

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL – CAMPUS CURITIBANOS

WILLIAN GRUBERT

UTILIZAÇÃO DE FEIXES DE FIBRAS DE *Pinus* spp. E PARTÍCULAS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD) PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADO

CURITIBANOS

2014

WILLIAN GRUBERT

UTILIZAÇÃO DE FEIXES DE FIBRAS DE *Pinus* spp. E PARTÍCULAS DE POLIETILENO DE
BAIXA DENSIDADE (PEBD) PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADO

Trabalho de conclusão de curso de graduação
em Engenharia Florestal da Universidade
Federal de Santa Catarina, como requisito
parcial para obtenção do grau de Engenheiro
Florestal. Orientador: Prof. Dr. Ugo Leandro
Belini.

CURITIBANOS

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Grubert, Willian
UTILIZAÇÃO DE FEIXES DE FIBRAS DE Pinus spp. E
PARTÍCULAS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD) PARA
PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADO / Willian Grubert ;
orientador, Ugo Leandro Belini - Florianópolis, SC, 2014.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos. Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui referências

1. Engenharia Florestal. 2. Tecnologia da madeira. 3.
Produtos florestais. 4. Painéis de madeira reconstituída.
I. Belini, Ugo Leandro. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

WILLIAN GRUBERT

UTILIZAÇÃO DE FEIXES DE FIBRAS DE *PINUS SPP* E PARTÍCULAS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD) PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de ENGENHARIA FLORESTAL, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Ugo Leandro Belini
Co-orientador: Alexandro Bayestorff da Cunha

Data da defesa: 18 de julho de 2014.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



Presidente e Orientador: Dr. Ugo Leandro Belini
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Curitibanos



Membro Titular: Dr. Alexandro Bayestorff da Cunha
Universidade do Estado de Santa Catarina
Campus Universitário Planalto Serrano (Lages)

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitibanos
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

À UFSC pela oportunidade de graduação com ensino de qualidade.

Ao meu professor orientador, Ugo, contribuindo com todo o conhecimento repassado, atenção e dedicação ao me orientar.

À UDESC-CAV pela oportunidade de estágio e início de mestrado em Engenharia Florestal.

Ao professor orientador, Alessandro, pela chance da realização, além deste, vários outros projetos, pela atenção e conhecimento repassado, além da oportunidade de ser seu orientado.

Aos demais professores que de alguma forma contribuíram pra que tudo desse certo nesse caminho percorrido durante a graduação e início de nova etapa. Em especial aos professores David Buratto pelo apoio e incentivo, Dilma Budziak pela chance de monitoria, Marcio Navroski pelo esclarecimento nas análises estatísticas além da chance de cursar a disciplina, Pedro Higuchi pela chance de cursar a disciplina e aos professores Alexandre Siminski, Magno Vivian, Marcelo Scipioni, Juliano Wendt, Polliana Rios e demais professores pelos conhecimentos repassados.

Aos meus pais, Vírta Maria e Armindo, meu irmão Daniel e minha namorada Camila, por todo carinho, apoio e suporte, inclusive na realização prática deste trabalho.

À empresa Sudati pela doação dos feixes de fibras utilizadas neste estudo.

Aos colegas de graduação que passaram pelas mesmas grandes dificuldades: Giuliano, Diogo, Rodrigo, Bruna e Jaqueline, além dos colegas do curso de agronomia, Linconl, Guilherme, Marcos, Luis Felipe, Gabriel, Dézio

Aos colegas de mestrado e de graduação do CAV pelo trabalho em conjunto.

À Paulo Meirelles pelas constantes caronas.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas de painéis aglomerado produzidos com feixes de fibras de *Pinus spp.* e partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD). Para tanto, o estudo envolveu a produção de painéis puros de feixes de fibras e a mistura em cinco níveis do termoplástico (10%, 20%, 30%, 40% e 50%), totalizando 6 tratamentos. Em todos os painéis se empregou 12% de resina ureia-formaldeído (UF), calculada com base na massa total de partículas. O ciclo de prensagem foi de 180°C para temperatura, aplicando-se 40 kgf.cm⁻² para pressão por um período de tempo de 8 minutos. Os ensaios para a determinação das propriedades físicas avaliadas foram realizados em conformidade com a norma americana ASTM D1037 (1996) e a norma brasileira ABNT NBR 14810 (2006). Os dados foram comparados com os parâmetros mínimos exigidos pelas normas ANSI A208.1 e a ABNT NBR 14810 (2006) para absorção de água e inchamento em espessura. A distribuição da normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias aplicou-se o teste de Bartlett. Com os pressupostos atendidos cada variável resposta foi submetida à análise de variância, realizou-se o teste de médias de Scott-Knott a 95% de probabilidade. Mediante os resultados dos ensaios físicos conclui-se que a umidade de equilíbrio diminui com o aumento percentual de PEBD, sendo que para a variável inchamento houve melhora significativa a partir da adição de 30% de PEBD e a exceção ficou com absorção de água em 2 horas e 24 horas, que somente painéis com 50% feixes de fibras e 50% PEBD apresentaram os melhores resultados. Desta forma, a utilização de feixes de fibras de *Pinus spp.*, em conjunto com polietileno de baixa densidade, apresenta potencial para confecção de painéis tipo aglomerado.

Palavras chave: propriedades físicas, termoplásticos, feixes de fibras, resíduos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physical properties of particleboard produced with bundles of fibers *Pinus* spp. and particles of low density polyethylene (LDPE). Thus, the study involved the production of pure panels fiber bundles and the mixture of the thermoplastic into five levels (10%, 20%, 30%, 40% and 50%) for a total of 6 treatments. In all panels were employed 12% of urea formaldehyde resin (UF), calculated on the total weight of particles. The pressing cycle was 180°C for temperature, applying 40 kgf.cm⁻² to pressure for a period of 8 minutes. Assays for the determination of physical properties were conducted in compliance with the American ASTM D1037 (1996) and the Brazilian standard ABNT NBR 14810 (2006). The data were compared with the minimum standards required by ANSI A208.1 and ABNT NBR 14810 (2006) for water absorption and thickness swelling. The normality of data distribution was assessed by the Shapiro Wilk test, while the homogeneity of variances applied the Bartlett test. With the assumptions met each response variable was subjected to analysis of variance, we carried out the test averages Scott-Knott at 95% probability. From the results of the physical tests it was concluded that the equilibrium moisture content decreases with increasing percentage of LDPE, with variable swelling to a significant improvement from the addition of 30% LDPE and exception was with water absorption 2 and 24 hours, only panels with fiber bundles 50% and 50% LDPE showed the best results. Thus, the use of bundles of fibers *Pinus* spp. Together with low-density polyethylene, has potential for fabrication of particleboard type.

Keywords: physical properties, bundles of fibers, thermoplastic, residues.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema representativo de painéis de madeira.....	19
Figura 2 -	Processo de produção de painéis aglomerado.....	21
Figura 3 -	Classificação dos painéis de fibras.....	23
Figura 4 -	Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.....	28
Figura 5 -	Principais resinas termoplásticas consumidas no Brasil.	30
Figura 6 -	Simbologia para identificação de embalagens poliméricas.....	30
Figura 7 -	Esquema de separação por diferença de densidade.....	31
Figura 8 -	Fibras de Pinus spp. e partículas de PEBD.....	36
Figura 9 -	Layout de retirada dos corpos de prova dos painéis.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição das áreas de florestas plantadas no Brasil.....	15
Tabela 2 -	Classificação dos painéis de partículas por densidade das painéis.....	21
Tabela 3 -	Classificação dos painéis de fibras.....	22
Tabela 4 -	Geração de resíduos na produção de painéis de composição.....	26
Tabela 5 -	Classificação dos polietilenos.....	28
Tabela 6 -	Plano experimental.....	38
Tabela 7 -	Quantidades e dimensões dos corpos de prova para cada ensaio específico em cada tratamento.....	42
Tabela 8 -	Valores de densidade da madeira de Pinus taeda e Pinus elliottii.....	46
Tabela 9 -	Valores médios de densidade e espessura.....	47
Tabela 10 -	Valores médios de razão de compactação.....	49
Tabela 11 -	Valores médios de umidade.....	50
Tabela 12 -	Valores médios de absorção de água em 2 e 24 horas.....	51
Tabela 13 -	Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de Água
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CV	Coefficiente de variação
D	Densidade
DIN	Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz
FAO	Food and Agriculture Organization
FF	Fenol Formaldeído
Kg.m⁻³	Quilos por metro cúbico
ha	Hectare
HDF	High Density Fiberboard
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Inchamento em Espessura
LI	Ligação Interna
LVL	Laminated Veneer Lumber
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
MPA	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras
OSB	Oriented Strand Board
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno de Baixa Densidade Linear
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
TNRE	Taxa de Não Retorno em Espessura
TU	Teor de Umidade
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UF	Ureia Formaldeído
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. RECURSOS FLORESTAIS	15
2.1.1. Gênero Pinus	16
2.2. PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA	18
2.2.1. Painéis MDP	20
2.2.2. Painéis MDF	21
2.2.3. Resina Ureia Formaldeído	24
2.2.4. Matéria prima	25
2.2.5. Variáveis do processo	25
2.2.6. Resíduos da indústria de painéis	26
2.3. TERMOPLÁSTICOS	27
2.3.1. Polietileno de baixa densidade	28
2.3.2. Reciclagem	29
2.4. COMPÓSITOS	32
2.4.1. Relação plástico/madeira	32
2.5. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PAINEL AGLOMERADO	33
2.5.1. Espessura	33
2.5.2. Densidade	34
2.5.3. Absorção e inchamento em espessura	34
2.5.4. Taxa de não retorno em espessura	34
2.5.5. Umidade	34
2.5.6. Flexão estática	35
2.5.7. Tração perpendicular	35
2.5.8. Arranque de parafuso	35
3. OBJETIVOS	36
3.1. GERAL	36
3.2. ESPECÍFICOS	36
4. METODOLOGIA	37
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS FEIXES FIBRAS E DAS PARTÍCULAS DE PEBD	37
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO ADESIVO SINTÉTICO	37
4.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	38
4.4. CÁLCULO DA MATÉRIA PRIMA	39
4.5. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	40
4.6. CICLO DE PRENSAGEM	41

4.7.	RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA	42
4.8.	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS	43
4.8.1.	Determinação da densidade da madeira e do PEBD	43
4.8.2.	Densidade e espessura dos painéis.....	43
4.8.3.	Teor de umidade	44
4.8.4.	Absorção e inchamento	44
4.8.5.	Comparação dos dados.....	45
4.9.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1.	TEOR DE SÓLIDOS DA RESINA UREIA FORMALDEÍDO	46
5.2.	DENSIDADE DA MADEIRA E DO PEBD	46
5.3.	DENSIDADE, ESPESSURA E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS	47
5.4.	TEOR DE UMIDADE.....	49
5.5.	ABSORÇÃO DE ÁGUA	51
5.6.	INCHAMENTO EM ESPESSURA	53
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7.	RECOMENDAÇÕES	56
8.	REFERÊNCIAS	57
9.	ANEXOS	64

1. INTRODUÇÃO

A infinidade de aplicações dos produtos florestais em diversas áreas propiciou uma crescente demanda mundial por esses bens, fazendo com que, simultaneamente, houvesse maior uso dos recursos florestais. Neste cenário, as preocupações acerca do uso irracional das florestas, principalmente a exploração madeireira, causada pelo homem tornaram as legislações ambientais mais rígidas, levando o mundo a buscar caminhos que levassem ao aproveitamento mais adequado da madeira.

Um dos usos que a madeira tem o melhor aproveitamento é como matéria prima para produção de painéis de madeira reconstituída, que entre os de maior destaque estão os painéis de partícula, identificados como MDP (medium density particleboard) e OSB (oriented strand board); e os painéis de fibra, identificados como MDF (medium density fiberboard), sendo que as principais matérias primas para a fabricação destes painéis de madeira são oriundas de cultivos florestais de *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*.

A indústria de painéis de madeira está em franco crescimento, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2013), a capacidade de produção de painéis em 2012 era de 10,3 milhões de metros cúbicos e a estimativa de expansão é de 10,9 milhões de metros cúbicos em 2014, e isso se deve ao fato de investimentos para instalação de novas unidades industriais e pelo consumo de painéis de madeira pelo setor moveleiro e de construção civil.

Contudo, o receio a respeito da degradação do meio ambiente resultou com que as indústrias de painéis cada vez mais se inclinam à utilização de insumos sustentáveis e também ao reaproveitamento de seus resíduos em sua linha de produção, onde nestes resíduos incluem-se os rejeitos, como fibras e partículas com dimensionamento inapropriado. Com isso, a transformação destes rejeitos e a sua reutilização novamente como matéria prima dos painéis se torna uma alternativa de menor impacto ambiental e também agrega valor a um recurso que seria descartado ou utilizado para queima e geração de energia.

Além disso, a reutilização de resíduos sólidos urbanos no processo produtivo de painéis de madeira reconstituída tornou-se uma nova direção ao qual se busca atingir a sustentabilidade e diminuir os problemas ambientais, se consolidando como uma área promissora para pesquisa de novas tecnologias.

Neste contexto, o crescimento mundial da utilização de plástico para múltiplos usos tem levado a grande geração de resíduos sólidos urbanos, originados de processos e produtos termoplásticos. As principais resinas termoplásticas empregadas, pelas indústrias de produtos plásticos, como

matéria prima são os polietilenos (PE), sendo os principais de baixa densidade (PEBD), de alta densidade (PEAD) e de baixa densidade linear (PEBDL); o polipropileno (PP) e o policloreto de vinila (PVC), que segundo números da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) correspondem juntos a 83% de toda matéria prima utilizada em 2012. Ainda dados da associação, o consumo aparente de resinas termoplásticas no mesmo ano ficou em 6,66 milhões de toneladas, sendo 13% desse consumo o polietileno de baixa densidade.

De acordo ainda com dados da ABIPLAST, 42% da distribuição dos polietilenos são para o setor de alimentos como embalagens, posteriormente ao uso esses resíduos muitas vezes não possuem destinação adequada, e por não serem biodegradáveis, acabam originando grandes problemas ambientais. Portanto, a procura por tecnologias que possibilitem o reaproveitamento destes plásticos residuais para obtenção de novos produtos se torna cada vez mais importante, sendo assim, um meio potencial de se reutilizar esses resíduos urbanos é na sua incorporação em compósitos de madeira.

Os compósitos são materiais constituídos por pelo menos dois componentes que combinados originam um novo material com propriedades distintas de seus precursores. A associação entre termoplásticos e fibras naturais, mais precisamente partículas de polietileno de baixa densidade e feixes de fibras de *Pinus spp.* podem dar origem a um produto de menor agressão ambiental e menores custos de produção, visto que os materiais de origem são resíduos urbanos e da indústria florestal, respectivamente. Há então a necessidade de estudos detalhados sobre a viabilidade de aproveitamento de resíduos de madeira, porém não somente com foco apenas no fim energético, mas também para maior agregação de valor através da transformação em produtos como painéis reconstituídos de madeira.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. RECURSOS FLORESTAIS

As florestas desempenham um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas e fornecimento de produtos e serviços do ecossistema que são essenciais para a prosperidade da humanidade (FAO, 2013). Segundo dados da organização a última estimativa da área florestal total do mundo é de mais do que 4 bilhões de hectares, correspondendo a cerca de 30% da área total da terra. Os cinco países mais ricos em florestas (Federação Russa, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América e China) são responsáveis por mais da metade do total da área florestal do planeta (FAO, 2013).

Conforme informações do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013) o Brasil é um país florestal com 463 milhões de hectares (54,4% do seu território) de florestas naturais e plantadas, o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia.

O Brasil possui cerca de 7,2 milhões de hectares de florestas plantadas, principalmente com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que representam 92,8% do total (Tabela 1). Esta área corresponde a apenas 0,84% da área do país e a 1,55% da área total das florestas (MMA, 2013). A área com plantios de espécies florestais não convencionais, como a *Acácia*, a *Seringueira*, o *Paricá*, a *Teca*, a *Araucária* e o *Populus* ocupam o restante do total com 0,54 milhões de hectares.

Tabela 1. Composição das áreas de florestas plantadas no Brasil (2012).

Espécie	Nome científico	Área (ha)	%
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.	5.102.030	71,00
Pinus	<i>Pinus</i> spp.	1.562.782	21,75
Acácia	<i>Acacia mearnsii</i> / <i>Acacia mangium</i>	148.311	2,12
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	168.848	2,36
Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>	87.901	1,22
Teca	<i>Tectona grandis</i>	67.329	0,97
Araucária	<i>Araucaria angustifolia</i>	11.343	0,16
Populus	<i>Populus</i> spp	4.216	0,06
Outros		33.183	0,12
Total		7.185.943	100,00

Fonte: adaptado de ABRAF (2013).

A gestão sustentável desse recurso florestal é fundamental, pois o desmatamento acarreta graves danos ambientais, por isso a exploração comercial dos produtos florestais precisa ser feita de maneira controlada e sustentável, contribuindo para o crescimento econômico, com isso a silvicultura toma um papel importante para o setor madeireiro. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012) a produção primária florestal somou R\$ 18,4 bilhões. A silvicultura contribuiu com 76,9% (R\$ 14,2 bilhões) do total apurado, enquanto a extração vegetal participou com 23,1% (R\$ 4,2 bilhões) (IBGE, 2012).

No Brasil, a atividade florestal é de grande importância não só pela extensa cobertura de florestas existente no país, mas também pela capacidade de geração de emprego e renda do setor (JUVENAL; MATTOS, 2002). Segundo Terezo e De Oliveira (2002) as regiões mais dependentes das florestas plantadas são o sul e o sudeste do Brasil, capacitando à presente pesquisa uma logística bastante favorável quanto aos insumos utilizados

Os produtos comercializáveis de base florestal são divididos em dois grupos, a madeira e produtos baseados na madeira; e produtos não madeireiros (SIMULA, 1999). Para Bacha (2004) o primeiro grupo inclui:

- Produtos primários, tais como a lenha, o carvão vegetal, a madeira em tora e os cavacos;
- Produtos oriundos da primeira transformação industrial da madeira, tais como a madeira serrada, os painéis a base de madeira, a celulose e o papel;
- Os produtos florestais mais elaborados e com maior valor adicionado, tais como: produtos de madeira usados na construção civil (portas, janelas, assoalhos, entre outros), móveis de madeira.

A utilização de espécies provenientes de florestas plantadas tem uma contribuição importante, reduzindo a pressão sobre a utilização de espécies de florestas nativas. O rápido crescimento de espécies plantadas, como pinus e eucalipto, atendem à demanda crescente e necessidade por grandes volumes de madeira para suprimento das indústrias madeireiras (PEDROSA; IWAKIRI; MATOS, 2005).

2.1.1. Gênero Pinus

A área plantada com pinus no Brasil (1.562.782 ha) está concentrada principalmente na Região Sul do país (84,7%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (ABRAF, 2013). De acordo com Vasques et. al. (2007) a silvicultura do gênero Pinus no sul do Brasil tem seu ponto inicial marcado pelo advento do incentivo fiscal, uma diretriz estratégica dos anos 60 e 70 para o desenvolvimento do país, o que na

época implicava na concessão de recursos para áreas determinadas como "Distritos Florestais", privilegiando terras de menor potencial produtivo.

Conforme relatam Carpanezi et. al. (1988), os reflorestamentos para fins industriais, em Santa Catarina, do gênero florestal de Pinus, cuja madeira é de fibras longas, tem ampla aplicação na indústria de celulose, papel, painéis e outros produtos. Segundo Shimizu (2005), as espécies de Pinus que se destacaram, inicialmente, na silvicultura brasileira, foram Pinus elliottii e Pinus taeda, introduzidas dos Estados Unidos, visto que as atividades com florestas plantadas eram restritas às Regiões Sul e Sudeste.

A madeira de P. taeda é de alta qualidade para muitos usos, como construção civil, fabricação de móveis, painéis e celulose, esta espécie não é produtora de resina. A madeira de Pinus elliottii também é de excelente qualidade para muitos usos; além disso, a espécie é importante produtora de resina (CARPANEZZI et. al., 1988).

De uma forma geral, o incremento volumétrico de Pinus elliottii costuma ser menor que de Pinus taeda. Porém, ele inicia a produção de madeira adulta a partir dos cinco a seis anos de idade, em contraste com 12 a 15 anos em Pinus taeda. Este pode ser um diferencial muito importante na escolha da espécie para produção de madeira destinada ao processamento mecânico. Isto significa que, em toras da mesma idade, a de Pinus elliottii contém menor proporção de madeira juvenil e, portanto, será de melhor qualidade física e mecânica do que a tora de Pinus taeda (SHIMIZU, 2008).

Outros fatores adicionais abordados por Carpanezi et. al. (1988), como a ramificação vigorosa e abundante de P. taeda, a susceptibilidade a Sirex noctilio e a viabilidade da resinagem, entre outros, devem ser considerados na escolha da espécie. P. taeda aproveita melhor os solos mais ricos, enquanto que P. elliottii var. elliottii é superior a P. taeda, nos solos mais pobres, inclusive os mais rasos e de pior drenagem.

A espécie tropical Pinus caribaea abrange três variedades naturais: caribaea, bahamensis e hondurensis (FACCIO, 2010). Entre as espécies/variedades de Pinus tropicais, Pinus caribaea var. caribaea é a que apresenta a melhor forma de fuste, com ramos finos e curtos. Estas características contribuem para a formação de madeira de alta qualidade para serraria. A variedade caribaea é apontada como a mais tolerante a geadas, na Província de Misiones, Argentina, limítrofe ao oeste catarinense. Também no planalto paranaense, em arboretos, esta variedade tem suportado geadas severas, embora com crescimento lento (CARPANEZZI et. al., 1988), o que o torna potencial para plantio na região sul do Brasil.

Conforme estudos de Shimizu (2005) para o *Pinus patula* o melhor desenvolvimento ocorre em regiões de altitude elevada como no oeste catarinense, sudoeste do Paraná e nordeste do Rio Grande do Sul, nessas regiões a espécie apresenta produtividade de madeira maior que a do *Pinus taeda*. Uma das características desta espécie é a produção de numerosos ramos grossos e persistentes, tornando necessária a realização de desramas artificiais ou melhoramento genético para aumentar o seu aproveitamento como madeira serrada. A madeira é de excelente qualidade para celulose e painéis (CARPANEZZI et. al., 1988).

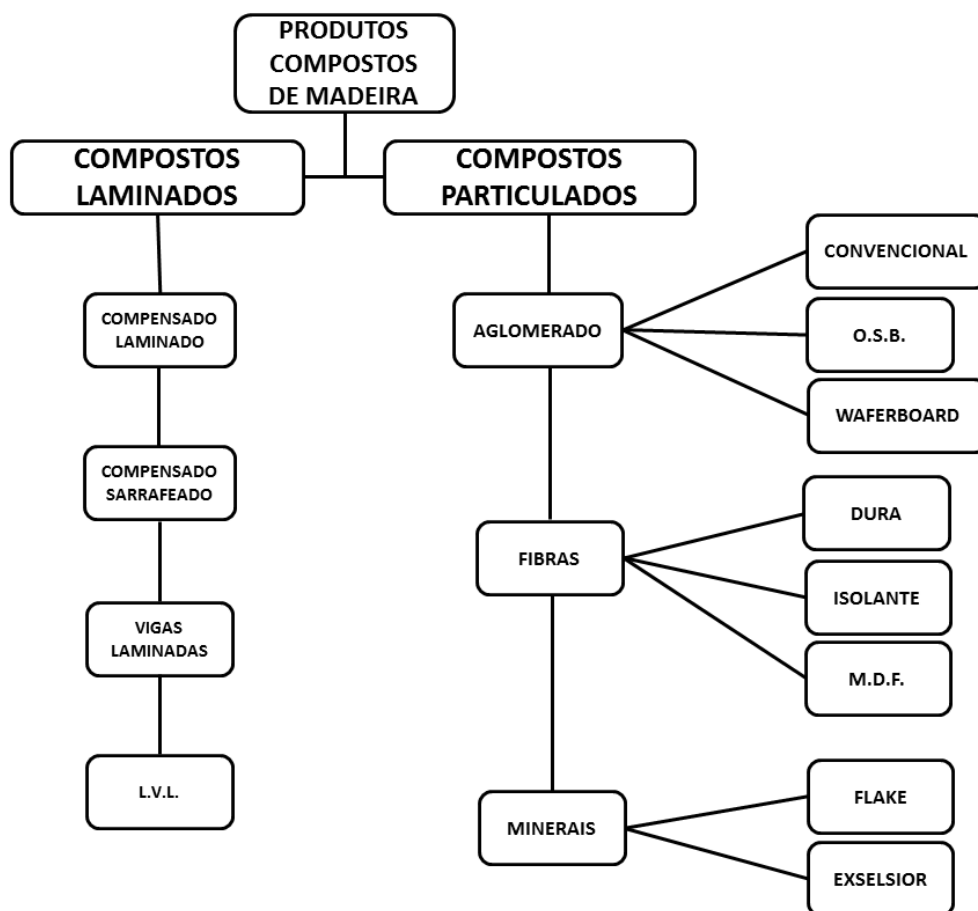
2.2.PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

Os painéis são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos (MATTOS; GONCALVES; CHAGAS, 2008).

Segundo os pesquisadores Pedrosa, Iwakiri e Matos (2005) o uso de painéis de madeira reconstituída em substituição à madeira sólida tem ganho destaque nas últimas décadas em função da necessidade de otimização do uso da madeira e pelas características tecnológicas de produtos colados de madeira. Os painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Os painéis de madeira reconstituída são classificados em compostos laminados e compostos particulados (Figura 1). Os compostos laminados são subdivididos em compensado laminado e compensado sarrafeado. Os compostos particulados podem ser definidos como: minerais (flake e excelsor), fibras (dura, MDF, HDF e isolante) e aglomerados (convencionais, finebords e wafeboards, este último teve uma evolução de produção com o OSB.) (IWAKIRI, 2005).

Figura 1. Esquema representativo de painéis de madeira.



Fonte: Adaptado de Mendes (2001).

As indústrias desse segmento são importantes fornecedoras de matéria-prima para as indústrias de móveis, construção civil e embalagens (ABRAF, 2013).

Para Mattos; Goncalves; Chagas (2008) as perspectivas são bastante positivas para o setor de painéis de madeira, de forma geral. Os segmentos de MDP e MDF são os que apresentam um cenário mais positivo, pois o aumento da oferta se direciona para o mercado interno, podendo o seu excedente ser absorvido pelo mercado externo.

Dados da ABRAF (2013) confirmam que o mercado de painéis de madeira industrializada encontra-se em expansão no Brasil. Nos últimos 10 anos (2002 - 2012), a produção anual de painéis de madeira industrializada cresceu de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões, um crescimento médio de 8,9% ao ano. Da mesma forma, o consumo anual de painéis de madeira também cresceu de 2,8 milhões de toneladas, para 7,2 milhões, com incremento médio de 9,9% a.a. Em 2012, a produção de painéis de madeira industrializada cresceu 12,3% e o consumo, 10,8%.

2.2.1. Painéis MDP

A definição de Mattos; Gonçalves; Chagas (2008) para o aglomerado é um painel fabricado com partículas de madeira aglutinadas por meio de resina, com ação de calor e pressão. Como matéria-prima, no mundo, são empregados: resíduos industriais de madeira; resíduos da exploração florestal; madeiras de qualidade inferior, não-industrializáveis de outra forma; madeiras provenientes de florestas plantadas; e reciclagem de madeira sem serventia. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial, de eucalipto e de pinus, constitui a principal fonte de matéria-prima.

De acordo com Iwakiri et. al. (2002) as painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a 2ª guerra mundial. A produção foi paralisada logo a seguir, devido a redução na disponibilidade de matéria-prima para fabricação de resina, tendo em vista a prioridade de uso do petróleo para finalidade militar (IWAKIRI et. al., 2002).

Após a guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento de painéis de madeira aglomerada foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos e, em meados da década de 70, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos “waferboard” e “Oriented Strand Board – OSB” (IWAKIRI et. al., 2002).

A partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras investiram em modernização tecnológica, passando do processo de prensagem cíclica para prensagem contínua, o que conferiu ao produto melhores características de resistência, e implementaram a modificação da nomenclatura para MDP (Medium Density Particleboard), ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Iwakiri (2002) classifica os painéis de madeira aglomerada com base na densidade do painel (Tabela 2), tipos de partículas e sua distribuição. De outro modo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com a Norma Brasileira (NBR) 14810 (2006) especifica que painéis aglomerado de média densidade agrupam-se no intervalo entre 551 kg.m^{-3} a 750 kg.m^{-3} .

Tabela 2. Classificação dos painéis de partículas por densidade dos painéis.

Tipo	Densidade (kg.m ⁻³)
Baixa densidade	Até 590
Média densidade	590 a 800
Alta densidade	Acima de 800

Fonte: Adaptado de Iwakiri (2002).

A classificação definida por Iwakiri (2002) dos painéis pelo tipo de partícula empregada consiste em partículas do tipo sliver (aglomerado convencional), painéis de partícula do tipo flake (flakeboard), partículas do tipo wafer (waferboard) e do tipo strand (strandboard). E de acordo com a distribuição das partículas nos painéis a classificação é em painéis homogêneos, de múltiplas camadas, de camadas graduadas e partículas orientadas.

A produção de painéis de MDP envolve todo um processo de produção (Figura 2), dividido em diversas etapas que vai desde o pátio de toras até a o transporte. Além dos custos fixos do processo e com a matéria prima, os custos mais significativos são com a resina, energia elétrica e emulsão de parafina.

Figura 2: Fluxograma ilustrativo do processo produtivo de painéis aglomerado.



2.2.2. Painéis MDF

O painel de fibra de madeira é um material manufaturado a partir do refinamento das fibras lignocelulósicas, sendo que a adesão primária se processa através de entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira como a lignina para o hardboard (MALONEY,1993). Conforme citado por Torquato (2008) o termo “painéis de fibras” inclui o painel de chapa-dura, o painel de média densidade (MDF), e o painel de isolamento.

O painel de fibra normalmente é classificado pela densidade (Tabela 3) e pode ser feito por processos seco ou úmido. Os processos secos são aplicáveis às placas com densidade elevada (hardboard) e densidade média (MDF). Os processos úmidos são aplicáveis as chapas duras de altas densidades e ao painel de isolamento que é de baixa densidade (TORQUATO, 2008).

Tabela 3. Classificação dos painéis de fibras.

Tipo	Densidade (kg.m⁻³)
Ultra Light	450 a 550
Light	550 a 650
Standard	650 a 800
HDF	Acima 800

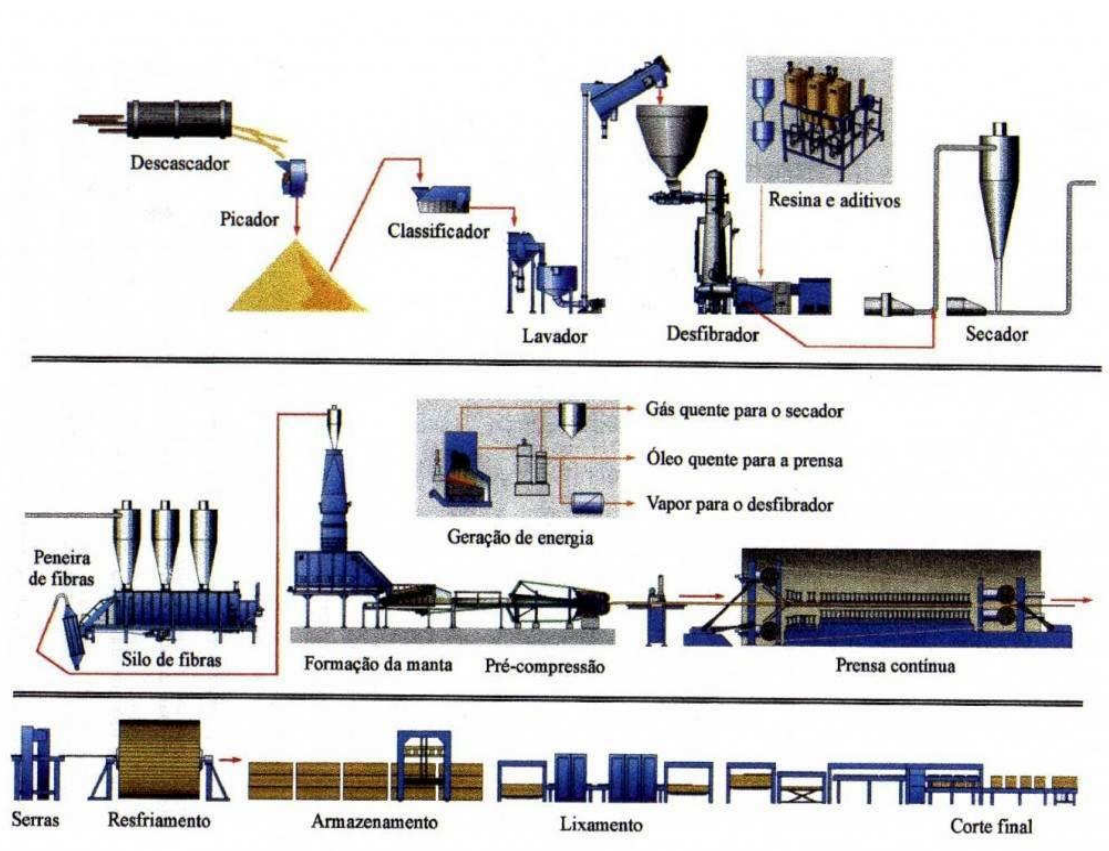
Fonte: ABNT NBR 15316 (2009)

A origem da utilização de painéis de fibras de madeira foi no Japão, no século VI A.C., na forma de papéis prensados utilizados como divisórias internas de casas. No Brasil, as indústrias de painéis de fibras foram instaladas a partir da década de 50, para produção de chapas isolantes e duras. Por outro lado, os painéis “MDF”, passaram a ser produzidas só a partir de 1997, com a entrada em operação de uma unidade industrial localizada na cidade de Agudos, no interior do estado de São Paulo (IWAKIRI, 2002).

As grandes áreas reflorestadas com espécies de Pinus nas regiões sul e sudeste do país transformaram-se em excelentes fontes de madeira, justificando a instalação de unidades industriais produtoras de painéis MDF. A matéria prima atendia plenamente as necessidades das indústrias, resultando em painéis de coloração clara, que era uma exigência de mercado até então (BELINI, 2007).

A produção de painéis MDF (Figura 3) envolve diversas etapas que, de modo simplificado, inicia com a chegada das toras no pátio até o transporte ao destino.

Figura 3: Fluxograma ilustrativo do processo produtivo de painéis MDF.



A escolha pela espécie depende do produto final e de sua aplicação. Dá-se preferência para madeiras que possuem paredes celulares finas, por facilitarem o desfibramento, apresentando maior área de contato e contribuindo para o desenvolvimento de um número maior de ligações do tipo pontes de hidrogênio, ainda mais fortes (TORQUATO, 2008). Neste aspecto, dito por Iwakiri et. al. (2005) as fibras da madeira de folhosas são mais curtas e com parede celular mais espessa, sendo que o maior comprimento dos traqueídes das coníferas favorece as condições de formação dos painéis.

Riedl et. al. (2006) citado por Belini (2007) verificou que os painéis MDF de madeira de *Eucalyptus spp* têm 93% de fibras menores do que 1 mm de comprimento. Eleotério (2000) menciona Park et al. (1998) ao qual firmam que fibras mais curtas tem sua superfície total aumentada o que faz com que o consumo de resina seja maior, porém com melhor qualidade de usinagem. Fibras mais longas apresentaram problemas na formação do colchão (ELEOTÉRIO, 2000).

Atualmente, segundo Belini (2007) a grande aceitação mercadológica do painel MDF deve-se, notadamente, a sua excelente trabalhabilidade especialmente nas usinagens de borda e superfícies, oriunda da sua homogeneidade e características finais, tornando-o cada vez mais demandado nas indústrias de móveis e diferenciador de qualidade, obtendo-se produtos de

diferentes dimensões e aplicações, com possibilidade de adequações no processo de confecção visando o desempenho requerido ao seu uso final.

2.2.3. Resina Ureia Formaldeído

Conforme afirma Iwakiri et. al. (2002), a colagem da madeira com adesivos tem uma contribuição importante na conservação de recursos florestais, devido à possibilidade de aproveitamento integral da madeira, através da utilização de pequenos elementos de madeira de forma e dimensões variadas e posterior reconstituição em diversos tipos de produtos compostos de madeira.

Dentre os principais tipos de adesivos utilizados pela indústria de painéis de madeira estão: a ureia-formaldeído (UF), que apresenta resistência à umidade muito limitada, a fenol-formaldeído (FF) e a melamina uréia formol (MUF), indicadas para produção de painéis para uso externo ou em ambiente com alta umidade relativa. Por ser o componente de maior custo, torna-se muito importante a definição do tipo e quantidade de adesivo a ser utilizado, no sentido de se buscar uma otimização na relação custo-benefício (MENDES et. al., 2010). Porém segundo diz Iwakiri (2002) mais de 90% dos produtos compostos de madeira utilizam a resina ureia formaldeído, tendo em vista o seu baixo custo em relação às outras resinas.

Diversos autores (MOSLEMI, 1974; BRITO, 1984; MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989; ALBERTO, 1992; MENDES, 2001; ALBUQUERQUE, 2002; TEODORO, 2008; SANTOS et al., 2009) citados por Weber (2011) demonstram em seus estudos que o efeito do tipo e da quantidade de resina sobre a composição dos painéis de madeira é bastante significativo. O aumento do teor de resina causa um incremento nas propriedades mecânicas e na estabilidade dimensional.

Para Silva et al. (2013) um aspecto a se considerar devido à manufatura de painéis de fibras é a utilização de adesivos que apresentam em sua composição o formaldeído, o qual pode ser liberado mesmo após a cura do painel. Os adesivos à base de formaldeído, aplicados atualmente nas industriais de painéis, são classificados segundo Chipanski (2006) como agentes de insalubridade máxima, devido à emissão do formol.

O formaldeído é um gás produzido mundialmente, em grande escala, a partir do metanol. Em sua forma líquida (misturado à água e álcool) é chamado de formalina ou formol (IARC, 2004). De acordo com Maloney (1993), amônia e dióxido de carbono são obtidos indiretamente do gás natural que reagem para produzir ureia. O formol é produzido a partir do metanol originário do metano fornecido pelo gás natural. Fazendo então do gás natural a fonte básica para a resina ureia-formaldeído.

2.2.4. Matéria prima

As espécies de maior uso para a produção de painéis de madeira são as do gênero *Pinus* spp, principalmente o *Pinus taeda* e o *Pinus elliotti*, o que se deve as suas características desejáveis para as indústrias do setor (IWAKIRI, 2002). A variável relativa a espécie mais importante, afirma Maloney (1993), é a densidade da madeira, sendo grande responsável pelas propriedades finais dos painéis, densidade menores permitem a produção de painéis dentro do intervalo de densidade adequada e proporciona propriedades superiores a espécies de densidade alta. Sendo então como um requisito básico para a matéria prima utilizada no processo produtivo de painéis de madeira aglomerada é ser de baixa densidade (IWAKIRI 2005).

2.2.5. Variáveis do processo

O teor de umidade das partículas se constitui numa variável de extrema importância para a produção de painéis de madeira aglomerada. A importância do teor de umidade do material durante o ciclo de prensagem deve-se a influência que este exerce sobre a resistência da madeira a compressão (TRIANOSKI, 2010). Segundo Moslemi (1974) o teor de umidade das partículas ideal para utilização na produção de painéis varia entre 3 e 6%. O mesmo autor cita que umidades mais elevadas proporcionam menor período de tempo para a estabilização da espessura na formação do painel, contudo há necessidade de tempo maior de prensagem.

A prensagem é uma das fases mais importantes da produção de painéis, pois é responsável por determinar a espessura e a densidade final do painel e, ainda, transfere calor responsável pela cura da resina permitindo a consolidação do painel (ELEOTÉRIO, 2000). A maior temperatura de prensagem diminui a densidade das faces do painel e aumenta do interior, dando um perfil de maior homogeneidade ao painel, e se deve a ocorrência de transporte de temperatura mais rápido ao interior do painel (MALONEY, 1989).

A utilização de emulsão de parafina no processo de produção de painéis se deve ao fato da sua atuação como agente de resistência ao aumento de umidade e redução do inchamento em espessura, resultando em maior estabilidade dimensional do painel. Maloney (1989), cita que a aplicação de 0,5 a 1,0% de parafina é normalmente empregada com o objetivo de reduzir a absorção de água líquida.

A razão de compactação (definida como o quociente da densidade do painel pela da madeira) é outra variável fundamental e que desfavorece as propriedades físicas, em virtude da maior quantidade de partículas sofrendo compressão. A água causa liberação dessas forças, promovendo maiores inchamento em espessura e absorção de água (GUIMARÃES JÚNIOR,

2008). Painéis com baixa razão de compactação necessitam alteração em outras variáveis do processo para apresentarem propriedades aceitáveis, entre essas alterações, por exemplo, o aumento do teor de resina ocasionando aumento do custo de produção (MENDES, 2001).

2.2.6. Resíduos da indústria de painéis

Chipanski (2006) em sua pesquisa cita o trabalho de Smith (2004) ao qual faz uma caracterização geral da geração de resíduos e as destinações mais comuns como sustentação energética, reciclagem e reutilização dentro das indústrias de painéis aglomerado, MDF e chapa dura nos Estados Unidos e Canadá (Tabela 4).

Tabela 4: Geração de resíduos na produção de painéis de composição.

Tipo de Resíduo	Geração média de resíduo (t/dia/planta)	Uso de Resíduo (%)					
		Reciclagem (na chapa)	Combustível interno	Combustível externo	Aterro	Reciclagem	Embalagem
Limpeza, rejeitos	6,8	17,7	21,9	29,3	22,2	9	0
Rejeito e aparas de bolo	29,7	95,2	2,4	0,2	2,2	0	0
Rejeito chapas	7,1	55,4	21,1	3,8	3,7	2,5	13,6
Corte de chapas	25,1	70,3	25,5	4,6	0	0	0,9
Pó de lixamento	43,6	25,5	64,9	7	0,3	2,2	0
Total T/dia/planta	112,3	62,2	38,4	6,5	2,6	1,7	1,2
Percentagem	100%	55,4%	34,2%	5,8%	2,3%	1,6%	1,1%

Fonte: Smith (2004). Adaptado de Chipanski (2006).

As indústrias de painéis de madeira reconstituída da América do Norte reutilizam a maior parte de seus resíduos dentro da própria empresa, na forma de reciclagem interna. O pacote tecnológico produtivo dessas empresas permite a minimização da geração de resíduos, sendo as sobras que são produzidas reutilizadas para produção dos painéis ou como combustível interno ou externo do processo, onde apenas pequena parte vai para reciclagem externa.

Contudo, esse tipo de reaproveitamento dos resíduos utilizados como combustível interno e externo ao processo, por possuir em sua composição a inserção de resina e outros aditivos, quando entram em combustão na caldeira liberam formaldeído na atmosfera alterando a qualidade do ar, se

tornando então do ponto de vista ambiental um método de reaproveitamento desses resíduos com maior impacto quando comparado ao reaproveitamento como matéria prima no processo produtivo.

Chipanski (2006) nota que mais de um terço do resíduo gerado é na forma de pó, enquanto muitas empresas queimam, algumas têm restrição ambiental devido a emissão de particulados e de óxidos de nitrogênio, observando também que parte do material que não é prensado é recirculado para fazer parte da camada interna das painéis, mas uma quantidade é queimada para energia ou disposta em aterros.

De acordo com Smith (2004) em sua pesquisa em linhas gerais, a estratégia mais popular para mitigação dos impactos ambientais na indústria de painéis de partículas causados pelos resíduos é utilizá-los para fabricação dos próprios painéis. Segundo Zoch (2013) dessa forma se proporciona retorno econômico para a empresa, que perde boa parte do volume de madeira em resíduos, e também minimiza o descarte de resíduos no meio ambiente. Reduzindo o desperdício e a maior demanda por matéria prima virgem.

2.3.TERMOPLÁSTICOS

Quando se pensa em problemas ambientais causados pelo acúmulo de resíduos urbanos e industriais, os produtos que causam maiores danos são sempre aqueles mais resistentes à degradação natural. O plástico, em sua composição natural, é um polímero não biodegradável e o seu consumo acompanha o crescimento das grandes cidades por este ser um produto de baixo custo e versátil (ZOCH, 2013).

Como explicam Spinacé; De Paoli (2005) os polímeros são macromoléculas caracterizadas por possuírem unidades químicas que são unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, etc., ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli(tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o policloreto de vinila (PVC). Os polímeros são classificados como termoplásticos (plásticos), termofixos, borrachas e fibras.

A matéria-prima do plástico é o petróleo, que é formado por uma complexa mistura de compostos com diferentes temperaturas de ebulição, sendo separáveis por destilação. A partir do seu processo de refino, obtém-se a nafta; através de um processo conhecido como craqueamento da nafta ocorre a produção de gases, como eteno e propeno (monômero). Esses gases passam por um processo de polimerização no qual podem ser utilizados diferentes processos e tipos de catalisadores para formação dos diversos tipos de resinas termoplásticas (MILAGRES, 2004)

O polietileno foi descoberto, em 1899, pelo químico alemão Hans Pechmann, passando a ser produzido industrialmente em 1939. Ele possui uma das mais simples estruturas de todos os polímeros e pode ser reproduzido através de vários processos, que lhe conferem características próprias de densidade, peso molecular e distribuição de peso molecular (MILAGRES, 2004).

A American Society for Testing and Materials (ASTM, 1989) normatizou a classificação do polietileno, segundo a sua densidade, em quatro classes ou tipos conforme apresentada na tabela 5.

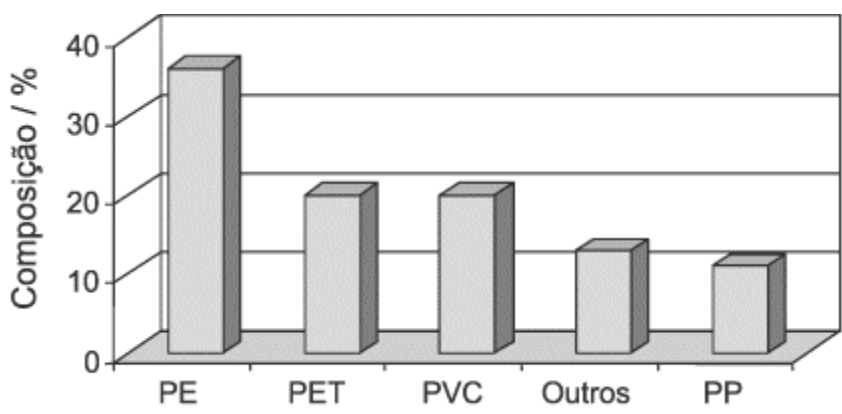
Tabela 5: Classificação dos polietilenos.

Tipo	Densidade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
I – Baixa densidade	910 a 925
II – Média densidade	926 a 940
III – Alta densidade	941 a 959
IV – Alta densidade (ultra alto PM)	Maiores que 960

Fonte: ASTM (1989), adaptado de Redighieri (2006).

Dados apresentados pelos pesquisadores Spinacé; De Paoli (2005) de levantamentos feitos em grandes cidades brasileiras, os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos são os polietilenos (PEAD e PEBD), o PET, o PVC e o PP. Outros tipos de polímeros encontrados correspondem a apenas 11% do total (Figura 4).

Figura 4: Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.



Fonte: Adaptado de Spinacé; De Paoli (2005).

2.3.1. Polietileno de baixa densidade

Conforme Milagres (2004), o polietileno de baixa densidade é obtido pelo processo de alta pressão no reator, com densidade variando entre 910 e 925 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; apresenta moléculas com alto grau de ramificação e é um material flexível, de boa dureza, elevada resistência química, boas propriedades elétricas, facilmente processável, atóxico e inerte.

O processo de produção de PEBD utiliza pressões entre 1000 e 3000 atmosferas e temperaturas entre 100 e 300 °C. Na obtenção de polietileno, geralmente não são utilizadas temperaturas acima de 300 °C, pois o polímero tende a se degradar (COUTINHO et al., 2003; HADJICHRISTIDIS et al., 2000). Os mesmos autores relatam que o PEBD possui uma grande quantidade de ramificações de cadeia, as quais têm uma importante relação com as propriedades do polímero e que essas ramificações são, na maioria das vezes, tão longas quanto à cadeia principal do polímero. A presença dessas ramificações determina o grau de cristalinidade, as temperaturas de transição e afeta parâmetros cristalográficos, tais como o tamanho dos cristalitos.

O PEBD tem uma combinação única de propriedades: tenacidade, alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, boa processabilidade, estabilidade e propriedades elétricas notáveis (COUTINHO et al., 2003). Ainda segundo os mesmos autores a permeabilidade do PEBD à água é baixa quando comparada a de outros polímeros. A permeabilidade a compostos orgânicos polares como álcool ou éster é muito mais baixa do que aos compostos orgânicos apolares.

O polietileno de baixa densidade é aplicado como filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras (COUTINHO et al., 2003 e PEREIRA et al., 1997).

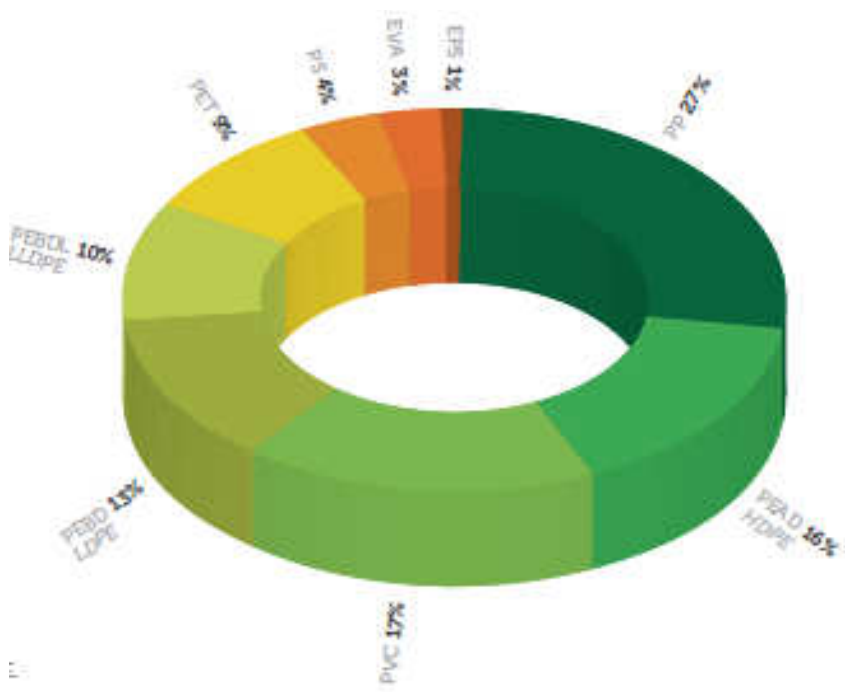
2.3.2. Reciclagem

Os polímeros são considerados inimigos ambientais, pois demoram séculos para se degradar e ocupam boa parte do volume dos aterros sanitários, interferindo de forma negativa nos processos de compostagem e de estabilização biológica (SPINACÉ & DE PAOLI, 2005).

Desta forma, é de grande interesse a reciclagem destes resíduos, já que podem ser transformados e adquirir valor agregado, além de reduzir a quantidade de material em aterros, aumentando a vida útil destes (COSTA et. al., 2012).

Segundo dados da ABIPLAST (2012) as resinas termoplásticas mais consumidas no Brasil são os polietilenos, correspondendo a 39% do total consumido (Figura 5). Porém ainda o PET é o termoplástico mais reciclado no país, com 92% de seu resíduo sendo reciclado, seguido do polietileno com 72% da reciclagem de seus resíduos.

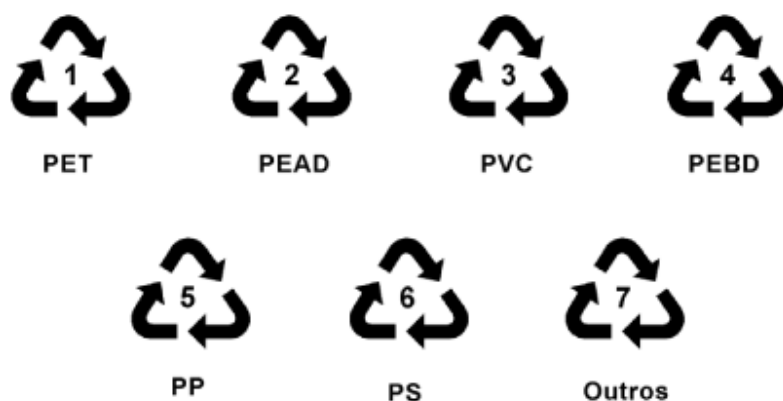
Figura 5: Principais resinas termoplásticas consumidas no Brasil.



Fonte: ABIPLAST (2012).

No Brasil, em empresas de reciclagem, a separação dos polímeros é feita principalmente de forma manual e a sua classificação é facilitada por meio da simbologia que deve estar presente no produto (Figura 6) (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

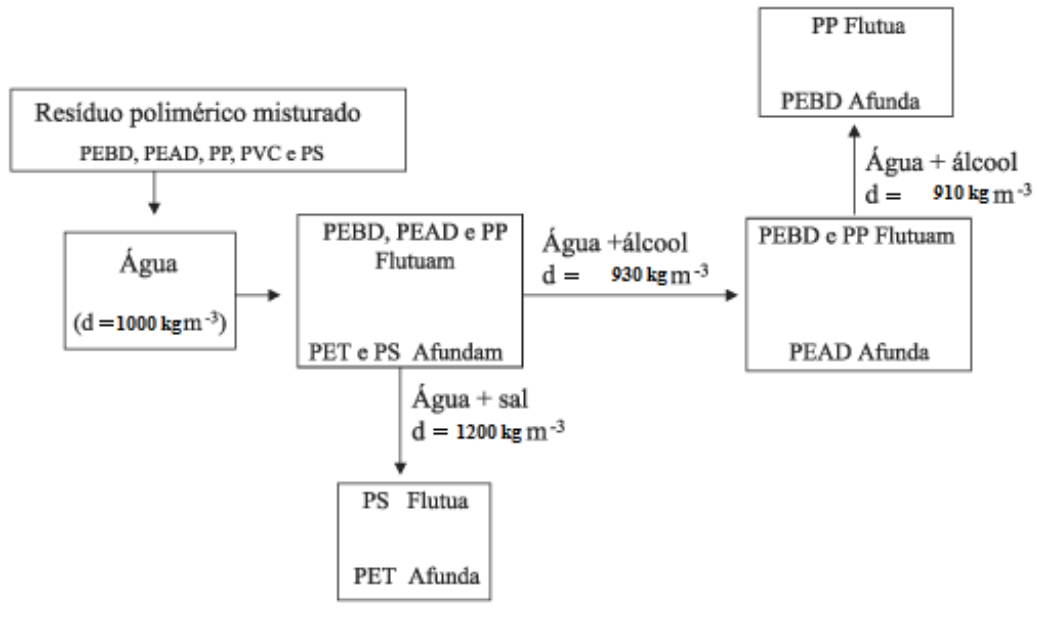
Figura 6: Simbologia para identificação de embalagens poliméricas.



Fonte: Spinacé; De Paoli (2005).

Os mesmos autores citam em seu estudo que em empresas de reciclagem de polímeros também ocorre a separação automatizada através das diferenças de densidades dos resíduos, demonstrado na figura 7.

Figura 7: Esquema de separação por diferença de densidade.



Fonte: Adaptado de Spinacé; De Paoli (2005).

Milagres (2004) lista benefícios sociais e econômicos que se alcançam com a reciclagem dos materiais plásticos encontrados no lixo urbano, dentre os quais podem ser destacados:

- Redução do volume de lixo coletado que é removido para os aterros sanitários, propiciando-lhe aumento da vida útil e redução dos custos de transporte.
- Economia de energia e petróleo, pois os plásticos são derivados de petróleo e 1 quilo de plástico equivale a 1 litro de petróleo, em energia.
- Geração de empregos (catadores, sucateiros, operários etc.), com redução da pressão social.
- Menor preço para o consumidor dos artefatos produzidos com plástico reciclado (em média, os artefatos produzidos com plástico reciclado são 30% mais baratos do que os mesmos produtos fabricados com matéria-prima virgem).
- Melhoria sensível no processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários, uma vez que o plástico impermeabiliza as camadas de material em decomposição, prejudicando a circulação de gases e líquidos.
- Contribuição para redução da degradação ambiental como um todo.

2.4.COMPÓSITOS

Entendem-se como compósitos uma mistura física de dois ou mais materiais, combinados para formar um novo material de engenharia útil com propriedades diferentes aos componentes puros, podendo ser obtidos por combinações entre metais, cerâmicas ou polímeros. Geralmente, os materiais compósitos são formados por uma fase contínua, a qual constitui a maior fração volumétrica da mistura (matriz) e pela fase dispersa (CALLISTER, 2002).

Com os materiais compósitos é possível obter produtos com diferentes propriedades, como leveza, ductilidade, resistência a altas temperaturas, dureza e resistência ao choque (MILAGRES, 2004).

Ainda segundo Milagres (2004), devido aos bons resultados obtidos através da produção de certos materiais compósitos, como a fibra de carbono, atualmente estão se intensificando as pesquisas visando a obtenção de novos produtos. A formação de painéis de compósito plástico/madeira vem sendo pesquisada, e esta pode ser uma boa opção para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. O termo “compósitos plástico/madeira” se refere a alguns materiais que contêm madeira de alguma forma e materiais termorrígidos ou termoplásticos.

A indústria de plásticos tem tradicionalmente usado talco, carbonato de cálcio, mica, vidro ou fibras de carbono como enchimento e reforços para modificar o desempenho dos plásticos. O uso de fibras de madeira apresenta certas vantagens, por serem elas renováveis, mais baratas e menos abrasivas aos equipamentos no processamento, quando comparadas com os enchimentos convencionais (MILAGRES, 2004).

2.4.1. Relação plástico/madeira

Um dos desafios a ser superado na produção de compósito plástico/madeira é melhorar a adesão entre os materiais; a mistura de resinas termoplásticas ou termofixas com farinha, fibras e partículas de madeira gera sistemas onde pouca ou nenhuma adesão interfacial é desenvolvida, devido à incompatibilidade inerente entre os componentes (MILAGRES, 2004).

A preparação de um compósito polimérico com madeira requer uma boa compatibilização na interface destes materiais (REDIGHIERI, 2006). A mesma autora afirma em seu estudo que a compatibilização entre as fibras naturais e os termoplásticos apolares depende do caráter polar da celulose e dos chamados agentes de acoplamento ou de adesão interfacial.

Os agentes de acoplamento são substâncias muito importantes na fabricação de compósitos termoplásticos por melhorarem a adesão entre as superfícies hidrofílicas da madeira e hidrofóbicas dos polímeros termoplásticos, gerando produtos com melhores propriedades mecânicas

(MILAGRES, 2004). Segundo o mesmo autor os agentes de acoplamento incluem algumas resinas termofixas também usadas de ligação, essas resinas formam ligações cruzadas entre seus grupos metilênicos (-CH₂-) e os grupos metilol (-CH₂OH) e hidroxil (-OH) disponíveis nos constituintes químicos das fibras de madeira, melhorando a adesão interfacial com a matriz de plástico.

Uma possibilidade para melhorar a qualidade dos compósitos, em especial no que se refere à adesão entre as partículas, é a estabilização dimensional destas e, ou, o aumento da temperatura de prensagem que promovam a fusão do plástico, acarretando maior interação com a matriz madeireira (OLIVEIRA et al, 2010).

2.5. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO PAINEL AGLOMERADO

Conforme citado por Iwakiri (2005) o controle de qualidade na indústria de aglomerado é um processo contínuo e feito desde a entrada da matéria-prima até a saída do produto final. Ao final do processo produtivo, os painéis são classificadas de acordo com os padrões de qualidade comercial pré-estabelecidas.

As principais características físicas que avaliam a qualidade dos painéis aglomerado e também dos painéis MDF são a espessura, a densidade, inchamento em espessura e absorção após 2 e 24 horas, além da umidade.

Existem diversas normas que padronizam os procedimentos para realização dos ensaios para controle de qualidade dos painéis de madeira aglomerada. A norma técnica vigente no Brasil é a Norma Brasileira (NBR) 14810 (2006), denominada Chapas de madeira aglomerada, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que define os termos usualmente empregados na fabricação, comercialização, execução de ensaios e utilização de painéis de madeira aglomerada e seus derivados.

Além da norma Brasileira, as principais normas estrangeiras que também definem os métodos de ensaios das propriedades de painéis aglomerado são a americana American Society for Testing Materials - ASTM D1037 (1996) e também a norma alemã DIN 53362 (1982).

2.5.1. Espessura

Segundo define a ABNT NBR 14810 (2006) a espessura é a distância entre os pontos extremos das superfícies de um painel de madeira aglomerada e pode variar de 3 mm a 50 mm. Para Trianoski (2010) o teor de umidade exerce influência sobre a resistência a compressão da madeira,

teores de umidade elevados tornam as partículas mais flexíveis, o que necessita de menor tempo para alcançar a espessura desejada.

2.5.2. Densidade

A densidade é um dos parâmetros mais importantes na produção de painéis reconstituídos de madeira, pois exerce grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (SALDANHA; IWAKIRI, 2009).

A relação da densidade com as propriedades mecânicas foi abordado por Weber (2011) com os dados de Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001), painéis com maior densidade apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

2.5.3. Absorção e inchamento em espessura

Como explica Belini (2012), os painéis de fibra, quando utilizadas em condições de umidade normal, apresentam menor inchamento que outros tipos de painéis standard, como o aglomerado, por exemplo. Neste sentido, a emulsão de parafina é um aditivo empregado para diminuição da absorção de água e inchamento em espessura de painéis aglomerado. Conforme explicado por Iwakiri (2005) é aplicada com a finalidade de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis.

2.5.4. Taxa de não retorno em espessura

A exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa, em que ocorre primeiro o inchamento e depois a contração, resulta em um inchamento residual por causa da liberação das tensões de compressão impostas aos painéis, e é denominada de taxa de não retorno em espessura (IWAKIRI,1989).

2.5.5. Umidade

Tem influência direta na espessura dos painéis e, conseqüentemente, nos valores das propriedades, além de influenciar no comportamento dimensional e nas características de acabamento superficial (BELINI, 2012).

2.5.6. Flexão estática

A flexão estática é tida conforme a ABNT 14810 (2006) como a resistência que um corpo-de-prova de um painel de madeira aglomerada, apoiado em seus extremos, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a sua ruptura.

Para Belini (2012) o Módulo de Elasticidade (MOE) é a constante que expressa a rigidez durante o regime elástico, onde não há alteração de suas características originais, enquanto o Módulo de Ruptura (MOR) designa a força aplicada em seu centro até a ruptura.

Segundo o mesmo autor o encurvamento de prateleiras, tampos de mesa, estantes ou outras superfícies planas com apoio nas extremidades, e que estejam sustentando alguma carga, é determinado através de suas dimensões, da carga aplicada e do módulo de elasticidade do material utilizado para a confecção do elemento.

2.5.7. Tração perpendicular

A tração perpendicular é definida pela ABNT 14810 (2006) como a resistência que um corpo-de-prova de um painel de madeira aglomerada oferece, quando este é submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície, no sentido do comprimento do corpo-de-prova, até a ruptura.

A resistência da camada interna reflete a facilidade ou dificuldade com que o painel pode delaminar. Uma elevada resistência à tração é fundamental quando usado em várias aplicações do mobiliário, mas especialmente quando os cantos são trabalhados (usinados) ou na junção de vários componentes em móveis (BELINI, 2012).

2.5.8. Arranque de parafuso

De acordo com Belini (2012) a capacidade de segurar parafusos, em ambas as faces e bordas, é um importante atributo para materiais à base de madeira, utilizados na produção de móveis e acessórios (rodapés, molduras) e está relacionada à densidade do material e dosagem de resina utilizada.

A capacidade de arranque de parafuso é uma propriedade que segundo Maloney (1989) também está relacionada e é influenciada pelo tamanho das partículas dos painéis.

3. OBJETIVOS

3.1.GERAL

O objetivo do presente estudo foi confeccionar e avaliar as propriedades físicas de painéis aglomerado produzidos com feixes de fibras de madeira de *Pinus spp.* em mistura com polietileno de baixa densidade, em diferentes proporções.

3.2.ESPECÍFICOS

Analisar a influência da incorporação de partículas de PEBD nas propriedades físicas dos painéis aglomerado.

Avaliar o efeito da utilização de diferentes proporções de partículas de polietileno de baixa densidade em substituição parcial às fibras de madeira de *Pinus spp.*

Avaliar as propriedades físicas dos painéis com fibras oversize provenientes de resíduos de uma planta de MDF.

4. METODOLOGIA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS FEIXES FIBRAS E DAS PARTÍCULAS DE PEBD

Os feixes de fibras de *Pinus sp.* foram cedidas pela empresa Sudati, unidade de Otacílio Costa/SC. Estes feixes de fibras são rejeitos da linha de produção de painéis MDF da empresa, normalmente utilizados como biomassa para sustentação energética. Por ser material retirado do processo produtivo os feixes de fibras já continham em sua composição resina e emulsão de parafina conferidos pela empresa, 12% e 0,5% respectivamente com base no peso seco. Conforme Figura 8C o comprimento destes feixes de fibras apresentavam-se com 10 mm de comprimento, semelhante a partículas, sendo esta dimensão bastante superior às obtidas pelo processo normal de desfibramento do *Pinus sp.*, que indicam fibras com comprimento da ordem de 3-4 mm

As partículas de PEBD foram obtidas da empresa Alcaplas Indústria de Plásticos Ltda. e possuíam dimensões que variaram de 3 a 4 mm, como observado na Figura 8B.

Figura 8: (A) Fibras de *Pinus spp.* e partículas de PEBD em conjunto; (B) aspecto dimensional das partículas de PEBD e (C) aspectos dimensionais dos feixes de fibras de *Pinus sp.*



Fonte: O autor (2014).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO ADESIVO SINTÉTICO

O adesivo sintético utilizado nesta pesquisa foi a ureia formaldeído (UF) proveniente também da empresa Sudati ao qual precisou determinar seu teor de sólidos para posterior cálculo das quantidades dos materiais para produção dos painéis.

O teor de sólidos da resina foi obtido através da homogeneização da solução, pesando-se 1,00 grama da amostra em balança analítica digital modelo AY220, obtendo-se então o peso úmido. Para alcançar o peso seco a amostra foi levada a estufa com 105°C ± 3°C por 15 horas, após esse tempo a amostra foi mantida em dessecador até resfriamento sendo então novamente pesada. O teor de sólidos da resina sintética foi calculado através da seguinte fórmula:

$$TS = PS/PU \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

TS = teor de sólidos em (%);

PS = peso seco em (g);

PU = peso úmido em (g).

4.3.DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo buscou produzir painéis aglomerado com densidade nominal de 650 kg. m⁻³, com diferentes proporções entre fibras de Pinus spp. e partículas de polietileno de baixa densidade. Deste modo, o plano experimental para a produção dos painéis aglomerado foi desenvolvido buscando relacionar 6 diferentes teores de fibras de madeira, com partículas de PEBD, conforme é demonstrado na tabela 6 e cada tratamento possuindo 3 repetições. O teor de resina ureia formaldeído foi de 12% com base na massa seca das fibras para todos os painéis.

Tabela 6. Plano experimental

Tratamento	Fibras de Pinus spp.	PEBD
T1	100 %	-
T2	90 %	10 %
T3	80 %	20 %
T4	70 %	30 %
T5	60 %	40 %
T6	50 %	50 %

4.4.CÁLCULO DA MATÉRIA PRIMA

Para o cálculo das fibras de madeira utilizadas para produção dos painéis foram conforme as equações matemáticas 2 e 3, destacando que as quantidades de materiais utilizados nesta pesquisa envolveram a adição de 20% a mais para fins de perdas durante o processo.

$$D = M/V \quad (2)$$

Onde,

D = densidade do painel a 12% de umidade (kg.m^{-3});

M = massa de fibras a 12% de umidade (kg);

V = volume do painel (m^{-3}).

Com o cálculo é possível obter a massa de fibras secas para confecção de painéis com 12% de umidade. Contudo, as fibras chegaram a 8% de umidade quando secas, o que leva a um novo cálculo para obter a quantidade de fibras neste teor de umidade, por meio da seguinte forma:

Em um painel com 12% de umidade tem-se:

100 partes de fibras a 0% de umidade;

12 partes de resina sólida;

12 partes de umidade.

TOTAL 124 partes, onde,

124 partes correspondem a M (massa de fibras a 12% de umidade).

Calcula-se a massa de fibras a 0% de umidade:

$$M_0 = (M \times 100)/124 \quad (3)$$

Onde,

M₀ = massa de fibras a 0% de umidade (g).

Com o cálculo do valor de M0 se torna possível calcular a massa de fibras que será necessário para qualquer teor de umidade, da seguinte forma:

$$Mn = (n/100 + 1) \times M0 \quad (4)$$

Onde,

Mn = massa de fibras a um determinado teor de umidade “n” (g);

n = teor de umidade das fibras pretendido (%).

O cálculo da quantidade de resina ureia formaldeído para teor de 12% com base no peso seco das fibras foi obtido através da equação 5, ressaltando que a porcentagem de adesivo foi calculado com base apenas na quantidade final de madeira empregada em cada tratamento e que nesse experimento não foi empregado o uso de emulsão de parafina.

$$AS = M0 \times 12/124 \quad (5)$$

Sendo,

AS = quantidade de resina na forma sólida (g).

Com uma regra de três simples é possível transformar a quantidade de resina em forma sólida para a massa em forma líquida, através da equação 6.

$$AL = AS \times 100/TS \quad (6)$$

Onde,

AL = quantidade de resina na forma líquida (g)

TS = teor de sólidos contido na resina líquida (%).

4.5. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

Os feixes de fibras passaram por processo de secagem em duas estufas com circulação e renovação de ar das marcas SP Labor e Cienlab a 80°C até atingir teor de umidade de 8%, a umidade foi determinada através de uma termobalança marca Uni Bloc modelo MOC63g ao qual se empregou 1,00 grama do material a 100°C.

Para a fabricação dos painéis, foram pesadas as quantidades de material, os feixes de fibras para cada tratamento, com os respectivos teores de PEBD nos tratamentos 2 ao 6 dos painéis, além da resina ureia formaldeído para cada painel.

Após pesagem as fibras de *Pinus* spp. foram dispostas internamente à encoladeira do tipo tambor rotativo com dimensões de 1,00 m de diâmetro com 0,75 m de comprimento marca Marconi modelo MA686 e com velocidade constante de 20 rotações por minuto. A aplicação de resina deu-se com auxílio de uma pistola dotada de copo graduado e ligada a um compressor de ar ao qual fez a pulverização durante tempo médio de 10 minutos para retirada total do adesivo do copo graduado.

Posteriormente, a massa de fibras com adesivo foi disposta em uma caixa formadora com dimensões de 400 mm x 400 mm para constituição do colchão de fibras. Para os tratamentos em que houve misturas entre fibras de madeira e plástico PEBD, o acondicionamento dos componentes aconteceu formando camadas intercaladas, ao passo que a massa de fibras foram acomodadas em 3 camadas iguais, sendo as mais externas e a central do colchão, enquanto as camadas intermediárias entre a massa fibrosa foram compostas pelo plástico PEBD. A razão pela escolha desta distribuição do material foi para que não houvesse contato direto do plástico com os painéis da prensa quente.

Neste momento do estudo houve uma pré-prensagem a frio com prensa hidráulica do colchão de fibras, a pressão aplicada foi de 4 kgf.cm^{-2} por cerca de 5 minutos. Essa pré-prensagem foi realizada para reduzir os espaços de ar entre as fibras e partículas, além da melhor acomodação do colchão para transporte até a prensa quente.

4.6.CICLO DE PRENSAGEM

Previamente, o colchão de feixes de fibras/partícula PEBD foi disposto entre duas lâminas de alumínio e também em suas bordas foram colocados espaçadores de 15 mm para delimitar a espessura do painel.

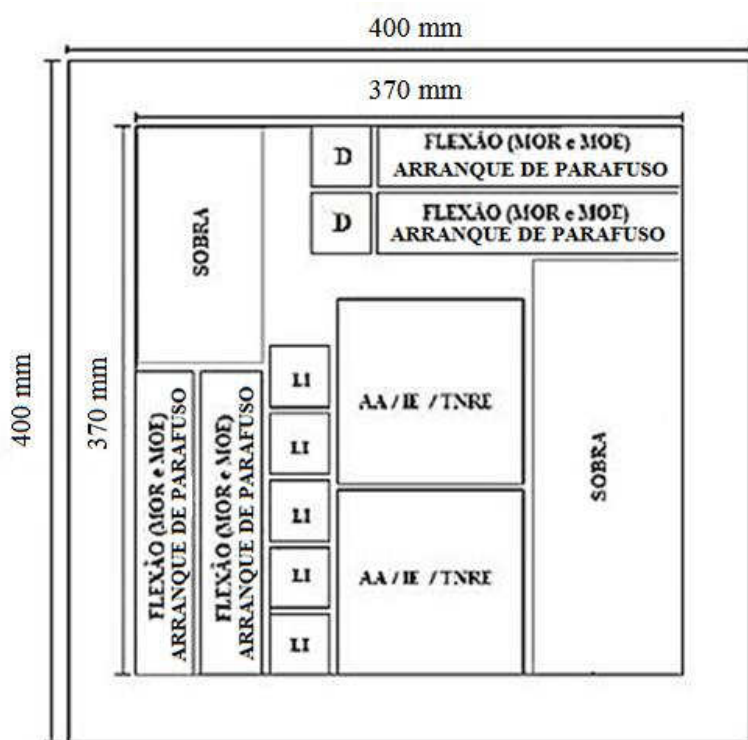
O ciclo de prensagem foi executado em uma prensa da marca Marconi modelo MA 098, aplicando-se pressão de 40 kgf.cm^{-2} com temperatura de 180°C por um período de tempo de 8 minutos.

Após a fabricação dos painéis para todos os delineamentos, os painéis foram mantidos em sala de climatização sob temperatura de 20°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar em 60% ($\pm 5\%$), até que os painéis atingissem massa constante.

4.7. RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA

Os painéis passaram por esquadrejamento, em que houve a remoção das bordas e ajuste das dimensões para 370 mm x 370 mm, e os painéis foram seccionados para a retirada dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos, e posterior avaliação de suas propriedades. O layout dos cortes seguiu conforme amostragem da figura 9. Totalizando 13 corpos de prova por painel, na tabela 7 estão dispostas as quantidades para cada ensaio específico para cada tratamento e as dimensões dessas amostras conforme a ASTM D1037 (1996) e DIN 53362 (1982). Os corpos de prova foram condicionados novamente em sala climatizada até atingirem peso constante e posteriormente foram destinados aos testes específicos de avaliação dos painéis.

Figura 9. Layout de retirada dos corpos de prova dos painéis.



LI: ligação interna (tração perpendicular); AA/IE/TNRE: Absorção de água/inchamento em espessura/taxa não retorno espessura; MOE/MOR: Modulo de elasticidade e ruptura, D: Densidade. Fonte: Adaptado de Mendes (2001).

Tabela 7. Quantidades e dimensões dos corpos de prova para cada ensaio específico em cada tratamento.

Ensaio	Quantidade	Dimensões (mm)
Absorção de água		
Inchamento em espessura	6	120 x 120
Densidade	6	50 x 50

4.8. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS

A avaliação das propriedades tecnológicas dos painéis produzidos com fibras de *Pinus spp.* e polietileno de baixa densidade envolveu os ensaios para determinação das propriedades físicas, uma vez que devido a contratempos em relação a máquina universal de ensaios não foi possível a realização dos testes mecânicos para esse estudo. As propriedades físicas compreenderam em densidade, espessura, razão de compactação, umidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas sob imersão em água.

Os ensaios para a determinação das propriedades avaliadas seguiram em conformidade com a norma americana ASTM D1037 (1996) e a norma brasileira da ABNT NBR 14810 (2006).

4.8.1. Determinação da densidade da madeira e do PEBD

Os feixes de fibras de madeira de *Pinus spp.* presentes na pesquisa não continham distinção entre espécies, sendo um material homogêneo entre *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, contudo a determinação da densidade da madeira adotou o estudo de Gorski (2014) como parâmetro diferenciado a para definição da densidade através da média encontrada por diferentes autores.

Para densidade do polietileno de baixa densidade se utilizou uma média da faixa definida como baixa densidade pela norma americana ASTM 1248 (1989).

4.8.2. Densidade e espessura dos painéis

A determinação da espessura dos corpos de prova foi realizada com auxílio de um paquímetro digital, com resolução de 0,1 mm, ao qual se mediu a espessura no ponto central das amostras. Os valores de comprimento e de largura foram obtidos utilizando o paquímetro digital. As amostras foram pesadas em balança analítica com resolução de 0,1 g, com os dados de peso sendo devidamente anotados.

O cálculo da densidade é descrito conforme a equação 7, o resultado é a média das amostras, sendo como unidade $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$D = M/V \times 1000\ 000 \quad (7)$$

Sendo:

$$V = L \times C \times E \quad (8)$$

Onde:

D = Densidade do corpo de prova;

M = Massa do corpo de prova;

V = Volume;

L = Largura;

C = Comprimento; e

E = Espessura.

4.8.3. Teor de umidade

Para o teor de umidade os corpos de prova foram pesados individualmente em balança analítica para obtenção dos dados de massa úmida, com os valores devidamente anotados se prosseguiu para secagem. As amostras foram levadas a estufa e mantidas a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até obterem massa constante. Após esse período as amostras foram retiradas e mantidas em dessecador até o resfriamento, a massa seca anotada após pesagem em balança analítica.

O teor de umidade dos corpos de prova dos tratamentos foram arranjados seguindo a fórmula 9, em valores de porcentagem.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

U = Teor de umidade;

MU = Massa úmida (em gramas); e

MS = Massa seca.

4.8.4. Absorção e inchamento

A identificação dos corpos de prova foi realizada com lápis cópia, após se procedeu com as determinações e anotações dos dados referentes à medição da espessura no centro do corpo de prova e sua massa determinada em balança.

As amostras foram submersas em água, após 2 horas e também 24 horas os corpos de prova foram retirados, com auxílio de papel toalha foi removido o excesso de água para se proceder novamente com a obtenção dos novos dados de espessura e peso.

Para se alcançar as porcentagens de inchamento em espessura e absorção de água foram utilizadas as equações 10 e 11, respectivamente.

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

I = Inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem;

E1 = Espessura do corpo de prova após período de imersão; e

E0 = Espessura do corpo de prova antes da imersão.

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

A = Absorção de água em porcentagem;

M1 = Massa do corpo de prova após imersão; e

M0 = Massa do corpo de prova antes da imersão.

4.8.5. Comparação dos dados

As médias adquiridas dos dados de todos os ensaios foram comparados com as normas de qualidade, os valores de absorção de água, inchamento em espessura foram comparados com a ANSI A208.1 (2009) e com a ABNT NBR 14810 (2006).

4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado nesta pesquisa foi o inteiramente casualizado, a distribuição da normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias foi analisada aplicando-se o teste de Bartlett.

Com os pressupostos atendidos cada variável resposta foi submetida à análise de variância, decorrendo rejeição da hipótese de nulidade (H0) realizou-se o teste de médias de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Com os pressupostos não atendidos a variável passou por transformação dos dados para então posterior avaliação da homogeneidade de variâncias e normalidade dos mesmos, mesmo após a transformação os pressupostos não sendo atendidos aplicou-se o uso de estatística não paramétrica por meio do teste de Kruskal Wallis.

O processamento dos dados foi realizado com os softwares livres Assistat na versão 7.7 beta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TEOR DE SÓLIDOS DA RESINA UREIA FORMALDEÍDO

A média do teor de sólidos da resina ureia formaldeído obtidos nesta pesquisa ficou em 66%, esse valor está em conformidade com valores médios do estudo de Albuquerque et al. (2005) inferiu que o conteúdo de sólidos da resina uréica deve estar entre 60 e 70%. Valores de teor de sólidos expostos por Eleotério (2000) para resina ureia formaldeído comercializada pela empresa Duratex S.A. apresentaram-se em 66%, o que corrobora para que os dados obtidos para essa variável estejam em conformidade com médias comerciais para esse adesivo.

5.2. DENSIDADE DA MADEIRA E DO PEBD

Para o cálculo da densidade da madeira foi realizada busca em literatura especializada (Tabela 8), proposto por Gorski (2014).

Tabela 8: Valores de densidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Espécie	Densidade (kg.m ⁻³)	Idade (anos)	Procedência	Autor (ano)
Pinus taeda	311	6	Lages/SC	HIGA et al. (1973)
	331	7	Lages/SC	HIGA et al. (1973)
	436	10	Ventania/PR	IWAKIRI et al. (2001)
	400	11	Jaguariaíva/PR	MENDES (2001)
	366	13	Lages/SC	HIGA et al. (1973)
	475	30	Pinhais/PR	SALDANHA (2004)
	500	35	Jaguariaíva/PR	SURDI (2012)
Pinus elliottii	500 a 560	Idades avançadas	-	CARPANEZZI et al. (1986)
	319	7	Lages/SC	HIGA et al. (1973)
	326	9	Lages/SC	HIGA et al. (1973)
Média	399			

Fonte: Adaptado de Gorski (2014)

Os valores médios de densidade da madeira encontrados ficaram no intervalo de 311 a 560 kg.m⁻³, com a média para o cálculo de razão de compactação em 399 kg.m⁻³ o que segundo Melo et al. (1990) classifica esta espécie como madeira de baixa densidade, devido estar no intervalo abaixo de 500 kg.m⁻³.

Conforme citado por Maloney (1989) a densidade da madeira utilizada para produção de painéis aglomerado fica na faixa de 300 a 500 kg.m⁻³. Nesta faixa é possível que, com a prensagem, obtenha-se média densidade com um bom contato entre fibras, garantindo a colagem (ELEOTÉRIO, 2000).

A faixa de baixa densidade para o polietileno definido pela ASTM 1248 (1989) fica entre 910 kg.m^{-3} e 925 kg.m^{-3} , a média desse intervalo é $917,5 \text{ kg.m}^{-3}$, valor este utilizado para posterior cálculo da razão de compactação juntamente com a porcentagem de plástico na composição dos painéis em cada tratamento.

5.3.DENSIDADE, ESPESSURA E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO DOS PAINÉIS

Os valores médios encontrados para as propriedades de densidade e espessura estão apresentados na tabela 9, juntamente com os respectivos coeficientes de variação. Pelos valores expostos é possível observar uma variação da densidade de 574 kg.m^{-3} (T1) até 676 kg.m^{-3} (T6) e oscilação das médias em espessura dos painéis de 15,40 mm (T6) até 15,92 mm (T5).

Tabela 9: Valores médios de densidade e espessura.

Tratamento	Densidade		Espessura	
	(kg.m^{-3})	CV (%)	(mm)	CV (%)
T1	574 b*	5,45	15,83 a	0,82
T2	624 b	2,27	15,74 a	1,01
T3	586 b	5,40	15,90 a	2,47
T4	644 a	5,83	15,68 a	0,88
T5	612 b	10,01	15,92 a	5,50
T6	676 a	7,72	15,40 a	3,18
Média	619		15,75	
CV (%)	6,61		2,87	

*Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

As médias de densidade dos painéis obtiveram diferença estatística entre os tratamentos, sendo que os tratamentos T4 e T6 compostos por 30% e 50% de PEBD respectivamente, foram os que alcançaram valores mais próximos à densidade nominal calculada de 650 kg.m^{-3} , o T5 apesar de possuir 40% de PEBD não se diferenciou dos demais tratamentos estatisticamente, vale ressaltar que o percentual do coeficiente de variação deste tratamento auferiu o maior valor dentre todos os demais chegando a 10,01%.

Conforme relatado por Iwakiri et. al. (2005) essa redução da densidade nominal pode ser atribuída principalmente às perdas de materiais durante as fases de retirada das partículas da encoladeira, formação do colchão e carregamento da prensa, mesmo considerando-se um acréscimo em massa conforme a presente pesquisa.

Essa diferença também pode ser imposta pela especificidade da condição laboratorial em relação ao processo industrial em que uma distribuição não homogênea das fibras de *Pinus spp.* e das partículas de PEBD, no momento da formação do colchão, podem influenciar a variável

densidade inclusive dentro de um mesmo painel. Esta condição pode ser considerada normal no processo de pesquisa de novos produtos com matrizes fibrosas e poliméricas distintas.

A norma brasileira vigente (ABNT NBR 14810 – 2006) define painel de média densidade entre 551 kg.m^{-3} e 750 kg.m^{-3} , onde todos os painéis produzidos podem ser classificados com de média densidade (MDP).

Segundo Souza et. al. (2012), de modo geral os painéis aglomerado são confeccionados no intervalo de 400 kg.m^{-3} a 800 kg.m^{-3} , corroborando com os valores determinados para os diferentes tratamentos.

Os valores médios obtidos para variável espessura dos painéis não se obteve diferença estatística entre os tratamentos, mesmo para T1 que é composto por 100% de fibras não diferenciou estatisticamente dos demais painéis. Os valores médios de espessura dos painéis não diferirem estatisticamente corroboram para a ideia de não interferência da espessura sobre a densidade adquirida dos painéis e sim para as especificidades laboratoriais presentes na pesquisa.

No entanto, todas as médias em espessura resultaram em valores acima dos espaçadores de 15 mm utilizados no processo de prensagem dos painéis. Esse fato pode ter sido influenciado pela umidade das fibras utilizadas no experimento.

Conforme descrito por Belini (2012) a espessura é um parâmetro relacionado com a umidade do colchão na fase anterior à sua prensagem. A importância do teor de umidade do material durante o ciclo de prensagem, conforme descrito por Trianoski (2010), deve-se a influência que este exerce sobre a resistência da madeira a compressão. Teores de umidade elevados tornam as partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura (WEBER, 2011).

Devido os feixes de fibras de *Pinus spp.* utilizadas no estudo ter como procedência o processo produtivo de painéis MDF e em sua composição já existem resina e emulsão de parafina, o que dificultou a secagem das fibras a valores abaixo de 8%, percentual este acima do recomendados por Moslemi (1974) citado por Albuquerque et al. (2000) que indicam valores percentuais de 3 a 6% do colchão para produção de painéis. Este fato, aliado ao espaçamento do colchão no momento de fechamento da prensa, podem ter colaborado para que a espessura nominal dos painéis ficasse em dimensões acima dos espaçadores utilizados na prensagem.

Maloney (1993) considera a faixa ideal para razão de compactação entre 1,3 e 1,6 para que se possa atingir o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final. Os valores médios de razão de compactação efetiva dos painéis produzidos podem ser analisados na tabela 10, ao qual demonstra o valor mínimo de 1,01 para o T5 e o valor máximo de 1,44 para o T1 desta variável.

Tabela 10: Valores médios de razão de compactação

Tratamento	Razão de Compactação	CV (%)
T1	1,44 a*	5,45
T2	1,38 a	2,07
T3	1,17 b	4,93
T4	1,16 b	5,32
T5	1,01 c	9,14
T6	1,03 c	7,05
Média	1,20	
CV (%)	6,09	

*Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

As médias para a variável razão de compactação nos tratamentos T1 e T2 não diferiram entre si e foram as únicas médias que se adequaram ao intervalo ideal definido por Maloney (1993). As demais médias ficaram abaixo dessa faixa, onde os tratamentos T3 e T4 não diferenciaram entre si, enquanto para T5 e T6 também não houve diferença entre tratamentos.

Com o exposto pode-se notar que conforme há a adição de plástico na formação do painel a tendência é que a razão de compactação sofra diminuição, isso se deve ao fato da densidade elevada do polietileno se comparado a densidade da madeira e com o aumento da proporção desse material de maior densidade no painel.

A partir da adição de mais que 10% de PEBD (T2) a razão de compactação não alcança a faixa estabelecida pela literatura, o que não se torna uma característica tão interessante, tendo em vista que será necessário maior quantidade de material mais denso para produção da mesma quantidade de volume de painel. A razão de compactação também está intimamente ligada às propriedades mecânicas dos painéis uma vez que são inversamente proporcionais.

Além disso, com a razão de compactação obtendo valores baixos faz com que, segundo Mendes (2001), haja necessidade de alteração de variáveis do processo, como aumentar o percentual de resina, o que acarreta aumentos nos custos de produção dos painéis.

5.4. TEOR DE UMIDADE

Os teores de umidade dos painéis após passarem por período de estabilização da massa estão expostos na tabela 11 juntamente com seus respectivos percentuais de coeficientes de variação, os valores médios ficaram entre 9,16 % para o tratamento T1 e 4,72% para o tratamento T6. Esses valores ficaram abaixo do valor de equilíbrio da umidade de 12%.

Tabela 11: Valores médios de umidade

Tratamento	TU (%)	CV (%)
T1	9,16 a*	1,86
T2	8,18 b	2,16
T3	7,18 c	5,78
T4	6,43 d	6,18
T5	6,00 d	21,18
T6	4,72 e	9,24
Média	6,94	
CV (%)	8,70	

*Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A análise de variância demonstrou que o teor de umidade de equilíbrio dos painéis foi influenciado pelos tratamentos, todas médias de umidade foram diminuindo conforme a porcentagem de plástico aumentou entre os tratamentos, a exceção são os tratamentos T4 e T5, respectivamente com 30% e 40% de PEBD, que não diferiram estatisticamente entre si.

A ocorrência desse comportamento dos painéis à umidade acontece em decorrência da propriedade hidrofóbica dos termoplásticos em relação à água, o PEBD diminui a absorção de água causando menores porcentagens de teores de umidade dos painéis.

O estudo de Oliveira et al (2010) com aglomerado produzidos a partir de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* com polietileno de baixa densidade nas proporções 80% madeira com 20% PEBD e 60% madeira com 40% PEBD apresentaram umidades de 10,35% e 7,78%, respectivamente. Esses valores se apresentaram acima do apresentado nesta pesquisa, porém esta variação pode consistir na diferença de espécies utilizadas.

No entanto, estudos de Milagres (2004) de painéis produzidos com diferentes espécies de *Eucalyptus* e PEBD comprovam essa diminuição da umidade conforme ocorre aumento de PEBD na composição do painel. O autor produziu painéis compostos por 75% de madeira e 25% de PEBD apresentaram umidade de 6,38% e painéis com composição de 50% madeira e 50% PEBD ficaram com umidade de 4,34%.

Além disso, os valores observados por Milagres (2004) também comprovam que os valores obtidos neste trabalho são compatíveis entre as duas pesquisas, levando em consideração a porcentagem de PEBD de 50% na constituição dos painéis deram origem a médias percentuais próximas de 4,34% e 4,72%, respectivamente.

A adição e o aumento no teor de resina termoplástica diminuiram a porcentagem de umidade de equilíbrio dos painéis, o que é uma característica interessante, uma vez que a mudança excessiva no teor de umidade pode ocasionar fendas ou empenamentos em painéis (MILAGRES, 2004).

A ABNT com a NBR 14810 estipula valores de umidade dos painéis não devem ser menores que 5% e maiores que 11%. Nessa faixa apenas o tratamento T6 não se enquadra nos parâmetros de umidade estabelecidos pela norma brasileira.

Comparando os valores de umidade da pesquisa de Weber (2011) que gerou resultados a partir de painéis feitos 100% com resíduos de MDF chegando a 7,42% para essa variável, ficando abaixo do valor encontrado para o T1 (9,16%) composto por 100% de fibras.

5.5.ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados médios do ensaio de absorção de água em 2 horas e 24 horas e seus específicos coeficientes de variação estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12: Valores médios de absorção de água em 2 e 24 horas.

Tratamento	AA 2h	CV	AA 24h	CV
	(%)			
T1	50,22 a*	37,54	80,32 a	22,91
T2	64,11 a	17,55	83,88 a	9,35
T3	55,25 a	60,42	73,72 a	33,28
T4	65,50 a	16,40	76,99 a	12,26
T5	66,94 a	26,24	74,32 a	22,27
T6	45,25 a	10,70	51,77 b	8,07
Média	57,88		73,50	
CV (%)	15,53		20,65	

*Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os valores encontrados para absorção em 2 horas variaram de 45,25% (T6) até 66,94% (T5). Apesar da variação percentual, estatisticamente os tratamentos não exerceram influência sobre essa propriedade dos painéis.

Contudo foram observados valores altos para essa característica dos painéis se comparados a Milagres (2004), que em painéis aglomerado com 75% madeira e 25% PEBD chegaram a 15,33% ao mesmo tempo em que painéis com 50% madeira e 50% PEBD se obteve 9,41% de absorção de água em 2 horas.

Painéis industriais e laboratoriais de Pinus do estudo de Souza et al. (2012) apresentaram absorção de água em 2 horas de 14,48% e 21,26%, respectivamente. Valores abaixo dos

encontrados para os painéis produzidos com 100% de madeira (T1) que se observou média de 50,22% para esse aspecto de qualidade.

As médias de absorção de água em 2 horas encontradas por Ferreira (2010) para painéis MDF chegaram a 9,50%, percentual muito abaixo dos valores encontrados neste experimento.

Para as médias de absorção em 24 horas a variação ficou entre 51,77% (T6) e 83,88% (T2), de acordo com a análise de variância se obteve diferenças do tratamento T6 em relação aos demais tratamentos, isso demonstra que apenas variando 50% de PEBD disposto no painel trará benefícios na absorção de água depois de 24 horas.

Contudo, o tratamento T6 não alcançou percentual de absorção equivalente ao experimento de Milagres (2004), em que o painel com 50% de madeira e 50% de PEBD se atingiu 20,31% em absorção. Além dos painéis com 75% madeira e 25% PEBD que absorveram depois de 24 horas 34,32% em relação à massa, todos os tratamentos ficaram acima desta porcentagem.

O tratamento T1 chegou também a nível alto de absorção mesmo não contendo PEBD em sua composição, seguindo a linha dos demais tratamentos. Comparando com médias do experimento de Souza et al (2012) com painéis industriais atingiram 49,55% enquanto os laboratoriais chegaram a 66,46%. No entanto Ferreira (2010) nos painéis MDF alcançaram 38,50% de absorção após as 24 horas.

O fato dos valores médios altos em comparação a outros experimentos pode ter advindo à utilização de uma segunda emulsão de parafina no momento de confecção dos painéis dos outros estudos, já que os resíduos utilizados neste experimento já continham a emulsão em sua formação, sendo um material heterogêneo em percentual de parafina na composição e não usou-se a emulsão no momento de confecção dos painéis.

O estudo de Guimarães Junior et al (2013) chegou a resultados que a absorção de água em 2 horas o aumento de 1% de parafina na produção de painéis promove uma redução de aproximadamente 47% na absorção de água, já para absorção de água em 24 horas esta redução passa para 24% a cada aumento de 1% de parafina na produção de painéis.

Os resultados do mesmo autor para painéis de Pinus oocarpa sob diferentes teores de parafina chegaram a percentuais parecidos com o tratamento T1 deste experimento com 0% e 0,5% de aplicação de parafina. Os valores para 0% de teor emulsão de parafina ficaram em 116,05% e 120,47% para 2 horas e 24 horas de absorção respectivamente, já com 0,5% de parafina em 2 horas absorveu 54,61% e em 24 horas a absorção foi de 75,87% com relação sua massa.

5.6. INCHAMENTO EM ESPESSURA

Os dados médios para inchamento em espessura (Tabela 13) dos diferentes painéis com diferentes tratamentos variaram em 2 horas de 8,07% para o tratamento T3 até 12,71% para o tratamento T1. Os valores médios em inchamento após 24 horas de imersão em água ficaram na faixa de 15,46% do tratamento T1 até 9,91% do tratamento T4.

Tabela 13: Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão

Tratamento	IE 2h	CV	IE 24h	CV
T1	12,71 a*	20,98	15,46 a	17,00
T2	11,65 a	19,58	13,52 a	16,95
T3	8,07 b	32,03	10,65 b	11,08
T4	9,19 b	22,23	9,91 b	20,15
T5	9,73 b	3,63	10,00 b	5,48
T6	10,32 b	13,53	10,60 b	19,74
Média	10,28		11,69	
CV (%)	19,96		16,46	

*Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Contudo, a análise estatística constatou que em 2 horas de imersão os tratamentos T1 e T2 diferenciaram-se dos demais, enquanto não houve diferença entre si no restante dos tratamentos (T3, T4, T5 e T6). Com o exposto nota-se que os painéis produzidos com mais que 20% de plástico beneficiou melhorando a propriedade de inchamento após a submersão por 2 horas em água.

Comparando os resultados obtidos para esta variável Souza (2012) observou que painéis de Pinus confeccionados em laboratório chegaram a 21,26%, enquanto painéis industrializados esse valor ficou em 14,48%. Esses valores indicam que mesmo painéis produzidos de modo industrial mantém inchamento superior aos painéis produzidos neste experimento. Contudo painéis MDF produzidos por Ferreira (2010) apresentaram inchamento menor que este estudo com 4,27%. Com 12,71% de inchamento na dimensão espessura o painel com 100% de fibras adquiriu porcentagem inferior aos comparados, exceto para o MDF.

O painel de Milagres (2004) equivalente a 50% de madeira e 50% de PEBD chegou a 6,04% de inchamento, valor inferior ao tratamento T6 deste estudo. Já para o painel com 75% madeira 25% plástico do mesmo autor atingiu o percentual de inchamento de 9,30% deixando os valores dos dois experimentos semelhantes quando comparados.

Comparando com a literatura pode-se citar Oliveira (2010) com painéis fabricadas com 80% madeira e 20% PEBD e também com 60% madeira e 40% PEBD ao qual constatou inchamento em 2 horas médias percentuais de 1,55% e 1,57%, respectivamente. Relacionando os trabalhos nota-se médias altas dos tratamentos T3 com 8,07% e T5 com 9,73%.

O inchamento em espessura em 24 horas reparou-se comportamento semelhante aos dados de inchamento em 2 horas. No teste de médias os tratamentos T1 e T2 apresentaram os piores resultados, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si.

Painéis MDF de diversas empresas avaliadas por Torquato (2008) apresentaram valores máximos de inchamento em 7,79% após imersão em 24 horas, nenhum dos tratamentos propostos alcançou percentual próximo a esses painéis comerciais. Entretanto, Ferreira (2010) com MDF produzido em laboratório chegou a 9,72% de inchamento, porcentagem semelhante aos propostos pelos tratamentos T3, T4, T5 e T6.

Painéis de Eucalyptus e polietileno de baixa densidade com proporção 75% Eucalyptus e 25% PEBD de Milagres (2004) apresentaram 15,66% de inchamento na espessura do painel, enquanto os painéis de 50% Eucalyptus e 50% polietileno ficou com inchamento 8,03%. Demonstrando o mesmo comportamento em relação ao aumento da proporção de PEBD no painel de madeira reconstituída, mostrando proporções de inchamento semelhantes entre os estudos.

Comparando os dados de inchamento em espessura após 2 horas com os dados após 24 horas de submersão observou-se que o inchamento teve aumento de modo proporcional entre os tratamentos, sendo que essa proporção se tornou menor conforme a quantidade de PEBD aumentou nas painéis de madeira reconstituída.

A norma americana ANSI A208.1 (2009) não estipula um parâmetro de inchamento em espessura após 2 horas de imersão, apenas que esse inchamento não pode ultrapassar a marca de 40% no aumento dessa espessura após 24 horas de submersão em água, com isso a todos os tratamentos alcançaram esse parâmetro de inchamento da norma.

De acordo com a norma ABNT NBR 14810 (2006), o inchamento máximo permitido é de 8% para 2h, sendo que todos os tratamentos não se enquadraram neste quesito, que com a continuidade das pesquisas pode ser contornado com a adição de emulsão de parafina, que é um agente hidro-repelente e corrobora com os resultados do item 5.5.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da confecção e avaliação das propriedades físicas de painéis aglomerado produzidos com feixes de fibras de madeira de *Pinus spp.* em mistura com polietileno de baixa densidade, em diferentes proporções para ambas matérias primas, pode-se tecer as seguintes considerações finais:

Com essa pesquisa foi possível evidenciar que a utilização de feixes de fibras de *Pinus spp.* residuais da linha de produção de MDF e o polietileno de baixa densidade tem potencialidade para originar painéis de aglomerado devido a fatores como: maior controle da espessura do painel facilitado pelo material já conter resina em sua composição; adição de menores quantidades de PEBD permitem que a razão de compactação se mantenha dentro dos parâmetros estabelecidos pela literatura; a umidade final do painel ficou dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma vigente, além da proporção de plástico intimamente diminuir o percentual desta variável; e finalmente pelo menor inchamento em espessura dos painéis após imersão em água proveniente da propriedade hidrofóbica do termoplástico.

Esta potencialidade evidencia o pertinente uso de materiais de difícil degradação, como resíduos plásticos, em matrizes lignocelulósicas utilizadas em produtos de maior valor agregado, como os painéis aglomerado.

Para o teor médio de umidade nos tratamentos observou-se que, conforme houve aumento na proporção de PEBD no painel, diminuiu sua umidade de equilíbrio. Esses valores ficaram inferiores se comparados a literatura, o que é desejável para a melhora de qualidade dos painéis.

A exceção são as médias para o percentual de absorção de água, tanto em 2 horas quanto a 24 horas, que se observaram valores altos se comparados a outros autores. Somente o painel com 50% de feixes de fibras e 50% de polietileno na absorção de água após as 24 horas apresentou as melhores características.

Para o inchamento em espessura, em 2 horas e 24 horas, as médias seguiram a mesma tendência de melhorar a qualidade da variável a partir dos tratamentos em que houve incremento de mais de 30% de PEBD no painel de madeira.

Há possível do aumento de dosagem de agente repelente de umidade para adequação dos quesitos físicos de inchamento e absorção, no caso de continuidade de pesquisas.

7. RECOMENDAÇÕES

A partir das considerações finais, indica-se as seguintes recomendações:

Complementar as propriedades físicas através da determinação de análises mecânicas dos painéis, para que se possa avaliar todas as propriedades tecnológicas dos painéis produzidos e indicar a real viabilidade de uso deste novo produto reconstituído.

Propor tratamentos com aumento da dosagem de resina UF, visando contribuir para melhora de quesitos tecnológicos.

Possivelmente, avaliar novas granulometrias de partículas de PEBD, visando melhorar sua interface com a matriz de feixes de fibras de Pinus sp.

8. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – 1** –Painéis de Partículas de Média Densidade – Parte 1 – Terminologia. 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – 2** –Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – 3** –Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316**: painéis de fibra de média densidade. Rio de Janeiro, 2006. 48 p.
- ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: **FUPEF**, 2005. p. 1-30.
- ALBUQUERQUE, C.E.C.; PIO, N, S.; IWAKIRI, S.; TOMASELLI, I.; KEINERT JÚNIOR, S. Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada. **Floresta e ambiente**, v. 7, n. 1, p. 121 - 128, 2000.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D-1037: **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials**. Annual Book of ASTM standards, p.1-30, Philadelphia, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM 1248: **Standard specification for polyethylene plastics molding and extrusion materials**. Philadelphia, 1989.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD - ANSI/A **Mat-formed wood particleboard**: Specification. ANSI/A 208.1 - 1993. National Particleboards Association,2009. 9 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **MDF - Medium Density Fiberboard - Painéis de Fibras de Média Densidade**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php>>. Acesso em: 25.02.2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. **Anuário Estatístico da ABIPLAST 2012** – Ano base 2012. São Paulo, 2013, p. 37.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013** – Ano base 2012. Brasília, 2013.

BACHA, C. J. C. O uso de recursos florestais e as políticas econômicas brasileiras – uma visão histórica e parcial de um processo de desenvolvimento. **Est. econ.**, São Paulo, V. 34, N. 2, p. 393-426, abr-jun 2004.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES setorial**, p. 49-90, Rio de Janeiro, 2013.

BELINI, U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF.** 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2012.

BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, Eucalyptus grandis, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, Saccharum sp.** 2012. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2012.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, Rio de Janeiro, LTC, 2002.

CARPANEZZI, A. A.; FERREIRA, C. A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I. S.; STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; MONTAGNER, L. H.; RAUEN, M. de J.; CARVALHO, P. E. R.; SILVEIRA, R. A.; ALVES, S. T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná.** (Documentos, 17). Embrapa: CNPF. 1986.

CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E. R.; REIS, A.; VIEIRA, A. R. R.; ROTTA, E.; STURION, J. A.; RAUEN, M. J.; SILVEIRA, R. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, 1988.

CHIPANSKI, E. R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil.** 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Ficha de informação tecnológica:** formaldeído. 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/formaldeido.pdf>. Acesso em: 03.05.2014.

COSTA, L. T.; CARMO, D. F.; MAGALHÃES, F.; PEREIRA, C. C. N.; BIASSETO, K.; BATISTA, C.; MENEZES, A. G. T.; SANTOS, W. W.; CAIS, T. Caracterização e Percepção Ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos nas Diferentes Classes Sociais no Município de Alfenas MG. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 5, p. 1-13, 2012.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

ELEOTÉRIO, J.R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Ciência e Tecnologia de Madeiras – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FACCIO, M. E. R.; **Importância do gênero Pinus spp. para o setor madeireiro no Brasil**. 2010. 61 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia industrial madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Yearbook. 2013. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>> Acesso em 02.05. 2014.

FERREIRA, E. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de Acácia Negra**. 2010. 212 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GORSKI, L. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de Pinus spp. e Eucalyptus benthamii MAIDEN ET CAMAGE em diferentes combinações**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MELO, R. R.; GUIMARAES, B. M. R. Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de madeira de Pinus oocarpa. **Ciência da Madeira**, v. 04, p. 72-82, 2013.

HADJICHRISTIDIS, N.; LOHSE, D.J. & MENDELSON, R.A. Well-defined, model long chain branched polyethylene. **Macromolecules**, v. 33, p.2424 – 2436, 2000.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de P. elliotii var. elliotii e P. taeda. **IPEF**, n.7, p.79-91, 1973.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído.** 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=45> Acesso em: 17.04.2014.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, WORLD HEALTH ORGANIZATION – IARC. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. **International Agency for Research on Cancer.** Geneva. Vol. 29, pp. 345-389. Supplement 7, p. 211-216, 2004.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; KINERT, S. J.; MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Painéis de madeira. **FUPEF**, Curitiba, 2002.

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

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. de C. O.; GUI SANTES, F. de P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n. 68, p. 39-43, 2005.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, 2002.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. **San Francisco: Miller Freeman**, 1989. 672 p.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. **Miller Freeman Inc.**, p. 689, San Francisco, 1993.

MATTOS, R. L. G. GONÇALVES, R. M. CHAGAS, F. B. Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectiva. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008. Rio de Janeiro, 2008.

MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v.3, p.695-699.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C.; JÚNIOR, J. B. G. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MILAGRES, E. G. **Compósitos de partículas de madeira de Eucalyptus grandis, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade**. 2004, 84 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. v. 1, p. 244.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. DIN 52362. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength**. 40p Berlin, 1982.

OLIVEIRA, F. V.; VITAL, B. R.; SILVA, J. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S. Efeito da acetilação das partículas de madeira de Eucalyptus grandis e da inclusão de partículas de polietileno e de embalagens cartonadas nas propriedades de chapas de aglomerado. **Árvore**, vol.34, n.5. 2010.

PARK, B.; RIEDL, B.; KIM, Y. S. Anatomical characteristics of wood fibers for medium density fiberboard (MDF) manufacture. In.: Pacific Regional Wood Anatomy Conference, 4, 1998. **IAWA Journal**, v.19, n.4, p.472, 1998.

PEDROSA, A. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Produção de vigas estruturais em perfil “T” com painéis de madeira reconstituída de Pinus taeda L. e Eucalyptus dunnii Maiden. **Floresta**, v. 35, n. 3, set./dez. Curitiba, 2005.

PEREIRA, R. A.; MANO, E. B.; DIAS, M. L.; ACORDI, E. B. **Polymer Bulletin**. V. 38, p.707, 1997.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Portaria nº 009 de 08 de Fevereiro de 2012. **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM**, Porto Alegre, 2012.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n.3, p. 571 - 576. 2009.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília. SBF: **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. 188p. 2013.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus (Espécies)**. Embrapa, novembro de 2005, disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/apresentacao.htm>> Acesso em:25/04/2014.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Embrapa Florestas, Colombo, 2008.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A.R. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/ RJ, v.15, n. 1, p. 7-20, jan./abr. 2013.

SIMULA, M. Trade and environmental issues in forest production. In: KEIPI, Kari (Editor), **Forest resource policy in Latin America**. Washington D.C.: Inter-American Development Bank, p.195-230, 1999.

SMITH, D. C.; The generation and utilization of residuals from composite panel products. **Forest Products Journal**, v. 54, n.2, p. 8-17, fev. 2004.

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**, v. 8, n. 4, 2012.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* X *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2012. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – ESALQ, Piracicaba, 2012.

TEREZO, E. F. M.; DE OLIVEIRA, M. V. M. **Comercialização de produtos madeireiros da Amazônia, 1999-2000**. Edições IBAMA. Brasília, 2002.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** 2010. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A. S.; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero Pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, set./dez. Curitiba, 2007.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados.** 2013. 44 f. Projeto de pesquisa (Graduação) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília 2013.

9. ANEXOS

9.1. ANÁLISES DE VARIÂNCIA

Variável: Densidade

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	42163.80556	8432.76111	5.0358	**
erro	30	50236.50000	1674.55000		
Total corrigido	35	92400.30556			

Variável: RC

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	0.94801	0.18960	35.7404	**
erro	30	0.15915	0.00531		
Total corrigido	35	1.10716			

Variável: Umidade

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	75.57303	15.11461	41.4134	**
erro	30	10.94907	0.36497		
Total corrigido	35	86.52210			

Variável: Absorção em 2 horas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	2424.38079	484.87616	1.4236	ns
erro	30	10218.30897	340.61030		
Total corrigido	35	12642.68976			

Variável: Absorção em 24 horas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	3834.91328	766.98266	3.3286	*
erro	30	6912.65975	230.42199		
Total corrigido	35	10747.57303			

Variável: Inchamento em 2 horas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	85.14629	17.02926	4.0461	**
erro	30	126.26298	4.20877		
Total corrigido	35	211.40928			

Variável: Inchamento em 24 horas

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	155.50670	31.10134	8.3994	**
erro	30	111.08400	3.70280		
Total corrigido	35	266.59070			