriedade, às vizinhanças, à infraestrutura pública e ao meio ambiente. De tal modo, todos os métodos devem ser utilizados para que haja segurança na hora de desocupação e esvaziamento do local atingido.

Pinto (2001) ainda comenta que existem os tratamentos preventivos retardantes de chamas por meio de impregnação de produtos no material e utilização de revestimentos ou tintas de recobrimentos adequadas.

Várias empresas pesquisadas, que atuam no país com a fabricação de residências em estruturas leves de madeira (*wood frame*) apresentam resultados, avaliados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), para suas edificações. Em todas, as exigências da ABNT quanto à segurança contra incêndio - baixa probabilidade de início de incêndio, alta probabilidade dos usuários sobreviverem sem sofrer qualquer injúria e reduzida extensão de danos à propriedade e à vizinhança imediata ao local de início do incêndio - são atendidas.

1.4. ESTUDOS EM PAINÉIS DE MADEIRAS AGLOMERADAS E AS ATUAIS POSSIBILIDADES

As chapas de madeira aglomerada possuem uma grande utilização na construção civil, principalmente na área moveleira. Apesar de os painéis já se utilizarem de espécies plantadas direcionadas à produção, muitas pesquisas com novas partículas de madeiras, não tão focadas para este fim, estão sendo investigadas, com potencialidade para a substituição das tradicionais.

Outras questões também são quanto a novos tipos de resinas empregadas. Apesar da grande carência nessa área, há estudos direcionados indicando sua possibilidade.

O crescente aumento do consumo e a exploração inadequada das florestas brasileiras indica a necessidade de produzir painéis utilizando-se dos resíduos para melhor aproveitamento. Pedrazzi *et al.* (2006) sugerem que novas tecnologias sejam utilizadas para o bom emprego da matéria-prima, não sendo observadas mudanças na qualidade em relação aos tipos de resíduos aproveitados.

A própria norma NBR 14.810 – parte 1, da ABNT (2006a, p. 1) aponta que “a geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados aos usos finais específicos”. Tal afirmação tem fomentado novos estudos quanto às diferentes opções de partículas ou de adesivos. Por isso, foram elencadas algumas dessas atuais investigações, para que pudessem ser avaliados seus resultados e assim contribuir para o presente trabalho.

1.4.1. Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas

Blecha *et al.* (2013) confeccionaram aglomerados com partículas de podas de árvores das espécies Jatobá e Canelinha, com três tipos de análises 100% Jatobá, 100% Canelinha e 50% Jatobá + 50% Canelinha. A resina usada foi poliuretano bicomponente derivada de mamona.

A manufatura foi feita com pressão de compactação de 3,5 MPa por 10 minutos, temperatura de 90 °C, umidade das partículas em 5% e 16% de resina como adesivo. Os ensaios avaliados foram de módulo de elasticidade na flexão, resistência à flexão, adesão interna, densidade aparente, teor de umidade e inchamento em espessura após 2 horas, todos conforme norma brasileira NBR 14810.

Pelos resultados, os painéis apresentaram densidade aparente, variando entre 856 a 969 kg/m³, sendo classificados como de alta densidade. Todas as placas apresentaram teor de umidade dentro da norma, entre 5% e 11%, inchamento em espessura após 2 horas, abaixo de 8%, adesão interna acima de 0,4 MPa, e também módulo de resistência à flexão acima de 16,8 MPa. No entanto, quanto aos valores de resistência à flexão no módulo de elasticidade, os valores ficaram abaixo dos estipulados em norma, mas podem ser aumentados com a inclusão de maiores proporções de resina.

Como conclusão, observa-se a viabilidade na produção de painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas, além da junção das duas espécies especificadas anteriormente.

1.4.2. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeira tropical da Amazônia.

Iwakiri *et al.* (2012) avaliaram a qualidade de painéis produzidos com resíduos de serrarias das espécies cardeiro, caucho, castanha-de-paca, copaíba, louro, louro-espinho, piquiarana, tauari e virola. Os painéis foram confeccionados com 8% de adesivo de ureia-formaldeído, pressão 4,0 MPa, temperatura de 160 °C por 8 minutos, com partículas a 3% de umidade, resultando em densidade de 750 kg/m³ (média densidade).

Quanto aos resultados de inchamento em espessura e absorção de água, todos os dados apresentados foram variados, dentro do determinado em norma e abaixo do que já estudados em outras pesquisas. Todos os valores dos ensaios mecânicos de tração perpendicular, MOE e MOR foram compatíveis com os confrontados em literatura, bem como pela norma europeia EN 312:1993 utilizada. Porém um dado interessante a ser ressaltado é de que, neste estudo, não houve comprovação quanto aos conceitos apresentados por Maloney (1993) e Molesmi (1974) de que haja influência direta da maior razão de compactação sobre as propriedades físicas e mecânicas.

Todos os resultados apontam a possibilidade do uso das nove espécies amazônicas para a produção de painéis de madeira, apresentando melhores propriedades físico-mecânicas a espécie Caucho - *Ecclinusa guianensis* Eyma.

1.4.3. Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona

Silva *et al.* (2013) determinaram as características físicas e mecânicas de painéis aglomerados com partículas de leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona.

As chapas foram produzidas com pressão de 4 MPa, a temperatura de 90 °C, partículas com 5% de teor de umidade e resina poliuretana monocomponente e bicomponente na proporção de 10%. Seguindo norma brasileira NBR 14810:2002 foram avaliados o módulo de resistência à flexão, adesão interna, densidade aparente e teor de umidade, além da relação entre adesão interna e densidade aparente.

Pelos resultados apresentados, observa-se que as densidades aparentes foram superiores quando comparadas à norma brasileira, sendo classificadas como de alta densidade. O restante dos dados se apresentou conforme norma estabelecida. Quanto aos valores de teor de umidade, os painéis com resina poliuretana monocomponente obtiveram os maiores valores. Para o módulo de resistência à flexão (MOR) dos painéis com resina bicomponente apresentou-se superior. A adesão interna dos painéis com resina monocomponente foi a de melhor resultado. Ao se avaliar adesão interna e densidade aparente, houve a comprovação da linearidade.

Assim, verifica-se que, apesar dos dados expressivos, os autores indicam ajustes na fabricação das chapas, diminuindo a quantidade de resina, para diminuição quanto aos custos.

1.4.4. Estudo da viabilidade de produção de painéis de partículas com resíduos de madeira

Fiorelli *et al.* (2012) estudaram a possibilidade na produção de painéis com a utilização de resíduos de pinus da indústria madeireira. Os painéis constituíam-se com densidade de 0,8 g/cm³ produzidos com pressão média de 5 MPa, temperatura de 90 a 130 °C, por 10 minutos, e teor de resina 10 a 15% de uréia-formaldeído e poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona.

Os ensaios físicos e mecânicos de inchamento, adesão interna, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática seguiram a norma NBR 14810:2006 e os de envelhecimento acelerado a norma ASTM D 1037:2006.

Quanto aos valores de inchamento, todos os painéis não cumpriram a norma, ficando superiores seus valores. A adesão interna se mostrou válida antes dos ensaios de envelhecimento, provando que os adesivos selecionados são compatíveis para a fabricação dos painéis. Sobre os valores de MOR e MOE, apresentados deixaram a desejar, pois não atenderam de forma satisfatória às normas solicitadas, apenas o painel com mamona sem envelhecimento ficou dentro dos padrões.

Deste modo, pode-se afirmar que a resina poliuretana mostra-se como alternativa para a produção de painéis de partículas aglomeradas com resíduo da indústria madeireira. No entanto, tais painéis não devem ser empregados em ambientes em que haja umidade e tão menos podem ser solicitados mecanicamente.

1.4.5. Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécie de reflorestamento.

Poleto *et al.* (2013) pesquisaram resíduos de madeira de reflorestamento das espécies eucalipto e pinus, adquiridos em marcenarias e serrarias, para a fabricação de painéis de partículas homogêneas. Os painéis constituíram-se de adesivos de resina poliuretana à base de mamona 10%, com combinações de serragens nas proporções eucalipto/pinus, 100%, 70%, 50% e 30%.

Foram realizados ensaios de densidade, absorção de água, inchamento em espessura, resistência à tração perpendicular e módulos de resistência e de elasticidade na flexão estática.

Os resultados mostraram que os painéis constituídos de 10% de eucalipto foram os que obtiveram maior densidade. Os valores diminuíram conforme eram adicionados partículas de pinus. No entanto variaram de 1,19 a 1,10 g/cm³, não havendo diferenças significativas. Quanto aos valores de inchamento, os encontrados ficaram abaixo do recomendado em norma e foram aumentando conforme adicionava-se o pinus. Diferentemente ocorreram diminuição de absorção com a adição da referida espécie. Os valores de MOR e MOE não alteraram expressivamente conforme variação das porcentagens de madeira. Contudo, foram classificados como abaixo do estipulado em norma. E, por fim, a adesão interna, todos os painéis obtiveram valores acima dos estipulados em norma.

Como conclusão observa-se que é viável a produção de painéis de eucalipto com ou sem adição de cascas de pinus.

1.4.6. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais

Napoli *et al.* (2013) avaliaram propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com bracatinga e uva-do-japão para que pudessem ser utilizados como misturas em painéis de pinus e eucalipto. Os painéis foram produzidos com as espécies selecionadas, adesivo à base de ureia formaldeído 10%, prensadas em temperatura de 160 °C, pressão de 40 kgf/cm² (4 Mpa) pelo tempo de 10 minutos.

Os ensaios foram realizados em painéis produzidos tanto em laboratório quanto em ambiente industrial. As análises foram de massa específica, absorção d'água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas segundo a norma norte-americana ASTM D 1037:2006.

Pelos resultados, observou-se que as madeiras de eucalipto adaptam-se bem às misturas de bracatinga e uva-do-japão devido sua maior massa específica, reduzindo o inchamento em espessura. Quanto à absorção d'água, as madeiras também apresentaram comportamento positivo. De modo geral, os painéis produzidos na proporção 50/50 eucalipto/uva-do-japão apresentaram melhor estabilidade dimensional.

1.4.7. Chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resina poliuretana de óleo de mamona e madeiras tropicais

Silva *et al.* (2012) estudaram a viabilidade de fabricação de painéis produzidos com madeira de quatro espécies (feijó, figueira branca, paineira e cedrinho) misturadas em proporções iguais com 10% de resina poliuretana derivada de óleo de mamona. Os painéis foram prensados com 40 kgf/cm², temperatura de 90 °C, por 10 minutos.

Seguindo norma NBR 14810, foram realizados ensaios de umidade, inchamento em espessura, resistências à flexão estática (MOR e MOE), tração perpendicular e densidades aparentes.

Como resultado, foram constatados que as umidades se apresentaram dentro do intervalo de 5% a 11% e inchamento em 2 horas abaixo de 8%. Todos os valores dentro dos padrões da norma. Os valores de módulo de ruptura, resistência à tração perpendicular e densidade aparente das chapas obtidos foram muito acima dos exigidos em norma, o que possibilita conclusão de diminuição nas quantidades de adesivos para redução dos custos finais.

Como análise final, observa-se ser viável a utilização da resina poliuretana como aplicação para as misturas das espécies selecionadas na confecção de painéis de madeira aglomerada.

1.4.8. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET

Santos *et al.* (2011) verificaram a possibilidade de utilização de resíduos de madeira candeia e PET na produção de painéis aglomerados de eucalipto. A manufatura seguiu a proporção 25/75 de candeia/eucalipto, partículas de PET com porcentagens de 0%, 25% e 50%, adesivo ureia-formaldeído 12%, com prensagem de 0,4 MPa, temperatura de 160 °C, por 8 minutos.

Os ensaios de propriedades físicas e mecânicas analisados foram de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas, ligação interna, compressão paralela e flexão estática (MOR e MOE), conforme normas DIN (1971), ASTM D 1037-93 (1995) e CS 236-66 (1968).

Como resultado final, verificou-se a possibilidade de utilização do resíduo da madeira de candeia, em associação à madeira de eucalipto, atendendo às normas constatadas para as propriedades físicas de absorção e inchamento, e mecânicas de ligação interna e compressão, porém, para as avaliações de flexão estática, os resultados não foram satisfatórios. De modo geral, observou-se que, quanto maior a adição de PET, menores são os valores das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados.

1.4.9. Inclusão de resíduos plásticos urbanos na produção de painéis aglomerados

Almeida *et al.* (2012) pesquisaram a oportunidade de utilização de plásticos poliestireno na produção de painéis aglomerados de pinus.

Para a fabricação foram empregados adesivo uréia-formaldeído 8%, teor de parafina 1%, densidade aparente de 0,700 g/cm³, temperatura 150° C e pressão de 3,92 MPa por 8 minutos. Quanto aos plásticos, constituíram 15% de copos moídos.

Foram realizados ensaios físicos para verificação de densidade aparente, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão para dois tipos de tratamentos: sem e com resíduos, de acordo com norma ASTM D 1037 (2006).

Quanto aos resultados, observou-se que os resíduos empregados nos painéis não influenciaram na absorção de água, porém houve valores expressivos quanto ao inchamento em espessura após 24 horas, tornando inviável sua utilização.

1.4.10. Aplicação de resíduos de madeira e plástico: confecção de compósito plástico-madeira e suas aplicações.

Viola *et al.* (2013) utilizaram resíduos de madeira e plástico para a fabricação de compósitos para uso na construção civil. A manufatura aconteceu com polipropileno reciclado e pó de madeira nas proporções 100%; 90% e 10%; 80% e 20%; 70% e 30%.

Foram avaliadas características físicas e mecânicas em testes de impacto de tração, índice de fluidez, absorção de água, envelhecimento e inchamento em espessura.

Quanto à estabilidade dimensional, os resultados foram apropriados, e os painéis com 30% de madeira foram os que tiveram mais absorção e inchamento. Sobre o envelhecimento acelerado, não foram constatadas alterações relevantes. Pela análise microscópica eletrônica, constatou-se que houve a aderência das fibras da madeira com o polipropileno. Os índices de fluidez provaram que há menores resultados com maiores porcentagens de madeira. Sobre os ensaios mecânicos, todos os resultados foram compatíveis com os já estudados.

Com isso nota-se que é possível a produção de compósitos a partir de madeira e plásticos, podendo ser usados em locais livres de umidade.

1.4.11. Aspectos gerais quanto às análises

A utilização de novos materiais para chapas de madeira aglomerada está em grande avanço, mostrando a necessidade de novos estudos. E, pelos estudos apresentados, observam-se resultados satisfatórios, provando-se que características, tanto físicas como mecânicas, podem atingir o nível exigido em norma e até ultrapassar tais parâmetros, superando as expectativas de estudiosos com a indicação de poderem ser lançados no mercado.

O presente trabalho vem ao encontro dessa tendência. Um painel de madeira aglomerada produzido com serragem residual de serrarias, juntamente com resíduos de material plástico (EPS), atuando como adesivo para a aglutinação das partículas, dando origem a um novo produto com utilização tanto para móveis quanto para área da construção civil.

*E assim se
faz...*

Jane Eliza de Almeida Lacombe

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

2.1.1. Espécies de madeira

As partículas escolhidas foram extraídas de resíduo provenientes de cortes ou acabamentos em madeiras maciças de estabelecimentos do segmento madeireiro nas cidades de São Carlos – SP e Barra do Bugres - MT.

As espécies selecionadas foram Pinus, Eucalipto, Peroba e Teca (Figura 10).

Figura 10 – Serragem das madeiras usadas para a fabricação dos painéis

Fonte: Arquivo pessoal / IPT (2015)

As duas primeiras, Pinus (*Pinus elliottii* Engelm.) e Eucalipto (*Eucalyptus saligna* Sm.), foram selecionadas por serem as mais comercializadas no Estado de São Paulo, além de serem as espécies de maior área de floresta plantada para reflorestamento, no Brasil. Já a Peroba (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.) foi escolhida devido ao bom desempenho apresentado em pesquisa da autora desta tese nos estudos de mestrado, em 2009. Por sua vez, a Teca (*Tectona grandis* L.f.)¹¹ também constitui objeto desta pesquisa por ser uma nova espécie atualmente empregada para reflorestamentos no país e que tem apresentado bons resultados em pesquisas quanto aos comportamentos estruturais.

Optou-se por esse tipo de material, retirado das serrarias, pois diariamente são originadas grandes quantidades de resíduos dos desbastes, que são descartados sem valorização, não gerando valor agregado ao material. Assim, fora pensado em sua utilização para serem adicionadas funções ao rejeito, além de insuficiência de espaço para seu armazenamento.

¹¹ Muito utilizada na região centro-oeste do país, principalmente no estado do Mato Grosso.

2.1.2. Adesivos

O adesivo utilizado foi o isopor. Na pesquisa de mestrado da autora desta tese, houve a comprovação de que o isopor pode ser utilizado como adesivo, devido aos bons resultados obtidos em ensaios de ligação interna, absorção e inchamento comprovados.

Sendo assim, para que o isopor seja utilizado como adesivo, o mesmo precisa passar por alterações com a utilização de solventes, para quebra de sua rigidez. Conforme estudos de Avesani Neto (2008), o EPS é dissolvido por poucos tipos de líquidos, sendo eles os solventes orgânicos derivados do petróleo. Com isso, para a busca de um solvente que pudesse torná-lo “fluido”, foram utilizados acetona, gasolina e *thinner*.

2.1.3. Equipamentos

2.1.3.1. Procedimentos de determinação do teor de umidade das partículas

Para a secagem do material, foi utilizada uma fôrma de alumínio no tamanho de 24x10x5cm com amostra da serragem no controle para leituras periódicas.

Para as verificações, a balança usada foi a AS 5500 de carga máxima de 5000g e precisão de 0,01g e estufa de secagem e esterilização (Figura 11).

Fôrma de alumínio

Balança

Estufa de secagem e esterilização

Figura 11 – Equipamentos usados para determinação de teor de umidade das partículas

Fonte: Arquivo pessoal

2.1.3.2. Confeção dos painéis

Na transformação dos cavacos em partículas, foi usado moinho-martelo modelo MA 090/CF, com peneira interna com abertura de aproximadamente 2,4 mm.

Para derretimento do adesivo, foram utilizadas caixas e baldes plásticos rígidos, bem como jarra graduada para medição do solvente.

Moinho-martelo

Peneira interna ao moinho

Caixas plásticas

Balde plástico

Figura 12 – Equipamentos e acessórios usados para confecção dos painéis I

Fonte: Arquivo pessoal

A formação do colchão foi feita em caixa de madeira, sem fundo e tampa removível (Figura 13).

Caixa sem fundo

Tampa removível

Figura 13 – Fôrmas usadas para confecção dos painéis II

Fonte: Arquivo pessoal

Na prensagem, foi usada caixa de ferro sem fundo, com tampa estável para absorver a carga da Máquina Universal de Ensaio com capacidade de 30 kN e sensibilidade de 10 N (Figura 14).

Caixa de ferro sem fundo

Tampa estável da caixa em ferro

Figura 14 – Equipamentos usados para confecção dos painéis III

Fonte: Arquivo pessoal

Nos procedimentos, foram empregados equipamentos de proteção individual (Figura 15) como roupas, óculos, máscara e luvas compatíveis para produtos químicos.

Máscara e óculos de proteção

Luvas

Figura 15 – Equipamentos de proteção individual

Fonte: Arquivo pessoal

2.1.3.3. Ensaios de caracterização

Para os ensaios de caracterização, conforme norma NBR 14810 da ABNT (2006a), prevista para painéis de madeira aglomerada, foi necessário o corte dos corpos de prova com seus devidos tamanhos em serra circular para madeira, de mesa móvel.

Nos ensaios de caracterização física, para avaliação de densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, foram utilizados os seguintes equipamentos e acessórios:

- Balança analítica de capacidade 1000g e sensibilidade de 0,01g.
- Recipiente com água destilada, com temperatura controlada de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Estufa de secagem e esterilização.
- Paquímetro digital com capacidade de 30 cm e sensibilidade de 0,01mm.

Para os ensaios de caracterização mecânica, nos cálculos de tração perpendicular, compressão e flexão estática, os equipamentos empregados foram:

Paquímetro digital com capacidade de 30 cm e sensibilidade de 0,01mm.

- Cola PVA
- Acessórios necessários à realização dos ensaios (Figura 16).
- Máquina Universal de Ensaio com capacidade de 30 kN e sensibilidade de 10 N.
- Prensa Hidráulica (Máquina Universal de Ensaio) destinado aos ensaios de compressão.

Dispositivo para ensaio de ligação interna

Dispositivo para ensaio de flexão estática

Figura 16 – Acessórios necessários à realização dos ensaios

Fonte: Arquivo pessoal

2.1.3.4. Outros ensaios

Para outros ensaios serão avaliadas resistência a incêndios, variação térmica, degradação, abrasão e ataques químicos.

Para os ensaios de inflamabilidade, foram usados dispositivos e aplicativos para testes de inflamabilidade equipados pela empresa Newtech Assessoria, Consultoria e Prestação de Serviços S/S Ltda, da cidade de São Carlos – SP.

Nas análises termogravimétricas, foi empregada termobalança (Figura 17) com precisão de 0,1 µg.

Figura 17 – Termobalança com detalhe para micro balança

Fonte: Arquivo pessoal

Os ensaios de degradação foram realizados por meio de câmaras especiais de envelhecimento artificial (Figura 18) com lâmpadas fluorescentes ultravioleta, simulando o efeito da luz solar e mistura de água e vapor com sprays de água para o orvalho e chuva.

Corpos de prova no interior da câmara de ensaio

Realização do ensaio de envelhecimento acelerado

Figura 18 – Corpos de prova na câmara de ensaio de envelhecimento acelerado

Fonte: Arquivo pessoal

Quanto aos ensaios de abrasão, foram realizados por máquinas de ensaios de resistência a abrasão para classificação de placas cerâmicas, conforme norma NBR 13818, da ABNT (1997) (Figura 19), seguindo orientação de IPT (2014) em que afirma que os testes para pisos laminados são aplicados conforme as normas de pisos cerâmicos.

Figura 19 – Máquina de ensaios de resistência a abrasão para classificação de placas cerâmicas.

Fonte: CCB - Centro Cerâmico do Brasil (2014)

E, por fim, nos ensaios de ataques químicos foram empregados cloreto de amônia, hipoclorito de sódio, ácidos clorídrico, cítrico e láctico e hidróxido de potássio de 30g/l e 100g/l, seguindo especificação conforme norma vigente supracitada.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Teor de umidade das partículas de madeira

Depois da retirada do material residual, inicialmente da empresa de São Carlos - SP e, depois de Barra do Bugres – MT, foi realizada a geração das partículas, no laboratório. Após esse momento, a serragem foi deixada em estado de secagem natural, ao ar, abrigado das intempéries, por no mínimo dois meses, para estabilização¹² (Figura 20). Após a aferição dos equipamentos, o ensaio para verificação de teor de umidade pôde ser iniciado.

Material residual armazenado na empresa

Serragem, no laboratório, para estabilização ao ar

Figura 20 – Secagem natural, ao ar, das partículas

Fonte: Arquivo pessoal

Iwakiri (2005) afirma que as verificações da umidade das partículas de madeira fazem parte desde o início da produção das chapas aglomeradas influenciando na qualidade do painel. Para isso, é necessária a secagem da mesma até chegar à umidade satisfatória. Para este estudo, a verificação ocorreu para que sejam usadas partículas secas ao ar. Com isso, foi avaliada sua influência para a produção e para os comportamentos físicos e mecânicos.

O teor de umidade é encontrado a partir da porcentagem de água extraída de uma amostra, quando esta é submetida a certa temperatura, até sua massa tornar-se constante

¹² A umidade do ar variou conforme os meses do ano, não havendo uma padronização de dados, que foram obtidos por informações fornecidas pela estação meteorológica localizada no Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos – IAU/USP.

(ABNT 2006c). Seu valor é adotado em relação à massa seca, como se apresenta na expressão (1). Os resultados são obtidos em porcentagem.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (1)$$

U - umidade residual do material, dada em porcentagem

MU - massa úmida do mesmo, em gramas

MS - massa seca, também em gramas.

Para a determinação do teor de umidade do ensaio proposto, utilizou-se do método gravimétrico ou da pesagem, que consta dos seguintes procedimentos:

- 1 Determinação da massa inicial da amostra;
- 2 Colocação na estufa de secagem com temperatura de $(100 \pm 2)^{\circ}\text{C}$;
- 3 Durante a secagem, medição a cada hora até que ocorra uma variação, menor ou igual a 0,5% das últimas 6 horas da massa medida, encontrando desta maneira a massa seca;
- 4 Conhecida a massa seca da amostra, determina-se a umidade a base seca pela expressão definida de teor de umidade.

Seguindo o método previsto na “NBR 14810-3 - Chapas de madeira aglomerada Parte3: Métodos de ensaio”, da ABNT (2006c), as verificações iniciaram-se, depois de ligada a estufa a 100°C , com medições de uma em uma hora, separadamente.

A norma NBR 14810 da ABNT (2006b), não cita os valores necessários quanto à umidade das partículas para a produção. No entanto, Nascimento (2003), em seus estudos, enfatiza que as partículas precisam ser mantidas entre 3% e 12%, dependendo do tipo de adesivo a ser utilizado, para que haja uma boa penetração.

Neste caso, observou ser desnecessário controlar a umidade das partículas, pois será adicionada água à mistura para melhorar a viscosidade do adesivo. Por outro lado, é interessante o controle inicial, a fim de uniformizar a forma de definir as proporções da mistura, uma vez que foram estabelecidas pela massa, que varia com o teor de umidade das partículas. Assim, as partículas foram secas ao ar até estabilização da massa. O controle desse processo de estabilização foi feito nos estudos da fase I, para a fase II esse estudo foi abolido, mas a secagem ao ar mantida por período bem maior que o necessário, garantindo a estabilização da massa.

Assim, a serragem utilizada foi residual e encontrava-se estabilizada e seca ao ar, para que houvesse o mínimo de gasto para a produção. Com isso, neste trabalho, foi verificada a porcentagem de umidade em que se encontravam e, com os resultados obtidos, tanto em umidade quanto em análises físicas e mecânicas, tal afirmação será homologada ou apresentará novas perspectivas para estudos posteriores.

2.2.2. Adesivo

Imaginou-se inicialmente utilizar o EPS derretido pelo calor como adesivo, sem que fossem necessários os solventes, pelo método de prensagem a quente para o derretimento do plástico. Como os resultados não foram positivos, dado que o isopor não aderiu conforme o esperado às partículas, houve a necessidade de novos estudos e com vários solventes.

A utilização do EPS dissolvido com solvente, como adesivo na montagem do painel, mostrou-se adequada e foi estudada neste trabalho. Sendo assim, foram avaliados de maneira igualitária (20 gramas cada um), com quantidades de serragem e isopor (Figura 21), os três solventes que podem ser empregados: acetona, gasolina e *thinner*.

Figura 21 – Avaliação da massa do material para testes da mistura serragem e isopor

Fonte: Arquivo pessoal

A dissolução do EPS com os adesivos e o resultado da união da massa com a serragem são fornecidos no item 3.2.1., da presente tese.

2.2.3. Manufatura dos painéis

De modo geral, segundo Iwakiri (2005) a produção das chapas de aglomerados de madeira, segue as seguintes etapas: a) obtenção dos cavacos de madeira; b) transformação dos

cavacos em partículas; c) peneiramento e seleção das partículas; d) secagem das partículas até atingir a umidade desejada; e) adição da resina, do solvente, do catalisador e da emulsão de parafina, quando necessárias; f) formação do colchão; g) pré-prensagem; h) prensagem (a quente); i) resfriamento; j) acondicionamento; k) lixamento e aparamento das bordas; l) classificação; m) embalagem; n) armazenamento.

É importante ressaltar que os quatro últimos itens estão relacionados à indústria comercial. Sendo assim, em fase laboratorial, não foram empregadas. Neste estudo, algumas alterações ocorreram, e, após todas as análises, a metodologia utilizada para a manufatura foi:

2.2.3.1. Obtenção dos cavacos de madeira

A proposta do trabalho é a utilização de resíduos para a fabricação de chapas de madeira. Portanto, todos os materiais encontravam-se armazenados para posterior descarte. Por esse motivo, não possuíam tamanhos selecionados (Figura 22).

Resíduo armazenado em serraria

Material retirado para estudos

Figura 22 – Obtenção dos cavacos de madeira

Fonte: Arquivo pessoal

2.2.3.2. Transformação dos cavacos em partículas

Ao serem retiradas dos estabelecimentos de descartes, as serragens foram levadas ao laboratório, e transformadas em partículas de tamanhos pré-definidos (Figura 23).

Moinho martelo

Colocação dos cavacos

Serragem obtida

Figura 23 - Transformação dos cavacos em partículas

Fonte: Arquivo pessoal

2.2.3.3. Peneiramento e seleção das partículas

As serragens utilizadas foram as que passaram pelos vãos da peneira que se assemelha à de nº 8, da ABNT, com abertura de aproximadamente 2,4 mm, existente dentro do moinho, configurando, desta maneira, painéis de estruturas homogêneas e de tamanhos variados.

O peneiramento em peneiras diferenciadas, propositadamente, não ocorreu, para que houvesse o aproveitamento total do material recebido direto da serraria.

2.2.3.4. Secagem das partículas até atingir a umidade desejada

Seguindo o intuito do trabalho, de maior aproveitamento de resíduos com o mínimo de gastos, principalmente energético, a secagem das partículas não foi predeterminada. Depois de geradas as partículas, as mesmas ficaram em repouso para a estabilização ao ar (Figura 24).

Figura 24 – Serragem em estabilização ao ar
Fonte: Arquivo pessoal

2.2.3.5. Adição da resina e do solvente

O adesivo utilizado foi o isopor dissolvido por meio de solvólise com solventes orgânicos para ser transformado em “goma” e misturado manualmente à serragem (Figura 25).

Aparas de isopor antes da solvólise

Isopor unido ao solvente

Figura 25 – Isopor transformado em adesivo
Fonte: Arquivo pessoal

Durante a mistura, houve adição de água para tornar o adesivo EPS, dissolvido, mais viscoso, além de umedecer as partículas de madeira para facilitar a mistura dos materiais, diminuindo a quantidade de solvente. A quantia utilizada de água e solvente variou conforme a necessidade e foi encontrada experimentalmente até obter “ponto” homogêneo para mistura¹³, não ocorrendo unidade no método.

Após o derretimento completo do isopor, o mesmo foi misturado manualmente à serragem, na proporção 50/50 (50% serragem e 50% isopor), até que a massa ficasse completamente homogênea, de forma que todas as partículas entrassem em contato com o isopor (Figura 26).

Isopor derretido (goma)

Mistura do isopor com a serragem

Homogeneidade da massa

Figura 26 – União do adesivo às partículas

Fonte: Arquivo pessoal

2.2.3.6. Formação do colchão

Após a mistura das partículas com o adesivo, a “massa” foi espalhada e orientada ao acaso, em uma caixa sem fundo, para uma pré-prensagem (Figura 27). Tal caixa serve para acomodar o produto inicial para que o mesmo fique nos moldes para a prensagem final.

Caixa de madeira sem fundo

Espalhamento da “massa”

Figura 27 – Formação do colchão

Fonte: Arquivo pessoal

¹³ Uma vez que não há bibliografia sobre o assunto.

Nem todas as massas (mistura de partículas e adesivos) obtiveram a mesma consistência e homogeneidade. O diferencial foi quanto ao isopor, que se comportou diferentemente em alguns casos, e principalmente se comparados aos primeiros estudos iniciado no mestrado no ano de 2009 no estado do MT. Naquele momento, o isopor, ao ser derretido, misturava-se rapidamente com a serragem, principalmente quando na mistura adicionava-se água, pois o EPS torvava-se uma goma, de fácil aderência. Nesta pesquisa, em algumas placas, o isopor formou uma goma que não se misturava e segregava-se não havendo interação com as partículas (Figura 28).

Figura 28 – Comportamento de separação do isopor em algumas placas

Fonte: Arquivo pessoal

Duas hipóteses podem ser levantadas para tal mudança:

1. Alteração da composição do solvente usado (gasolina), principalmente pelo aumento da diluição em álcool.
2. Mudança brusca de temperatura, uma vez que em 2009, os painéis foram fabricados no estado do Mato Grosso, com temperatura anual média variando de 30°C a 40°C¹⁴.

2.2.3.7. Pré-prensagem

Os colchões formados apresentaram aproximadamente 40 mm de altura e somente após 24 horas, no mínimo, foram prensados e finalizados (Figura 29).

O período de espera de um dia foi estipulado após experimentações preliminares, pois as placas confeccionadas, quando prensadas antes do tempo especificado, apresentavam defeitos como derramamento excessivo do solvente e bolhas de ar, observadas ao retirar a tampa da caixa, problemas que inviabilizavam sua utilização.

¹⁴ Temperatura alta, se comparadas às encontradas, nesta fase da manufatura, nos meses de junho e julho na cidade de São Carlos – SP.

Preparação da acomodação

Acomodação prévia

Altura do colchão

Figura 29 – Acomodação do painel e espera para futura prensagem

Fonte: Arquivo pessoal

2.2.3.8. Prensagem

No processo habitual de prensagem para a fabricação de painéis de madeira, a utilização da temperatura é frequente, uma vez que é de fundamental importância seu emprego para a cura dos adesivos. Nesse atual processo, como está sendo aplicado um novo adesivo, a temperatura não influencia na cura, mas sim, o tempo de evaporação do solvente. Assim a prensagem foi feita em sala climatizada com prensa universal de ensaios (Figura 30).

Painel na caixa de ferro sem fundo

Caixa de ferro com a respectiva tampa

Aplicação da carga durante a prensagem

Figura 30- Processo de prensagem das placas

Fonte: Arquivo pessoal

Os painéis foram submetidos à prensagem final com carga de 200 kN, correspondendo a uma pressão de 4 MPa, por um período de 12 minutos. O tempo de prensagem e a carga necessária foram dosados com base na literatura sobre o assunto em que a carga de prensagem varia de 30 kgf/cm² (3 MPa) a 50 kgf/cm² (5 MPa) e o tempo de 5 a 12 minutos, conforme análise apresentada por Almeida (2011).

2.2.3.9. Resfriamento

Com a extinção da temperatura, a fase de resfriamento foi suprimida. No entanto, após a prensagem, as mesmas foram posicionadas em área com circulação de ar para secar, uma vez que, durante a manufatura, foi adicionado solvente e água.

Ao sair da prensagem, o molde de ferro em que se encontrava a placa foi posicionado de maneira que a mesma se soltasse naturalmente sem sofrer danos. Com isso, ficava exposta à ventilação para início do processo de cura (Figura 31).

Posicionamento para desprendimento

Painel solto da caixa

Exposição do painel em área ventilada

Figura 31– Secagem inicial dos painéis para início da cura

Fonte: Arquivo pessoal

A cura dos painéis, como já estudado anteriormente em 2009, ocorre aproximadamente após 30 dias, até que o solvente evapore totalmente, levando o isopor a tornar-se novamente sólido.

2.2.3.10. Acondicionamento

Para o processo de cura propriamente dito, os painéis foram acondicionados em um espaço coberto, fechado apenas com alambrados, o que fornecia passagem de ar constante. A acomodação foi feita com material suspenso ao chão para que não houvesse influência da umidade do solo (Figura 32).

Figura 32 – Acondicionamento do material em espaço aberto

Fonte: Arquivo pessoal

Durante um mês, os painéis ficaram em repouso neste local e foram pesados a cada 15 dias para a verificação da perda de massa, mostrando a evaporação do solvente. Este processo foi necessário também para que o odor do solvente pudesse ser dissipado.

Após o tempo de acondicionamento em área com ventilação, os painéis foram levados ao laboratório, em sala climatizada a 20 °C, e com umidade relativa do ar a 60%, durante 7 dias, para estabilização e total cura do adesivo (Figura 33).

Placas em espaço pré definido em laboratório

Temperatura de 20 °C em ar condicionado

Indicação de umidade relativa do ar a 60%

Figura 33 – Placas acondicionadas em sala climatizada para estabilização.

Fonte: Arquivo pessoal

Todo o processo de acondicionamento, tanto em espaço aberto como em sala climatizada, foi investigado cuidadosamente com relatórios por análises visuais. Também foi realizada observação por pesagem para verificação de perda de massa, antes de serem finalmente cortados e iniciados os ensaios de caracterização físicos e mecânicos.

2.2.4. Composição dos painéis

Para a composição dos painéis, foram utilizados de 400 a 500 gramas de serragem e a mesma quantidade de EPS, quando usado o solvente gasolina (fase I).

A variação ocorreu porque algumas serragens possuíam menor densidade, gerando maior volume. No entanto, depois de iniciados os ensaios de caracterização física, observou-se que os painéis com menor quantidade de serragem forneciam placas de densidade menor do que o usualmente empregado conforme norma NBR 14.810-2, da ABNT (2006b).

A partir disso, na segunda fase de manufatura, com o solvente *thinner*, foram empregados os mesmos pesos de partículas (500 gramas), mesmo gerando painéis de maiores espessuras, seguindo a proporção 50/50.

De cada experimento (pinus/ EPS /gasolina, eucalipto/EPS/gasolina, pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*) foram confeccionados 10

painéis de 30 cm x 25 cm. Em todas foram preparados corpos de prova para cada um dos ensaios (Figura 34).

Figura 34 – Corpos de prova para ensaios

Fonte: Arquivo pessoal

A Tabela 1 demonstra as quantidades e dimensões de cada um deles.

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova para os ensaios propostos

PROPRIEDADES	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA	DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA
Flexão estática	10	250 mm x 50 mm
Densidade	10	50 mm x 50 mm
Teor de umidade	10	50 mm x 50 mm
Tração Perpendicular	10	50 mm x 50 mm
Absorção	10	25 mm x 25 mm
Inchamento	10	25 mm x 25 mm
Compressão longitudinal	10	100 mm x 50 mm
Outros	10	250 mm x 50 mm

2.2.5. Ensaios de caracterização

Para o estudo do comportamento dos painéis de partículas, produzidos com adesivo isopor, foram realizados ensaios conforme prescrito na Norma Brasileira 14.810-3, da ABNT (2006c), para a caracterização física (densidade, teor de umidade, absorção e inchamento) e mecânica (tração perpendicular, compressão longitudinal, módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática) dos painéis.

Os ensaios ocorreram após a prensagem e completa cura da resina, depois de, no mínimo, 30 dias de fabricação, e estabilização ao ar e em sala climatizada, 7 dias.

2.2.5.1. Densidade

Da expressão (2), resultam os valores de densidade, obtidos pela relação entre massa e volume.

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (2)$$

D - densidade em kg/m³;

M - massa em g;

V - volume em mm³.

2.2.5.2. Teor de umidade

As determinações dos valores de teor de umidade dos painéis de madeira aglomerada são encontradas, por pesagem, onde os corpos de prova são submetidos à estufa em uma temperatura de $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$, até que suas massas entrem em estabilização, ou seja, massa constante, desde sua amostragem até a sua secagem final, por percentagem, pela expressão (3),

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

U - teor de umidade do corpo de prova, em %;

M_u - massa úmida do corpo de prova, em g;

M_s - massa seca, em g.

2.2.5.3. Absorção e inchamento

Para serem verificados os resultados, conforme norma brasileira, são avaliados o aumento da massa de um corpo de prova, quando o mesmo é imerso em água pelo tempo de 24 horas. As avaliações são medidas após 2 horas, depois de submerso, e ao final do ensaio.

Apesar de não haver exigências quanto aos valores em 2 e 24 horas, a “NBR 14.810-3 - Chapa de madeira aglomerada Parte 3: Métodos de ensaio”, da ABNT (2006c), apresenta como método para a absorção de água, seguir a expressão (4).

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (4)$$

- A - absorção de água, em %;
 M1 - massa do corpo de prova após imersão, em g;
 M0 - massa antes da imersão, em g.

Para inchamento em espessura, os valores foram encontrados utilizando-se a expressão (5).

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (5)$$

- I - inchamento em espessura, em %;
 E1 - espessura do corpo de prova após o período de imersão, em mm;
 E0 - espessura do corpo de prova antes da imersão, em mm.

2.2.5.4. Tração perpendicular

Tal propriedade é obtida pela expressão (6)

$$TP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

- TP - resistência à tração perpendicular, em MPa;
 P - força na ruptura, em N;
 S - área da superfície do corpo de prova, em mm².

Os procedimentos para os ensaios obedeceram aos princípios básicos da norma brasileira NBR 14.810-3, da ABNT (2006c), que especifica que o corpo de prova tem que ser colado com adesivo PVA em blocos de material compatível com a chapa de madeira aglomerada (madeira maciça), formando um conjunto para ser acoplado ao dispositivo de tração (Figura 35).

Dispositivo de tração perpendicular

Corpo de prova colado em material compatível

Dispositivo com o corpo de prova

Figura 35 – Ensaio de tração perpendicular (ligação interna)

Fonte: Arquivo pessoal

2.2.5.5. *Compressão longitudinal*

A resistência à compressão longitudinal é fornecida por ensaios, conforme Figura 36 e dada pela expressão (7).

Máquina de ensaios para compressão

Corpo de prova posicionado para início do ensaio

Corpo de prova de compressão longitudinal

Figura 36 – Ensaio de compressão longitudinal

Fonte: Arquivo pessoal

$$f = \frac{F}{A} \quad (7)$$

f - compressão longitudinal, em MPa;

F - força de ruptura, em N;

A - área de seção, em mm².

A área da seção transversal é obtida pela expressão (8)

$$A = I \times e \quad (8)$$

A - área de seção, em mm²;

I - largura da amostra, em mm;

e - espessura da amostra, em mm.

2.2.5.6. Flexão estática

Para MOR, os valores foram encontrados e obtido pela expressão (9)

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (9)$$

MOR - módulo ou tensão de ruptura, em MPa;

P - carga de ruptura lida no indicador de cargas, em N;

D - distância entre os apoios do aparelho, em mm;

B - largura do corpo de prova, em mm;

E - espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em mm.

Quanto aos resultados de MOE, todos os dados obtidos, em cada um dos ensaios, foram registrados em um relatório no qual também constava o diagrama “Força/deslocamento”, onde estavam relacionados a força aplicada e o deslocamento medido para a posterior obtenção do módulo de elasticidade, conforme Figura 37.

Figura 38 – Ensaios de inflamabilidade

Fonte: Tudo sobre Plásticos - Aditivos Anti-chama (2014)

As análises de TGA foram executadas em acordo com ASTM E 1131 da ASTM (2008) (com variações quanto às temperaturas utilizadas)¹⁵, aferindo as medidas de massa do corpo de prova variando de 10 a 15 mg. Com sensibilidade de $0,1 \mu\text{g}$, as amostras foram aquecidas a razão de $20^\circ\text{C}/\text{min}$, por meio de termobalança que permite a pesagem contínua em função da temperatura conforme é aquecida pelo tempo mencionado. Na primeira etapa, foi utilizado gás nitrogênio (para ficar em ambiente inerte) variando a temperatura ambiente até 50°C por 10 min. Na segunda etapa, foi injetado ar (gás reativo) em temperatura constante de 50°C por 12 horas.

Quanto aos ensaios de degradação, a metodologia utilizada seguiu os parâmetros apresentados por Fragata *et al.* (2010) com base na norma ASTM G 154, da ASTM (2008), utilizando os ciclos de 8 horas de exposição à radiação UV e temperatura de $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$ intercalados a 4 horas de condensação de umidade e temperatura de $(50 \pm 3)^\circ\text{C}$. Os tempos de exposição foram 1500 horas (simulação de aproximadamente 3 anos), com retirada a cada 500 horas para avaliação.

De cada uma das espécies, foram escolhidas 3 amostras (numeração aleatória), e avaliadas por 3 períodos (A, B, C). As amostras com marcações A, são as retiradas após análise de simulação de 1 ano (500 horas), as de marcações B, 2 anos (1000 horas) e, por fim, as com marcações C, análises de 3 anos de simulação (1500 horas).

As amostras foram expostas sem produtos preservativos para serem avaliadas *in natura*. Quanto às análises qualitativas, os resultados foram baseados na metodologia apresentada por

¹⁵ No ensaio original, para polímeros, são aquecidos os corpos de prova até a temperatura de 560°C por 10 min, até que não ocorra mais a perda de massa, e ao final (segunda etapa) é injetado gás reativo (ar) até a temperatura de 800°C . Para este trabalho, a temperatura escolhida foi de 50°C (constante máxima a que pode chegar a temperatura em dias de altos picos de calor), por um tempo de 12 horas (Estimativa máxima de tempo que o sol pode radiar calor diretamente sobre o material).

Nascimento (2003), e foram observadas características quanto ao aspecto geral, resistência ao tato, brilho, ondulações, manchas, descoloração, fissuras e desprendimento de partículas. Já a respeito dos dados quantitativos, as análises foram de caracterização físicas de absorção e inchamento e, mecânica de ligação interna.

E, por fim, os ensaios de abrasão e ataques químicos foram efetivados conforme NBR 13818, da ABNT (1997). Tal norma foi especificada, pois segundo IPT (2014), uma das maiores questões quanto à qualidade de revestimentos em madeira e muitas vezes um dos pontos mais avaliados pelos consumidores, é a resistência e classificação por abrasão, indicando a vida útil do piso. Tais testes são aplicados conforme as normas de pisos cerâmicos, porém adaptados aos pisos laminados, por exemplo.

2.2.7. Análise estatística

Para cada característica física e mecânica estudada foram obtidos: a média da amostra, expressão (10); o desvio padrão da amostra, expressão (11); o coeficiente de variação da amostra, expressão (12); e o intervalo de confiança da média, expressão (13).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (10)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (11)$$

$$\delta = \frac{S}{x} \quad (12)$$

$$\bar{x} - t(\phi, \Delta P\%) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu_x \leq \bar{x} + t(\phi, \Delta P\%) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

Onde:

- $\bar{x}$ - média da amostra
- x_i - característica “x” do elemento i
- n - número de elementos da amostra
- S_x - desvio padrão da amostra
- δ - coeficiente de variação da amostra
- t - estatística de Student

ϕ	- graus de liberdade
$\Delta P\%$	- nível de confiabilidade (usual 95%)
μ_x	- intervalo de confiança da média

Todo cálculo estatístico foi feito com auxílio do aplicativo de planilha eletrônica Microsoft Excel.

*Nasce o novo
painel de
madeira...*

Jane Eliza de Almeida Lacombe

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROPOSTA PARA A REUTILIZAÇÃO E MELHOR EMPREGO DA SERRAGEM COMO RESÍDUO

Tomando como base o fluxograma geral da cadeia produtiva, apresentado na Figura 3, proposto por Ferreira (2002) *apud* Grassel e Sá (2010), propôs-se a seguinte alteração apresentada na Figura 39.

Figura 39 – Nova proposta de fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira
Fonte: adaptado de Ferreira (2002) *apud* Grassel e Sá (2010).

Avaliando mais precisamente a passagem da origem da madeira para a produção de insumos/matéria-prima, os resíduos¹⁶ poderiam ser reaproveitados para a fabricação dos painéis, ampliando assim sua produção (Figura 40).

Figura 40 – Detalhe da reutilização de resíduos da nova proposta de fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira

Fonte: adaptado de Ferreira (2002) *apud* Grassel e Sá (2010).

¹⁶Gerados na extração das florestas nativas para o desdobro das serrarias, bem como das florestas plantadas que são utilizadas nas serrarias, laminadoras e indústria de painéis

A pequena alteração proposta em nada modificou as fases já existentes, anteriores ou posteriores, na cadeia produtiva. Ao contrário: a reutilização de resíduos para a fabricação dos painéis, além de aumentar a produção, necessária pelo grande consumo dos painéis, minimiza os problemas ambientais já citados anteriormente quanto ao acúmulo em locais inapropriados e sem utilização.

O próximo passo a ser avaliado é a produção do próprio painel. Compreender sua produção industrial auxiliou a perceber quais as modificações necessárias na indústria, a partir do momento em que um novo produto poderá ser fabricado.

A Figura 41 representa o fluxo de fabricação industrial de painéis de madeira.

Figura 41 – Fluxograma de fabricação de painéis de madeira

Fonte: Eucatex (2012).

O modelo habitual de fabricação de painéis de madeira aglomerada nas indústrias é constituído desde a extração da madeira, nas florestas plantadas, até a embalagem e estoque, fase em que o consumidor final¹⁷ irá recebê-lo, contrariando um pouco a proposta de fluxo de produção das chapas de madeira aglomerada apresentada por Iwakiri¹⁸ (2005).

Ao ser analisada a imagem (Figura 41), observou-se que uma fase não encontrada nas indústrias é a de pré-prensagem, entre a formação do colchão e a prensagem propriamente dita. Esta fase ocorre para que haja a estabilização dos materiais e será discutida a seguir, dada sua importância para a fabricação do novo painel de madeira aglomerada.

Para viabilizar a execução do painel nas indústrias, algumas mudanças foram propostas sem que houvesse grandes alterações no fluxograma atual. As alterações sugeridas são: retirada da fase inicial até a produção de partículas, pela substituição dos resíduos; troca da aplicação de resina (adesivos) pela mistura do EPS e acréscimo da fase de pré-prensagem.

Pela nova proposta, como a madeira obtida será por meio de resíduos, não é prescindível a fase inicial, *Florestas Plantadas, Toras, Descascador, Produção de Cavacos*.

A fase de troca da *Aplicação de Resina* pela *Mistura do EPS* é a que mais necessita de atenção. As partículas, ao serem misturadas com o EPS para a formação do painel, precisam estar distribuídas homogeneamente, uma vez que todos os corpos devem estar em contato uns com os outros para que haja uma boa “cola” no processo de prensagem. A sugestão é a utilização de esteiras vibratórias que liguem a *Classificação de Partículas* até a *Formação do Painel*. Assim, os plásticos já triturados se ligam às partículas e nesse momento também são acrescentados os solventes para a “diluição” do EPS.

O acréscimo da fase de *Pré-Prensagem* entre a *Formação do Painel* e a *Prensagem Contínua* é de extrema importância nessa nova proposta para a associação dos materiais. Como o novo adesivo não estará totalmente líquido, o isopor deverá ter uma acomodação mais adequada com as partículas de madeira para, então, ser prensado finalmente.

As variações indicadas não alteram as fases finais do fluxograma, que se mantém da mesma maneira utilizada atualmente (Figura 42). Com isso, almeja-se que não haja conflitos,

¹⁷ Neste momento, nomeia-se consumidor final por ser a última fase nesta indústria. No entanto as mesmas fornecem materiais para outros tipos de indústrias como, por exemplo, as de móveis e pisos.

¹⁸ O autor, em seus dados, começa o fluxo de produção a partir da geração de partículas. Entretanto muitas indústrias hoje já possuem suas próprias florestas, localizadas próximas ao complexo industrial. Sendo assim, as empresas colhem as árvores, geram as toras, descascam-nas, produzem os cavacos e, a partir disso, produzem as partículas, ou seja, o fluxo de produção se amplia em quatro fases.

nem distanciamentos do conhecimento e que possa haver a transferência desse aprendizado em laboratório até a área industrial.

Figura 42 – Nova proposta de fluxograma de fabricação de painéis de madeira com uso de resíduos

Fonte: adaptado de Eucatex (2012).

3.2. ESTUDOS PRELIMINARES PARA FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA

Para provar que o isopor poderia se comportar corretamente como adesivo, foram necessários estudos de solventes possíveis para seu derretimento. Desta maneira estão apresentados, a seguir, todas as etapas e, ao final, os estudos dos painéis foram subdivididos em fase I, onde foram avaliados os painéis pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina, e fase II,

onde foram avaliados os painéis pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*.

3.2.1. Análise e teste de adesão do EPS com a serragem

O processo de adesão, como afirma Iwakiri (2005), pode ser classificado quanto aos mecanismos que podem ser por teoria mecânica, difusão de polímeros ou adesão química. No processo estudado, o emprego ocorreu pela teoria de difusão química, na qual há o espalhamento das cadeias dos polímeros, ou seja, o adesivo cura pela evaporação do solvente ou da água.

A priori, foi tentada a utilização do isopor sem que fossem necessários os solventes, pelo método de prensagem a quente para o derretimento do plástico. No entanto, ao ser colocado em contato com o calor, o isopor começou a perder suas propriedades sólidas, mas, ao derreter, tornou-se rapidamente um plástico com diferenciadas características físicas, mas sem modificar sua forma original sólida. Com isso observou-se que o poliestireno expandido apenas perdeu seu ar interior, diminuindo assim seu volume, sem que houvesse a fluidez do material (Figura 43).

Modificação das propriedades após contato com o calor

Resultado da prensagem com o calor

Volume do isopor antes e após contato com o calor

Figura 43 – Características do isopor ao ser colocado em contato com calor

Fonte: Arquivo pessoal

Ao se unir com a serragem, constatou-se que ocorreu um pré-endurecimento rápido havendo uma solidificação do plástico impedindo a necessária penetração do adesivo (Figura 44).

Figura 44 – Comportamento do isopor com a serragem ao ser retirado do contato com calor

Fonte: Arquivo pessoal

O fenômeno é classificado como uma “insuficiente mobilidade do adesivo para fluir, transferir, penetrar e umectar” chegando a um resultado de pré-endurecimento, que ocorre quando o adesivo é secado ou parcialmente curado durante a aplicação (IWAKIRI, 2005).

É interessante salientar que a não utilização dos solventes seria mais conveniente, uma vez que sua técnica, apesar de ter um alto custo por consequência dos gastos energéticos, seria ambientalmente inovadora, pois os solventes necessários podem provocar danos tanto à saúde como ao ambiente. No entanto, são os únicos encontrados para que o processo de adesão possa ser efetuado.

Como forma de amenizar tais problemas, são necessários equipamentos especiais de segurança na manufatura, para que não haja prejuízo ao trabalhador. Outra questão a ser observada é a análise de tempo de evaporação completa do solvente para que não afete as pessoas que entrarão em contato com o produto.

3.2.1.1. Experimento com acetona

A acetona, ao entrar em contato com o isopor, dissolve-o instantaneamente. No entanto, por ser um material que se dissipa rapidamente ao ar, apresentou dificuldade para a moldagem, pois o *gel time*¹⁹ curto prejudica a preparação da placa.

Depois de unidos, o isopor dissolvido e a serragem formaram um produto que secou rapidamente e ficou leve, pois não havia mais líquido, restando apenas materiais necessários (plástico e serragem).

¹⁹O tempo de gelatinização, ou *gel time*, está relacionado ao tempo desde a preparação do adesivo até seu ponto máximo de viscosidade aceitável para a aplicação, influenciando no tempo de prensagem e qualidade de adesão (IWAKIRI, 2005).

Um problema constatado depois dos testes foi o controle de venda da acetona pela Polícia Federal, inviabilizando todo o processo. Pressupõe-se que tal medida está relacionada à utilização do produto para refino de entorpecentes. Por este motivo, o material foi descartado para continuidade desta e futuras pesquisas.

Derretimento do isopor com acetona

União do do isopor derretido com acetona e as partículas

Figura 45 – Demonstrativo do experimento do isopor com acetona e a união do adesivo com as partículas

Fonte: Arquivo pessoal

3.2.1.2. Experimento com gasolina

A gasolina apresentou ser um bom material em contato com o isopor para a transformação em adesivo. Como produto final, além de dissolvê-lo e transformá-lo em uma goma fácil de trabalhar, sua união com as partículas ofereceu um ótimo produto.

Derretimento do isopor com gasolina

União do do isopor derretido com gasolina e as partículas

Figura 46 – Demonstrativo do experimento do isopor com gasolina como também a união do adesivo com as partículas

Fonte: Arquivo pessoal

Apesar da boa trabalhabilidade, a gasolina é um solvente que demora muito para volatilizar. Com isso, torna-se impróprio para uso em adesivo em painéis, principalmente por causa do cheiro que exala pelo ar.

É importante que haja algum material que diminua seu odor, ou seja, algo que acelere seu processo de evaporação para que o painel possa ser usado com tempo suficiente de preparo e descanso, sem que seja oneroso para o fabricante.

3.2.1.3. Experimento com thinner

O *thinner* se mostrou com boa dissolução quando em contato com o isopor, transformando-o assim em uma boa cola. Seu tempo de trabalhabilidade é suficiente para a obtenção de bons resultados na manufatura. Como bom efeito, sua volatilização também demonstrou ser rápida, diminuindo assim, o cheiro depois da manufatura.

Visualmente tem-se a impressão de que as partículas não se uniram bem. No entanto, melhores resultados podem ser demonstrados com o passar do tempo, após a cura.

Derretimento do isopor com *thinner*

União do do isopor derretido com *thinner* e as partículas

Figura 47 – Demonstrativo do experimento do isopor com *thinner* como também a união do adesivo com as partículas

Fonte: Arquivo pessoal

Após o resultado dos testes, foram assim empregadas serragens residuais com isopor dissolvido em gasolina, sendo nomeados painéis de fase I; e *thinner*, designado painéis de fase II.

3.2.2. Avaliação da umidade das partículas

Após serem geradas as partículas para a confecção do painel alternativo de madeira aglomerada, o segundo passo para a produção, conforme Iwakiri (2005), é a secagem e análise da umidade da madeira.

3.2.2.1. Painéis fase I

As partículas escolhidas foram extraídas de resíduo provenientes de cortes ou acabamentos em madeiras maciças da empresa M3, da cidade de São Carlos - SP. As espécies selecionadas foram Pinus e Eucalipto, as mais utilizadas pela empresa para comercialização.

Para a serragem de pinus, a análise aconteceu apenas em um dia e, após nove horas, a mesma pode ser considerada seca, pois através da análise das seis últimas horas a variação da massa demonstrou-se menor do que 0,5%.

$$\Delta M = \frac{M4 - M10}{M10} \times 100 \longrightarrow U = \frac{54,97 - 54,76}{54,76} \times 100 = 0,38\%$$

Por meio do ensaio de controle da umidade das partículas, pode-se determinar a umidade a base seca em que se encontrava a serragem de quando seca ao ar, sendo de 14%.

Deste modo:

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \longrightarrow U = \frac{62,43 - 54,76}{54,76} \times 100 = 14,01\%$$

Todos os dados do controle da umidade das partículas de pinus podem ser analisados pela Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Controle da Umidade das partículas de pinus (U%)

Nº	Data	Horário	Situação ou Fase	Temperatura °C	Massa Geral (g)	Massa Serragem (g)	Teor de Umidade U (%)
01	22/mai	09:00	Seca ao ar	Ambiente	170,15	62,43	0,000
02	22/mai	10:00	Secagem em estufa	100	163,57	55,85	11,782
03	22/mai	11:00	Secagem em estufa	100	162,63	54,91	13,695
04	22/mai	12:00	Secagem em estufa	100	162,69	54,97	13,571
05	22/mai	13:00	Secagem em estufa	100	162,48	54,76	14,007
06	22/mai	14:00	Secagem em estufa	100	162,53	54,81	13,903
07	22/mai	15:00	Secagem em estufa	100	162,40	54,68	14,173
08	22/mai	16:00	Secagem em estufa	100	162,32	54,60	14,341
09	22/mai	17:00	Secagem em estufa	100	162,61	54,89	13,737
10	22/mai	18:00	Secagem em estufa	100	162,48	54,76	14,007

Após a verificação com a serragem de pinus, foram então avaliadas as de eucalipto.

Todos os dados do controle da umidade das partículas de eucalipto podem ser observados pela Tabela 3.

Tabela 3 – Controle da Umidade das partículas de eucalipto (U%)

Nº	Data	Horário	Situação ou Fase	Temperatura °C	Massa Geral (g)	Massa Serragem (g)	Teor de Umidade U (%)
01	23/mai	09:00	Seca ao ar	Ambiente	239,20	131,53	0,000
02	23/mai	10:00	Secagem em estufa	100	227,72	120,05	9,563
03	23/mai	11:00	Secagem em estufa	100	220,87	113,20	16,193
04	23/mai	12:00	Secagem em estufa	100	218,89	111,22	18,261
05	23/mai	13:00	Secagem em estufa	100	218,41	110,74	18,774
06	23/mai	14:00	Secagem em estufa	100	218,18	110,51	19,021
07	23/mai	15:00	Secagem em estufa	100	217,83	110,16	19,399
08	23/mai	16:00	Secagem em estufa	100	218,12	110,45	19,086
09	23/mai	17:00	Secagem em estufa	100	218,18	110,51	19,021
10	24/mai	08:00	Estufa desligada	-	223,90	116,23	13,164
11	24/mai	09:00	Secagem em estufa	100	220,00	112,33	17,092
12	24/mai	10:00	Secagem em estufa	100	218,73	111,06	18,431
13	24/mai	11:00	Secagem em estufa	100	218,41	110,74	18,774
14	24/mai	12:00	Secagem em estufa	100	218,21	110,54	18,989
15	24/mai	13:00	Secagem em estufa	100	218,18	110,51	19,021
16	24/mai	14:00	Secagem em estufa	100	218,06	110,39	19,150
17	24/mai	15:00	Secagem em estufa	100	218,00	110,33	19,215
18	24/mai	16:00	Secagem em estufa	100	217,98	110,31	19,237
19	24/mai	17:00	Secagem em estufa	100	218,04	110,37	19,172

O processo durou dois dias, até que a madeira pudesse ser considerada seca. Durante o primeiro dia, após oito horas, a serragem, quase obteve seu grau máximo de secagem. No entanto, como não obteve variação igual ou menor a 0,5%, houve necessidade de continuação do processo. Com o desligamento da estufa, de um dia para outro, a serragem teve um aumento em sua umidade, não podendo ser continuado os valores do dia anterior. Após nove horas novamente, a serragem pode ser considerada seca, com comprovação de que as seis últimas horas a variação da massa demonstrou-se menor do que 0,5%.

$$\Delta M = \frac{M_{13} - M_{19}}{M_{19}} \times 100 \longrightarrow U = \frac{110,74 - 110,37}{110,37} \times 100 = 0,34 \%$$

Assim, por meio do ensaio de controle da umidade das partículas, pode-se determinar a umidade a base seca em que se encontrava a serragem de quando seca ao ar, sendo de 19%, aproximadamente.

Deste modo:

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \longrightarrow U = \frac{131,53 - 110,37}{110,37} \times 100 = 19,17 \%$$

Com os resultados de todas as análises, verifica-se que as partículas secas ao ar encontram-se acima das recomendadas por Nascimento (2003), abrindo uma nova questão para futuras observações.

É importante salientar que os dados servem apenas como constatação, uma vez que na manufatura um dos procedimentos realizados é o acréscimo de água para aumentar a viscosidade do adesivo, o que torna as partículas com umidade muito acima do que foram apresentadas.

3.2.2.2. Painéis fase II

Intencionalmente, não foram feitas as análises das partículas da fase II, pois tal umidade não influenciará diretamente uma vez que o acréscimo de água na manufatura compromete os resultados obtidos, mas a secagem ao ar será mantida por período bem maior que o necessário, garantindo a estabilização da massa.

3.3. MANUFATURA DOS PAINÉIS

3.3.1. Fase I

Antes de serem ensaiadas as primeiras placas da pesquisa, foi importante o processo de observação em cada uma, para que pudessem ser investigadas integralmente todas as fases, inclusive qual a temperatura no dia da manufatura, bem como a umidade relativa do ar, no período²⁰.

Tal procedimento foi realizado para que, de modo simples, houvesse a comprovação do comportamento visual e tátil das placas bem como a perda de massa que poderia ocorrer durante o acondicionamento do produto, e também a influência do ambiente em todo o processo.

Alguns dos comportamentos ficaram semelhantes, mas, por se tratarem de serragens de espécies vegetais diferentes, foram separadamente apuradas.

Durante a manufatura das placas de pinus, observou-se bastante disparidade durante o processo, como, por exemplo, as placas iniciais foram bem sucedidas e com boa prensagem; contudo, no decorrer do tempo, algumas apresentaram dificuldade na produção, com o isopor

²⁰ Os dados foram retirados da estação meteorológica localizada no Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos – IAU/USP.

não se agregando bem às partículas. Por fim, nas últimas, houve novamente o encontro da boa liga dos materiais. Todas essas características estavam atreladas ao fator aumento de temperatura e clima ameno²¹ e, com isso, pode-se afirmar que o tempo frio e úmido dificultava o processo, sendo um dos pontos que necessitam de observação durante a fabricação.

Como resultado da análise do tempo de repouso e estabilização, de cada uma das placas, desde o início de sua manufatura, obteve-se a Tabela 4, abaixo, para as placas de pinus:

Tabela 4 – Análise do tempo de repouso das placas de pinus com solvente gasolina

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	17/jun	NDR	NDR	04/jul	1276,2	31/jul	1039,4	2,37	07/ago	1039,2	2,37
2	18/jun	NDR	NDR	04/jul	1133,9	31/jul	955,6	1,78	07/ago	956,7	1,77
3	19/jun	NDR	NDR	05/jul	948,7	31/jul	838,6	1,10	07/ago	840,2	1,09
4	19/jun	NDR	NDR	05/jul	928,6	31/jul	830,4	0,98	07/ago	834,2	0,94
5	20/jun	NDR	NDR	05/jul	905,8	31/jul	838,3	0,68	07/ago	840,1	0,66
6	01/jul	21,75	144,92	17/jul	875,2	31/jul	824,3	0,51	07/ago	824,9	0,50
7	01/jul	21,75	144,92	17/jul	795,5	31/jul	754,1	0,41	07/ago	755,0	0,41
8	01/jul	21,75	144,92	17/jul	821,3	31/jul	787,7	0,34	07/ago	789,2	0,32
9	02/jul	20,23	71,86	19/jul	841,2	31/jul	816,5	0,25	07/ago	818,2	0,23
10	03/jul	22,50	64,77	19/jul	900,6	31/jul	847,9	0,53	07/ago	847,3	0,53

NDR – Nenhum dado registrado, estação em manutenção.

Conforme os dados processados, constata-se que, decorrente o primeiro mês (da manufatura para a segunda pesagem), houve perda de massa, possivelmente pela evaporação da água e do solvente utilizados. Como a quantidade de líquidos não apresentou uma uniformidade, pois foram colocados dependendo da necessidade durante a manufatura até que o isopor entrasse em estado de goma, houve também heterogeneidade de perda durante o processo, variando de 0,25% a 2,37%. No entanto, depois de relocados para sala climatizada, os mesmos permaneceram com massa constante, ainda após 7 dias.

Para a manufatura das placas de eucalipto, houve maior uniformidade durante o processo. Entretanto, as partículas apresentaram um comportamento característico, que é de não total associação ao isopor enquanto o mesmo encontrava-se viscoso. Com o passar do tempo e a cura do adesivo, as partículas foram se unindo e formaram placas com resultados finais satisfatórios.

Como resultado da análise do tempo de repouso e estabilização, formulou-se a seguinte tabela, para os dados de eucalipto:

²¹ Durante a manufatura das primeiras placas, o tempo estava inicialmente ameno. Com o decorrer do tempo, a temperatura abaixou, implicando dificuldade no processo.

Tabela 5 – Análise do tempo de repouso das placas de eucalipto com solvente gasolina

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	01/jul	21,75	144,92	17/jul	1129,1	07/ago	960,4	1,69	14/ago	969,1	1,60
2	03/jul	22,50	64,77	19/jul	1066,9	07/ago	991,9	0,75	14/ago	995,0	0,72
3	03/jul	22,50	64,77	19/jul	1017,5	07/ago	949,0	0,69	14/ago	956,4	0,61
4	04/jul	19,89	67,17	19/jul	1080,6	07/ago	994,8	0,86	14/ago	999,6	0,81
5	04/jul	19,89	67,17	19/jul	1078,1	07/ago	993,6	0,84	14/ago	996,7	0,81
6	04/jul	19,89	67,17	19/jul	1101,7	07/ago	992,9	1,09	14/ago	995,6	1,06
7	04/jul	19,89	67,14	19/jul	1114,2	07/ago	1004,0	1,10	14/ago	1006,9	1,07
8	10/jul	NDR	NDR	30/jul	1045,7	07/ago	995,0	0,51	14/ago	994,3	0,51
9	10/jul	NDR	NDR	30/jul	1051,8	07/ago	1009,8	0,42	14/ago	1010,9	0,41
10	10/jul	NDR	NDR	30/jul	1046,1	07/ago	1000,5	0,46	14/ago	1004,2	0,42

NDR – Nenhum dado registrado, estação em manutenção.

Igualmente, como já verificado nos dados de pinus, as análises do primeiro mês apresentaram a perda de massa, variando de 0,42% a 1,69%, e após serem transferidos para sala climatizada, não houve perda de massa, mas algumas aumentaram, possivelmente pela maior umidade existente na sala comparado ao tempo seco (clima determinado na época) em que se encontravam na área coberta e ventilada, da primeira fase de estabilização e repouso.

Como diagnóstico geral, esperava-se um comportamento superior, tanto na manufatura quanto nas placas finais, pois as mesmas passaram por processos diferenciados de seleção de partículas, por isso se imaginava obter melhores resultados.

Deste modo, além da mudança do solvente, de gasolina para *thinner*, foram acrescentadas outras espécies de serragens que provavelmente podem ter comportamentos distintos. Portanto, foram acrescentadas ao estudo novas partículas residuais de peroba e teca. A primeira foi escolhida pelos bons desempenhos apresentados nos estudos de Almeida (2009), e a segunda, por ser uma nova espécie atualmente empregada para reflorestamentos e que tem apresentado ótimos resultados em pesquisas quanto às características físicas e mecânicas.

3.3.2. Fase II

Novamente para que fossem analisadas completamente as etapas de fabricação das placas alternativas de painéis de madeira, iniciou-se o processo de verificação visual e tátil da segunda fase de manufatura, com as chapas de eucalipto, peroba, teca e pinus. Tal procedimento mostrou-se necessário para que, mesmo sendo verificados física e mecanicamente, as placas pudessem ser analisadas quanto à empenamento e/ou partículas soltas.

Para os painéis de eucalipto, a manufatura da segunda fase mostrou-se mais adequada se comparada à anterior. Com o clima apresentando temperaturas mais altas em relação à primeira fase, o processo atual foi muito semelhante em todas as placas, sendo de boa trabalhabilidade com o isopor e a madeira. No entanto, as partículas ficavam um pouco “desagregadas” antes da cura, mostrando-se uma característica peculiar do eucalipto, sendo de pouca adesão entre partículas e adesivos.

Quanto às análises visuais, observou-se, após 15 dias, que todas as chapas ficaram apropriadas e em sua grande maioria não houve descolamento de serragem, apenas em 30%, porém, muito pouco. Em 20% constaram-se problemas de empenamento (retrações diferenciadas nas duas direções), causados por retração do plástico, o que pode prejudicar os ensaios de flexão estática.

Como resultado da análise do tempo de repouso e estabilização, segue a tabela para os dados de eucalipto:

Tabela 6 – Análise do tempo de repouso das placas de eucalipto com solvente *thinner*

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	05/ago	27,53	38,09	21/ago	1097,5	06/set	1082,1	0,15	13/set	1084,0	0,14
2	05/ago	27,53	38,09	21/ago	1077,9	06/set	1066,1	0,12	13/set	1070,8	0,07
3	05/ago	27,53	38,09	21/ago	1048,5	06/set	1032,6	0,16	13/set	1035,4	0,13
4	06/ago	27,22	39,77	22/ago	1056,7	06/set	1037,9	0,19	13/set	1040,9	0,16
5	06/ago	27,22	39,77	22/ago	1062,6	06/set	1053,6	0,09	13/set	1056,2	0,06
6	07/ago	26,29	63,68	23/ago	1076,1	06/set	1057,3	0,19	13/set	1059,0	0,17
7	07/ago	26,29	63,68	23/ago	1087,0	06/set	1058,6	0,28	13/set	1061,1	0,26
8	08/ago	25,36	43,78	23/ago	1105,3	06/set	1042,7	0,63	13/set	1042,6	0,63
9	08/ago	25,36	43,78	23/ago	1119,3	06/set	1054,3	0,65	13/set	1054,2	0,65
10	08/ago	25,36	43,78	23/ago	1095,0	06/set	1052,3	0,43	13/set	1052,7	0,42

Novamente, como já verificado anteriormente, as análises no primeiro mês foram as que se observou a perda de massa, variando de 0,09% a 0,65% e, após serem transferidos para sala climatizada, não houve mais perda de massa. Constatou-se que, com o solvente *thinner*, houve menor perda de massa, possivelmente pelo fato de o solvente ser mais volátil e evaporar desde a pré-prensagem mais rapidamente.

Quanto às placas fabricadas em peroba, o resultado foi o que se esperava desde o princípio da pesquisa. O isopor, juntamente com o *thinner*, formou uma goma viscosa e de fácil união com as partículas, compondo na pré-prensagem um produto homogêneo.

A seguir se apresenta a tabela de resultados da análise do tempo de repouso e estabilização das placas de peroba:

Tabela 7 – Análise do tempo de repouso das placas de peroba com solvente *thinner*

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	21/ago	20,24	56,59	11/set	1044,3	10/out	1001,9	0,42	17/out	1006,4	0,38
2	21/ago	20,24	56,59	11/set	1049,3	10/out	1020,1	0,29	17/out	1024,6	0,25
3	22/ago	21,24	58,17	11/set	908,6	10/out	874,2	0,34	17/out	877,6	0,31
4	22/ago	21,24	58,17	11/set	1044,6	10/out	1018,2	0,26	17/out	1023,6	0,21
5	02/set	22,44	47,58	17/set	1050,9	10/out	993,4	0,58	17/out	993,4	0,58
6	02/set	22,44	47,58	17/set	1043,0	10/out	1005,2	0,38	17/out	1007,5	0,36
7	03/set	18,27	78,27	18/set	1038,5	10/out	999,9	0,39	17/out	1000,4	0,38
8	03/set	18,27	78,27	18/set	1046,3	10/out	1003,5	0,43	17/out	1003,1	0,43
9	10/set	23,19	50,50	01/out	1144,5	10/out	1093,8	0,51	17/out	1077,9	0,67
10	10/set	23,19	50,50	01/out	1051,0	10/out	1034,7	0,16	17/out	1036,0	0,15

Durante a prensagem, o material perdia líquido, não apenas da água e do solvente adicionado, mas também da própria madeira.

Houve a necessidade de esperar dois dias para a prensagem de algumas peças, pois encontravam-se muito moles e escapavam do molde. O caso pode ter ocorrido devido ao fato de o tempo estar chuvoso e menos seco.

Também notou-se pouca perda de peso (0,16% a 0,58%) durante o processo de estabilização, possivelmente pelo solvente empregado, inclusive após o período na sala climatizada. De modo geral, o resultado foi satisfatório.

Para as placas de teca, a fabricação foi com tempo quente e umidade do ar estável.

A seguir, apresenta-se a tabela de resultados da análise do tempo de repouso e estabilização das placas de teca.

Tabela 8 – Análise do tempo de repouso das placas de teca com solvente *thinner*

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	10/out	21,24	58,94	26/nov	1125,9	28/jan	999,9	1,26	04/fev	1001,5	1,24
2	10/out	21,24	58,94	26/nov	1048,9	28/jan	1017,4	0,32	04/fev	1021,4	0,28
3	11/Nov	26,88	60,08	26/nov	1043,1	28/jan	1014,8	0,28	04/fev	1018,0	0,25
4	11/Nov	26,88	60,08	26/nov	1125,4	28/jan	1016,5	1,09	04/fev	1019,3	1,06
5	20/Nov	26,24	62,51	05/dez	1117,0	28/jan	1013,5	1,04	04/fev	1014,9	1,02
6	20/Nov	26,24	62,51	05/dez	1093,1	28/jan	1002,8	0,90	04/fev	1007,4	0,86
7	21/Nov	25,53	66,15	10/dez	1043,9	28/jan	1014,1	0,30	04/fev	1017,6	0,26
8	21/Nov	25,53	66,15	10/dez	1057,9	28/jan	999,4	0,59	04/fev	1003,7	0,54
9	04/dez	27,16	64,35	20/dez	1045,4	28/jan	997,6	0,48	04/fev	1000,4	0,45
10	04/dez	27,16	64,35	20/dez	1096,7	28/jan	1005,7	0,91	04/fev	1010,2	0,87

Analisando a perda de massa observada durante a estabilização, nota-se uma variação de 0,28% a 1,26%. Se comparada com as anteriores, os dados podem ser avaliados como altos, possivelmente pela adição maior necessária de água para que as partículas de teca entrassem

em contato com o adesivo, em consequência do grande volume. Após estabilização em sala climatizada, os valores ficaram estáveis.

Uma característica peculiar nos trabalhos em teca, apesar da boa trabalhabilidade, foi a percepção quanto à falta de adesivo, provavelmente pela densidade da madeira ser baixa e seu volume muito grande. A placa desde o princípio, mostrou-se desagregada apresentando característica de cortiça (rolha) solta, descolada.

Até o momento, as placas de teca foram consideradas as menos satisfatórias, tendo em vista que, depois de toda a observação, as partículas sempre se apresentaram soltas, pelo menos em um dos lados.

Por fim, as de pinus, durante a segunda fase, tiveram comportamento inteiramente diferente das fabricadas na primeira fase.

Com o tempo quente e o novo solvente, o isopor apresentou-se fácil de trabalhar e de se unir às partículas. Com isso, apesar da necessidade de se acrescentar mais água na hora da mistura dos materiais, o mesmo evaporou rápido justamente pelas condições do período.

Durante a estabilização ao ar, os valores de variação de massa foram bem distintos dos apresentados até o momento. Muitas das placas (80%) tiveram seu peso aumentado. A variação ocorreu de 1% a 7%. Apenas duas perderam massa (14% e 17%). Possivelmente tal evento ocorreu devido ao aumento da umidade do ar pelo tempo chuvoso que se encontrava. Após estabilização em sala climatizada, os valores continuaram estáveis, acompanhando os mesmos comportamentos encontrados em todas as análises.

A seguir, apresenta-se a tabela com os resultados da análise do tempo de repouso e estabilização das placas de pinus.

Tabela 9 – Análise do tempo de repouso das placas de pinus com solvente *thinner*

Placa	Data de fabricação da placa	Temperatura	UR	Data de avaliação da massa	Massa	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)	Data de avaliação da massa	Massa	ΔM (%)
1	27/jan	27,71	58,54	12/fev	1009,4	05/mar	1012,2	-0,03	12/mar	1011,1	-0,02
2	27/jan	27,71	58,54	12/fev	1006,2	05/mar	1011,6	-0,05	12/mar	1008,8	-0,03
3	28/jan	26,50	59,60	13/fev	975,2	05/mar	979	-0,04	12/mar	975,3	0,00
4	28/jan	26,50	59,60	13/fev	988,1	05/mar	994	-0,06	12/mar	990,3	-0,02
5	29/jan	26,34	47,87	14/fev	1005,7	05/mar	1009,2	-0,04	12/mar	1006,4	-0,01
6	29/jan	26,34	47,87	14/fev	1019,5	05/mar	1026,1	-0,07	12/mar	1017,4	0,02
7	30/jan	ERRO	ERRO	15/fev	1049,4	05/mar	1035,7	0,14	12/mar	1032,2	0,17
8	30/jan	ERRO	ERRO	15/fev	1020,4	05/mar	1003,7	0,17	12/mar	999,8	0,21
9	04/fev	28,01	45,51	20/fev	1022,5	05/mar	1025,6	-0,03	12/mar	1022,6	0,00
10	04/fev	28,01	45,51	20/fev	995,1	05/mar	996,2	-0,01	12/mar	994,2	0,01

ERRO – Falta de dados durante o decorrer do dia ocasionando erro de leitura.

Como diagnóstico geral, as placas apresentaram melhor comportamento na segunda fase, tanto na manufatura quanto no desempenho dos resultados finais, quando comparados primeira e segunda fases. Além das seleções de partículas, já apresentada em fase anterior, a mudança do solvente e do clima tiveram grande influência nos resultados.

A Figura 48 demonstra como se apresenta o resultado final de todas as placas com solvente *thinner*.

Figura 48 – Resultado final das placas fabricadas com isopor, serragem e solvente *thinner*

Fonte: Arquivo pessoal

O *thinner*, além de ser um solvente mais volátil e não apresentar cheiro forte na hora da prensagem, deixa o isopor mais flexível e com melhor trabalhabilidade.

O tempo quente e seco favoreceu a manufatura, deixando-a mais rápida e sem excessos. Desta maneira, não há perda de tempo nem material. Com isso, um ponto a ser observado na produção em grande escala é o local para fabricação, que deve ter temperatura e umidade controlados.

As partículas adicionadas (peroba e teca) exibiram novos dados. As madeiras com densidade baixa necessitam de mais adesivo, pois fornecem maior volume, o que mostra pouca união entre todas as partículas. As de maior densidade são mais fáceis de trabalhar e apresentam resultados finais mais apropriados.

3.4. ENSAIOS FÍSICOS DA FASE I

Após a cura completa e seleção dos corpos de prova com 10 amostras cada, nesta seção são apresentados os ensaios da primeira fase, com solvente em gasolina.

De todas as amostras estão fornecidos, além dos resultados, sua média, desvio padrão, coeficiente de variação e intervalo de confiança da média com seus limites inferiores e superiores a 95% de probabilidade.

3.4.1. Densidade

Quanto à normatização, as chapas brasileiras são classificadas em média densidade, com valores que variam de 551 kg/m³ a 750 kg/m³ (ABNT, 2006).

A densidade média encontrada foi de 508 kg/m³ para as chapas de pinus/EPS/gasolina, classificando-as como de baixa densidade e de 643 kg/m³ para as de eucalipto/EPS/gasolina, consideradas de média densidade.

Observando os resultados apresentados, verifica-se, pelo coeficiente de variação para pinus/EPS/gasolina ($\delta \cong 5\%$) e para eucalipto/EPS/gasolina ($\delta \cong 6\%$), que os painéis se apresentam bastante homogêneos. A baixa variabilidade encontrada pode ser explicada pelo fato de todos os painéis seguirem o mesmo processo de manufatura, análoga pressão e idêntico tempo de prensagem.

Os resultados alcançados em eucalipto/EPS/gasolina estão de acordo com os parâmetros definidos pela norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b). Já, as de pinus/EPS/gasolina estão abaixo dos parâmetros estabelecidos pela norma.

Os resultados de densidade das chapas, fabricadas usando gasolina como solvente, de pinus/EPS/gasolina estão apresentados na Tabela 10 e das chapas de eucalipto/EPS/gasolina na Tabela 11.

Tabela 10 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	35,31	64899,85	550
02	31,17	58494,97	533
03	25,76	51476,86	500
04	26,57	53851,05	493
05	27,10	52263,78	519
06	25,69	49540,33	519
07	25,62	50988,58	502
08	25,20	51012,44	494
09	24,14	52825,79	457
10	28,18	54511,95	517
MÉDIA			508
DESVIO PADRÃO			25,40
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,05
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	490
		SUP.	527

Tabela 11 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	28,61	49776,1	575
02	34,78	50703,13	686
03	34,51	52822,12	653
04	32,42	48845,91	664
05	31,21	47855,53	652
06	30,18	44785,02	674
07	33,96	54080,78	628
08	32,05	50397,99	636
09	29,37	45383,6	647
10	30,94	50444,41	613
MÉDIA			643
DESVIO PADRÃO			39,30
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,06
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	615
		SUP.	671

3.4.2. Teor de umidade

Após a realização dos ensaios nos quais os corpos de prova ficaram em estufa, até que suas massas entrassem em estabilização, foram encontrados os valores de teor de umidade de cada uma das amostras, segundo a norma brasileira, NBR 14.810-3, da ABNT (2006c).

Os resultados apresentados nas Tabelas 12 e 13 indicam que todos os painéis estão dentro dos padrões previstos.

Tabela 12 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	35,57	33,02	7,7
02	31,04	28,72	8,1
03	25,62	23,75	7,9
04	26,47	24,55	7,8
05	27,04	25,23	7,2
06	25,72	23,88	7,7
07	25,52	23,73	7,5
08	25,16	23,43	7,4
09	24,04	22,45	7,1
10	28,07	26,07	7,7
MÉDIA			7,6
DESVIO PADRÃO			0,31
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,04
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	7,39
		SUP.	7,83

Tabela 13 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	28,30	26,42	7,1
02	34,49	32,27	6,9
03	34,29	32,08	6,9
04	32,18	30,13	6,8
05	31,03	29,04	6,9
06	29,98	28,01	7,0
07	33,75	31,55	7,0
08	31,77	29,7	7,0
09	29,23	27,27	7,2
10	30,84	28,84	6,9
MÉDIA			7,0
DESVIO PADRÃO			0,12
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,02
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	6,89
		SUP.	7,05

Observando os resultados encontrados, verifica-se que as placas de pinus/EPS/gasolina obtiveram média de 7,6% e as de eucalipto/EPS/gasolina de 7%. Os coeficientes de variação ficaram em ($\delta \cong 4\%$) para pinus/EPS/gasolina e ($\delta \cong 2\%$) para eucalipto/EPS/gasolina, indicando, assim, teores de umidade bastante homogêneos entre os painéis fabricados.

Uma observação importante a relatar é que mesmo havendo adição de água nas partículas durante a manufatura para que o adesivo pudesse se tornar mais viscoso, não houve alteração nos valores finais de teor de umidade das placas, possivelmente pelo tempo de estabilização e cura do painel.

3.4.3. Estabilidade Dimensional

Considerando os ensaios de estabilidade dimensional, os mesmos foram efetuados conforme NBR 14.810-3, da ABNT (2006c).

3.4.3.1. Absorção em água

Não há exigências, em norma, quanto aos valores estipulados para absorção de água em 2 ou 24 horas. No entanto, Nascimento (2003), em sua pesquisa, exibiu valores médios para chapas industrializadas de Pinus, 12% e 27% e Eucalipto, 16% e 50%, para absorção em 2 e 24 horas, respectivamente, durante esse período.

Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 14 e 15 para os painéis de pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina, respectivamente.

Tabela 14 – Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	MASSA INICIAL (g)	MASSA 2h (g)	ABSORÇÃO 2h (%)	MASSA 24h (g)	ABSORÇÃO 24h (%)
01	8,91	10,39	16,61	11,17	25,36
02	7,73	9,35	20,96	10,47	35,45
03	6,83	8,65	26,65	9,67	41,58
04	6,58	9,49	44,22	10,29	56,38
05	7,07	11,05	56,29	9,70	37,20
06	6,28	9,72	54,78	10,46	66,56
07	6,65	9,04	35,94	9,68	45,56
08	6,31	10,53	66,88	11,09	75,75
09	6,14	9,20	49,84	11,67	90,07
10	6,20	8,48	36,77	9,24	49,03
MÉDIA			40,89		52,29
DESVIO PADRÃO			16,42		20,01
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,40		0,38
INTERV. CONF. MÉD.			29,15		37,98
			SUP.		66,61

Tabela 15 – Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP	MASSA	MASSA	ABSORÇÃO	MASSA	ABSORÇÃO
EUCALIPTO	INICIAL (g)	2h (g)	2h (%)	24h (g)	24h (%)
01	8,08	8,87	9,78	9,50	17,57
02	8,01	9,34	16,60	9,95	24,22
03	8,04	9,56	18,91	10,14	26,12
04	8,27	9,27	12,09	9,84	18,98
05	8,03	9,05	12,70	9,63	19,93
06	7,93	8,48	6,94	9,04	14,00
07	8,11	9,26	14,18	9,93	22,44
08	8,55	10,02	17,19	10,64	24,44
09	7,84	8,44	7,65	8,93	13,90
10	7,77	9,56	23,04	10,28	32,30
MÉDIA			13,91		21,39
DESVIO PADRÃO			5,12		5,71
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,37		0,27
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	10,24		17,31
		SUP.	17,57		25,47

Neste trabalho, os valores médios encontrados foram de pinus/EPS/gasolina 41% e 52% e eucalipto/EPS/gasolina 14% e 21%, para absorção em 2 e 24 horas, respectivamente. Comparando-se com os resultados de absorção, obtidos por Nascimento (2003), usados como base, observa-se que os valores das placas de pinus/EPS/gasolina estão muito acima da média; já os das chapas de eucalipto/EPS/gasolina, estão abaixo dos comparados. Infere-se que, provavelmente, a densidade abaixo da média pode ter sido responsável por vazios encontrados em seu interior, os quais absorveram mais água do que o necessário.

3.4.3.2. *Inchamento em espessura*

Segundo a NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), as tolerâncias máximas dimensionais para chapas de madeira aglomerada são apenas mencionadas quanto ao inchamento em espessura após 2 horas com padrão de 8%.

A partir dos resultados apresentados, nas Tabelas 16 e 17, observa-se que os valores encontrados estão muito abaixo dos exigidos na norma brasileira, e não foram ultrapassados nem após 24 horas. Em 2 horas, os painéis tiveram inchamento de 1,7% para pinus/EPS/gasolina e 1% para eucalipto/EPS/gasolina. Por sua vez, em 24 horas, o índice foi de 3,95% para pinus/EPS/gasolina e 1,67% para eucalipto/EPS/gasolina.

Os resultados dos ensaios de inchamento são apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	ESPESSURA INICIAL (g)	ESPESSURA 2h (g)	INCHAMENTO 2h (%)	ESPESSURA 24h (g)	INCHAMENTO 24h (%)
01	25,29	25,21	0,9	26,02	2,90
02	22,86	23,28	1,8	23,54	2,99
03	20,04	20,22	0,9	20,64	3,01
04	19,12	19,15	0,2	19,67	2,86
05	21,30	21,45	0,7	21,82	2,43
06	19,52	19,69	0,8	19,92	2,02
07	19,87	20,05	0,9	20,36	2,48
08	20,91	21,00	0,4	21,40	2,34
09	22,29	22,39	0,5	22,81	2,33
10	19,79	20,24	2,3	20,53	3,74
MÉDIA			0,9		2,71
DESVIO PADRÃO			0,64		0,49
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,68		0,18
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,48		2,36
		SUP.	1,40		3,06

Tabela 17 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	ESPESSURA INICIAL (g)	ESPESSURA 2h (g)	INCHAMENTO 2h (%)	ESPESSURA 24h (g)	INCHAMENTO 24h (%)
01	18,94	19,11	0,9	19,34	2,11
02	19,32	19,56	1,2	19,57	1,31
03	19,57	19,93	1,8	20,01	2,22
04	19,48	19,90	2,1	29,86	2,94
05	19,28	19,49	1,1	19,60	1,70
06	18,42	18,62	1,1	18,68	1,43
07	20,10	20,19	0,5	20,24	0,72
08	20,42	20,48	0,3	20,65	1,14
09	17,78	17,84	0,3	17,99	1,15
10	21,99	22,21	1,0	22,42	1,99
MÉDIA			1,0		1,67
DESVIO PADRÃO			0,59		0,65
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,57		0,39
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,61		1,20
		SUP.	1,45		2,14

Quanto à homogeneidade dos resultados, verificam-se elevados coeficientes de variação, ($\delta(2h) \cong 68\%$ e $\delta(24) \cong 18\%$), para as chapas de pinus/EPS/gasolina, e ($\delta(2h) \cong 57\%$ e $\delta(24) \cong 39\%$), para as chapas de eucalipto/EPS/gasolina, indicando grande variabilidade, porém com valores de inchamento em espessura melhores que os padrões exigidos.

Comparando-se inchamento em espessura com absorção de água, constatou-se que, apesar de haver uma quantidade grande de entrada de água, em todos os corpos de prova, os painéis não incham.

O fato pode ter ocorrido pelos possíveis vazios no interior do corpo de prova, os quais são preenchidos com a água, mas a mesma não é absorvida pelas partículas, tampouco pelo adesivo, já que este é provavelmente o responsável por tal ocorrência.

3.5. ENSAIOS FÍSICOS DA FASE II

Seguindo as mesmas orientações já apresentadas nos ensaios da primeira fase, com solvente em gasolina, são apresentados os ensaios da segunda fase, com solvente em *thinner*.

3.5.1. Densidade

Os resultados de densidade das chapas de pinus estão apresentados na Tabela 18, das chapas de eucalipto, na Tabela 19, das chapas de peroba, na Tabela 20 e das chapas de teca, na Tabela 21.

Tabela 18 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	32,88	61371,20	536
02	32,13	58028,54	554
03	31,01	60351,34	514
04	32,29	64238,08	503
05	32,16	63790,66	504
06	34,42	69620,20	494
07	32,07	69415,52	462
08	32,27	66420,88	486
09	32,63	67377,74	484
10	30,94	60100,40	515
MÉDIA			505
DESVIO PADRÃO			26,36
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,05
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	486
		SUP.	524

Tabela 19 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	35,17	46819,69	751
02	36,84	51753,96	712
03	35,79	53355,73	671
04	35,79	54674,65	655
05	34,90	50690,71	688
06	35,94	49753,97	722
07	32,76	45866,26	714
08	36,02	51828,97	695
09	32,51	47379,97	686
10	34,89	50923,41	685
MÉDIA			698
DESVIO PADRÃO			35,51
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,05
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	673
		SUP.	723

Tabela 20 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	32,66	46011,73	710
02	35,08	45708,17	767
03	28,51	40141,74	710
04	35,79	46287,19	773
05	32,16	46678,42	689
06	37,58	48238,52	779
07	35,38	45814,19	772
08	32,96	42482,75	776
09	36,93	46824,08	789
10	34,20	47645,71	718
MÉDIA			748
DESVIO PADRÃO			36,94
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,05
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	722
		SUP.	775

Tabela 21 – Resultado dos ensaios de densidade das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	MASSA (g)	VOLUME (mm ³)	DENSIDADE (kg/m ³)
01	34,28	68611,46	500
02	36,44	75596,17	482
03	34,61	74476,46	465
04	35,96	75072,19	479
05	34,90	73900,84	472
06	31,96	68505,06	467
07	32,88	65633,82	501
08	34,83	71038,58	490
09	33,55	71061,85	472
10	34,17	75484,39	453
MÉDIA			478
DESVIO PADRÃO			15,56
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,03
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	467
		SUP.	489

Pelos resultados alcançados, conforme os parâmetros definidos na norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), as chapas de pinus e teca são classificadas como baixa densidade e as chapas de eucalipto e peroba de média densidade. A densidade média encontrada para as chapas de pinus foi de 505 kg/m³, para as de eucalipto 698 kg/m³, as de peroba 748 kg/m³, e as de teca 478 kg/m³.

Analisando as tabelas 18 a 21, verifica-se, pelo coeficiente de variação para pinus, eucalipto e peroba ($\delta \cong 5\%$) e, para teca ($\delta \cong 3\%$), que os painéis se apresentam bastante homogêneos. Possivelmente tal ocorrência pode ser explicada pela padronização no processo de manufatura com mesmo tempo de prensagem e pressão.

3.5.2. Teor de umidade

Os valores de teor de umidade de cada uma das amostras foram encontrados segundo a norma brasileira, NBR 14.810-3, da ABNT (2006c), a qual estabelece, valores entre 5% e 11%.

Observando os resultados médios dos teores de umidade das placas, apresentados nas Tabelas 22 a 25, constatou-se 5,5% nas placas de pinus/EPS/*thinner*, 4,9% nas placas de eucalipto/EPS/*thinner*, 4,8% nas placas de peroba/EPS/*thinner* e 5% nas placas de teca/EPS/*thinner*. Os coeficientes de variação variaram de 5%, 3%, 4% e 3%, respectivamente, nas placas de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e

teca/EPS/*thinner*, indicando assim teores de umidade bastante homogêneos entre os painéis fabricados.

Os resultados apresentados nas Tabelas 22 a 25 indicam que todos os painéis estão dentro dos padrões previstos.

Tabela 22 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	32,57	31,03	5,0
02	31,85	30,35	4,9
03	30,79	29,17	5,6
04	32,03	30,36	5,5
05	31,87	30,21	5,5
06	34,15	32,34	5,6
07	31,71	30,04	5,6
08	31,95	30,17	5,9
09	32,34	30,66	5,5
10	30,71	29,10	5,5
MÉDIA			5,5
DESVIO PADRÃO			0,29
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,05
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	5,2
		SUP.	5,7

Tabela 23 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	35,15	33,50	4,9
02	36,75	35,15	4,6
03	35,75	34,09	4,9
04	35,70	33,96	5,1
05	34,84	33,21	4,9
06	35,88	34,19	4,9
07	32,61	31,08	4,9
08	35,94	34,25	4,9
09	32,46	30,92	5,0
10	34,77	33,14	4,9
MÉDIA			4,9
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,03
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	4,81
		SUP.	5,01

Tabela 24 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	32,01	30,40	5,3
02	34,21	32,65	4,8
03	27,79	26,55	4,7
04	34,88	33,34	4,6
05	29,98	28,64	4,7
06	36,75	35,04	4,9
07	34,62	32,95	5,1
08	32,05	30,63	4,6
09	35,80	34,17	4,8
10	33,35	31,80	4,9
MÉDIA			4,8
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,04
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	4,67
		SUP.	4,98

Tabela 25 – Resultado dos ensaios de teor de umidade das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	MASSA I. (g)	MASSA F. (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
01	33,70	32,17	4,8
02	35,16	33,50	5,0
03	34,57	32,96	4,9
04	35,84	34,15	4,9
05	34,32	32,69	5,0
06	32,40	30,86	5,0
07	32,20	30,63	5,1
08	33,60	31,89	5,4
09	32,66	31,13	4,9
10	35,53	33,80	5,1
MÉDIA			5,0
DESVIO PADRÃO			0,17
COEFIC. DE VARIAÇÃO			0,03
INTERV. CONF. MED.		INF.	4,89
		SUP.	5,12

Novamente, o dado importante a ser observado é de que, mesmo tendo havido a adição de água durante a manufatura, a mesma não influenciou nos valores finais de teor de umidade das placas. Com o solvente *thinner*, inclusive, os valores ficaram bem próximos às médias mínimas, possivelmente pelo tempo de estabilização e cura pelo qual passa o painel, como também pela volatilização rápida do solvente.

3.5.3. Estabilidade Dimensional

3.5.3.1. Absorção de água

Neste trabalho, os valores médios encontrados foram de pinus/EPS/*thinner* 27% e 51%, eucalipto/EPS/*thinner* 10% e 18%, peroba/EPS/*thinner* 4% e 12% e teca/EPS/*thinner* 29% e 44%, para absorção de água em 2 horas e 24 horas, apresentados nas Tabela 26 a 29.

Tabela 26 – Resultado dos ensaios de absorção das chapas de água de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	MASSA INICIAL (g)	MASSA 2h (g)	ABSORÇÃO 2h (%)	MASSA 24h (g)	ABSORÇÃO 24h (%)
01	7,98	10,02	25,56	11,70	46,62
02	8,72	10,17	16,63	12,24	40,37
03	8,12	10,43	28,45	12,05	48,40
04	8,35	9,91	18,68	12,07	44,55
05	7,65	10,45	36,60	11,90	55,56
06	7,98	9,65	20,93	12,39	55,26
07	8,37	11,56	38,11	13,57	62,13
08	8,02	9,55	19,08	11,76	46,63
09	7,95	10,78	35,60	12,76	60,50
10	7,68	9,97	29,82	11,87	54,56
MÉDIA			26,95		51,46
DESVIO PADRÃO			8,01		7,18
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,30		0,14
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	21,21		46,33
		SUP.	32,68		56,59

Tabela 27 – Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	MASSA INICIAL (g)	MASSA 2h (g)	ABSORÇÃO 2h (%)	MASSA 24h (g)	ABSORÇÃO 24h (%)
01	9,38	10,05	7,14	10,80	15,14
02	8,23	9,10	10,57	9,69	17,74
03	8,68	9,94	14,52	10,64	22,58
04	8,60	9,54	10,93	10,28	19,53
05	8,69	9,72	11,85	10,40	19,68
06	8,81	9,34	6,02	10,14	15,10
07	9,05	10,06	11,16	10,59	17,02
08	9,36	10,33	10,36	11,25	20,19
09	9,24	10,01	8,33	10,99	18,94
10	8,48	9,17	8,14	9,87	16,39
MÉDIA			9,90		18,23
DESVIO PADRÃO			2,51		2,39
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,25		0,13
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	8,11		16,52
		SUP.	11,70		19,94

Tabela 28 – Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	MASSA INICIAL (g)	MASSA 2h (g)	ABSORÇÃO 2h (%)	MASSA 24h (g)	ABSORÇÃO 24h (%)
01	8,14	8,45	3,81	9,06	11,30
02	8,13	8,62	6,03	9,27	14,02
03	7,06	7,44	5,38	8,14	15,30
04	8,44	8,81	4,38	9,50	12,56
05	8,46	8,85	4,61	9,72	14,89
06	8,43	8,68	2,97	9,18	8,90
07	8,06	8,33	3,35	8,90	10,42
08	7,99	8,35	4,51	9,04	13,14
09	9,41	9,71	3,19	10,23	8,71
10	8,64	9,00	4,17	9,77	13,08
MÉDIA			4,24		12,23
DESVIO PADRÃO			0,97		2,33
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,23		0,19
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	3,55		10,56
		SUP.	4,93		13,90

Tabela 29 – Resultado dos ensaios de absorção de água das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	MASSA INICIAL (g)	MASSA 2h (g)	ABSORÇÃO 2h (%)	MASSA 24h (g)	ABSORÇÃO 24h (%)
01	7,78	9,44	21,34	10,62	36,50
02	8,92	12,05	35,09	13,07	46,52
03	8,18	10,31	26,04	11,60	41,81
04	9,24	11,93	29,11	13,43	45,35
05	9,35	11,68	24,92	13,10	40,11
06	8,51	11,02	29,49	12,16	42,89
07	8,91	11,41	28,06	13,11	47,14
08	8,58	10,56	23,08	11,91	38,81
09	7,97	11,06	38,77	12,26	53,83
10	8,48	11,02	29,95	12,37	45,87
MÉDIA			28,59		43,88
DESVIO PADRÃO			5,29		4,97
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,19		0,11
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	24,80		40,33
		SUP.	32,37		47,44

Não há exigências, em norma (ABNT, 2006), quanto aos valores estipulados para absorção de água em 2 ou 24 horas. No entanto, os dados foram comparados aos encontrados por Nascimento (2003), para maiores discussões.

Comparando-os com os resultados usados como base, constata-se que as placas de pinus/EPS/*thinner* (2 e 24 horas) e teca/EPS/*thinner* (2 horas) estão acima dos valores. Já as de

teca/EPS/*thinner* (24 horas) estão próximas e finalmente as de eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* estão abaixo. Com isso, infere-se que, provavelmente, a densidade abaixo da média pode ter sido responsável por vazios encontrados interiormente, os quais absorveram água a mais que o necessário. É interessante salientar que os painéis de média densidade obtiveram valores bastante inferiores, tornando-os promissores em sua utilização.

3.5.3.2. Inchamento em espessura

Também para inchamento em espessura, os valores foram encontrados utilizando a NBR14.810-3 da ABNT (2006c). Pela norma brasileira, as tolerâncias máximas dimensionais aceitáveis são apenas mencionadas quanto ao inchamento em 2 horas, e o padrão é de 8%.

A seguir apresentam-se os resultados de inchamento em espessura para as placas de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner* nas Tabelas 30 a 33. Pode-se observar que os valores encontrados estão extremamente abaixo dos exigidos na norma brasileira, para 2 horas e, mesmo após 24 horas, permanecem inferiores.

Tabela 30 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	ESPES. INICIAL (g)	ESPES. 2h (g)	INCHAM. 2h (%)	ESPES. 24h (g)	INCHAM. 24h (%)
01	25,08	25,32	1,0	25,60	2,08
02	25,04	25,49	1,8	25,53	1,93
03	25,99	26,26	1,0	26,32	1,28
04	25,82	26,00	0,7	26,04	0,84
05	26,98	27,18	0,7	27,18	0,74
06	27,55	27,83	1,0	27,86	1,13
07	28,62	28,80	0,6	29,04	1,44
08	27,26	27,46	0,7	27,57	1,13
09	27,67	27,89	0,8	28,01	1,24
10	25,58	25,60	0,1	25,79	0,84
MÉDIA			0,8	1,27	
DESVIO PADRÃO			0,43	0,45	
COEFIC. DE VARIAÇÃO			0,51	0,35	
INTERV. CONF. MÉD.			INF. 0,53	0,94	
			SUP. 1,15	1,59	

Tabela 31 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	ESPES. INICIAL (g)	ESPES. 2h (g)	INCHAM. 2h (%)	ESPES. 24h (g)	INCHAM. 24h (%)
01	21,02	21,04	0,1	21,28	1,25
02	20,18	20,26	0,4	20,36	0,89
03	19,55	19,62	0,4	19,78	1,16
04	21,65	21,69	0,2	21,77	0,59
05	19,65	19,74	0,5	19,84	0,95
06	20,73	20,76	0,1	20,95	1,02
07	20,49	20,52	0,1	20,56	0,33
08	21,23	21,37	0,7	21,45	1,04
09	21,89	21,80	0,2	21,98	0,41
10	19,31	19,46	0,8	19,55	1,27
MÉDIA			0,3	0,89	
DESVIO PADRÃO			0,25	0,34	
COEFIC. DE VARIAÇÃO			0,74	0,38	
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,16	0,65	
		SUP.	0,53	1,13	

Tabela 32 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	ESPES. INICIAL (g)	ESPES. 2h (g)	INCHAM. 2h (%)	ESPES. 24h (g)	INCHAM. 24h (%)
01	17,53	17,55	0,1	17,67	0,80
02	18,10	18,12	0,1	18,25	0,81
03	16,29	16,38	0,6	16,53	1,50
04	18,53	18,57	0,3	18,73	1,12
05	18,82	18,91	0,5	19,00	0,96
06	17,06	17,14	0,5	17,24	1,06
07	17,49	17,61	0,7	17,75	1,44
08	16,70	16,74	0,2	16,82	0,75
09	18,68	18,70	0,1	18,86	0,98
10	18,39	18,44	0,3	18,61	1,16
MÉDIA			0,3	1,06	
DESVIO PADRÃO			0,22	0,26	
COEFIC. DE VARIAÇÃO			0,65	0,24	
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,18	0,87	
		SUP.	0,50	1,24	

Tabela 33 – Resultado dos ensaios de inchamento em espessura das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	ESPES. INICIAL (g)	ESPES. 2h (g)	INCHAM. 2h (%)	ESPES. 24h (g)	INCHAM. 24h (%)
01	26,18	26,33	0,6	26,40	0,83
02	29,08	29,43	1,2	29,44	1,23
03	29,52	29,81	1,0	29,83	1,05
04	29,81	29,81	0,0	29,91	0,34
05	29,49	29,71	0,7	29,73	0,81
06	28,78	28,99	0,7	29,00	0,76
07	27,12	27,18	0,2	27,20	0,30
08	27,67	27,88	0,8	27,93	0,95
09	28,35	28,87	1,8	28,90	1,92
10	29,53	29,57	0,1	28,58	0,17
MÉDIA			0,7		0,84
DESVIO PADRÃO			0,55		0,51
COEFIC. DE VARIAÇÃO			0,77		0,61
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,32		0,47
		SUP.	1,10		1,20

Em 2 horas, os painéis tiveram inchamento abaixo de 1%, sendo 0,8% para pinus/EPS/*thinner*, 0,4% para eucalipto/EPS/*thinner*, 0,3% para peroba/EPS/*thinner* e 0,7% para teca/EPS/*thinner*. Em 24 horas, os valores permaneceram praticamente estáveis em 1%, sendo de 1,27% para pinus/EPS/*thinner*, 0,89% para eucalipto/EPS/*thinner*, 1,06% para peroba/EPS/*thinner* e 0,84% para teca/EPS/*thinner*.

Apesar dos dados apresentarem elevados coeficientes de variação, indicando grande variabilidade, sendo pinus/EPS/*thinner* (δ (2h) $\cong$ 51% e δ (24h) $\cong$ 35%), eucalipto/EPS/*thinner*, (δ (2h) $\cong$ 74% e δ (24h) $\cong$ 38%), peroba/EPS/*thinner* (δ (2h) $\cong$ 65% e δ (24h) $\cong$ 24%) e teca/EPS/*thinner* (δ (2h) $\cong$ 77% e δ (24h) $\cong$ 61%), os resultados se mostraram piores que os padrões exigidos.

Comparando inchamento em espessura com absorção de água, constata-se que, mesmo havendo entrada de água em demasia nos painéis de baixa densidade, e na média nos painéis de média densidade, os mesmos praticamente não incham. Os valores encontrados reiteram a promissora utilização do material em ambientes em que haja umidade como também em ambientes externos, fator que danifica atualmente os painéis produzidos e encontrados no mercado.

3.6. DISCUSSÃO DOS ENSAIOS FÍSICOS

Depois de avaliadas todas características físicas, a seguir são apresentados os dados para que haja comparação entre os painéis que foram produzidos de maneira igualitária, totalizado em 1 kg de material, sendo compostos por 50% em partículas e 50% em EPS, diferenciando-se apenas as espécies de madeiras empregadas, e os solventes para dissolução do EPS.

Para simplificar o entendimento, foram nomeadas as chapas: pinus com solvente em gasolina – PG, eucalipto com solvente em gasolina – EG, pinus com solvente em *thinner* – PT, eucalipto com solvente em *thinner* – ET, peroba com solvente em *thinner* – PE e por fim, teca com solvente em *thinner* – TE.

3.6.1. Densidade

A densidade é uma das principais propriedades físicas, principalmente por influenciar em outras propriedades que necessitam ser estudadas, nos painéis de madeira. Quanto maior a densidade, menor existência de vazios no interior do painel e consequentemente, menor absorção em água. Por outro lado, maior inchamento em espessura, por haver maior quantidade de partículas de madeira (KELLY, 1977).

Também a densidade recebe influências pelos fatores tempo e pressão na manufatura, tipo de adesivo, espécie e geometria das partículas (MALONEY, 1977; KELLY, 1977; NEMLI; DEMIREL, 2007). Mesmo assim, a norma brasileira NBR 14.810-2 da ABNT (2006b), especifica que “não há restrições quanto ao uso de algum tipo de espécie, desde que sua geometria possa garantir uma boa densidade ao painel”.

Como todos os painéis possuem a mesma massa, seu volume é diferenciado devido à variação da densidade das madeiras utilizadas, com isso há alteração na altura do colchão. Logo, quanto menor a densidade da madeira, maior a altura do colchão e, portanto, maior espessura do painel (Figura 49).

Figura 49 – Resultado final das placas da segunda fase

Fonte: Arquivo pessoal

Como todos os painéis seguiram idêntica manufatura (peso x tempo x pressão), as análises a seguir são importantes para a verificação e comparação dos resultados apresentados.

Observando os dados da Tabela 34, os painéis que tiveram os mais baixos valores de densidade foram TE, com média de 478 kg/m^3 , seguidos pelos PT com média de 505 kg/m^3 , e PG 508 kg/m^3 . Em seguida, apresentam-se os EG com 643 kg/m^3 , e ET 698 kg/m^3 . E por fim PE com 748 kg/m^3 .

Todos os dados, de cada uma das espécies, constatarem grande semelhança em seus valores, com coeficiente de variação mínimo (3% a 5%) demonstrando ampla homogeneidade em suas características.

Tabela 34 – Resumo dos resultados dos ensaios de densidade

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	550	575	536	751	710	500
2	533	686	554	712	767	482
3	500	653	514	671	710	465
4	493	664	503	655	773	479
5	519	652	504	688	689	472
6	519	674	494	722	779	467
7	502	628	462	714	772	501
8	494	636	486	695	776	490
9	457	647	484	686	789	472
10	517	613	515	685	718	453
Média	508	643	505	698	748	478
Desv. Padrão	25,46	32,05	26,50	27,56	36,90	15,50
Coef. Var.	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03

Segundo dados do IPT (2014), a respeito de informações sobre madeiras, a densidade da espécie pinus é de aproximadamente 480 kg/m³, a de eucalipto varia de 500 a 690 kg/m³ e a de peroba 790 kg/m³ e, por fim, a de teca 660 kg/m³.

Para exemplificar melhor a relação densidade da madeira com a densidade do painel, apresentam-se, a seguir, os dados na Tabela 35.

Tabela 35 – Valores da densidade da madeira e dos painéis estudados

Densidade (kg/m ³)	Madeira	Painel
Pinus	480	505 e 508
Eucalipto	500 a 690	643 e 698
Peroba	790	748
Teca	660	478

Antes de serem testadas as placas produzidas com teca, verificou-se uma relação direta entre as densidades da madeira e a do painel, ou seja, quanto maior a densidade da madeira, maior também era a densidade do painel e inclusive com valores semelhantes, podendo ser observado que o adesivo desempenhasse pouca influência. Após análise da espécie teca, constatou-se que tal tese não pode ser garantida.

O material estudado para as placas de teca fora retirado diretamente de chapas compradas no estado do Mato Grosso, e depois decompostas em cavacos para facilitar o transporte e por fim, transformadas em partículas para a correta manufatura (Figura 50).

Chapa comercial de Teca

Cavaco de Teca

Figura 50 – Madeira teca empregada para manufatura dos painéis

Fonte: Arquivo pessoal

As investigações sobre a espécie exótica, conhecida por Teca (*Tectona grandis* LF.), de crescente utilização no Brasil, devido à fácil adaptabilidade ao clima do centro-oeste brasileiro, abriram novas interrogações quanto à densidade apresentada sobre a madeira até o momento. Arruda *et al.* (2013), apresentam dados que vêm ao encontro a tal constatação, pois em seus estudos demonstram que a densidade dessa espécie necessita ainda de mais verificações.

A teca é uma madeira versátil, valiosa, devido sua utilização diversificada e grande prestígio. Entretanto, essas características retratadas para a madeira de teca são referentes às madeiras adultas, em que no Brasil se obtêm madeiras num ciclo final de 25 a 30 anos. No entanto, para atingir o corte final são realizados quatro ciclos de desbastes no povoamento... Diante da tendência do uso de madeira de teca e do desperdício dos desbastes pelo fato de ser madeira juvenil se fazem necessários estudos que avaliem as propriedades tecnológicas na forma de densidade desse material e atribua melhores usos. Por isto, é importante que se conheça a variação das propriedades da madeira ao longo do fuste para prever o comportamento da madeira em diferentes alturas da árvore (ARRUDA *et al.*, 2013).

Diante os fatos, não podem ser invalidados os resultados dos painéis de teca, nem tampouco classificados como fora dos padrões, uma vez que não há como saber em que época foi feita a extração da madeira, nem mesmo seu ciclo de desbaste. Dessa forma, não se pode descartar a possibilidade de que a densidade da madeira esteja diretamente ligada à densidade do painel.

A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI, informa que, “em geral, as chapas fabricadas no Brasil são de densidade média” (ABIMCI, 2014). Segundo a ABNT (2006b), NBR 14.810-2, que trata da classificação das chapas de madeira aglomerada, a densidade média dos painéis de madeira aglomerada pode variar entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³.

A seguir, são apresentados no gráfico 01, todos os dados especificados até o momento, quanto à densidade.

Gráfico 01 – Resultado de todos os dados de densidade apresentados até o momento

Percebe-se que apenas os painéis eucalipto/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/*thinner* podem ser classificados como os painéis fabricados no país, de média densidade. Já os de peroba/EPS/*thinner* estão no limite, quase acima do especificado. No entanto, ainda dentro dos padrões, e os de pinus/EPS/gasolina, pinus/EPS/*thinner* e teca/ EPS/*thinner* estão abaixo desses citados, sendo classificados como de baixa densidade, pelos valores apresentados.

3.6.2. Teor de umidade

Um ponto importante de se observar está no fato de que, para que os painéis cheguem à umidade especificada em norma, todos os materiais que o compõe precisam estar em conformidade, para que não haja umidade excessiva no produto final.

Segundo Remade (2003), na formação dos colchões, nos painéis, observa-se que:

Quando o teor de umidade é elevado ocorre aumento no ciclo de prensagem porque é necessário um maior tempo para a retirada da umidade excedente do painel. Quando o teor de umidade é muito reduzido ocorre um perfil de densidade mais homogêneo e, conseqüentemente, uma maior resistência à tração perpendicular.

Quanto aos valores encontrados para este estudo, todos os dados podem ser observados na Tabela 36.

Tabela 36 – Resumo dos resultados dos ensaios de teor de umidade

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	7,7	7,1	5,0	4,9	5,3	4,8
2	8,1	6,9	4,9	4,6	4,8	5,0
3	7,9	6,9	5,6	4,9	4,7	4,9
4	7,8	6,8	5,5	5,1	4,6	4,9
5	7,2	6,9	5,5	4,9	4,7	5,0
6	7,7	7,0	5,6	4,9	4,9	5,0
7	7,5	7,0	5,6	4,9	5,1	5,1
8	7,4	7,0	5,9	4,9	4,6	5,4
9	7,1	7,2	5,5	5,0	4,8	4,9
10	7,7	6,9	5,5	4,9	4,9	5,1
Média	7,6	7,0	5,5	4,9	4,8	5,0
Desv. Padrão	0,31	0,12	0,30	0,13	0,22	0,17
Coef. Var.	0,04	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03

Segundo a norma brasileira, NBR 14.810-2 da ABNT (2006b) os valores aceitáveis para teor de umidade estão entre 5% e 11%.

Analizando a Tabela 36, os painéis tiveram valores dentro dos estipulados em norma ou um pouco abaixo da mesma, sendo eles, painéis fabricados com solvente em gasolina, PG 7,6%, e EG 7,0%. Já os painéis, fabricados com solvente *thinner*, PT 5,5%, ET 4,9%, PE 4,8% e finalmente os TE com 5,0% de teor de umidade.

Pela análise dos valores encontrados, observa-se a homogeneidade nos resultados, sendo que os mesmos possuem coeficiente de variação de 2% a 5%.

Uma das preocupações neste novo processo de fabricação, foi a quantidade excessiva de adição de água, durante a manufatura, para que o adesivo pudesse se tornar mais viscoso. No entanto, pelos resultados encontrados, pode-se avaliar que o acréscimo de água não teve influência no produto final.

Algumas hipóteses podem ser levantadas, como: (i) o tempo de cura, de aproximadamente 40 dias, até que o painel entrasse em estabilização, resultou na extinção da água; (ii) o emprego do solvente empregado para dissolução do EPS pode ter influenciado na diminuição da umidade de tal característica.

Pelos baixos valores verificados, apresentados no Gráfico 02, observam-se diferentes faixas de teor de umidade, devido ao solvente especificado. Os painéis fabricados com *thinner* reiteram a afirmação, uma vez que o mesmo se apresenta bastante volátil, e também são os que exibem menores valores de teor de umidade.

Gráfico 02 – Resultado de todos os dados de teor de umidade apresentados até o momento

3.6.3. Estabilidade Dimensional

3.6.3.1. Absorção de água

Uma das características físicas mais importantes de serem observadas diz respeito à absorção de água pelos painéis de madeira, que ocasiona vários preconceitos de sua utilização e muitas vezes sua inviabilidade de emprego. Freire *et al.* (2011) comentam que tal característica indica se os painéis podem ser empregados em condições de umidade severa ou ambientes mais amenos.

Para o presente trabalho, os valores encontrados para 2 horas estão apresentados na Tabela 37, a seguir.

Tabela 37 – Resumo dos resultados dos ensaios de 2 horas de absorção de água

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	16,61	9,78	25,56	7,14	3,81	21,34
2	20,96	16,60	16,63	10,57	6,03	35,09
3	26,65	18,91	28,45	14,52	5,38	26,04
4	44,22	12,09	18,68	10,93	4,38	29,11
5	56,29	12,70	36,60	11,85	4,61	24,92
6	54,78	6,94	20,93	6,02	2,97	29,49
7	35,94	14,18	38,11	11,16	3,35	28,06
8	66,88	17,19	19,08	10,36	4,51	23,08
9	49,84	7,65	35,60	8,33	3,19	38,77
10	36,77	23,04	29,82	8,14	4,17	29,95
Média	40,89	13,91	26,95	9,90	4,24	28,59
Desv. Padrão	16,42	5,12	8,01	2,51	0,97	5,29
Coef. Var.	0,40	0,37	0,30	0,25	0,23	0,19

Apesar de não haver parâmetros em normas, são utilizados neste estudo, como referência, os dados obtidos por Nascimento (2003), que apresenta, para painéis industriais, de pinus e eucalipto, absorção de água em 2 horas, respectivamente 12% e 16%. Souza *et al.* (2012) também em seus estudos encontraram para painéis de pinus industrial, absorção em 2 horas de 14%, aproximando-se dos resultados base, mostrando assertividade de tais valores usados como comparação.

Ao avaliar os dados, constata-se, pelo Gráfico 3, que há direta relação de absorção de água com a densidade dos painéis, uma vez que os que apresentam baixa densidade, obtiveram valores acima dos utilizados como base de comparação e os de média densidade, ficaram na média ou abaixo dos valores apresentados. Verifica-se que os painéis de peroba, apesar de apresentarem-se como de média densidade, tiveram valores superiores aos outros em densidade e, conseqüentemente a menor absorção apresentada. Dessa forma, observa-se a relação direta nas comparações, densidade X absorção.

Gráfico 03 – Resultado de todos os dados de absorção de água em 2 horas

O próximo passo é a avaliação dos dados de absorção em 24 horas.

A média apresentada por Nascimento (2003) em suas pesquisas, apresentou absorção em 24 horas para painéis industrializados de Pinus 27% e de Eucalipto 50%. Se tomarmos como referência os valores apresentados por Souza *et al.* (2012), as análises dos painéis de pinus industrial com absorção em 24 horas, foram de 50%, distorcendo dos valores apresentados pela primeira pesquisadora. No entanto, o mesmo para os valores fornecidos por ela para os painéis de eucalipto.

Os valores médios de absorção de água em 24 horas, apresentados na Tabela 38, foram de 52% para PG, 21% para EG, 51% para PT, 18% para ET, 12% para PE e 44% para TE.

Tabela 38 – Resumo dos resultados dos ensaios de 24 horas de absorção de água

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	25,36	17,57	46,62	15,14	11,30	36,50
2	35,45	24,22	40,37	17,74	14,02	46,52
3	41,58	26,12	48,40	22,58	15,30	41,81
4	56,38	18,98	44,55	19,53	12,56	45,35
5	37,20	19,93	55,56	19,68	14,89	40,11
6	66,56	14,00	55,26	15,10	8,90	42,89
7	45,56	22,44	62,13	17,02	10,42	47,14
8	75,75	24,44	46,63	20,19	13,14	38,81
9	90,07	13,90	60,50	18,94	8,71	53,83
10	49,03	32,30	54,56	16,39	13,08	45,87
Média	52,29	21,39	51,46	18,23	12,23	43,88
Desv. Padrão	20,01	5,71	7,18	2,39	2,33	4,97
Coef. Var.	0,38	0,27	0,14	0,13	0,19	0,11

Confrontando com os resultados usados como parâmetro, percebe-se que as placas de pinus estão acima dos valores, se comparados aos dados de Nascimento (2003), mas próximos dos apresentados por Souza *et al.* (2012); já, as placas de eucalipto/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/*thinner* estão bem abaixo da média apresentada, como também as de peroba/EPS/gasolina e as de teca/EPS/*thinner* na média apresentada. Com isso, observa-se que os painéis não estão fora dos que os industrialmente utilizados.

Igualmente, analisando o Gráfico 04, observa-se que a densidade é um fator de grande influência para os valores de absorção de água, em 24 horas. De tal modo, ressalta-se que nos painéis de baixa densidade, podem ser encontrados vazios interiormente, os quais absorvem água a mais que o necessário, mas, se comparados aos comerciais, não estão acima dos encontrados atualmente.

Tomando como exemplo os comentários de Freire *et al.* (2011), os painéis apresentados podem ser empregados em condições em que haja umidade, sem que sejam afetadas suas características.

A seguir, estão apresentados no Gráfico 04, os dados de comparação de absorção em água, em 24 horas.

Gráfico 04 – Resultado de todos os dados de absorção de água em 24 horas

3.6.3.2. Inchamento em espessura

O efetivo fato para avaliação de absorção de água, em painéis de madeira aglomerado, é sua consequência na ocorrência de seu aumento em espessura. Para isso é de fundamental importância que sejam observados os dados de tal característica física (inchamento) que, além de comprometer o produto (Figura 51), é considerado danoso, devido ao estrago ocasionado e, por conseguinte, gerando prejuízo quanto à sua especificação.

Figura 51 – Móveis descartados pelo problema de inchamento em espessura

Fonte: Arquivo pessoal

Conforme requisitos apontados pela norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), para a caracterização física de inchamento em espessura, são aconselhadas verificações de 2 e 24 horas de imersão em água. As tolerâncias máximas dimensionais são apenas mencionadas

quanto ao inchamento em 2 horas e o padrão é de 8%. Algumas normas internacionais apontam seus valores para 24 horas, que são de no máximo, 35%, segundo CS 236-66 (1968) e 40%, pela ANSI (2009).

No atual estudo, observam-se muitos bons resultados para inchamento em espessura física, tanto em 2 horas como em 24 horas. Para os inchamentos em espessura após 2 horas, os resultados podem ser observados na Tabela 39, já para os após 24 horas na Tabela 40.

Tabela 39 – Resumo dos resultados dos ensaios de 2 horas de inchamento em espessura

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	0,9	0,9	1,0	0,1	0,1	0,6
2	1,8	1,2	1,8	0,4	0,1	1,2
3	0,9	1,8	1,0	0,4	0,6	1,0
4	0,2	2,1	0,7	0,2	0,3	0,0
5	0,7	1,1	0,7	0,5	0,5	0,7
6	0,8	1,1	1,0	0,1	0,5	0,7
7	0,9	0,5	0,6	0,1	0,7	0,2
8	0,4	0,3	0,7	0,7	0,2	0,8
9	0,5	0,3	0,8	0,2	0,1	1,8
10	2,3	1,0	0,1	0,8	0,3	0,1
Média	0,9	1,0	0,8	0,4	0,3	0,7
Desv. Padrão	0,64	0,59	0,43	0,26	0,22	0,55
Coef. Var.	0,68	0,57	0,51	0,73	0,65	0,77

Sobre os valores médios de inchamento em espessura, em 2 horas, nota-se que nenhum deles ultrapassou 1% de inchamento, sendo eles de 0,9% para PG, 1% para EG, 0,8% para PT, 0,4% para ET, 0,3% para PE e 0,7% para TE.

Os valores, muito abaixo do especificado em norma (8%), credencia-os como de grande evolução aos problemas apresentados anteriormente, uma vez que atualmente os painéis comerciais não são comumente especificados para áreas onde haja umidade, nem tampouco para ambientes externos.

Ao analisar o Gráfico 05, a seguir, verifica-se certa homogeneidade, não havendo diferença quanto ao solvente empregado, tampouco com densidade e/ou absorção de água analisados anteriormente.

Gráfico 05 – Resultado de todos os dados de inchamento em espessura em 2 horas

Para inchamento em espessura em 24 horas, os valores médios encontrados foram de aproximadamente 3% para PG, 2% para EG, 1% para PT, ET, PE e TE.

Tabela 40 – Resumo dos resultados dos ensaios de 24 horas de inchamento em espessura

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	2,90	2,11	2,08	1,25	0,80	0,83
2	2,99	1,31	1,93	0,89	0,81	1,23
3	3,01	2,22	1,28	1,16	1,50	1,05
4	2,86	2,94	0,84	0,59	1,12	0,34
5	2,43	1,70	0,74	0,95	0,96	0,81
6	2,02	1,43	1,13	1,02	1,06	0,76
7	2,48	0,72	1,44	0,33	1,44	0,30
8	2,34	1,14	1,13	1,04	0,75	0,95
9	2,33	1,15	1,24	0,41	0,98	1,92
10	3,74	1,99	0,84	1,27	1,16	0,17
Média	2,71	1,67	1,27	0,89	1,06	0,84
Desv. Padrão	0,49	0,65	0,45	0,34	0,26	0,51
Coef. Var.	0,18	0,39	0,35	0,38	0,24	0,61

A propósito da comparação entre os painéis, apresentada no Gráfico 6, a seguir, observa-se alguma variação, se comparados quanto aos solventes empregados, pois os que se utilizam de gasolina na manufatura apresentaram inchamento pouco maior dos que utilizam *thinner*. No entanto, seus valores de inchamento em 24 horas são muito inferiores (de 1% a 3%) a aqueles apresentados para comparação (35% a 40%), e bem próximo aos valores apresentados para análises de 2 horas.

Gráfico 06 – Resultado de todos os dados de inchamento em espessura em 24 horas

Em relação aos resultados de inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de absorção, verificou-se pouca variação de inchamento dentro do período, podendo-se afirmar que, apesar de haver alguma absorção de água, pouco inchamento é registrado. Com isso, reforça-se a tese de que o plástico (isopor), envolve as partículas (madeira), protegendo-as da água, não deteriorando o material.

De tal modo, tais painéis, são apropriados para serem empregados em locais com alta umidade, como também para ambientes externos. Com isso, os mesmos podem ser também qualificados para fechamento de sistemas construtivos, em substituição dos atuais materiais empregados.

Ultimamente, observando o meio mercantil, conforme dados fornecidos por Ehow (2014), os painéis especificados para ambientes externos, são: os especiais para tapumes, de camadas laminadas específicas para tais finalidades; os contraplacados, também com colas especiais e tratamentos contra umidade; o OSB, que apesar de resistente, é especificado para ser recoberto; e o *hardboard*, que igualmente necessitam de pintura para melhores resultados.

3.7. ENSAIOS MECÂNICOS DA FASE I

Após avaliadas as características físicas de todos os painéis estudados, foram, neste momento, apresentadas as características mecânicas da primeira fase do estudo. O documento normativo utilizado foi a NBR 14810 (2006).

3.7.1. Tração perpendicular

Na Tabela 41 são apresentados os resultados dos ensaios de tração dos painéis de pinus/EPS/gasolina e na Tabela 42 os resultados de eucalipto/EPS/gasolina.

Tabela 41 – Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2531,22	1294	0,51
02	2574,27	1315	0,51
03	2545,33	776	0,31
04	2541,59	466	0,18
05	2566,42	352	0,14
06	2506,49	538	0,21
07	2568,16	414	0,16
08	2538,77	424	0,17
09	ERRO	ERRO	ERRO
10	2510,26	756	0,30
MÉDIA			0,28
DESVIO PADRÃO			0,15
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,52
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,17
		SUP.	0,38

Tabela 42 – Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2559,76	1946	0,76
02	2576,56	921	0,36
03	2598,59	694	0,27
04	2569,37	1863	0,73
05	2577,85	725	0,28
06	2602,21	1284	0,49
07	2594,24	983	0,38
08	2588,83	1770	0,68
09	2596,29	797	0,31
10	2592,61	756	0,29
MÉDIA			0,46
DESVIO PADRÃO			0,20
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,43
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,31
		SUP.	0,60

O valor médio para tração perpendicular e espessura encontrados para as chapas de pinus/EPS/gasolina foram de 0,28 MPa e 21,10 mm, respectivamente. Para as de eucalipto/EPS/gasolina foram 0,46 MPa e 19,53 mm.

De acordo com NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), os valores para tração perpendicular das chapas de madeira aglomerada variam de 0,20 MPa a 0,40 MPa, dependendo da espessura do painel. Para as chapas com espessura entre 21 e 25 mm, devem apresentar valores mínimos de 0,30 MPa. Já as chapas com espessura entre 14 e 20 mm, 0,35 MPa.

Pelos resultados alcançados, as chapas de pinus/EPS/gasolina estão classificadas abaixo da média, mas com valores próximos aos exigidos, entretanto, o intervalo de confiança da média contém o valor previsto na NBR 14810-2, da ABNT (2006b), o que não permite descartar a possibilidade de, em média, ser atendida a especificação. Já as chapas de eucalipto/EPS/gasolina alcançaram valores acima dos citados.

Observando as tabelas, verifica-se o coeficiente de variação para pinus/EPS/gasolina de ($\delta \cong 52\%$) e, para eucalipto/EPS/gasolina ($\delta \cong 43\%$). Apesar de se apresentarem homogêneos fisicamente, quando solicitados mecanicamente quanto à tração perpendicular, seus dados apresentaram variabilidade elevada. Tal ocorrência pode ser resultado da variação da ruptura, pois em alguns casos o fato ocorreu na linha de cola, formada entre o corpo de prova e o bloco de tração (Figura 52).

Figura 52 – Comportamento dos corpos, submetidos à tração perpendicular, de prova na ruptura

Fonte: Arquivo pessoal

3.7.2. Compressão

Os valores de compressão de cada uma das amostras foram encontrados segundo NBR 14.810-3, da ABNT (2006c), e estão apresentados nas Tabelas 43 e 44 para pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina.

Tabela 43 – Resultado dos ensaios de compressão das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	1185,42	9900	8,35
02	1091,21	6420	5,88
03	1108,33	5580	5,03
04	1014,49	4460	4,40
05	1061,04	2280	2,15
06	1059,55	3480	3,28
07	999,59	4200	4,20
08	1065,12	3560	3,34
09	1018,08	3240	3,18
10	963,26	5260	5,46
MÉDIA			4,53
DESVIO PADRÃO			1,77
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,39
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	3,26
		SUP.	5,79

Tabela 44 – Resultado dos ensaios de compressão das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	1076,79	8400	7,80
02	922,16	9620	10,43
03	933,00	11020	11,81
04	992,29	11920	12,01
05	975,96	8600	8,81
06	956,72	10160	10,62
07	952,79	8560	8,98
08	1010,05	11540	11,43
09	960,71	8720	9,08
10	1044,45	6180	5,92
MÉDIA			9,69
DESVIO PADRÃO			1,94
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,20
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	8,30
		SUP.	11,07

Observando os resultados encontrados, verifica-se que as placas de pinus/EPS/gasolina obtiveram média de 4,53 MPa e as de eucalipto/EPS/gasolina 9,69 MPa.

Como a NBR 14.810-2, da ABNT (2006b) não estabelece valores de tolerância para a resistência à compressão longitudinal, os dados obtidos servem para análise isolada sem padrão de comparação.

3.7.3. Flexão estática

Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da NBR 14810-3, da ABNT (2006c), resultando em cada um, relatório, em que constavam: i) largura e espessura dos corpos de prova, após aferição individual; ii) distância entre os apoios, fixa conforme método de ensaio; iii) força máxima, resultante da carga de ruptura; iv) tensão máxima, exprimindo o módulo de ruptura; v) módulo elástico sendo o valor do módulo de elasticidade; vi) gráfico da resultante “Força/deslocamento”. Deste modo, foram apontados os resultados de módulo de resistência (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), na flexão estática.

3.7.3.1. MOR

A norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b) aponta o valor de MOR, na flexão estática, em 16 MPa para chapas com espessuras entre 14 e 20 mm, e em 14 MPa, para as com espessura entre 21 e 25 mm.

O valor médio encontrado para módulo de ruptura nos painéis de pinus/EPS/gasolina foi de 2,8 MPa e para os de eucalipto/EPS/gasolina 7,77 MPa. As espessuras médias dos painéis de pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina, respectivamente, são 21,10 mm e 19,53 mm.

Os dados fornecidos estão muito abaixo dos solicitados, classificando-os, dessa maneira, como não compatíveis quando solicitados à característica mecânica referida.

Os resultados obtidos para o módulo de ruptura (resistência) podem ser verificados nas Tabela 45 e 46, para as placas de pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina, respectivamente.

Tabela 45 – Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOR (MPa)
01	1195,33	605,66	6,47
02	1126,13	365,00	4,39
03	1059,84	256,25	3,47
04	1073,28	163,08	2,16
05	1004,61	76,10	1,14
06	1071,44	112,29	1,49
07	914,02	123,76	2,25
08	996,21	154,75	2,37
09	1097,33	51,78	0,65
10	1010,54	241,93	3,61
MÉDIA			2,80
DESVIO PADRÃO			1,74
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,62
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	1,56
		SUP.	4,04

Tabela 46 – Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOR (MPa)
01	1020,66	469,35	6,86
02	975,27	683,82	10,91
03	928,94	464,44	8,12
04	959,77	585,85	9,63
05	969,70	426,20	6,89
06	990,02	518,67	7,96
07	964,76	289,59	4,72
08	994,21	601,83	9,29
09	1055,43	682,44	9,18
10	1135,17	356,37	4,15
MÉDIA			7,77
DESVIO PADRÃO			2,15
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,28
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	6,23
		SUP.	9,31

3.7.3.2. MOE

Os resultados estão apresentados na Tabela 47, para as placas de pinus/EPS/gasolina e Tabela 48, para as de eucalipto/EPS/gasolina.

Tabela 47 – Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de pinus/EPS/gasolina

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	1195,33	605,66	813,64
02	1126,13	365,00	611,17
03	1059,84	256,25	478,99
04	1073,28	163,08	363,88
05	1004,61	76,10	118,24
06	1071,44	112,29	287,28
07	914,02	123,76	273,76
08	996,21	154,75	304,97
09	1097,33	51,78	83,60
10	1010,54	241,93	405,54
MÉDIA			374,11
DESVIO PADRÃO			219,53
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,59
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	217,08
		SUP.	531,14

Tabela 48 – Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de eucalipto/EPS/gasolina

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	1020,66	469,35	610,47
02	975,27	683,82	990,31
03	928,94	464,44	825,59
04	959,77	585,85	918,92
05	969,70	426,20	763,26
06	990,02	518,67	806,50
07	964,76	289,59	520,81
08	994,21	601,83	763,86
09	1055,43	682,44	969,16
10	1135,17	356,37	493,75
MÉDIA			766,26
DESVIO PADRÃO			175,94
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,23
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	640,41
		SUP.	892,12

Os valores médios de módulo de elasticidade encontrados para os painéis de pinus/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/gasolina e seus coeficientes de variação foram de 341,11 MPa, ($\delta \cong 59\%$) e 766,26 Mpa, ($\delta \cong 23\%$), respectivamente.

A norma brasileira NBR-14.810-2, da ABNT (2006b) não estabelece limite mínimo de MOE na flexão estática.

3.8. ENSAIOS MECÂNICOS DA FASE II

Depois das análises das características mecânicas da primeira fase, estão expostos, a seguir, os resultados obtidos nas placas fabricadas na segunda fase deste estudo.

3.8.1. Tração perpendicular

O procedimento para o ensaio obedeceu aos mesmos princípios já apresentados, com os corpos de prova colados com adesivo PVA (sugerido pela norma brasileira) em blocos de material (madeira maciça), combinado com a chapa de madeira aglomerada, formando um conjunto unido ao dispositivo de tração.

A normatização brasileira tabela a tração perpendicular e limita seus valores pelas espessuras que os painéis são fabricados. Para painéis de 14 a 20 mm, a tração perpendicular mínima é de 0,35 MPa; para as espessuras de 21 a 25 mm, 0,30 MPa e para as chapas com 26 a 32 mm, tração de 0,24 MPa (ABNT, 2006b).

Os valores médios para tração perpendicular, e espessura, encontrados para as chapas, foram: pinus/EPS/*thinner* 0,26 MPa e 26,56 mm; eucalipto/EPS/*thinner* 0,48 MPa e 20,57 mm; peroba/EPS/*thinner* 0,99 MPa e 17,76 mm; e, teca/EPS/*thinner* 0,23 MPa e 28,55 mm.

Pelos resultados, observa-se que os painéis de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* estão classificados dentro da norma vigente. Os de teca/EPS/*thinner* estão abaixo da média, porém com valores próximos aos exigidos, entretanto, o intervalo de confiança da média contém o valor previsto na NBR 14810-2, da ABNT (2006b), o que não permite descartar a possibilidade de, em média, ser atendida a especificação.

Nas Tabela 49, 50, 51 e 52 são apresentados os resultados dos ensaios de tração dos painéis de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*, respectivamente.

Tabela 49– Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2475,39	787	0,32
02	2492,08	973	0,39
03	2451,73	652	0,27
04	2476,16	549	0,22
05	2482,13	673	0,27
06	2460,64	663	0,27
07	2478,64	569	0,23
08	2481,38	259	0,10
09	2477,89	673	0,27
MÉDIA			0,26
DESVIO PADRÃO			0,08
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,28
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,21
		SUP.	0,32

Tabela 50– Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2549,60	835,78	0,33
02	2559,77	2743,25	1,07
03	2551,38	2484,45	0,97
04	2538,16	755,69	0,30
05	2543,88	890,26	0,35
06	2553,99	745,34	0,29
07	2538,67	879,91	0,35
08	2532,85	776,39	0,31
09	2559,03	662,52	0,26
10	2545,63	1335,39	0,52
MÉDIA			0,48
DESVIO PADRÃO			0,30
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,62
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,26
		SUP.	0,69

Tabela 51– Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2514,40	1667	0,66
02	2555,78	2992	1,17
03	2562,39	2422	0,95
04	2543,58	2702	1,06
05	2556,23	2900	1,13
06	2569,48	2650	1,03
07	2555,12	3271	1,28
08	2543,47	1532	0,60
09	2548,20	2526	0,99
10	2561,58	2629	1,03
MÉDIA			0,99
DESVIO PADRÃO			0,23
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,23
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,83
		SUP.	1,15

Tabela 52– Resultado dos ensaios de tração perpendicular das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	TRAÇÃO PERPEND. (MPa)
01	2524,66	1107,65	0,44
02	2523,66	300,20	0,12
03	2512,14	341,61	0,14
04	2535,37	269,15	0,11
05	2534,62	403,72	0,16
06	2538,14	745,34	0,29
07	2544,19	900,61	0,35
08	2533,36	890,26	0,35
09	2533,11	569,35	0,22
10	2509,51	217,39	0,09
MÉDIA			0,23
DESVIO PADRÃO			0,10
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,45
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	0,15
		SUP.	0,30

Um dado importante constitui o fato de todos os corpos de prova de peroba não terem se rompido mesmo apresentando altos valores de carga de ruptura (Figura 53). Tal ocorrência pode ser explicada pelo fato de o adesivo que estava ligando os corpos de prova aos blocos no acessório de ensaio, PVA como recomenda a NBR 14810-3 da ABNT (2006c) não ter suportado

a carga fornecida, resultando o rompimento da linha de cola. Isso prova que tais painéis toleram valores maiores do que aplicados para os ensaios, classificando-os muito acima da média exigida.

Figura 53 – Comportamento dos corpos de prova de peroba na ruptura

Fonte: Arquivo pessoal

3.8.2. Compressão

Como a norma brasileira não limita valores para a resistência à compressão longitudinal, os dados servem para análise sem padrão de checagem. Observando os resultados, verifica-se que as placas de pinus/EPS/*thinner* obtiveram média de 4,51 MPa, as de eucalipto/EPS/*thinner* 12,19 MPa, as de peroba/EPS/*thinner* 16,44 MPa, e por fim, as de teca/EPS/*thinner* 4,14 MPa.

Os valores de compressão de cada uma das amostras foram encontrados segundo a NBR 14810-3 da ABNT (2006c), e estão apresentados na Tabela 53 para pinus/EPS/*thinner*, Tabela 54 para eucalipto/EPS/*thinner*, Tabela 55 para peroba/EPS/*thinner* e Tabela 56 para teca/EPS/*thinner*.

Tabela 53– Resultado dos ensaios de compressão das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	1279,27	7360	5,75
02	1275,85	7480	5,86
03	1239,88	3780	3,05
04	1250,36	6200	4,96
05	1338,69	5980	4,47
06	1218,43	6380	5,24
07	1442,26	5240	3,63
08	1302,05	5700	4,38
09	1306,58	4000	3,06
10	1297,24	6040	4,66
MÉDIA			4,51
DESVIO PADRÃO			1,01
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,22
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	3,78
		SUP.	5,23

Tabela 54– Resultado dos ensaios de compressão das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	1007,60	11840	11,75
02	986,89	10820	10,96
03	996,24	12540	12,59
04	1026,07	13400	13,06
05	982,35	12400	12,62
06	1036,05	13660	13,18
07	1124,17	13840	12,31
08	996,67	9380	9,41
09	1089,73	15100	13,86
10	938,22	11400	12,15
MÉDIA			12,19
DESVIO PADRÃO			1,26
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,10
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	11,29
		SUP.	13,09

Tabela 55– Resultado dos ensaios de compressão das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	885,63	15500	17,50
02	877,48	12900	14,70
03	751,37	9840	13,10
04	875,13	13800	15,77
05	998,40	15280	15,30
06	808,66	15340	18,97
07	869,31	14980	17,23
08	888,93	14640	16,47
09	891,63	17580	19,72
10	873,43	13640	15,62
MÉDIA			16,44
DESVIO PADRÃO			1,99
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,12
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	15,02
		SUP.	17,86

Tabela 56– Resultado dos ensaios de compressão das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	COMPRESSÃO (MPa)
01	1355,48	6440	4,75
02	1454,40	5360	3,69
03	1460,50	6540	4,48
04	1449,18	5720	3,95
05	1429,00	6540	4,58
06	1441,18	5560	3,86
07	1416,88	5320	3,75
08	1387,78	6800	4,90
09	1502,03	5420	3,61
10	1392,77	5340	3,83
MÉDIA			4,14
DESVIO PADRÃO			0,48
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,12
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	3,79
		SUP.	4,49

3.8.3. Flexão estática

Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da NBR 14810-3 da ABNT (2006c), resultando em cada um, relatório com dados de MOR e MOE.

3.8.3.1. MOR

Os resultados obtidos para o módulo de ruptura (resistência) podem ser verificados nas Tabelas de 57 a 60, para as placas de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*.

Tabela 57– Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	1263,21	299	2,79
02	1267,06	365	3,39
03	1185,25	267	2,82
04	1229,46	178	1,75
05	1289,07	309	2,77
06	1270,49	268	2,47
07	1379,01	264	2,06
08	1246,60	184	1,76
09	1364,22	226	1,80
10	1327,22	297	2,51
MÉDIA			2,41
DESVIO PADRÃO			0,55
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,23
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	2,02
		SUP.	2,81

Tabela 58– Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	969,12	195,74	3,11
02	982,18	352,16	5,45
03	1016,52	359,51	5,20
04	1138,21	680,68	7,92
05	973,51	435,22	6,84
06	1053,46	498,18	6,69
07	986,78	465,82	7,15
08	979,38	492,98	7,69
09	1023,79	404,72	5,79
10	1119,41	299,00	3,56
MÉDIA			5,94
DESVIO PADRÃO			1,64
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,28
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	4,76
		SUP.	7,12

Tabela 59– Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOR (MPa)
01	906,29	556	10,11
02	841,42	502	10,57
03	816,29	495	11,20
04	906,76	588	10,76
05	947,27	742	12,48
06	910,91	556	10,12
07	878,83	498	9,70
08	897,70	511	9,53
09	935,27	756	12,81
10	962,62	448	7,28
MÉDIA			10,46
DESVIO PADRÃO			1,57
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,15
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	9,34
		SUP.	11,58

Tabela 60– Resultado obtidos para o módulo de ruptura das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOR (MPa)
01	1364,51	192,21	1,55
02	1464,01	149,16	1,05
03	1449,45	206,53	1,48
04	1434,48	272,92	2,00
05	1441,57	347,65	2,53
06	1415,35	330,29	2,49
07	1421,21	358,04	2,68
08	1454,13	262,52	1,87
09	1429,66	238,50	1,74
10	1496,34	276,06	1,85
MÉDIA			1,92
DESVIO PADRÃO			0,52
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,27
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	1,55
		SUP.	2,29

A norma brasileira NBR14.810-2, da ABNT (2006b), limita o valor de MOR, na flexão estática, em 16 MPa para chapas com espessuras entre 14 e 20 mm, em 14 MPa para as com espessura entre 21 e 25 mm, e em 12 MPa para as placas com 26 a 32 cm em espessura.

O valor médio encontrado para módulo de ruptura nos painéis de pinus/EPS/*thinner* foi de 2,41 MPa, para o de eucalipto/EPS/*thinner* 5,94 MPa, para o de peroba/EPS/*thinner* 10,46 MPa e para teca/EPS/*thinner* 1,92 MPa. As espessuras médias dos painéis de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*, são respectivamente 26,56 mm, 20,57 mm, 17,76 mm e 28,55 mm.

Os valores de MOR para todas as placas estão muito abaixo dos necessários, classificando-as como fora dos padrões exigidos pela norma brasileira.

3.8.3.2. MOE

A norma brasileira para aglomerados NBR 14810-2 da ABNT (2006b), não estabelece limite mínimo de MOE na flexão estática. Deste modo, os dados foram confrontados à norma comercial CS 236 – 66, que limita MOE em 2450 MPa para os painéis com densidade de 0,60 e 0,80 g/cm³.

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 61 para pinus/EPS/*thinner*, 62 para eucalipto/EPS/*thinner*, 63 para peroba/EPS/*thinner* e 64 para teca/EPS/*thinner*, a seguir.

Tabela 61 – Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de pinus/EPS/*thinner*

CP PINUS	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	1263,21	299	367,50
02	1267,06	365	458,26
03	1185,25	267	317,07
04	1229,46	178	273,03
05	1289,07	309	353,34
06	1270,49	268	366,69
07	1379,01	264	231,01
08	1246,60	184	191,33
09	1364,22	226	287,86
10	1327,22	297	329,24
MÉDIA			317,53
DESVIO PADRÃO			76,31
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,24
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	262,95
		SUP.	372,12

Tabela 62– Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de eucalipto/EPS/*thinner*

CP EUCALIPTO	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	969,12	195,74	498,20
02	982,18	352,16	826,09
03	1016,52	359,51	682,30
04	1138,21	680,68	736,64
05	973,51	435,22	723,38
06	1053,46	498,18	837,38
07	986,78	465,82	626,39
08	979,38	492,98	779,26
09	1023,79	404,72	878,83
10	1119,41	299,00	571,69
MÉDIA			716,02
DESVIO PADRÃO			122,60
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,17
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	628,32
		SUP.	803,71

Tabela 63– Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de peroba/EPS/*thinner*

CP PEROBA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	906,29	556	1210,30
02	841,42	502	1323,74
03	816,29	495	1738,40
04	906,76	588	1202,62
05	947,27	742	1363,79
06	910,91	556	1446,96
07	878,83	498	1413,60
08	897,70	511	1218,38
09	935,27	756	1706,52
10	962,62	448	1096,49
MÉDIA			1372,08
DESVIO PADRÃO			213,50
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,16
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	1219,36
		SUP.	1524,80

Tabela 64– Resultado para o módulo de elasticidade das chapas de teca/EPS/*thinner*

CP TECA	ÁREA (mm ²)	RUPTURA (N)	MOE (MPa)
01	1364,51	192,21	237,69
02	1464,01	149,16	187,56
03	1449,45	206,53	214,22
04	1434,48	272,92	265,26
05	1441,57	347,65	287,93
06	1415,35	330,29	286,14
07	1421,21	358,04	250,80
08	1454,13	262,52	309,66
09	1429,66	238,50	231,63
10	1496,34	276,06	181,00
MÉDIA			245,19
DESVIO PADRÃO			43,12
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO			0,18
INTERV. CONF. MÉD.		INF.	214,34
		SUP.	276,03

Os valores médios encontrados foram de 317,53 MPa, para os painéis de pinus/EPS/*thinner*; 716, 02 MPa, para eucalipto/EPS/*thinner*; 1372,08 MPa, para peroba/EPS/*thinner*; e 245,19 MPa, para teca/EPS/*thinner*.

Apesar de não haver limites para a norma brasileira, os resultados de módulo de elasticidade da segunda fase, quando comparados à norma americana mostraram-se inferiores, possivelmente pelo emprego do adesivo EPS, que possui baixa resistência a tal característica mecânica.

3.9. DISCUSSÃO DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Seguindo os mesmos passos apresentados nos ensaios físicos, nesta seção estão apresentadas as comparações de todas as características mecânicas, para que haja a análise entre os painéis que foram produzidos com os mesmos procedimentos²².

²²Relembrando, foram nomeadas as chapas: pinus com solvente em gasolina – PG, eucalipto com solvente em gasolina – EG, pinus com solvente em *thinner* – PT, eucalipto com solvente em *thinner* – ET, peroba com solvente em *thinner* – PE e por fim, teca com solvente em *thinner* – TE.

3.9.1. Tração perpendicular

Também chamada de ligação ou adesão interna, a característica de resistência à tração perpendicular está diretamente ligada à colagem do EPS com as espécies de madeira selecionadas, sendo de primordial importância sua análise, por se tratar da condição de adesão das partículas com o adesivo.

Por medirem o grau de adesão da chapa, os resultados dos ensaios de tração perpendicular, estão diretamente associados à quantidade de adesivo utilizado na manufatura. Para todos os casos, o valor empregado foi de 50% de massa do valor total da placa, ou seja, 500 gramas. Com isso, tal ponto não será fator de comparação. No entanto, os resultados também podem estar associados à densidade, havendo semelhança direta em suas correlações.

Os valores de tração perpendicular estão relacionados à espessura que as chapas possuem (Tabela 65), conforme norma brasileira NBR 14.810-2 (ABNT, 2006b).

Tabela 65 – Classificação dos valores de tração perpendicular

Espessura (mm)	Tração perpendicular (MPa)
33 – 50	0,20
26 – 32	0,24
21 – 25	0,30
14 – 20	0,35
8 – 13	0,40
5 – 7	0,40

Fonte: ABNT (2006b)

Os painéis TE possuem espessura média 28,55 mm e valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,23 MPa. Os PT, valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,26 MPa, com espessura de 26,56 mm. Já PG possuem espessura de 21,10 mm, com valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,27 MPa. ET valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,48 MPa, com espessura de 20,57 mm; EG valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,46 MPa e espessura de 19,53 mm. E finalmente, PE, valor médio de resistência à tração perpendicular de 0,99 MPa e 17,76 mm de espessura.

Analisando todas as características de tração perpendicular dos painéis, apresentados na Tabela 66, e os comparando conforme suas espessuras, seguem os dados.

Tabela 66 – Resumo dos resultados dos ensaios de tração perpendicular

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	0,51	0,76	0,32	0,33	0,66	0,44
2	0,51	0,36	0,39	1,07	1,17	0,12
3	0,51	0,27	0,27	0,97	0,95	0,14
4	0,18	0,73	0,22	0,30	1,06	0,11
5	0,14	0,28	0,27	0,35	1,13	0,16
6	0,21	0,49	0,27	0,29	1,03	0,29
7	0,16	0,38	0,23	0,35	1,28	0,35
8	0,17	0,68	0,10	0,31	0,60	0,35
9	0,00	0,31	0,27	0,26	0,99	0,22
10	0,30	0,29	0,30	0,52	1,03	0,09
Média	0,27	0,46	0,26	0,48	0,99	0,23
Espessura (mm)	21,10	19,53	26,56	20,57	17,76	28,55
Desv. Padrão	0,18	0,20	0,08	0,30	0,21	0,12
Coef. Var.	0,68	0,43	0,28	0,62	0,21	0,54

Pelas informações adquiridas, percebe-se que a qualidade das placas de PG e TE ficou abaixo das especificadas. As outras obtiveram valores acima do mínimo necessário, mostrando-se aptas na utilização das partículas com o adesivo em EPS.

Todos os painéis apresentaram, para a tração perpendicular, coeficiente de variação mínimo elevados (21% a 68%), como se observa na Tabela 66, refletindo a heterogeneidade em suas características. Possivelmente, esse caso possa ter ocorrido pelas várias ocorrências de ruptura na linha de cola, durante os ensaios, pelos seguintes fatores: i) a cola utilizada para a união do conjunto pode ter sido de inferior aderência do que a necessária, mesmo sendo empregada a especificada em norma; e, ii) a camada de EPS que envolvia o corpo de prova, tornou-se empecilho para que a cola pudesse criar ganchos de adesão ao painel, assim seria necessária uma cola que fosse compatível ao polímero também.

Pelo Gráfico 07 apresentado a seguir, com todos os dados especificados até o momento, quanto à tração perpendicular, observa-se que a densidade realmente é um fator que influencia na tração perpendicular, uma vez que seus baixos índices, encontrados em alguns painéis, formam vazios internos que tornam o corpo de prova frágil e suscetível à ruptura instantânea.

Gráfico 07 – Resultado de todos os dados de tração perpendicular

3.9.2. Compressão

Os ensaios de compressão avaliam o material quanto à sua resistência ao ser pressionado com uma carga paralela em seu sentido longitudinal (ABNT, 2006c).

Um resumo dos resultados dos ensaios de compressão longitudinal é apresentado na Tabela 67, os valores obtidos foram de 4,45 MPa para PG, 9,69 MPa para EG, 4,51 MPa PT, 12,19 MPa para ET, 16,44 MPa em PE e 4,14 MPa para TE. Os valores dos coeficientes de variação, que variam de 10% a 39%, refletem a heterogeneidade dos painéis.

Tabela 67 – Resumo dos resultados dos ensaios de compressão longitudinal

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	8,35	7,80	5,75	11,75	17,50	4,75
2	5,88	10,43	5,86	10,96	14,70	3,69
3	5,03	11,81	3,05	12,59	13,10	4,48
4	4,40	12,01	4,96	13,06	15,77	3,95
5	2,15	8,81	4,47	12,62	15,30	4,58
6	3,28	10,62	5,24	13,18	18,97	3,86
7	4,20	8,98	3,63	12,31	17,23	3,75
8	3,34	11,43	4,38	9,41	16,47	4,90
9	3,18	9,08	3,06	13,86	19,72	3,61
10	5,46	5,92	4,66	12,15	15,62	3,83
Média	4,53	9,69	4,51	12,19	16,44	4,14
Desv. Padrão	1,77	1,94	1,01	1,26	1,99	0,48
Coef. Var.	0,39	0,20	0,22	0,10	0,12	0,12

Apesar de os painéis propostos não serem fabricados para utilização com função estrutural, é importante que se observe tal particularidade para que o mesmo não se deforme

com facilidade, pelo peso próprio ou quando pouco solicitado por esforços que eventualmente possam existir.

A NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), não estabelece valores de tolerância para a resistência à compressão longitudinal, no entanto os resultados podem ser comparados a outros materiais que possam exercer a mesma função em uma edificação. Com isso, foram confrontados com blocos cerâmicos para alvenaria, blocos de concreto e estudos de painéis de OSB de alguns autores.

A “NBR 15270 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação”, da ABNT (2005b), classifica os blocos, para área bruta, resistência mínima a compressão, acima de 1,5 MPa, para furos na horizontal, e 3,0 MPa, para furos na vertical.

Já a “NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria”, ABNT (2007a) considera a resistência à compressão para blocos de vedação (Classe D) em 2,0 MPa.

Para painéis de OSB, a norma ASTM 1980:D1037-34.22 também não declara valores mínimos para compressão. Contudo, estudos de Cabral *et al.* (2006) encontram valores de 7,37 MPa a 11,71 MPa, para painéis fabricados com algumas espécies de eucalipto; e Castro *et al.* (2012) apontam valores de 10,16 MPa para painéis de eucalipto e 10,95 MPa, para os de pinus.

De tal modo, os resultados de compressão obtidos para os painéis do estudo, se comparados aos blocos de vedação, tanto cerâmico como de concreto, possuem resistência acima dos estipulados. No entanto, se confrontados aos painéis de OSB (que muitas vezes são solicitados também para fins estruturais), apenas os painéis de eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* se enquadram.

Considerando o Gráfico 08, apresentando os dados de compressão longitudinal, é notória a relação dos resultados de compressão com a densidade dos painéis, uma vez que, quanto maior a densidade, maiores são também os valores de tal característica.

Gráfico 08 – Resultado de todos os dados de compressão apresentados até o momento

É importante destacar ainda que Mendes (2001) comenta que, além da linha de cola, a resistência à compressão é influenciada pela tendência de ruptura, o que ocorreu em grande parte dos corpos de prova (Figura 54).

Figura 54 – Corpo de prova rompido em ensaio de compressão
Fonte: Arquivo pessoal

3.9.3. Flexão estática

Segundo Moreschi (2012), para determinação da propriedade mecânica de flexão estática, são necessários ensaios com aplicação de uma carga central em um corpo de prova

apoiado em suas extremidades, conforme a Figura 55, causando tensões e deformações até a sua ruptura.

Figura 55 – Ensaio de flexão estática

Fonte: Arquivo pessoal

Moreschi (2010)²³ *apud* Stangerli *et al.* (2010) comenta que a carga aplicada tem como objetivo gerar seu flexionamento, de forma que, até certo ponto, o material apresenta propriedade elástica, podendo voltar ao seu estado original e, a partir disso, torna-se plástica mesmo cessando sua força provocada.

Assim, os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 14.810-3, da ABNT (2006c), para determinação das propriedades de resistência (MOR – módulo de resistência) e rigidez (MOE – módulo de elasticidade).

3.9.3.1. MOR

A norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), especifica o valor de MOR, na flexão estática, em 16 MPa para chapas com espessuras entre 14 e 20 mm, 14 MPa para espessuras entre 21 e 25 mm, e 12 MPa para painéis com 26 a 32 mm.

Os valores médios de MOR foram de 2,79 MPa para PG, 17,77 MPa para EG, 2,41 MPa para PT, 5,94 MPa para ET, 10,46 MPa para PE e 1,92 MPa para TE.

Os resultados fornecidos para o módulo de ruptura (resistência) podem ser verificados na Tabela 68

²³ MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176 p.

Tabela 68 – Resumo dos resultados dos ensaios de MOR

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	6,47	6,86	2,79	3,11	10,11	1,55
2	4,39	10,91	3,39	5,45	10,57	1,05
3	3,37	8,12	2,82	5,2	11,2	1,48
4	2,16	9,63	1,75	7,92	10,76	2,00
5	1,14	6,89	2,77	6,84	12,48	2,53
6	1,49	7,96	2,47	6,69	10,12	2,49
7	2,25	4,72	2,06	7,15	9,7	2,68
8	2,37	9,29	1,76	7,69	9,53	1,87
9	0,65	9,18	1,80	5,79	12,81	1,74
10	3,61	4,15	2,51	3,56	7,28	1,85
Média	2,79	7,77	2,41	5,94	10,46	1,92
Desv. Padrão	1,73	2,16	0,56	1,64	1,57	0,52
Coef. Var.	0,62	0,28	0,23	0,28	0,15	0,27

Os valores apresentados estão muito abaixo dos exigidos, provavelmente devido à baixa resistência do EPS usado como adesivo, caracterizando os painéis como não indicados para fins estruturais. Tais análises reiteram o que Calegari *et al.* (2004)²⁴ *apud* Pedrazzi *et al.* (2006) como Pizzi (1994)²⁵, *apud* Pedrazzi *et al.* (2006) afirmaram em seus estudos quando especificaram que os adesivos a base de formaldeído, empregados na fabricação dos painéis, influenciam a resistência à flexão podendo reduzir a qualidade se diminuídos seus teores, uma vez que foram constatados que ao aumentar o teor de resina, aumentavam-se também as propriedades mecânicas.

Ao analisar os resultados de módulo de ruptura (MOR), resumidos no Gráfico 9, constata-se novamente a relação da densidade às características avaliadas. Mesmo sendo valores abaixo dos exigidos, observa-se a relação direta entre densidade e MOR.

²⁴ CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DACOSTA, L. P.; PEDRAZZI, C. **Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193-204, 2004.

²⁵ PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 370p.

Gráfico 09 – Resultado de todos os dados de MOR

3.9.3.2. MOE

Os valores médios encontrados, foram de 374,11 MPa para PG, 766,26 MPa para EG, 371,53 MPa para PT, 716,02 MPa para ET, 1372,08 MPa para PE e 245,19 MPa para TE. Os valores obtidos para os ensaios de módulo de elasticidade na flexão estática podem ser visualizados na Tabela 69, a seguir.

Tabela 69 – Resumo dos resultados dos ensaios de MOE na flexão

CP	PG	EG	PT	ET	PE	TE
1	813,64	610,47	367,50	498,20	1210,30	237,69
2	611,17	990,31	458,26	826,09	1323,74	187,56
3	478,99	825,59	317,07	682,30	1738,40	214,22
4	363,88	918,92	273,03	736,64	1202,62	265,26
5	118,24	763,26	353,34	723,38	1363,79	287,93
6	287,28	806,50	366,69	837,38	1446,96	286,14
7	273,76	520,81	231,01	626,39	1413,60	250,80
8	304,97	763,86	191,33	779,26	1218,38	309,66
9	83,60	969,16	287,86	878,83	1706,52	231,63
10	405,54	493,75	329,24	571,69	1096,49	181,00
Média	374,11	766,26	317,53	716,02	1372,08	245,19
Desv. Padrão	219,53	175,94	76,31	122,60	213,50	43,12
Coef. Var.	0,59	0,23	0,24	0,17	0,16	0,18

Apesar da NBR-14.810-2, da ABNT (2006b), não apresentar limites para o módulo de elasticidade, muitos pesquisadores, como, por exemplo, Azambuja *et al.* (2006) e Battistelle *et*

al. (2008) os compara com valores estabelecidos pela norma CS 236-66, (COMMERCIAL STANDART, 1968) que limita a valores inferiores a 24500 Kgf/cm² (2450MPa).

Pelas informações, embora com valores abaixo dos exigidos, os painéis ainda possuem relação direta com a densidade (Gráfico 10).

Gráfico 10 – Resultado de todos os dados de MOE

Os valores obtidos para MOE, neste trabalho, apresentaram-se bem inferiores aos exigidos na norma americana. Este fato pode ser explicado pelo fato do EPS, utilizado como adesivo, possuir baixa rigidez, transferindo, desta maneira, as propriedades para a chapa.

Cada um dos diagramas, resultantes dos ensaios, pode ser verificado no Apêndice 1, sendo eles Apêndice 1A - para os PG; Apêndice 1B - para EG; Apêndice 1C - para PT; Apêndice 1D - painéis ET; Apêndice 1E - PE e, finalmente, Apêndice 1F para os painéis TE.

No Gráfico 11, a seguir, constam exemplos de cada um dos resultados dos painéis.

Gráfico 11 – Exemplo de diagrama “Força x Deslocamento” de cada painel

3.10. OUTROS ENSAIOS

A partir desta fase, apenas os painéis produzidos com *thinner* foram analisados, uma vez que, depois de avaliados os ensaios anteriores, observou-se que os manufaturados com solvente à base de gasolina, além de fornecerem quase os mesmos resultados confrontados com outro solvente (*thinner*), ainda possuíam a inviabilidade de emprego devido ao empecilho constante da permanência dos fortes odores, mesmo depois de alguns meses em repouso.

Assim, após caracterizados física e mecanicamente, tais painéis necessitaram de constatações práticas de seus comportamentos para sua utilização como materiais de construção em obras civis. De tal modo, foram necessárias análises de outras características em algumas categorias.

Para tais ensaios, idealizou-se como os painéis pudessem se comportar quando utilizados como funções de piso, parede, forro e cobertura. Com isso foram simuladas situações de danos em vários níveis, que são:

- a. Incêndio
- b. Variação Térmica
- c. Degradação
- d. Desgaste

3.10.1. Incêndio

Os ensaios de resistência a incêndios foram realizados pela empresa Newtech Assessoria, Consultoria e Prestação de Serviços S/S Ltda, da cidade de São Carlos – SP, com certificado de acreditação n° CRL 0615, pelo Inmetro, datado de 15/04/2013 com validade até 15/04/2017, por indicação do Núcleo de Reologia e Processamento de Polímeros (NRPP), vinculado ao Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Todos os ensaios foram realizados em consonância com a norma UL 94, do Underwriters Laboratories Inc. (1998).

A finalidade do ensaio de resistência a incêndios é avaliar a vulnerabilidade à propagação ao fogo e a consideração de inflamabilidade generalizada, havendo o risco ao usuário da edificação, em que estará empregado tal material, uma vez que existe grande preconceito aos componentes que são empregados para a manufatura do painel.

Ribeiro *et al.* (2013) comentam que “a UL94 é um padrão imposto pelo laboratório americano de controle de qualidade *Underwriters Laboratories* (UL) que examina a flamabilidade e o comportamento perante o fogo dos materiais plásticos”.

Segundo Mitidieri (2000), os ensaios que fazem parte das regulamentações vigentes são fornecidos em escala reduzida e, entre eles, enquadra-se a propagação superficial de chama, que classifica a disposição do material extinguir-se ou espalhar-se quando incendiado.

O ensaio de queima vertical UL94V pode ser considerado o mais exigente dos testes UL pelas condições desfavoráveis e maiores períodos de exposição, determinando a degradação do material no prazo estipulado. Na posição horizontal, os testes estão relacionados à velocidade de propagação de queima sendo avaliados o tempo e a extensão da combustão (CAVANI, 2008).

De cada uma das análises, foi fornecido um relatório em que constavam os dados de inflamabilidade vertical, com suas observações, como também os de inflamabilidade horizontal.

Pelos resultados apresentados, observa-se que os corpos de prova não podem ser classificados segundo a UL94V uma vez que, em todos os casos, a chama se auto sustentou na primeira aplicação, não podendo ocorrer a segunda queima, classificando-os como materiais inflamáveis e não auto extingüível. No entanto, um ponto importante a ser ressaltado é de que em nenhum dos casos houve o gotejamento de partículas flamejantes, ou seja, não se espalham depois de incendiar.

Os resultados para avaliação de inflamabilidade vertical estão apresentados na Tabela 70.

Tabela 70 – Resultados dos ensaios de inflamabilidade vertical (s)

CP	Pinus	Observação	Eucalipto	Observação	Peroba	Observação	Teca	Observação
01	27	Não Pingou. Queimou até o grampo	27	Não Pingou. Queimou até o grampo	37	Não Pingou. Queimou até o grampo	23	Não Pingou. Queimou até o grampo
02	25	Não Pingou. Queimou até o grampo	29	Não Pingou. Queimou até o grampo	28	Não Pingou. Queimou até o grampo	22	Não Pingou. Queimou até o grampo
03	24	Não Pingou. Queimou até o grampo	31	Não Pingou. Queimou até o grampo	27	Não Pingou. Queimou até o grampo	26	Não Pingou. Queimou até o grampo
04	28	Não Pingou. Queimou até o grampo	26	Não Pingou. Queimou até o grampo	29	Não Pingou. Queimou até o grampo	25	Não Pingou. Queimou até o grampo
05	23	Não Pingou. Queimou até o grampo	25	Não Pingou. Queimou até o grampo	21	Não Pingou. Queimou até o grampo	25	Não Pingou. Queimou até o grampo

Diante os fatos, é de imprescindível necessidade a especificação de produtos que reduzam a inflamabilidade dos painéis.

Segundo Gallo e Agnelli (1998), existem várias maneiras de restringir a inflamabilidade para a redução da capacidade de propagação das chamas, impedindo ou até mesmo extinguindo o processo de combustão. Entre eles estão: uso de retardantes de chama reativos pela modificação química, utilização de agentes retardantes de chama aditivos, emprego de revestimentos antichama e/ou a combinação desses métodos.

Quanto aos resultados de inflamabilidade horizontal (velocidade de queima), os dados estão expostos na Tabela 71.

Tabela 71– Resultados dos ensaios de inflamabilidade horizontal (mm/min)

CP	Pinus	Eucalipto	Peroba	Teca
01	28,12	24,86	37,50	27,44
02	23,44	27,50	34,09	48,39
03	26,16	30,26	27,61	50,00
Velocidade média	25,91	27,57	33,07	41,94

Segundo os resultados coletados, a velocidade de queima dos painéis de pinus foi de 25,91 mm/min, os de eucalipto 27,57 mm/min, peroba 33,07 mm/min e teca 41,94 mm/min.

Ribeiro *et al.* (2013) expõem que a indústria automobilística²⁶, conforme resolução CONTRAN nº 675, apresenta dados de 250 mm/min para revestimentos internos de automóveis. Em outros países, com pesquisas ainda mais avançadas, o valor é de 80 mm/min. Comparando-os com os painéis estudados, os valores apresentados estão bem abaixo dos que os expostos.

Cavani (2008) esclarece que materiais que se comportam com manutenção de chamas, mas com baixa velocidade de propagação, podem ser considerados menos inflamáveis.

Tal característica repete o que Avesani Neto (2008) comenta sobre o isopor, que, apesar de ser considerado inflamável, torna-se outra vez estável assim que for retirada sua fonte de calor. A própria NBR 11948, da ABNT (2007b), classifica o material como retardante à chama.

Como análise geral, constata-se que todos os painéis, apesar de inflamáveis, possuem velocidade de propagação baixa e sem indicação de espalhamento, ajudando no tempo de fuga do usuário dentro de uma edificação que, por ventura tenha contato com incêndios, uma vez que todo material é passível de ser incendiado.

Com isso, os painéis serragem/EPS/*thinner* podem ser indicados com o uso de retardantes de chamas, melhorando ainda mais seus desempenhos, podendo, desta maneira, ser utilizados na construção civil.

3.10.2. Variações Térmicas

As avaliações em um determinado material, relacionadas às variações térmicas ocorridas pelas alterações de temperaturas oriundas da exposição de fatores climáticos ao qual possa ser submetido, ajudam a compreender como o mesmo se comporta durante seu emprego em um sistema construtivo.

Denari e Cavalheiro (2012) comentam que o calor provoca mudanças em certos materiais e altera suas propriedades acarretando modificações físicas ou até mesmo sua deterioração. Por isso, optou-se pela avaliação por análise térmica, em que um material é monitorado em função do tempo e/ou temperatura por uma programação controlada. O ensaio

²⁶ A referida indústria foi usada como parâmetro, uma vez que são as que representam mais avançados estudos em relação à segurança dos usuários.

escolhido foi pela determinação de constante térmica por um período de tempo estipulado, confrontando os mais críticos tempo e temperatura possíveis para nossa realidade. Deste modo, a temperatura escolhida foi de 50 °C²⁷, por um tempo de 12 horas²⁸, com análise térmica por termogravimetria. Os ensaios foram realizados no Núcleo de Reologia e Processamento de Polímeros (NRPP), vinculado ao Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

3.10.2.1. Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TGA) é a técnica que confere a propriedade de variação de massa de um material em função de temperatura programada por um determinado tempo, avaliando sua decomposição (DENARI; CAVALHEIRO, 2012).

Assim, o propósito do ensaio visa avaliar qual a influência da exposição solar sobre os painéis quando os mesmos forem submetidos a extensas radiações durante o dia e se as altas temperaturas podem modificar a estrutura das edificações em que forem empregados nos fechamentos dos sistemas construtivos propostos.

Ao serem avaliadas as perdas de massa dos painéis em função do tempo programado, notou-se que a principal diminuição de massa ocorreu nos primeiros 50 minutos de exposição, e que, após esse tempo, a variação tornou-se mínima, até transformar-se em praticamente constante.

Na simulação oferecida, sol latente com calor de 50 °C por um tempo de 12 horas, o resultado seria de que as placas, ao serem expostas, sofreriam alteração física de no máximo 2%. Os valores são inferiores ao teor de umidade de cada uma das placas (pinus 5,5%, eucalipto 4,9%, peroba 4,8% e teca 5%), de modo que, pela norma brasileira NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), os valores podem estar entre 5% e 11%.

Pelo tempo estipulado, foi possível a averiguação da porcentagem de massa perdida em cada um dos painéis (Gráfico 12), quando o mesmo estava submetido por uma temperatura constante.

²⁷ Constante máxima a que pode chegar a temperatura em dias de altos picos de calor.

²⁸ Estimativa máxima de tempo que o sol pode radiar calor diretamente sobre o material.

Gráfico 12 – Ensaios de TGA apresentando a variação de perda de massa pela variável temperatura

Os gráficos “Porcentagem X Temperatura” resultantes dos ensaios de TGA (Gráfico 12), observa-se que as perdas de massa oferecidas pelos painéis foram de 1,937% para Pinus, 1,276% para Eucalipto, 0,4141% para Peroba e 1,493% para Teca, mostrando apropriados resultados pela baixa variação apresentada.

A perda de massa, sob sol forte e por longo período, poderia ser minimizada, caso os painéis fossem recobertos com tintas ou vernizes, para proteção da exposição e possíveis danos.

Analisando os resultados de perda de massa, pelo tempo estimado, observa-se a variação dos dados já apresentados (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Ensaio de TGA apresentando a variação de perda de massa pela variável tempo

3.10.3. Degradação

Outra ocorrência importante a ser analisada é o dano que pode ocorrer por intempéries quando os painéis ficam expostos durante um espaço maior de tempo por sua utilização. Assim, foram realizados ensaios de envelhecimento acelerado com exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade em ciclos repetitivos. Os mesmos foram efetivados no Laboratório de Geossintéticos, vinculado ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) - Campus de São Carlos.

O propósito do ensaio é demonstrar o prejuízo ocorrido no material em consequência do aumento da temperatura ambiente pela radiação solar, como também da umidade relativa do ar, pela água de chuva e orvalho, conforme metodologia apresentada de simulação de aproximadamente 3 anos.

3.10.3.1. Análises qualitativas

Quanto às impressões visuais, todas as observações podem ser verificadas na Figura 56, a seguir.

Aspecto Geral	BOM
Resistência ao Tato	BOM
Brilho	RUIM
Ondulações	ISENTO
Manchas	RUIM
Descoloração	RUIM
Fissuras	ISENTO
Desprendimento de Partículas	ISENTO

Amostras de Pinus

Aspecto Geral	BOM
Resistência ao Tato	MÉDIO
Brilho	RUIM
Ondulações	ISENTO
Manchas	MÉDIO
Descoloração	MÉDIO
Fissuras	ISENTO
Desprendimento de Partículas	ISENTO

Amostras de Eucalipto

Aspecto Geral	MÉDIO
Resistência ao Tato	RUIM
Brilho	RUIM
Ondulações	ISENTO
Manchas	RUIM
Descoloração	ISENTO
Fissuras	ISENTO
Desprendimento de Partículas	ISENTO

Amostras de Peroba

Aspecto Geral	MÉDIO
Resistência ao Tato	MÉDIO
Brilho	RUIM
Ondulações	ISENTO
Manchas	RUIM
Descoloração	RUIM
Fissuras	ISENTO
Desprendimento de Partículas	ISENTO

Amostras de Teca

Figura 56 – Resultado das análises qualitativas dos ensaios de degradação

Fonte: Arquivo pessoal

Das anotações, analisa-se que em nenhum dos casos foram observadas alterações quanto às ondulações, fissuras e/ou desprendimento de partículas.

No entanto, as amostras de pinus tiveram descoloração e manchas, o que acarretou perda de brilho, não afetando o aspecto de resistência ao tato. Nas de eucalipto aconteceram pouca descoloração, manchas e diminuição de brilho. Já a resistência ao tato foi afetada. As amostras de peroba ganharam muitas manchas escuras (queima) e nenhuma descoloração, com isso houve alteração no brilho e consequente alteração na resistência ao tato. Por fim, nas de teca, houve muitas manchas, descoloração e perda de brilho, com alguma mudança na resistência ao tato. De modo geral, todas as variações ocorreram superficialmente, mesmo nas amostras que tiveram como aspecto geral resultado médio (peroba e teca).

Fatores atmosféricos como água, temperatura e radiação solar são fontes de alteração físico-químicos que degradam a madeira, e por consequência podem causar inchamentos, retrações, fendas, transferindo as degradações superficiais para o interior. Para evitar tais efeitos dos agentes externos, há a necessidade de criar barreiras com revestimentos de proteções superficiais que podem ser por pinturas e/ou envernizamentos, aumentando sua durabilidade (EUSÉBIO, 2007).

3.10.3.2. Análises quantitativas

Para melhor averiguação das consequências dos efeitos dos ensaios de UV, foram avaliados quantitativamente ensaios para verificação de absorção de água, inchamento em espessura e ligação interna.

Para serem melhor analisados, foram tomados como base, os dados apresentados nos referidos ensaios antes de serem submetidos aos testes de UV (ensaios físicos e mecânicos iniciais) e as análises de 1 (A), 2 (B) e 3 (C) anos respectivamente.

3.10.3.2.1. Absorção de água

Quanto aos valores encontrados para absorção de água, a maioria dos painéis, exceto os de peroba, desde o início apresentam-se com valores acima dos utilizados como parâmetros apresentados por Nascimento (2003), de 12% e 16% para absorção em 2 horas. Já em 24 horas, os dados ficaram dentro dos padrões de 27% a 50%.

Os resultados do ensaio de absorção de água, depois de submeter os painéis aos testes de UV, podem ser observados nas Tabelas de 72 a 75, para os painéis de pinus, eucalipto, peroba e teca, respectivamente.

Tabela 72 – Resultados dos ensaios de absorção de água de pinus após UV

CP PINUS	Massa inicial (g)	Massa 2h (g)	Absorção 2h (%)	Massa 24h (g)	Absorção 24h (%)
1	7,98	10,02	25,56	11,70	46,62
1A	8,98	11,62	29,40	13,43	49,55
1B	8,82	11,57	31,18	12,91	46,37
1C	7,56	10,77	42,46	12,26	62,17
2	8,72	10,17	16,63	12,24	40,37
2A	7,88	10,20	29,44	11,67	48,10
2B	8,82	11,68	32,43	13,31	50,91
2C	8,14	11,08	36,12	12,75	56,63
5	7,65	10,45	36,60	11,90	55,56
5A	7,90	10,97	38,86	12,62	59,75
5B	8,03	11,86	47,70	13,45	67,50
5C	8,74	13,31	52,29	15,08	72,54

Tabela 73 – Resultados dos ensaios de absorção de água de eucalipto após UV

CP EUCALIPTO	Massa inicial (g)	Massa 2h (g)	Absorção 2h (%)	Massa 24h (g)	Absorção 24h (%)
1	9,38	10,05	7,14	10,80	15,14
1A	10,48	11,01	5,06	11,86	13,17
1B	10,06	10,95	8,85	12,06	19,88
1C	9,25	10,58	14,38	11,40	23,24
3	8,68	9,94	14,52	10,64	22,58
3A	8,70	10,80	24,14	12,06	38,62
3B	9,36	10,77	15,06	11,74	25,43
3C	8,55	10,26	20,00	11,28	31,93
5	8,69	9,72	11,85	10,40	19,68
5A	9,62	11,22	16,63	12,58	30,77
5B	9,85	11,18	13,50	12,64	28,32
5C	8,94	10,37	16,00	11,47	28,30

Tabela 74 – Resultados dos ensaios de absorção de água de peroba após UV

CP	Massa	Massa	Absorção	Massa	Absorção
PEROBA	inicial (g)	2h (g)	2h (%)	24h (g)	24h (%)
1	8,14	8,45	3,81	9,06	11,30
1A	8,23	9,13	10,94	9,93	20,66
1B	8,21	8,96	9,14	9,89	20,46
1C	7,69	8,32	8,19	9,22	19,90
4	8,44	8,81	4,38	9,50	12,56
4A	8,18	8,84	8,07	9,93	21,39
4B	9,23	10,22	10,73	11,28	22,21
4C	8,18	8,93	9,17	10,10	23,47
5	8,46	8,85	4,61	9,72	14,89
5A	9,05	10,21	12,82	11,70	29,28
5B	7,60	8,48	11,58	9,54	25,53
5C	8,14	9,06	11,30	10,00	22,85

Tabela 75 – Resultados dos ensaios de absorção de água de teca após UV

CP	Massa	Massa	Absorção	Massa	Absorção
TECA	inicial (g)	2h (g)	2h (%)	24h (g)	24h (%)
1	7,78	9,44	21,34	10,62	36,50
1A	9,02	11,85	31,37	13,64	51,22
1B	9,02	11,49	27,38	13,66	51,44
1C	8,54	11,35	32,90	13,37	56,56
4	9,24	11,93	29,11	13,43	45,35
4A	10,28	14,75	43,48	17,21	67,41
4B	8,85	12,54	41,69	14,61	65,08
4C	9,07	12,96	42,89	14,85	63,73
5	9,35	11,68	24,92	13,10	40,11
5A	8,60	11,06	28,60	13,56	57,67
5B	8,68	11,30	30,18	13,33	53,57
5C	8,28	10,82	30,68	12,77	54,23

Para mais esclarecimentos, todos os dados de absorção de água, analisados na simulação de degradação, podem ser checados no Gráfico 14.

Absorção de água dos painéis de Pinus nos ensaios de UV

Absorção de água dos painéis de Eucalipto nos ensaios de UV

Absorção de água dos painéis de Peroba nos ensaios de UV

Absorção de água dos painéis de Teca nos ensaios de UV

Gráfico 14 – Resultados de absorção de água nas análises quantitativas dos ensaios de degradação

De maneira geral, observa-se que após 1 ano, os painéis começam a absorver mais água. No entanto, imagina-se que se estabilizam e perdem água para o meio até tornarem-se estáveis. Tal constatação pode ser avaliada, uma vez que ao serem analisados qualitativamente, nenhum dos painéis apresentou deformação visual. Sendo assim, a água que é absorvida pelos painéis não causa danos visíveis à sua utilização. Os painéis de pinus foram exceção, pois apresentaram aumento gradual de absorção conforme o tempo, mas, mesmo assim, ficaram praticamente dentro dos padrões aceitáveis quando comparados ao utilizado como modelo.

3.10.3.2.2. *Inchamento em espessura*

A respeito dos dados de inchamento em espessura, desde os primeiros resultados, os painéis mostraram-se bastante promissores, apresentando baixos índices. Conforme a norma brasileira “NBR 14.810-2 - Chapa de madeira aglomerada”, da ABNT (2006b), o padrão é apontado em 8% para verificações em 2 horas de imersão, e, mesmo depois de 24 horas, os valores permaneceram abaixo do estipulado.

Após os ensaios de UV, novamente foram realizadas as aferições e todos os resultados de inchamento em espessura continuaram muito abaixo da média. Os resultados estão apresentados nas Tabelas de 76 a 79.

Tabela 76 – Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de pinus após UV

CP PINUS	Espes. inicial (g)	Espes. 2h (g)	Incham. 2h (%)	Espes. 24h (g)	Incham. 24h (%)
1	25,08	25,32	1,00	25,60	2,08
1A	24,70	24,92	0,87	25,03	1,32
1B	23,95	24,30	1,47	24,41	1,91
1C	23,51	23,77	1,10	23,78	1,15
2	25,04	25,49	1,80	25,53	1,93
2A	23,33	23,43	0,44	23,64	1,35
2B	25,69	25,92	0,89	25,97	1,09
2C	24,31	24,47	0,69	24,62	1,29
5	26,98	27,18	0,70	27,18	0,74
5A	24,06	24,31	1,02	24,36	1,25
5B	25,85	25,93	0,32	26,11	1,00
5C	27,39	27,64	0,89	27,67	1,02

Tabela 77 – Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de eucalipto após UV

CP EUCALIPTO	Espes. inicial (g)	Espes. 2h (g)	Incham. 2h (%)	Espes. 24h (g)	Incham. 24h (%)
1	21,02	21,04	0,10	21,28	1,25
1A	19,45	19,59	0,75	19,79	1,76
1B	19,87	19,87	0,00	20,06	0,99
1C	18,74	18,90	0,84	18,92	0,95
3	19,55	19,62	0,36	19,78	1,16
3A	22,41	22,60	0,86	22,74	1,50
3B	20,96	21,15	0,92	21,24	1,34
3C	20,28	20,43	0,38	20,60	1,59
5	19,65	19,74	0,50	19,84	0,95
5A	20,34	20,43	0,43	20,65	1,55
5B	20,96	21,15	0,92	21,28	1,54
5C	20,66	20,81	0,75	20,92	1,26

Tabela 78 – Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de peroba após UV

CP PEROBA	Espes. inicial (g)	Espes. 2h (g)	Incham. 2h (%)	Espes. 24h (g)	Incham. 24h (%)
2	18,10	18,12	0,10	18,25	0,81
2A	16,72	16,88	0,94	16,95	1,39
2B	16,91	16,97	0,35	17,05	0,87
2C	16,57	16,81	1,45	17,02	2,72
4	18,53	18,57	0,30	18,73	1,12
4A	16,49	16,68	1,12	16,87	2,30
4B	18,91	19,00	0,48	19,15	1,28
4C	18,22	18,34	0,66	18,52	1,65
5	18,82	18,91	0,5	19,00	0,96
5A	19,52	19,73	1,04	19,81	1,45
5B	18,19	18,37	0,95	18,52	1,77
5C	16,82	17,02	1,17	17,14	1,89

Tabela 79 – Resultados dos ensaios de inchamento em espessura de teca após UV

CP	Espes.	Espes.	Incham.	Espes.	Incham.
TECA	inicial (g)	2h (g)	2h (%)	24h (g)	24h (%)
1	26,18	26,33	0,60	26,40	0,83
1A	25,82	26,19	1,45	26,20	1,47
1B	27,97	28,14	0,62	28,22	0,90
1C	26,74	27,08	1,28	27,25	1,91
4	29,81	29,81	0,0	29,91	0,34
4A	30,02	30,26	0,77	30,31	0,96
4B	29,11	29,25	0,50	29,33	0,78
4C	30,02	30,43	2,36	30,89	2,90
5	29,49	29,71	0,7	29,73	0,81
5A	27,68	28,07	1,41	28,21	1,91
5B	28,57	28,94	1,30	29,09	1,83
5C	28,33	28,57	0,86	28,61	1,02

Em todos os casos, não houve um padrão quanto aos resultados de inchamento em espessura, após ensaio de UV. No entanto, observa-se que nos painéis de pinus, conforme o tempo de análise (1500 horas), o inchamento foi menor do que antes da submissão dos ensaios, os de eucalipto continuaram praticamente na mesma média. Já os de peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner* aumentaram. Apesar de não ser constatado um padrão de comportamento, todos os valores coletados continuam muito abaixo da média necessária. Com isso, pode-se provar que mesmo estando em contato com a degradação, os painéis continuam propícios e com bastante incentivo para serem utilizados em ambientes externos.

Os resultados de inchamento em espessura, nas análises quantitativas dos ensaios de degradação, dos painéis de pinus, eucalipto, peroba e teca podem ser observados no Gráfico 15.

Inchamento em espessura dos painéis de Pinus nos ensaios de UV

Inchamento em espessura dos painéis de Eucalipto nos ensaios de UV

Inchamento em espessura dos painéis de Peroba nos ensaios de UV

Inchamento em espessura dos painéis de Teca nos ensaios de UV

Gráfico 15 – Resultados de inchamento em espessura nas análises quantitativas dos ensaios de degradação

3.10.3.2.3. Ligação interna (tração perpendicular)

Os valores necessários, conforme a norma NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), estão diretamente ligados à espessura que os painéis apresentam. Com isso, observa-se que os painéis de teca/EPS/*thinner* possuem espessura média de 28,55 mm e os de pinus/EPS/*thinner* de 26,56 mm, ambos devem apresentar no mínimo 0,24 MPa de resistência à tração perpendicular. Para os de eucalipto, com espessura média de 20,57 mm, tração de 0,30 MPa e finalmente, peroba, 17,76 mm de espessura média, tração de 0,35 MPa.

Pelos resultados adquiridos, adverte-se que as placas de teca ficaram abaixo dos especificados, mesmo antes dos ensaios de UV. Já as de pinus, a maioria apresentou-se, após ensaios de UV, dentro do esperado. As outras amostras, tanto eucalipto como peroba obtiveram valores acima do mínimo necessário. Todos os resultados estão demonstrados nas Tabelas 80 a 83.

Tabela 80 – Resultados dos ensaios de ligação interna de pinus após UV

CP PINUS	Área (mm ²)	Ruptura (N)	LI (MPa)
01	2475,39	787	0,32
1A	2457,83	528	0,21
1B	2461,22	1097	0,45
1C	2473,94	673	0,27
02	2492,08	973	0,39
2A	2474,63	983	0,40
2B	2457,98	1159	0,47
2C	2425,43	631	0,26
5	2482,13	673	0,27
5A	2498,10	766	0,31
5B	2486,63	280	0,11
5C	2495,58	704	0,28

Tabela 81 – Resultados dos ensaios de ligação interna de eucalipto após UV

CP EUCALIPTO	Área (mm²)	Ruptura (N)	LI (MPa)
01	2549,60	835,78	0,33
1A	2477,15	1211,85	0,49
1B	2440,24	848,85	0,35
1C	2496,99	1221,52	0,49
03	2551,38	2484,45	0,97
3A	2520,16	848,85	0,34
3B	2465,21	921,32	0,37
3C	2553,24	2225,65	0,87
5	2543,88	890,26	0,35
5A	2472,43	1594,19	0,64
5B	2485,98	869,56	0,35
5C	2523,05	1852,99	0,73

Tabela 82 – Resultados dos ensaios de ligação interna de peroba após UV

CP PEROBA	Área (mm²)	Ruptura (N)	LI (MPa)
02	2555,78	2992	1,17
2A	2480,30	1729	0,70
2B	2460,74	1170	0,48
2C	2494,64	1315	0,53
04	2543,58	2702	1,06
4A	2497,97	1377	0,55
4B	2497,88	1449	0,58
4C	2515,48	1429	0,57
5	2556,23	2900	1,13
5A	2488,10	1501	0,60
5B	2582,36	2029	0,79
5C	2513,89	1180	0,47

Tabela 83 – Resultados dos ensaios de ligação interna de teca após UV

CP TECA	Área (mm ²)	Ruptura (N)	LI (MPa)
02	2523,66	300,20	0,12
2A	2526,03	486,54	0,19
2B	2538,51	590,06	0,23
2C	2502,25	455,48	0,18
04	2535,37	269,15	0,11
4A	2513,63	289,85	0,12
4B	2541,97	641,82	0,25
4C	2518,28	310,56	0,12
5	2534,62	403,72	0,16
5A	2478,26	289,85	0,12
5B	2549,72	248,45	0,10
5C	2546,74	662,52	0,26

Quanto à avaliação dos painéis conforme o tempo de simulação pelos ensaios de UV, mesmo não se observando um padrão, um dos resultados mais significativos foram os apresentados nos painéis de peroba, que, após o primeiro ano de exposição, diminuíram excessivamente sua resistência quanto à ligação interna. No entanto, apesar dos altos índices de variação, os valores apresentados ainda foram acima dos exigidos em norma. Os painéis de pinus e teca foram bastante variáveis. Já os de eucalipto, aumentaram resistência após o prazo de simulação.

Todos os dados da demonstração dos resultados de Ligação Interna nas análises quantitativas dos ensaios de degradação, podem ser conferidos no Gráfico 16.

Ligação Interna dos painéis de Pinus nos ensaios de UV

Ligação Interna dos painéis de Eucalipto nos ensaios de UV

Ligação Interna dos painéis de Peroba nos ensaios de UV

Ligação Interna dos painéis de Teca nos ensaios de UV

Gráfico 16 – Resultados de Ligação Interna nas análises quantitativas dos ensaios de degradação

De modo geral, os ensaios de envelhecimento acelerado com exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade em ciclos repetitivos, não influenciaram excessivamente os resultados qualitativos e quantitativos das amostras. Com isso, pondera-se que tais painéis podem ser utilizados na construção civil, com tempo de exposição até 3 anos, sem muitas alterações.

Tais dados podem ser melhorados, uma vez que nenhuma barreira de proteção foi utilizada e, para que se aumente sua vida útil, muitas estratégias podem ser empregadas como por exemplo, o emprego de tintas ou vernizes para proteção do material.

3.10.4. Desgaste

Para serem empregados também como pisos, tais painéis precisam ser avaliados quanto ao uso relacionado ao desgaste.

Segundo IPT (2014), uma das maiores questões quanto à qualidade e, muitas vezes, um dos pontos mais avaliados pelos consumidores, é a resistência e classificação por abrasão, indicando a vida útil do piso. Tais testes são aplicados conforme as normas de pisos cerâmicos (peças esmaltadas), porém adaptados aos pisos de madeira (laminados).

Outra questão a ser observada é quanto à utilização de produtos de manutenção e limpeza que podem ser avaliados por ensaios de ataques químicos

Tais análises foram realizadas no Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais (CCDM) vinculado ao Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), no laboratório de cerâmica, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), sob a supervisão da Técnica Anna Elisa B. dos Santos, conforme normas vigentes.

3.10.4.1. Abrasão

Os ensaios de abrasão estão relacionados ao desgaste visual superficial ocasionado por testes em vários ciclos, simulando a resistência a riscos provocada pelo tráfego de pessoas, objetos e/ou equipamentos classificadas como PEI – Porcelain Enamel Institut²⁹.

²⁹ Órgão americano que estabeleceu os critérios de classificação conforme resistência.

Os valores de PEI estão atrelados ao número de ciclos que a máquina executa, e podem ser observados na Tabela 84, conforme NBR 13818, da ABNT (1997).

Tabela 84 – Classificação de placas cerâmicas segundo a resistência à abrasão superficial

Nº de ciclos	Classe PEI
100	0
150	1
600	2
750, 1.500	3
2.100, 6.000, 12.000	4
> 12.000	5

Fonte: Arquivo pessoal

Os resultados de resistência à abrasão superficial para os painéis de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner*, peroba/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner*, indicam a classe PEI 3, segundo o Anexo D da NBR 13818, da ABNT (1997), com estágio de abrasão de 1500 ciclos. São qualificados, deste modo, como de uso residencial em dormitórios, bem como salas e varandas com pouco uso. Os resultados fornecidos pelo laboratório, podem ser observados na Tabela 85.

Tabela 85 – Resultados dos ensaios de abrasão superficial

Determinação da Resistência à Abrasão Superficial: NBR 13818:1997 - Anexo D				
	PINUS	EUCALIPTO	PEROBA	TECA
Classe de abrasão (PEI)	3	3	3	3
Estágio de abrasão (ciclos)	1500	1500	1500	1500

Portanto, conforme indicações do INMETRO (2014) os painéis são “recomendados para ambientes residenciais onde se caminha geralmente com alguma quantidade de sujeira abrasiva que não seja areia e outros materiais de dureza maior que areia (todas as dependências residenciais)”.

3.10.4.2. Ataques químicos

As ponderações quanto aos ataques químicos estão associadas à camada de superfície do material ensaiado para que não sejam modificadas suas propriedades, estando conexas a alterações que ocorrem ao contato com produtos químicos.

INMETRO (2014) comenta que as resistências, no caso das cerâmicas, empregadas como base de comparação, estão atreladas à composição do esmalte, e são classificadas como

A – ótima resistência a produtos químicos, B – ligeira alteração de aspecto e, C – alteração de aspecto bem definida.

As simulações estão ligadas a situações de uso comum quanto à utilização de reagentes agressivos por produtos químicos domésticos com cloreto de amônia, produtos para tratamento de água de piscina com hipoclorito de sódio, ácidos de alta e baixa concentrações como clorídrico cítrico e lático, e, álcalis de baixa e alta concentrações com hidróxido de potássio a 30g/l e 100g/l (SILVA, 2004).

Diante dos dados apresentados, notou-se que nos painéis de pinus obtiveram alta resistência à amônia e baixa a hipoclorito, baixa para ácido clorídrico e hidróxido de potássio e alta para ácido cítrico, de baixa e alta concentração. Para os de eucalipto, todos os resultados foram de baixa resistência. Quanto aos de peroba, a grande maioria foi de baixa resistência, exceto para ácido lático de alta concentração. Por fim, os de teca somente foram resistentes a cloreto de amônia.

Pelas poucas resistências apresentadas, observa-se muita cautela quanto ao uso de produtos químicos aplicados aos painéis. No entanto, uma das mais comentadas características dos revestimentos de madeira é o fato de possuir fácil higiene e manutenção. Com isso, o mais aconselhável é a utilização de aspirador de pó ou vassouras de cerdas macias, pano seco ou levemente umedecido em solução de produtos isentos de cera ou silicone.

Lopes (2010) comenta que como o revestimento, em madeira, possui baixa aceitação quanto ao uso de água, a mesma não pode ser atrelada à sua limpeza, pois pode ser absorvida pelas juntas, gerando o inchamento ou alteração da sua forma. O mesmo ocorre com equipamentos que se utilizam de vapor podendo ocasionar os mesmos efeitos que a água em demasia. Outro fator importante é quanto ao uso de cera ou sabão, tomando cuidado para que não fiquem resíduos. É importante ressaltar que urina de animais de estimação, pelo elevado grau de acidez, precisam ser limpas imediatamente para não manchar o revestimento ou danificá-lo.

Para os painéis propostos neste trabalho, os resultados quanto à determinação da resistência ao ataque químicos dos painéis de pinus, eucalipto, peroba e teca, podem ser visualizados na Tabela 86.

Tabela 86 – Resultados dos ensaios de Ataque Químico de todas as amostras**Ataque Químico em corpos de prova dos painéis pinus/EPS/thinner**

Determinação da Resistência ao Ataque Químico: NBR 13818:1997 - Anexo H					
Produtos domésticos e de piscina	Placa1	Placa2	Placa3	Placa4	Placa5
Cloreto de amônia - 100g/L	GA	GA	GA	-	-
Hipoclorito sódio - 20mg/L	GC	GC	GC	-	-
Ácidos e Bases de baixa concentração					
Ácido Clorídrico - 3%	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácido cítrico - 100g/L	GLA	GLA	GLA	-	-
Hidróxido de potássio - 30 g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácidos e Bases de alta concentração					
Ácido clorídrico - 18%	GHC	GHC	GHC	-	-
Ácido láctico - 5%	GHA	GHA	GHA	-	-
Hidróxido de potássio - 100 g/L	GHC	GHC	GHC	-	-

Ataque Químico em corpos de prova dos painéis eucalipto/EPS/thinner

Determinação da Resistência ao Ataque Químico: NBR 13818:1997 - Anexo H					
Produtos domésticos e de piscina	Placa1	Placa2	Placa3	Placa4	Placa5
Cloreto de amônia - 100g/L	GC	GC	GC	-	-
Hipoclorito sódio - 20mg/L	GC	GC	GC	-	-
Ácidos e Bases de baixa concentração					
Ácido Clorídrico - 3%	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácido cítrico - 100g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Hidróxido de potássio - 30 g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácidos e Bases de alta concentração					
Ácido clorídrico - 18%	GHC	GHC	GHC	-	-
Ácido láctico - 5%	GHC	GHC	GHC	-	-
Hidróxido de potássio - 100 g/L	GHC	GHC	GHC	-	-

Ataque Químico em corpos de prova dos painéis peroba/EPS/thinner

Determinação da Resistência ao Ataque Químico: NBR 13818:1997 - Anexo H					
Produtos domésticos e de piscina	Placa1	Placa2	Placa3	Placa4	Placa5
Cloreto de amônia - 100g/L	GC	GC	GC	-	-
Hipoclorito sódio - 20mg/L	GC	GC	GC	-	-
Ácidos e Bases de baixa concentração					
Ácido Clorídrico - 3%	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácido cítrico - 100g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Hidróxido de potássio - 30 g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácidos e Bases de alta concentração					
Ácido clorídrico - 18%	GHC	GHC	GHC	-	-
Ácido láctico - 5%	GHA	GHA	GHA	-	-
Hidróxido de potássio - 100 g/L	GHC	GHC	GHC	-	-

Ataque Químico em corpos de prova dos painéis teca/EPS/thinner

Determinação da Resistência ao Ataque Químico: NBR 13818:1997 - Anexo H					
Produtos domésticos e de piscina	Placa1	Placa2	Placa3	Placa4	Placa5
Cloreto de amônia - 100g/L	GA	GA	GA	-	-
Hipoclorito sódio - 20mg/L	GC	GC	GC	-	-
Ácidos e Bases de baixa concentração					
Ácido Clorídrico - 3%	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácido cítrico - 100g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Hidróxido de potássio - 30 g/L	GLC	GLC	GLC	-	-
Ácidos e Bases de alta concentração					
Ácido clorídrico - 18%	GHC	GHC	GHC	-	-
Ácido láctico - 5%	GHC	GHC	GHC	-	-
Hidróxido de potássio - 100 g/L	GHC	GHC	GHC	-	-

A essência...

Jane Eliza de Almeida Lacombe

4. A CASA DOS PAINÉIS DE MADEIRA E EPS

Depois de avaliados todos os ensaios necessários para conferir aos painéis credibilidade em sua utilização, serão agora demonstradas quais as funções e como poderão se comportar os mesmos em cada um dos locais nos quais serão utilizados.

(...) se é próprio do médico ter o domínio do conhecimento sobre o que é a saúde mas ao mesmo tempo saber sobre a fleuma e a bÍlis (que, para os gregos, era onde residiria a saúde), também é próprio do construtor saber a forma que uma casa deve ter e, além disso, conhecer as propriedades dos materiais que a compõe (LOPES, 2006).

Berriel e Matos (2010) comentam que, além das vantagens quanto às questões ambientais, os sistemas construtivos em madeira possibilitam diminuições de custo quando comparados aos benefícios e agilidade em execução. Porém, infelizmente, pela prática errônea de projetos e execuções mal finalizadas, o preconceito reprime tal processo.

Em 2014, a empresa Tecverde Engenharia, de Curitiba - PR, que trabalha com sistema construtivo em madeira, recebeu o primeiro lugar do Prêmio CBIC de Inovação e Sustentabilidade, promovido em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai). Tal feito demonstra que os sistemas a seco, modulares e industrializados estão em grande avanço. Os autores do projeto³⁰ explicam que a proposta “propõe elevar o nível de produtividade nos canteiros, reduzir os custos, diminuir o impacto ambiental e aumentar a segurança e qualidade de vida dos colaboradores fabris” (REVISTA TÉCHNE, 2015).

No Paraná, os sistemas construtivos em madeira já estão em fase de implantação. Unidades térreas do programa “Minha Casa, Minha Vida” estão sendo aplicadas na região, juntamente com isolamento térmico e acústico. Staczuk (2014) comenta que cada uma das casas é construída em menos de três horas, sem a cobertura (Figura 57).

Outros autores começam a difundir seus trabalhos para a utilização da técnica construtiva e os mesmos foram requeridos para a complementação e melhoria na composição dos painéis até agora especificados.

³⁰ José Marcio Fernandes e Carla Rabelo Monich

Figura 57: Residências brasileiras construídas em woodframe

Fonte: Staczuk (2014)

4.1. CADA UMA DAS FUNÇÕES

A função dos painéis, a todo momento, foi mencionada como piso, forro e vedação. Sua aplicação será voltada para a utilização em sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamento em chapas delgadas (sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Recentemente, o Ministério das Cidades, através do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT), aprovou a diretriz nº 005 intitulada “Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas – Sistemas leves tipo *Light Wood Framing*” (BRASIL, 2011).

Atualmente, os fechamentos podem ser constituídos de chapas delgadas de OSB, chapas de madeira compensada ou outro tipo de madeira ou chapas cimentícias e para áreas internas também podem ser empregadas chapas de gesso acartonado para *drywall*. Este trabalho vem colaborar para a ampliação de materiais e componentes que poderão ser acrescentados aos novos sistemas construtivos.

4.1.1. Piso

Segundo a definição de Silva e Bitencourt (2002), pisos são caracterizados como “uma superfície qualquer, contínua ou descontínua, construída com a finalidade de permitir o trânsito pesado ou leve” (Figura 58). Sua escolha precisa ser ponderada quanto a compatibilidade, adequação e economia. Entre as qualidades necessárias para a especificação, os autores recomendam, dentre alguns parâmetros, a resistência ao desgaste e sua facilidade de manutenção.

Figura 58: Detalhe dos pisos nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira

Fonte: adaptado de ESPÍNDOLA (2010)

Os baixos valores de MOR (2 a 10 MPa) e MOE (300 a 1300 MPa) encontrados para os painéis, inviabilizam a utilização dos painéis serragem/EPS/*thinner*, para o tipo de piso apresentado na Figura 58. Armários, concentrando peso nas pequenas áreas de seus “pés”, ou mesmo pessoas obesas, podem causar a ruptura nos painéis menos resistentes, a menos que as régua da estrutura de plataforma de piso estejam muito próximas (algo em torno de 15 cm), mas certamente deixarão impressões.

Assim, para o emprego correto, a proposta foi de revestimento de piso, com assentamento correto a um contrapiso existente na edificação e, para tanto, foram aplicados ensaios em que seriam avaliados quais quesitos poderiam atender corretamente as instalações. Entre os necessários estiveram classificados os ensaios físicos de absorção e inchamento, UV, e os específicos de abrasão e ataques químicos.

Quanto aos ensaios físicos, sua relação é sobre sua movimentação e dilatação. Se não forem bem classificados, podem ocasionar danos aos usuários, bem como inadequação e incompatibilidade em sua especificação. Sobre os ensaios de UV, o tempo de degradação pelo qual passam as amostras demonstram se as placas suportam o tempo de utilização e se os mesmos continuam ou não resistentes conforme sua função.

Os específicos de abrasão averiguam o desgaste do piso e em que ambientes podem ser alocados, quanto a sua correta e específica utilização. Barbosa *et al.* (2010) comentam ser este um fator determinante para demonstrar o desempenho da vida útil de um piso. E, por fim, os ataques químicos verificam sobre sua manutenção e quais os corretos modos de conservação.

Analisando os resultados apresentados, apesar de os valores das placas de pinus e teca apresentarem altos índices de absorção, os mesmos exibiram inchamento muito abaixo dos máximos exigidos em norma. Do mesmo modo, também foram apresentados os painéis de eucalipto e peroba. Os mesmos saldos positivos conservaram-se após os ensaios de UV, demonstrando que, após 3 anos de uso, o piso continuaria com as mesmas especificações. Como particularização, tais painéis foram classificados como PEI 3 e podem ser empregados em residências com médios índices de circulação de pessoas e, desde que sejam feitas limpezas de apropriada maneira, ajustados aos pisos de madeira habitualmente empregados, tais materiais foram classificados como compatíveis para utilização.

Conforme dados coletados, os resultados satisfatórios resultantes deste trabalho confirmam serem viáveis o emprego das placas aglomeradas de serragens de pinus, eucalipto, teca ou peroba, usando como adesivo EPS dissolvido em *thinner*, na função de piso.

4.1.2. Forro

Mais uma das funções em que os painéis podem ser solicitados são quanto à especificação em forros para as edificações. Muitas vezes vinculados ao conforto e à estética, sua função primordial, conforme Cunha (2014), é de “revestimento da face inferior da laje ou de telhados de modo a constituir a superfície superior de um ambiente fechado” (Figura 59).

Figura 59: Detalhe do forro nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira

Fonte: adaptado de ESPÍNDOLA (2010)

O ático, camada de ar existente entre o telhado e o forro, é um dos grandes armazenadores de calor existentes em uma edificação. A própria NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda áreas ventiladas para redução da transmitância térmica ocasionada pela cobertura, camada mais exposta à radiação solar. Por essas consequências, o forro ali exposto recebe grande influência de ganhos de calor.

Dessa maneira, além dos ensaios necessários de absorção e inchamento, como também de UV já esclarecidos anteriormente, foram ainda necessários os ensaios de TGA, bem como os de riscos de incêndio.

Como já elucidado, os ensaios físicos de absorção e inchamento, revelam as consequências quanto a movimentação e dilatação, e os de UV, as implicações quanto ao tempo de uso. Já os ensaios de TGA avaliam as modificações físicas e deterioração provocada pelo calor em decorrência das altas temperaturas de exposição, e os de inflamabilidade classificam quanto a extinção ou espalhamento de incêndios, e velocidade de propagação de queima do material.

Pelos altos índices de absorção que algumas placas apresentaram (*pinus/EPS/thinner* e *teca/EPS/thinner*), mesmo não acarretando inchamento do material, recomenda-se o emprego de revestimentos de barreiras para aumento de durabilidade. Sua cobertura de proteção amplia a versatilidade, uma vez que o aumento de absorção gera acréscimo de peso e, por conseguinte, riscos de descolamento das placas aéreas. Pelos baixos índices de inchamento de todos os painéis, podem ser indicados inclusive em ambientes expostos à umidade (banheiros, cozinhas e varandas externas). Após 3 anos de simulação por UV, as mesmas recomendações são necessárias. Pelos dados de TGA, observou-se que baixas alterações são confirmadas (máximo de 2%) pela variação de temperatura, não danificando o material exposto. Sobre a relação quanto aos incêndios, os painéis, apesar de inflamáveis, não gotejam, o que os torna menos críticos, principalmente pelos dados de velocidade de propagação baixa. Com isso podem ser empregados quando atrelados ao uso de revestimentos antichama.

Pelas informações alcançadas, comprova-se que os painéis admitem especificação de emprego para a função forro e, com materiais como tintas e vernizes, aumentam sua durabilidade.

4.1.3. Vedação

As vedações possuem como funções primordiais a proteção das ações do meio, nas áreas exteriores, e organização dos espaços, nas áreas interiores. Para tanto, devem ser constituídas de resistência, segurança e durabilidade.

Para tais averiguações, foram necessários ensaios de resistências mecânicas tanto de compressão como de flexão estática, físicas de estabilidade dimensional, e, por fim, os de incêndio, TGA e UV.

Segundo o cadastro digital de sistemas construtivos para vedação elaborado pelo Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCON/FAU/USP), apresentado por Barata (2008), os painéis de madeira aglomerada e EPS podem ser classificados como placas de vedação não estrutural, sendo de apenas fechamento, tanto para ambientes internos e como para externos. As constatações foram confirmadas, uma vez que, pelos baixos índices dos valores dos ensaios caracterização mecânica de flexão estática, os mesmos não participam do desempenho estrutural da edificação. Contudo, mesmo com sua função não portante, Barata (2008, pg. 44) ainda explica que os mesmos podem compartilhar não ativamente da estrutura, mas quando solicitados geram “contraventamento do quadro dando estabilidade ao entramado” (Figura 60).

Figura 60: Detalhe da vedação nos Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira

Fonte: adaptado de ESPÍNDOLA (2010)

Quanto as verificações, todos os dados seguem as mesmas especificações já apresentadas para as funções de piso e forro.

Assim, os painéis, quando apontados para a função vedação, são bem classificados desde que haja revestimento de barreira, para diminuição de absorção, com indicação ao recobrimento a cada 3 anos de uso; emprego de revestimento antichama para segurança quanto aos incêndios; e devido aos baixos índices de inchamento encontrado em todos os painéis, podem ser indicados tanto para ambientes internos expostos a umidade ou não, como para ambientes externos.

Deste modo, tais painéis podem também ser empregados na função vedação para edificações na construção civil, desde que não ofereçam função estrutural sendo apenas para fechamento.

4.1.4. Outras

Além das funções voltadas para as obras de construção civil já citadas, ainda servem como divisórias em geral, portas com revestimentos adequados, tapumes e fôrmas.

Os painéis podem também ser empregados como móveis para dormitórios, salas, escritórios, além de armários para cozinhas e banheiros, desde que não sejam solicitados mecanicamente, bem como para assentos e encostos de cadeiras, e também na decoração em geral. Outro setor favorecido é o de embalagens, nos quais podem ser empregados como materiais de empacotamento.

De modo geral, podem ser indicados tanto ao uso interno como externo, em vários seguimentos, desde que não sejam mecanicamente solicitados e com algumas observações, conforme elucidado na Tabela 87 a seguir.

Tabela 87 – Usos e funções dos painéis estudados de madeira e EPS

<i>FUNÇÕES</i>	<i>Pinus</i>	<i>Eucalipto</i>	<i>Teca</i>	<i>Peroba</i>
Revestimento de Piso	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹
Forro	X ² , X ³	X, X ³	X ² , X ³	X, X ³
Fechamento de paredes	X ² , X ³ , X ⁴	X, X ³ , X ⁴	X ² , X ³ , X ⁴	X, X ³ , X ⁴
Outros usos em geral	X	X	X	X

OBS.: X¹ - Emprego com devidas recomendações de PEI adequados, bem como atenção e observações quanto à manutenção e limpeza.

X² - Indicação de revestimentos de barreira para aumentar durabilidade.

X³ - Uso de revestimento antichama para segurança

X⁴ - Recomendação de recobrimento de barreiras para durabilidade e antichamas a cada 3 anos para melhores resistências.

*O começo
do fim, o fim do
começo...*

5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelos resultados obtidos, observa-se que é possível produzir em escala industrial os painéis aglomerados utilizando serragem residual de serrarias como partículas e EPS dissolvido em solvente orgânico como adesivo. Para melhorar a viscosidade da mistura, pode-se adicionar água.

Quanto à *reutilização e melhor aproveitamento da serragem como resíduo*, observa-se que, com poucas modificações, os painéis de madeira alternativos propostos podem ser fabricados em escala industrial e toda a serragem que seria considerada detrito torna-se aproveitável para a fabricação. Assim, há a transferência de dados laboratorial para área comercial.

Sobre os *estudos preliminares para a fabricação dos painéis de madeira*, constatou-se que o solvente *thinner* foi o que obteve melhores resultados. Mesmo assim, foram fabricados painéis com o solvente gasolina para mais observações. Outra questão avaliada foi quanto à umidade das partículas, que não seguiram as orientações de estudos já comprovados, pois as mesmas, quando secas ao ar na cidade de São Carlos, variam de 14% a 19%, bem acima dos recomendados, 3% a 12%. Efetivamente, tais dados não são utilizados, uma vez que há a adição de água no processo de produção, o que torna a umidade muito acima do que foi verificado. Com isso, observa-se que a mesma não tem influência na manufatura, apresentando novos dados quanto aos já evidenciados até o momento.

Das análises da *manufatura dos painéis*, concluiu-se que as condições climáticas influenciam diretamente na produção. Os dados são importantes de serem verificados para as indústrias que irão fabricar tais painéis, pois o local precisa apresentar condições climáticas controladas. Outra observação foi a de que partículas de maior densidade são mais fáceis de trabalhar e apresentam resultados finais mais apropriados, uma vez que as de menor densidade geram maiores volumes e o adesivo mostra-se pouco suscetível à união. Assim, a densidade da madeira apresenta resultados diferenciados na produção das placas.

Os resultados dos *ensaios físicos da primeira fase* apresentaram-se satisfatórios, com algumas observações. Quanto à densidade, observou-se que os painéis foram bastante homogêneos, sendo que os de eucalipto/EPS/gasolina estão adequados segundo a NBR 14.810-2, da ABNT (2006b), de média densidade. Já os de pinus/EPS/gasolina estão abaixo da recomendada em norma, e assim, foi necessário aumentar a quantidade de serragem, para haver

maior volume e, conseqüentemente, maior densidade nos painéis, na segunda fase. As análises de teor de umidade estavam dentro dos padrões da norma brasileira, mesmo havendo adição de água durante a manufatura, possivelmente pelo tempo de estabilização e cura dos painéis. Sobre a absorção em água, os painéis de eucalipto/EPS/gasolina ficaram adequados e novamente os de pinus/EPS/gasolina tiveram resultados fora das normas. A densidade pode ter sido responsável por este resultado, uma vez que pela baixa compactação, os vazios encontrados interiormente nos painéis absorvem mais água do que o necessário. Por fim, os dados de inchamento em espessura mostraram que os painéis estão com inchamento em espessura bem abaixo dos exigidos em norma. Isso mostrou que, apesar de haver absorção, os painéis podem ser utilizados em ambientes úmidos.

Quanto aos resultados dos *ensaios físicos da segunda fase*, eles novamente foram considerados regulares. A densidade apresentou dados bastante uniformes, com diferenciação quanto à classificação, sendo os painéis de pinus/EPS/*thinner* e teca/EPS/*thinner* de baixa densidade e os de eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* de média densidade. Uma observação importante foi de que, mesmo havendo aumento na quantidade de serragem de pinus/EPS/*thinner*, os painéis não aumentaram suficientemente sua categoria. Quanto ao teor de umidade, igualmente ficaram dentro dos padrões da norma brasileira, reiterando a tese de que a adição de água durante a manufatura não altera a característica final de teor de umidade dos painéis. Sobre absorção em água, os painéis que apresentaram baixa densidade obtiveram maiores absorções e os de média, apresentaram valores apropriados e até bastante inferiores aos usados como comparação. E os valores de inchamento em espessura mostraram-se mais uma vez promissores pelos baixos índices apresentados.

Na *discussão dos ensaios físicos* mostrou-se que a densidade dos painéis, de modo geral, está diretamente ligada à espécie utilizada na confecção, e que os painéis de pinus, tanto com solvente em gasolina quanto *thinner* e os painéis de teca/EPS/*thinner*, foram classificados como de baixa densidade. Já todos os painéis de eucalipto/EPS/gasolina e eucalipto/EPS/*thinner* como os de peroba/EPS/*thinner* são de média densidade, e dentro dos padrões exigidos na norma brasileira e como os fabricados no país para comercialização. Sobre o teor de umidade, todos os painéis obtiveram valores dentro da norma, mesmo com a adição da água durante a manufatura, e constatou-se que o tempo de cura proporcionou tal acontecimento e principalmente o solvente empregado durante o processo acelerou a evaporação da água, não influenciando nas características finais dos painéis. Os valores de absorção de água estão diretamente ligados à densidade dos painéis, uma vez que, havendo

maiores vazios, o que ocorre em menores densidades, os mesmos são preenchidos por água, o que acarreta maiores absorções, e, após 24 horas de análises, os painéis, se comparados aos industrializados no país, podem ser empregados em condições que haja umidade, não afetando suas características, mesmo havendo absorções maiores do que as esperadas. E por fim, quanto ao inchamento em espessura, todos os painéis apresentaram resultados muito abaixo do especificado em norma, e, assim, podem legitimamente ser empregados em ambientes com umidade como também em locais externos, abrindo mais uma possibilidade para fechamentos de sistemas construtivos.

Sobre os *ensaios mecânicos da primeira fase*, todos os dados apresentaram coeficiente de variação amplo, demonstrando grande variabilidade. Nos ensaios de tração perpendicular, os painéis de pinus/EPS/gasolina foram classificados abaixo da média, no entanto com valores próximos aos exigidos em norma, e os de eucalipto/EPS/gasolina acima dos especificado em norma. Quanto aos ensaios de compressão, os dados apenas serviram de observação para análise posterior, uma vez que a norma não estabelece dados para avaliação. Já nos ensaios de flexão estática, os valores obtidos para módulo de ruptura (MOR) ficaram abaixo dos solicitados e os de módulo de elasticidade (MOE), novamente por não apresentarem limites mínimos para comparação, também serviram de observação para análise posterior.

Os *ensaios mecânicos de segunda fase* seguiram praticamente os mesmos modelos apresentados nos de primeira fase. Na tração perpendicular, os painéis de pinus/EPS/*thinner*, eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* foram bem classificados perante a norma brasileira, e os de teca/EPS/*thinner*, apesar dos valores próximos ao padrão, apresentaram-se abaixo da média. Um dado importante a ser observado é que os painéis de peroba/EPS/*thinner* apresentam dados muito acima dos esperados, não tendo rompido nenhum dos corpos de prova durante os ensaios, e sim na linha de cola, junto ao bloco para ajuste ao acessório de ensaio, o que demonstra excelente ligação interna. Os dados de compressão novamente serviram de observação para apreciação posterior. E, por fim, os ensaios de flexão estática apresentaram-se bem abaixo dos esperados em norma brasileira para MOR e pela norma americana para MOE, uma vez que não existem dados brasileiros para comparação.

De modo geral, sobre a *discussão dos ensaios mecânicos*, observou-se que, pelos resultados de tração perpendicular, os painéis apresentaram boa aderência com o novo adesivo, mesmo com baixos resultados constatados em pinus/EPS/gasolina e teca/EPS/gasolina, os de menores densidade, uma vez que ficaram próximos aos limites exigidos em norma. Quanto aos ensaios de compressão, apesar da norma brasileira não estabelecer dados de tolerância, os

painéis, quando comparados a outros que exerceriam a mesma função, foram bem classificados, com valores acima dos especificados para blocos de vedação. No entanto, se confrontados com painéis de OSB, que além de vedação exercem também a função estrutural em fechamentos, apenas as placas de eucalipto/EPS/*thinner* e peroba/EPS/*thinner* se enquadram. Por fim, nos ensaios de flexão estática, ficou realmente claro de que tais painéis não podem ser solicitados mecanicamente, principalmente para fins estruturais em que são causadas tensões e deformações. Os valores apresentados para MOR e MOE ficaram muito abaixo dos exigidos em norma, possivelmente pelo emprego do novo adesivo utilizado na manufatura. Com isso, adverte-se que, apesar de os painéis poderem ser empregados em obras na construção civil, os mesmos necessitam cuidados especiais, ficando restrita sua utilização sem solicitações a esforços mecânicos.

Sobre os *outros ensaios* apresentados, avaliou-se que, apesar de todos os painéis serem inflamáveis, os mesmos possuem velocidade de propagação baixos e sem indicações de espalhamentos e, se forem indicados com uso de retardantes de chamas, além de melhorar seus desempenhos, podem seguramente ser utilizados na construção civil. Sobre as variações térmicas, observou-se que se apresentaram bem baixas e não alteram fisicamente os painéis, mostrando que a temperatura direta não influencia no seu uso. A respeito da degradação, nas análises qualitativas, todas as variações aconteceram apenas nas superfícies, não afetando a estrutura dos painéis. Já nas quantitativas, observou-se que, após 1 ano, os painéis começaram a absorver mais água. No entanto os mesmos não sofreram danos visíveis que modificassem sua composição. No inchamento, mesmo após 3 anos de verificação, os painéis continuam muito propícios para o emprego direto com umidade. E na ligação interna, também após o tempo de ensaio, os resultados ficaram acima dos estipulados em norma. Assim, de modo geral, os ensaios de envelhecimento e exposição a UV, após 3 anos, conforme metodologia empregada, indicaram uso propício para construção civil. E por fim, nos ensaios de desgaste, por abrasão os painéis foram classificados como PEI 3, podendo ser utilizados em residências para dormitórios, salas e varandas de pouco uso. No entanto, para sua manutenção e limpeza, produtos químicos não podem ser empregados. Com isso, indica-se manutenção e limpeza de maneiras análogas aos pisos laminados comerciais existentes no mercado.

Por fim, quando analisada *a casa dos painéis de madeira e EPS*, os painéis quando indicados para revestimento de pisos, mostraram-se satisfatórios desde que sejam observadas as considerações quanto ao PEI especificado, bem como sua limpeza e manutenção adequada. Na função forro, todos os painéis são indicados, inclusive em ambientes expostos à umidade, e

se forem adicionados sistemas de pinturas para seu recobrimento, aumentam mais ainda sua durabilidade. Para as paredes, os painéis são recomendados tanto para áreas internas como externas, desde que sejam empregados apenas como fechamento e não como função estrutural e indica-se o uso de revestimento antichamas e barreiras para aumento de durabilidade a cada 3 anos, podendo agregar melhores características de resistências. Além dessas, os painéis podem ser indicados para vários outros setores tanto interno como externo, desde que não ocorram solicitações mecânicas.

Com o desenvolvimento deste trabalho, destaca-se o aumento da conscientização quanto ao aproveitamento de resíduos para a utilização em novos painéis, bem como o emprego da madeira em sistemas construtivos atuais, fazendo com que haja o enfraquecimento do preconceito, desde que sejam fornecidas todas as especificações técnicas coerentes. Além disso, ressalta-se a viabilidade da produção deste produto por meio de cooperativas ou pequenas indústrias, visto que, pela maneira artesanal que se realiza, há a disposição para geração de novos empregos, mesmo sendo possível a mecanização do processo.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Avaliação de desempenho térmico dos painéis voltados a cada uma de suas funções a quais possam ser realizadas;
- Verificação de determinadas condições em casos de incêndios como estabilidade sob a ação do fogo, nos pisos, e visibilidade em caso de incêndio; propagação de chamas e liberação de fumaça para fechamento em vedação; e para o forro, estudos sobre o tempo de fuga em situação de risco;
- Investigação quanto aos quesitos de estanqueidade por forma externa em contato direto com a chuva, bem como pelo piso em contato com a umidade do solo; e
- Averiguação de desempenho acústico tanto da envoltória para ruídos externos à edificação, como também por ruídos aéreos e de impacto que podem ocorrer nas solicitações de forros e pisos.
- Realização de ensaio de arranchamento de parafusos, dureza Janka e resistência superficial para ampliação dos dados.
- E por fim, observação quanto aos ensaios de emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) do *thinner*.

6. BIBLIOGRAFIA

ADRIAZOLA, M. K. O. **Avaliação experimental por meio de protótipos e por simulação de painéis de madeira para habitação de interesse social**. 2008. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

ALMEIDA, J. E. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido**. Cuiabá: UFMT, 2011. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Edificações e Ambiental, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.

ALMEIDA, W. B.; BUFALINO, L.; CÉSAR, A. A. S.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Inclusão de resíduos plásticos urbanos na produção de painéis aglomerados. **XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**, Vitória, 2012.

AMBIENTE BRASIL. **Ambiente Resíduos**. Disponível em <<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/isopor.html>> Acesso em jan. 2014.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **Mat-formed wood particleboard: specification** ANSI A 208.1. Leesburg: Composite Panel Association, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM: D-1037-34.22: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia, 1980.

_____. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In: Annual Book of ASTM Standard, **ASTM D-1037**. Philadelphia, 1982.

_____. **ASTM D 1037- 93**. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels. Philadelphia, 1995. v. 04. (Annual Book of ASTM Standards).

_____. Standard test method for properties of wood-based fiber and particle panel materials. **ASTM D 1037**, Philadelphia, (2006).

_____. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. **D1037 – 93**. Philadelphia, PA. 2006.

_____. **ASTM E 1131** Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

_____. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, **ASTM G 154**, Philadelphia, USA (2008).

ARRUDA, T. P. M.; LOGSDON, N. B.; SILVA, J. R. M.; LIMA, D. F.; PROTÁSIO, T. P. Densidades da madeira de Teca de primeiro desbaste. **Revista da madeira**, ed. 136, jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas**

particularidades. Artigo nº1, 2009. Disponível em <<http://abimci.com.br/index.php>> Acesso de nov. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. Disponível em <<http://www.abimci.com.br/pt/>> Acesso de jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. Disponível em <<http://www.abipa.org.br>> Acesso em janeiro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento** – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 10004: Classificação de resíduos sólidos.** ABNT. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** ABNT. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 14810-1 - Chapas de madeira aglomerada Parte 1: Terminologia.** ABNT. Rio de Janeiro, 2006a.

_____. **NBR 14810-2 - Chapas de madeira aglomerada Parte 2: Requisitos.** ABNT. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **NBR 14810-3 - Chapas de madeira aglomerada Parte 3: Métodos de ensaio.** ABNT. Rio de Janeiro, 2006c.

_____. **NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria.** ABNT. Rio de Janeiro, 2007a

_____. **NBR 11948 – Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da flamabilidade.** ABNT. Rio de Janeiro, 2007b.

_____. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho.** ABNT: Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012.** Brasília: 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRA. **Diagnóstico do subgrupo “produção, extração e beneficiamento de madeiras.** São Paulo: 1989

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO – ABRAPEX. Disponível em <<http://www.abrapex.com.br>> Acesso em jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO – ACEPE. Disponível em: <<http://www.acepe.pt>> Acesso em maio 2010.

AVESANI NETO, J. O. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos**. São Carlos: USP, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Geotecnia, Universidade de São Paulo, 2008.

AZAMBUJA, A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. São Carlos, 2006. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo.

BARATA, T. Q. F. **Propostas de painéis leves de madeira para vedação externa adequados ao zoneamento bioclimático brasileiro**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2008.

BARBOSA, J. C.; ALVARENGA, F.; SOUZA, A. J. D.; SILVA, J. R. M.; SILVA, R. M. A. Análise de simulação de piso em serviço - bambu associado ao pinus. In: **XII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**. Lavras, 2010.

BEAZLEY, M. **The international book of wood**. Ed. Española, Editora Blume, 1978

BERRIEL, A.; MATOS, J. L. M. Reflexões sobre a prática do projeto arquitetônico que considere o material madeira. In: **XII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**. Lavras, 2010.

BLECHA, K. A., PANZERA, T. H., MACHADO, G. O., CARVALHO, S. S., CALIL NETO, C. Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas. **Painéis de partículas de madeira e materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A.; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e qualificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, Curitiba. Vol. 32, p.247-259, 2002.

BRASIL. Ministério da Cidade. **Diretriz Sinat nº 005 : Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”)**. Diretriz para avaliação técnica de produtos. Secretaria Nacional da Habitação, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) Brasília : setembro, 2011.

_____. Ministério das Cidades. **Conselho Nacional de Trânsito**. Resolução nº. 675 de 08 de setembro de 1986. Dispõe sobre requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* E *Pinus elliottii*. **Rev. Árvore** vol.30 no.4 Viçosa, 2006.

CAMPOS, H. K. T. **Tendências da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. 4ª Conferência Nacional do Meio Ambiente aconteceu em Brasília (DF) de 24 a 27 de outubro em Brasília. 2013. Disponível em <<http://www.metro.org.br/heliana/tendencias-da-geracao-per-capita-de-residuos-solidos-no-brasil>>. Acesso em fev. 2014.

CASTRO, M. B.; CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F. Resistência mecânica de painéis OSB de pinus e eucalipto. **XIII EBRAMEM**. UFES/Vitória – 23 a 25 de julho de 2012.

CAVANI, C. S. **Estudo das características de inflamabilidade de polímeros utilizados na construção civil e indústria de transportes**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, SP, 2008.

CCB - Centro Cerâmico do Brasil – Laboratório de ensaios. Disponível em <<http://www.ccb.org.br/>> Acesso em novembro de 2014.

COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**. Mat formed wood particleboard. (s.i.), 1968.

CUNHA, E. H. **Forro**. Anotações de Construção Civil II. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2014. Disponível em <<http://professor.ucg.br/siteDocente/admin/arquivosUpload/15680/material/Aula%2020%20-%20Forro.pdf>>. Acesso dez. 2014.

DALL'ALBA, K. **Uma alternativa para a glicerina oriunda da produção do biodiesel: preparo de polióis e aplicação em adesivos poliuretanos**. Porto Alegre, 2009. Dissertação (mestrado) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande de Sul.

DE PAULA, G. D.; ROZENWAJM, U. K. **Caderno de Ofícios: Carpintaria - Vol 4**. Ouro Preto: FAOP, 2008.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **Princípios e aplicações de análises térmicas**. São Carlos: IQSC, 2012.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. São Carlos: USP, 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

DONATI, R. **Painéis - de olho no crescimento**. Revista Referência edição 65 Março de 2007.

_____. **Produção de painéis reconstituídos no Brasil – passado, presente e futuro**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/entrevistaRosane.php>> Acesso em jan. 2014.

EHOW. Disponível em <http://www.ehow.com.br/tipos-paineis-madeira-externos-info_206525/> Acesso em julho de 2014.

ESPÍNDOLA, L. R. (2010). **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2010.

EUCATEX. Disponível em <<http://www.eucatex.com.br>> Acesso em jun. 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN 312**. Particleboard - Specifications. Bruxelas. 1993.

EUSEBIO, M. I. **Os produtos de pintura para madeira**. ENEM - Encontro Nacional de Engenharia de Madeiras. Universidade de Coimbra. Ago, 2007.

IORELLI, J.; RAMOS, R. D.; BARRERO, N. G.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F. Estudo da viabilidade de produção de painéis de partículas com resíduos de madeira. **XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**, Vitória, 2012.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999.

FRAGATA, F.; AMORIM, C. C. e ORDINE, A. P. **Desempenho de tintas de acabamento frente às radiações ultravioleta, UVA e UVB, e condensação de umidade**. Corros. Prot. Mater., Vol. 29, Nº 3, 2010.

FREIRE, C. S.; SILVA, D. W.; SCATOLINO, M. V.; CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Floresta e Ambiente**, abr./jun. 2011.

GALLO, J. B.; AGNELLI, J. A. M. Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Mar 1998, vol.8, no.1, p.23-38.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE. **DIN 68761 – 1971. Specifications for particleboard**. Holz, 1971.

GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina – PR**. Londrina, 2005. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações) – Universidade Estadual de Londrina.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, jul./set. 2006.

GRASEL, D; SÁ, R. O. Gerentes no setor da madeira e da carne em mato grosso: origem, perfil, habilidades e mudança no ambiente xucro de trabalho. **VIII Congresso Latino Americano de Sociologia Rural**. Porto de Galinhas, 2010.

HASELEIN C. R.; SANTINI, E. J.; BERGER, R.; ELEOTÉRIO, J. R.; SCHEREEN, L. Resistência a flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. Santa Maria: **Ciência Florestal**, 2001. p. 195-200, v. 11, n. 1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas do censo demográfico 2010 / IBGE**. Rio de Janeiro: 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA– IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em jan. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras**. Disponível em <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras2.php>. Acesso em jun. 2014 a jan. 2015.

_____. **Pegada Tecnológica em pisos**. Disponível em: <http://www.ipt.br/centros_tecnologicos/CT-FLORESTA/noticias/357-pegada_tecnologica_em_pisos.htm> Acesso em novembro de 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Revestimentos Cerâmicos (pisos e azulejos)**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>> Acesso em novembro de 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Performance standards in buildings: principles for their preparation and factorsto be considered, ISO 6241**. London, 1984.

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

_____. Painéis de madeira. Curitiba: **Revista da madeira**, 2003. p.4-10. Edição especial.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAC, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira agomerada de eucalipto. Curitiba: **Scientia Agraria**, 2000.

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeira tropical da Amazônia. **Revista Acta Amazonica**, vol.42, no.1. Manaus, Mar. 2012.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

JONH, V.M.; SATO, N.M.N; AGOPYAN, V. SJÖSTRÖM, C. Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. **II Workshop sobre Durabilidade das Construções**, São José dos Campos, SP, 2001.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Gen. Tech. Rep. FPL-10, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 70 p.

KNAUF-ISOPOR. Disponível em <<http://knauf-isopor.com.br>> Acesso em jan. 2014.

KOLLMANN,F.P.; KUENZIE,W.; STAMM,J. **Principles of wood science and technology: wood based material**. New York: Springer-Verlag, 1975.

KURTEN. Madeira: mais resistente ao fogo do que o aço. Disponível em <<http://www.casaskurten.com.br>> Acesso em fev. 2014.

LAHR, F. A. R. (org.) **Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira**. São Carlos: SET-EESC-USP, 2008.

LAHR, F. A. R.; CHRISTOFOTO, A. L. (org.) **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósico**. São Carlos: EESC-USP, 2013.

LAROCA, C.; KRÜGER, E.; MATOS, J. L. Avaliação de desempenho de habitações de interesse social utilizando madeira de reflorestamento: diretrizes projetuais. Brasil - Maceió, AL. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4. 2005, Maceió, **Anais...**Maceió, 2005. p. 987-996.

LIMA, A. G. S.; ALVES, A. P.; COELHO, D. A. **Setor madeireiro do estado de Mato Grosso**. 2011. Trabalho acadêmico. Curso de Engenharia de Produção Agroindustrial. Universidade do estado de Mato Grosso. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/51192969/Setor-madeireiro-em-Mato-Grosso>> Acesso em nov. 2012.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas – PR. **Revista Floresta**, Curitiba. Vol.35, n. 1, p. 105-116, 2005.

LOPES, A. P. S. **Revestimentos Flutuantes – Processos Construtivos e Patologia**. Lisboa, 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Engenharia – ISEL.

LOPES, J. M. A. **Em memória das mãos: o desencantamento da técnica na arquitetura e no urbanismo**. São Carlos: UFSCar. Tese (Doutorado) - Filosofia e Metodologia das Ciências, Universidade Federal de São Carlos, 2006.

MAGALHÃES, A.; WALDOW, P; WALDOW, P. **Eco bloco: tijolo sustentável**. Trabalho de aula: UNEMAT, 2009

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1977.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blücher, 1991.

MARTA, J. M. A indústria madeireira em Mato Grosso – um processo de formação. **XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Londrina, 2007.

MATTOS, R. L.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDS Setorial, 2008, v. 27, p. 121-156.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Curitiba, 2001. Tese (Doutorado) - Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **REMADE**, 2003.

MITIDIERI FILHO, C. V. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados a habitações térreas unifamiliares: desempenho estrutura**. Boletim técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 1992.

MITIDIERI, M. L. Verificação do comportamento frente ao fogo de materiais utilizados no acabamento e revestimento das edificações – ensaios de reação ao fogo. In **Anais do NUTAU 2000 - Seminário Internacional**, 2000.

MOLESMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University. 1974.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 4ª edição, 2012.

NAPOLI, L. M., SANCHES, F. L., IWAKIRI, S., HILLIG, É. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 475 - 484, jul. / set. 2013.

NASCIMENTO, M. F. **CHP: chapas de partículas homogêneas – madeiras do nordeste do Brasil**. São Carlos: USP, 2003. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

NASCIMENTO, S. M.; DUTRA, R. I. J. P; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **HOLOS Environment**, v. 6, n.1, p.8, 2006.

NEMLI, G.; DEMIREL, S. Relationship Between the Density Profile and the Technological Properties of the Particleboard Composite. **Journal of Composite Materials**, v. 41, n. 15, p. 1793-1802, 2007.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength: DIN 52362**. Berlin, 1982. p. 39-40.

PARRELA, D. **Queimadas no Brasil aumentaram 85% em 2010**. Disponível em <<http://www.forcavoluntaria.org.br/2010/08/17/queimadas-no-brasil-aumentaram-85-em-2010/>> Acesso em jun. 2012.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. Santa Maria: **Ciência Florestal**, v.16, n. 2, p.201-212, 2006.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira**. São Carlos: USP, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

POLETO, S. F. S.; MORALES, E. A. M.; FERRO, F.; DIAS, F. M. Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécie de reflorestamento. **Painéis de partículas de madeira e materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. Curitiba: UFPR, 2006. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

REVISTA DA MADEIRA - REMADE. Disponível em <<http://www.remade.com.br>> Acesso em out. 2009 a jan. 2014.

REVISTA REMADE. **Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade (MDF)**. ED. 71. Maio 2003.

REVISTA TÉCNICA. **CBIC premia materiais e sistemas construtivos por inovação e sustentabilidade**. ED. 213. Dezembro 2014. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/tecnologiassistemas/cbicpremiamateriaisistemasconstrutivosna20edicaode3352721.aspx>> Acesso jan.2015

RIBEIRO, L. M.; LADCHUMANANANDASIVAM, R; GALVÃO, A. O.; BELARMINO, D. D. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). **HOLOS**, Ano 29, Vol 1, 2013.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. Campinas: UNICAMP, 2003. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Coleção Habitare, v. 4)

ROQUE, C. A.; VALENÇA, A. C. **Painéis de madeira aglomerada**. BNDES, Produção setorial: Produtos florestais, 1998.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O.; MORI, F. A.; CASTRO, R. V. O.; MENDES, R. F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, jan.-mar., 2011

SILVA, A. J. C. **Revestimentos** – Apostila. Universidade Católica de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil. Recife, 2004

SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M. Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso. In: **VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**. Uberlândia, 2002.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; SEGANTINI, A. A. S.; LAHR, F. A. R. Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.8, p.1399-1404, ago, 2013

SILVA, S. A. M.; NEGRÃO, W. H.; ALVES, P. B. Chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resina poliuretana de óleo de mamona e madeiras tropicais. **XIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM**, Vitória, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS – SNIF. Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/>> Acesso em jan. 2015.

SOUZA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de acácia negra e *eucalyptus pellita* para a fabricação de painéis OSB**. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Florestas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia plena**, vol. 8, num. 4, 2012.

SOUZA, R.; MITIDIERI FILHO, C.V. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular: conceituação e metodologia. In: **Tecnologia de Edificações**. São Paulo. PINI / IPT, 1988. p.139-142.

STACZUK, M. E. Sistema de aquecimento solar é testado em habitações populares em Curitiba. **Revista Pini**, dez. 2014. Disponível em <http://piniweb.pini.com.br/construcao/Parana/sistema-de-aquecimento-solar-e-testado-em-habitacoes-populares-em-335134-1.aspx> Acesso em dez. 2014.

STYROCORTE. Disponível em < <http://www.styrocorcte.com.br> > Acesso em jan. 2014.

TUDO SOBRE PLÁSTICOS - **Aditivos Anti-chama**. Disponível em <<http://www.tudosobreplasticos.com/aditivos/antichamas>> Acesso jul.2014

UNDERWRITERS LABORATORIES INC. **UL 94 - Tests for flammability of plastics materials for parts in device and appliances. 1998.**

VALENÇA, A. C.; ROQUE, C. A.; SOUZA, P. Z. **Painéis de madeira aglomerada – área de operações industriais 2**. BNDES, Produção setorial: Produtos florestais, 1998.

VIOLA, N. M., BASTISTELE, R. A. G., VALARELLI, I. D., NASCIMENTO, M. F., AZAMBUJA, M. A. Aplicação de resíduos de madeira e plástico: confecção de compósito plástico-madeira e suas aplicações. **Painéis de partículas de madeira e materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013.

APÊNDICE – DIAGRAMAS FORÇA X DESLOCAMENTO

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice A – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis PG

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice B – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis EG

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice C – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis PT

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice D – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis ET

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice E – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis PE

Corpo de prova 01

Corpo de prova 02

Corpo de prova 03

Corpo de prova 04

Corpo de prova 05

Corpo de prova 06

Corpo de prova 07

Corpo de prova 08

Corpo de prova 09

Corpo de prova 10

Apêndice F – Diagrama “Força x Deslocamento” dos painéis TE