

Mauricio Bacci Borenstain

**COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE *Pinus*,
Eucalyptus E POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
JUNHO-2014

Mauricio Bacci Borenstain

**COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE *Pinus*,
Eucalyptus E POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de Engenharia Florestal.

APROVADA: 27 de Junho de 2014

Carla Priscilla Távora Cabral
(Coorientadora)

Angélica de Cássia O. Carneiro
(Coorientadora)

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Aos meus Pais, Irmãos e Família, os quais sempre me apoiaram e me deram forças e oportunidades para crescer em todos os sentidos.

Meus amigos e amigas de Viçosa e do mundo, pela força, companhia e amizade.

A todos do Laboratório de Energia e Painéis de Madeira (LAPEM), pela ajuda e oportunidade de realização deste trabalho.

A Carla Priscila Távora Cabral, a qual me acompanhou e ajudou imensamente neste trabalho.

Aos Professores Benedito Rocha Vital e Angélica de Cássia O. Carneiro, pelos ensinamentos.

BIOGRAFIA

Mauricio Bacci Borenstain nasceu em 18 de Novembro de 1990, em São José dos Campos, São Paulo.

Em 2007, concluiu o 2^o grau no Colégio Cariza, em Porto Seguro, Bahia.

Em 2008, iniciou o curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, e em 2011 transferiu de curso para Engenharia Florestal na mesma instituição de ensino, sendo que o mesmo será concluído em Janeiro de 2015.

CONTEÚDO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Resinas Termoplásticas.....	4
2.1.1	Polietileno (PE).....	4
2.1.2	Polietileno de Alta Densidade (PEAD).....	4
2.1.3	Reciclagem do PEAD.....	6
2.2	Painéis Aglomerados.....	8
2.2.1	Definição.....	8
2.2.2	Histórico.....	8
2.2.3	Compósito Plástico-Madeira.....	8
2.2.4	Emprego dos Compósitos Plástico-Madeira.....	10
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1.	Material.....	12
3.2.	Preparação das Partículas.....	12
3.3.	Preparação das Chapas.....	13
3.4	Preparação dos Corpos-de-Prova.....	14
3.5.	Delineamento Experimental.....	15
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
4.1	Propriedades Físicas.....	16
4.1.1	Densidade.....	16
4.1.2	Teor de Umidade (%).....	17
4.1.3	Absorção de Água (após 2 horas de imersão).....	18
4.1.4	Inchamento em Espessura (após 2 horas de imersão).....	19
4.2	Ensaio Mecânicos.....	20
4.2.1	Dureza Janka.....	20
4.2.2	Tração Perpendicular.....	21
4.2.3	Arrancamento de Parafuso.....	23
4.2.4	Compressão Longitudinal.....	24
4.2.5	Módulo de Ruptura na Flexão Estática (MOR).....	25
4.2.6	Módulo de Elasticidade na Flexão Estática.....	26
5.	CONCLUSÕES.....	27
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

EXTRATO

BORENSTAIN, Mauricio Bacci. Monografia de graduação. Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2014. **COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA COM PARTÍCULAS DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus* sp. E POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)**. Orientador: Benedito Rocha Vital.

As cadeias produtivas do setor florestal geram significativa quantidade de resíduos, que embora muitas vezes sejam aproveitados para alguns fins específicos, podem se constituir em problemas de gestão ambiental para as empresas. Entre os tipos de madeiras usadas pela indústria de base florestal estão as de *Pinus* e *Eucalyptus*. Uma alternativa para o aproveitamento desses resíduos é a sua utilização em compósitos, por exemplo, o plástico-madeira. O presente trabalho teve como principal objetivo a confecção de compósito plástico-madeira, utilizando como matérias primas madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus* sp. e o plástico do tipo polietileno de alta densidade (PEAD), aderidos com o adesivo uréia-formaldeído, avaliando as propriedades físicas e mecânicas das chapas produzidas. O experimento foi instalado no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. O experimento foi instalado seguindo um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, com duas proporções de plásticos (25% e 40% PEAD), adicionados a duas espécies (*Pinus* e *Eucalyptus*) com três repetições, utilizando como adesivo a uréia-formaldeído, foram confeccionadas três chapas testemunhas (0% PEAD) por espécie, totalizando 18 chapas. Dessas chapas foram retirados corpos-de-prova, os quais foram climatizados e ensaiados segundo a norma brasileira NBR 14810 e a norma americana ASTM-D 1037 (1991) para a realização dos ensaios físicos e mecânicos. As amostras foram submetidas ao acondicionamento em câmara climática em temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ UR, até peso constante. Os ensaios mecânicos realizados foram flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade), dureza Janka, compressão longitudinal, tração perpendicular e arrancamento de parafuso. Os ensaios físicos foram densidade, teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água, após 2 horas de imersão. Para a comparação entre as médias dos tratamentos foi feita a análise de variância e constatando diferença significativa, entre

as médias dos tratamentos, foram realizados os testes de Tukey e Dunnet a 5% de significância. Os resultados foram comparados utilizando-se a norma ANSI/A – 208.1(93). Para a densidade foram observados valores que variaram entre 0,70 g/cm³ a 0,73 g/cm³, caracterizando as chapas produzidas como de média densidade, sendo as com adição de 40% de PEAD as quais apresentaram as maiores médias. Em relação ao teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, as chapas produzidas com 40% de PEAD, apresentaram os menores valores para as duas espécies, indicando uma maior estabilidade dimensional. Para as propriedades mecânicas, as chapas de *Pinus caribaea* apresentaram valores superiores para dureza Janka, arracamento de parafuso, compressão longitudinal, módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática. No geral, as chapas confeccionadas com proporção de 25% de PEAD, apresentaram os melhores valores de resistência para as propriedades mecânicas, exceto para a resistência ao módulo de elasticidade na flexão estática, no qual as testemunhas apresentaram valores superiores.

1. INTRODUÇÃO

Desde a primeira metade do século 19, o termo progresso veio resumir a forma de pensar e agir, economicamente da sociedade contemporânea. O progresso foi considerado a principal medida de desenvolvimento de uma nação. Na prática, esse conceito incentivou o consumo e a intensa exploração da matéria prima de forma inconsequente.

Dois séculos depois, ainda é necessário suprir a crescente demanda do mercado, pois novos produtos são confeccionados. Esse ciclo de produção gera um constante aumento do consumo de recursos naturais e, conseqüentemente, um aumento na geração de resíduos sólidos, sejam urbanos, industriais ou agroindustriais. O resultado desse modelo ambientalmente agressivo, foi um impacto negativo acentuado, partindo dos pequenos impactos ambientais, geralmente locais, e se estendendo até os de dimensões globais, como o efeito estufa, poluição dos solos, dos rios e oceanos, etc.

Por outro lado, estimulado pelos problemas sociais causados pelos entraves ambientais, e pela constatação científica dos mesmos, houve o “nascimento da consciência ambiental”. Esta, por sua vez, deu início às discussões sobre formas alternativas e sustentáveis de produção, que surgiram acompanhando a onda pacifista na década de 60, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa. Oficialmente, essa nova visão apareceu, pela primeira vez, na Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, Suécia, em 1972. Após essa data foram realizadas diversas conferências em âmbito mundial sobre a questão ambiental, e na Eco-92, realizada no Rio de Janeiro, o conceito de sustentabilidade tornou-se princípio fundamental e parâmetro para a Agenda 21, uma série de metas aprovadas pelos mais de 160 países participantes.

O setor de painéis de madeira industrializada é composto pelas indústrias produtoras de painéis de MDP (*Medium Density Particleboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e MDF (*Medium Density Fiberboard*) entre outras chapas de fibras. As indústrias

desse setor são importantes fornecedoras de matéria prima para as indústrias de móveis, construção civil, embalagens, automobilística e eletroeletrônica. Visto a variada demanda por esses bens duráveis, o mercado se encontra em franca expansão, segundo o Anuário Estatístico da ABRAF (2013), 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% a.a. Da mesma forma, o consumo desses bens também cresceu, de 2,8 milhões de toneladas para 7,2 milhões, o que representa um incremento médio de 9,9% a.a. Em 2012, a produção e o consumo desses painéis foram acima da média dos últimos 10 anos analisados, com valores de 12,3% e 10,8%, respectivamente.

Devido a crescente disponibilidade de resíduos, provindos da indústria madeireira, é necessária uma utilização dos mesmos, agregando maior valor e diminuindo os impactos ambientais gerados. Esses resíduos podem ser utilizados para diversos fins, dentre eles podemos citar a confecção de painéis particulados, nos quais podem ser utilizados vários tipos de matérias primas.

Compósito é uma mistura física de dois ou mais materiais combinados para formar um novo material útil de engenharia com propriedades diferentes em relação aos componentes puros, podendo ser obtido por combinação de metais, cerâmicas ou polímeros (ASTM, 2001). Neste caso, tem-se a vantagem de poder utilizar tanto resíduos madeireiros, quanto resíduos de resinas termoplásticas, que teriam como destino final o descarte e/ou a queima.

Este trabalho tem como objetivo geral, a confecção de compósito plástico/madeira, utilizando como matérias primas madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus* sp. com o plástico do tipo polietileno de alta densidade (PEAD), aderidos com o adesivo uréia-formaldeído.

Como objetivos específicos:

- Analisar o efeito da espécie e da adição de diferentes proporções de partículas de plástico nas propriedades de estabilidade dimensional das chapas aglomeradas;

- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas das chapas produzidas e;
- Comparar a qualidade do produto final em relação às normas técnicas existentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resinas Termoplásticas

2.1.1 Polietileno (PE)


O polietileno tem sua cadeia constituída basicamente por carbono e hidrogênio, sendo um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfas e cristalina de suas cadeias (COUTINHO, 2003). Pode ser produzido com diferentes densidades e nas formas linear, ramificada ou reticulada, apresentando diversos campos de aplicação comercial. Por ser um termoplástico barato e de fácil processamento, é utilizado para a produção de sacos, embalagens e utilidades domésticas como potes e vasilhas. Além disso, são leves, atóxicos e quimicamente resistentes, podendo entrar em contato com alimentos e produtos farmacêuticos sem transmitir odor ou sabor. É um dos polímeros mais empregados dentre as resinas termoplásticas e é geralmente obtido por meio da polimerização do monômero gasoso etileno ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) em reator, sob determinadas condições de temperatura e pressão, assim caracterizando o polímero de acordo com a sua densidade, em três grupos; o PEAD (Polietileno de Alta Densidade), o PEMD (Polietileno de Média Densidade) e o PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), (CANDIAN, 2007).

2.1.1.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

É considerado a principal variação do PE, tendo longas cadeias lineares, ser atóxico, possuir baixo coeficiente de atrito, ser resistente a agressões químicas, bom isolante térmico, ter ótima resistência dielétrica, boa resistência ao calor contínuo e boa resistência a impactos. É um material rígido, porém leve, de fácil usinagem e processamento e baixo custo (COUTINHO, 2003). De acordo com o Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos, em 2007 o mercado de PEAD no mundo chegou a 30 milhões de toneladas e suas principais aplicações são em peças e elementos para indústria alimentícia, placas para corte de alimentos, utensílios para cozinhas domésticas e




industriais, roletes de lavadoras, produtos médicos-cirúrgicos, revestimento e fabricação de tanques e cubas, engrenagens, buchas, arruelas e mancais e anéis de vedação.

Quadro 1. Símbolo de reciclagem e estrutura Molecular PEAD.

TERMOPLÁSTICOS	ESTRUTURA
2 - PEAD 	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \text{ETILENO} \end{array} \xrightarrow[\text{Ziegler - Natta}]{\text{polimerização}} \left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{---C---C---} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n \text{POLIETILENO} $

Fonte: (MACIEL, 2001)

Quadro 2. Quadro com as características, propriedades e usos dos principais termoplásticos.

Termoplásticos	Den(g/cm ³)	Temp. de Transição Vítreo(Tg)	Temp. de Fusão °C (Tm)	Resist. À Tração (kgf/cm ²)	Elongação(%)	Descrição
2-PEAD 	0,94 a 0,98	-100 a 125	130 a 135	152 a 786	12 a 700	Polietileno de Alta Densidade
4-PEBD 	0,91 a 0,94	-20 a -30	109 a 125	179 a 331	150 a 600	Polietileno de Baixa Densidade
5-PP 	0,90 a 0,91	4 a 12	165 a 175	30 a 350	50 a 600	Polipropileno

Fonte: Adaptado (MACIEL, 2001).

2.1.2 Reciclagem do PEAD

Segundo Spinacé & Paoli (2005), os plásticos podem ser recuperados sob três formas: mecânica, química e energética. O processo de reciclagem mecânica constitui-se basicamente pela separação dos resíduos, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e o reprocessamento (extrusão) sendo seu produto final um artefato moldado ou grânulos (*pellets*). A reciclagem química pode ocorrer através de processos de despolimerização por solvólise (hidrólise, amilase, alcoólise) ou ainda por métodos térmicos (pirólise, gaseificação, hidrogenação), porém esses métodos levam a formação de subprodutos e ao gasto de solvente. A reciclagem energética é utilizada quando o reuso do resíduo não é prático ou econômico, o plástico é incinerado e a energia resultante é utilizada. Os processos de reciclagem mecânica são os mais comuns, segundo a Plastivida - Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos, o índice de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil, medida em 2005, foi igual a 19,8%. Os pellets obtidos no final desse processo são posteriormente utilizados como matéria-prima para praticamente qualquer finalidade, exceto para o uso hospitalar e alimentar. Inicialmente os resíduos de PEAD não reciclados, teriam como destino lixões a céu aberto ou até mesmo as ruas, matas e rios, e se tornam fontes de contaminação dos recursos hídricos. Atualmente, a reciclagem de PEAD é praticada em larga escala por cooperativas e empresas de reciclagem.

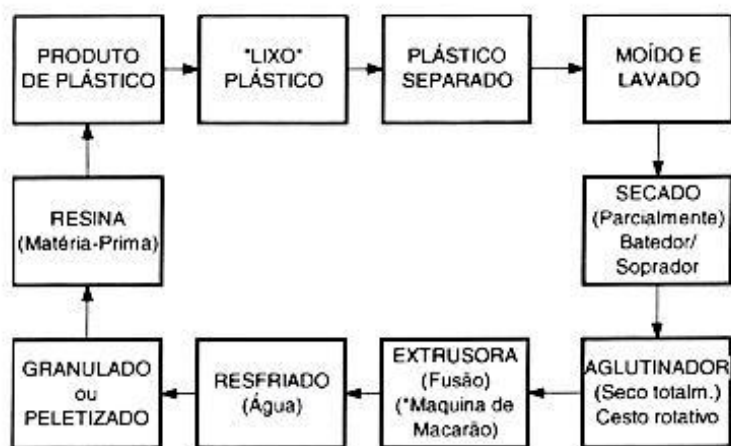


Figura 1. Fluxograma das principais etapas para a reciclagem mecânica do plástico. Fonte: Plastivida

Pesquisas da Plastivida (2012) mostram que a reciclagem mecânica tem ganhado força no Brasil. Em 2011, cerca de 22% dos plásticos gerados foram reciclados. Houve um ganho considerável comparado ao ano anterior que reciclou apenas 19,4% do plástico gerado.

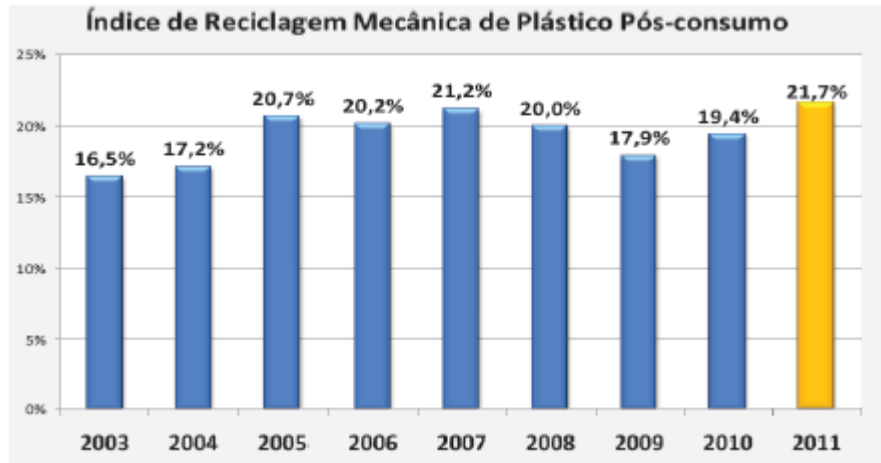


Gráfico 1 Índices de reciclagem mecânica de plástico no Brasil. Fonte Plastivida (2012)

2.2 Painéis Aglomerados

2.2.1 Definição

Aglomerados (*Particleboard*) são painéis manufaturados a partir de partículas de material lignocelulósico, geralmente madeira, aglutinados com adesivos sintéticos, natural ou outro aglomerante, sendo o conjunto termoprensado por tempo suficiente para que a lignina seja plasticizada e ocorra a cura do adesivo (BRASIL, 2002). Além disso, é possível adicionar essas partículas à materiais termoplásticos, produzindo-se os compósitos plástico-madeira (YOUNGQUIST, 1995; MACIEL, 2001).

2.2.2 Histórico

As chapas de partícula de madeira aglomerada surgiram na Alemanha, no início da década de 1940, como forma de viabilizar a utilização dos resíduos, face à dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade para a produção de lâminas de compensado, devido ao isolamento do país durante a Segunda Guerra Mundial. (CABRAL, 2005).

No Brasil, a produção de aglomerados teve início em 1966, e o MDF passou a ser produzido a partir de 1998. As matérias-primas mais comuns no Brasil são do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, em função, principalmente, da facilidade do manejo e do seu rápido crescimento (BENADUCE, 1998).

2.2.3 Compósito Plástico-Madeira

Por volta de 1900 foi criado na Europa o primeiro tipo de compósito envolvendo a madeira e um tipo de plástico termofixo. O produto foi denominado de Bakelite. O Bakelite era produzido a base de pó de madeira com resina fenólica e foi muito utilizado na fabricação de partes do automóvel Rolls Royce (CLEMONS, 2002).

As primeiras pesquisas com compósitos plástico-madeira foram na década de 50 quando as indústrias automotivas começaram adicionar pó de madeira ao polipropileno na fabricação de algumas partes internas dos carros. No final da década de 80, principalmente no Japão e nos Estados Unidos, o compósito plástico-madeira começou a ser usado na fabricação de decks (KOENIG; SYPKENS, 2002).

Uma das causas que impediram o desenvolvimento dos compósitos plástico-madeira foi a distância existente entre a indústria madeireira e o setor de plásticos. Essas indústrias competem em mercados diferentes, os produtos florestais e as indústrias de plásticos possuem poucos materiais e equipamentos em comum e eles processam os materiais de forma muito diferentes (YOUNGQUIST, 1995).

O importante num compósito é o efeito sinérgico que se observa no sistema, no qual as suas propriedades finais são uma mistura melhorada das propriedades de seus componentes individualmente (CALLISTER JR., 2002).

Diversos processos de produção podem ser usados para compósitos plástico-madeira. Maciel et al. (2004) e Milagres et al. (2006) utilizaram, como neste trabalho, o processo convencional para chapas de madeira aglomerada. Nesses casos, o colchão foi formado manualmente com diferentes misturas de partículas de madeira e termoplásticos que, posteriormente, foi prensado numa prensa de pratos planos.

O mais comum, entretanto, é o fato de os processos de mistura e de conformação dos compósitos poliméricos reforçados com fibras celulósicas serem realizados em duas etapas, em que na primeira se faz a incorporação das fibras à matriz e na segunda, um processamento de moldagem do produto final. Diversos tipos de processos podem ser empregados em ambas as fases, mas existe uma tendência, tanto na indústria quanto no desenvolvimento de trabalhos científicos, de se utilizar a extrusão dos materiais em extrusora de dupla-roscas, seguida da injeção da mistura para obtenção do produto final (SAHEB e JOG, 1999).

Youngquist (1995) destacou a necessidade de se utilizar “fibras” de madeira oriundas de florestas de baixa qualidade e de reciclagem dos resíduos em novos produtos, baseados em matrizes de polímeros termoplásticos. A madeira oferece inúmeras vantagens, como baixo custo e baixa densidade. Embora seu principal problema seja a agregação, alguns estudos apontaram que o emprego desse material na matriz polimérica pode melhorar a “performance” do produto acabado.

2.2.4 Emprego dos Compósitos Plástico-Madeira

Os compósitos de plástico-madeira oferecem uma série de vantagens, se comparados, por exemplo, aos produtos convencionais de madeira aglomerada. A estrutura do material plástico, pela proteção que oferece às partículas de madeira, permite o emprego desses produtos nas condições adversas do meio ambiente. Efeitos de umidade e de ataque de microrganismos e insetos são mínimos. A matriz de plástico, que é impermeável, envolve parcial ou totalmente as partículas de madeira, protegendo ou impedindo que se expanda, aumentando com isso a estabilidade do produto elaborado. Além disso, são leves e apresentam boa resistência aos esforços de impacto (ENGLISH et al.,1996 ; MACIEL, 2001).

O mercado dos compósitos plástico-madeira, de acordo com REZENDE et al. (2009) está voltado para construção civil, indústria automobilística, aplicações estruturais, construção de decks, estruturas expostas externamente entre outros. Nos Estados Unidos existem vários nomes já patenteados para os compósitos plástico-madeira, como WoodPlast, CertaWood, Extrudawood, TimberTech, Polywood, Fibrex, Trex, Timbrex, Fiberon, ChoiceDeck, SmartDek entre outros (SPECIALCHEM, 2003).

REYNOLDS (2004) cita que no Reino Unido os compósitos plástico-madeira são pouco conhecidos embora já existam nomes comerciais como Epoch, Knotwood e Timbaplus. O mesmo autor cita, ainda outros nomes comerciais para os compósitos plástico-madeira como Carefree Xteriors e Woodcomp nos Estados Unidos; Durawood na Austrália; Techwood na Alemanha e Alloywood na China.

No Japão a empresa Ein Co. Ltd. patenteou a marca E-Wood que consiste num compósito plástico-madeira cuja composição básica é de 55% de madeira e 45% de polipropileno. A empresa possui ainda 75 patentes referentes ao compósito plástico-madeira (EIN, 2001).

No Brasil, existe uma empresa de produção de compósitos plástico-madeira chamada "MADEPLAST". Tudo se iniciou em 2008, quando a empresa foi incubada pela Universidade Positivo localizada em Curitiba - Paraná. A ideia era lançar no mercado um produto inovador e sustentável - denominado madeira ecológica. Após dois anos de pesquisa, nasceu a madeira ecológica MADEPLAST. Uma novidade mercadológica

com grande potencial de consumo em substituição a madeira convencional. Resultado do aproveitamento de resíduos plásticos descartados pela indústria e restos de madeira e serragem provenientes de madeiras legalizadas, o que torna o produto 100% sustentável, com aparência de madeira aliado à durabilidade do plástico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material

A madeira de *Pinus caribaea*, de densidade 0,49 g/cm³, foi adquirida pelo Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), de uma serraria local em Viçosa-MG, na forma de tábuas. A madeira de *Eucalyptus* sp, de densidade 0,51 g/cm³, empregada na produção das chapas foi obtida através do desdobro de toras, de árvores oriundas de plantios da região de Viçosa. O polietileno de alta densidade foi obtido pelo processamento (corte) de lonas transparentes de estufa, as quais foram compradas de uma loja de produtos agrícolas local. O adesivo utilizado foi a uréia-formaldeído, Cascamite PL2030, contendo 65,0% de sólidos resinosos e foi obtido através de doação, da empresa Momentive.

3.2. Preparação das Partículas

As partículas de PEAD foram geradas a partir do corte retangular (2x3 cm) das lonas transparentes.

As tábuas de pinus e eucalipto foram reduzidas a baguetas e as mesmas foram imersas em água \pm 21 dias, até a completa saturação. Após a saturação, foram processadas em moinho de facas para produção dos flocos, os quais foram secos ao ar e depois processados em moinho de martelos, para produzir as partículas.

As partículas foram selecionadas por peneiramento, utilizando peneiras de malha de 4,0 x 4,0 mm e 2,0 x 2,0 mm, sendo utilizadas as que ficaram retidas entre essas dimensões. Após a seleção, as partículas foram secas em estufa com ventilação forçada por 72 horas à 45°C, até atingirem 3% de umidade, sendo posteriormente, armazenadas em sacos plásticos vedados.

3.3. Preparação das Chapas

Para a confecção das chapas foi usado o adesivo de uréia-formaldeído, com o teor de sólidos de 65%, pH de 7,90 e viscosidade de 900 cp.

A viscosidade foi determinada, empregando-se um viscosímetro tipo Brookfield-LV, splinder 3, com uma velocidade de rotação de 12 rpm, em amostras de aproximadamente 300 ml, com 3 repetições.

A proporção de adesivo utilizado para a confecção dos painéis foi de 8% de sólidos em relação à massa seca de madeira.

A aplicação do adesivo foi feita em um tambor encolador, dotado de uma pistola de ar comprimido.

O colchão foi formado manualmente, depositando as misturas de madeira e plástico em camadas, sendo as superfícies superior e inferior constituídas de plástico e madeira, e o interior (miolo) somente de madeira. As partículas foram depositadas em uma forma de madeira vazada, com dimensões internas de 40 x 40 x 16 cm, sobre uma chapa de alumínio de 0,32 cm de espessura. Durante a deposição das partículas houve o cuidado em manter a homogeneidade do colchão.

O colchão de partículas foi pré-prensado manualmente, em seguida, prensado em prensa da marca INCO com aquecimento elétrico, controle de temperatura e pressão. O ciclo de prensagem obedeceu as seguintes condições: temperatura, 170°C; pressão, 32 kgf/cm²; tempo, 8 minutos.

Após a prensagem, as chapas apresentaram as seguintes dimensões 40 x 40 x 1 cm e foram mantidas no interior de uma sala climatizada à temperatura de 20±3° C, por cerca de 72 horas, e, em seguida, foram esquadrejadas ficando com dimensões de 38 x 38 cm, e suas superfícies lixadas.

Foi adotado um gabarito de retirada de corpos-de-prova das chapas. As amostras foram climatizadas numa câmara climática nas condições de 65 ± 5% UR e temperatura de 20 ± 3° C até atingirem umidade de equilíbrio, conforme estabelecido pelas normas ASTM-D 1037 (1991) e ABNT NBR 14810-3 (2002). Os corpos-de-prova foram testados em uma máquina de ensaio universal da marca CONTENCO, utilizando o software Pavitest. Os valores obtidos nos testes foram comparados com as normas existentes no mercado.

3.4 Preparação dos Corpos-de-Prova

A Figura 2 demonstra a posição e o número de corpos-de-prova a serem retirados de cada chapa, bem como o tipo de ensaio o qual esses foram utilizados.

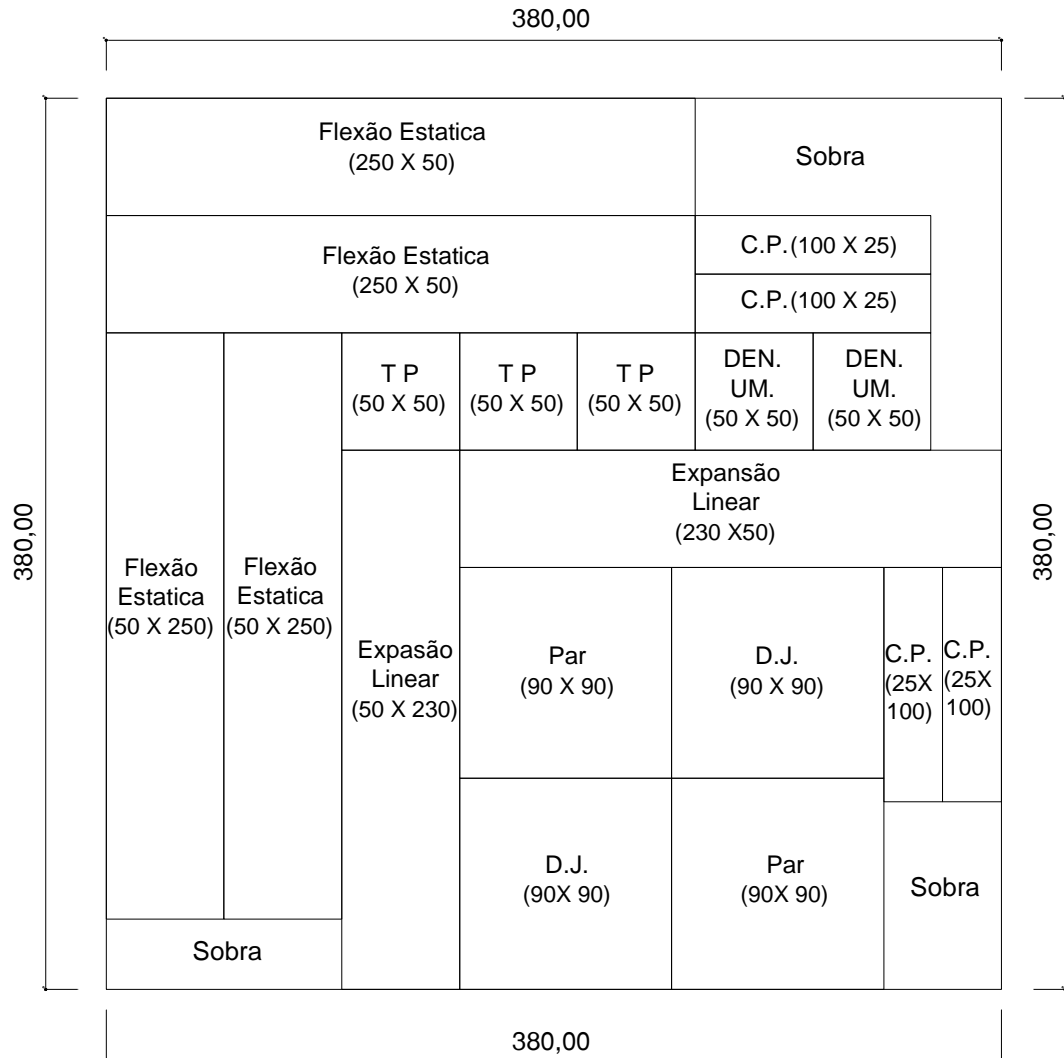


Figura 2. Representação da posição dos corpos-de-prova no painel. Fonte: (CABRAL, 2010). Sendo PAR: Arrancamento de parafuso; DJ: Dureza Janka; CP: Compressão Longitudinal; TP: Tração perpendicular; DEN: Densidade e UM: Teor de umidade.

3.5. Delineamento Experimental

O experimento foi instalado seguindo um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, com três proporções de plástico (0 %, 25% e 40%), duas espécies (*Eucalyptus sp.* e *Pinus caribaea*) com três repetições, utilizando adesivo de uréia-formaldeído, totalizando 18 chapas.

A análise dos resultados das propriedades físicas e mecânicas foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA). Para a comparação entre as médias das propriedades nas diferentes proporções e espécies, quando estabelecidas as diferenças pela ANOVA, foi realizado o teste de Tukey, em nível de 5% de significância. A seguir, a Tabela 1 demonstra o modelo de tabela utilizado para comparar os valores médios das chapas, para cada propriedade analisada.

Tabela 1. Esquema do delineamento experimental

Proporção de PEAD	Propriedade Física ou Mecânica ensaiada	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %		
25%		
40 %		

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades Físicas

4.1.1 Densidade

O valor médio da densidade das chapas aglomeradas plástico-madeira foi de 0,708 g/cm³, com uma amplitude de variação entre 0,697 a 0,729 g/cm³, conforme pode ser observado na **Tabela 2**. Segundo a norma NBR 14810 (2002), estes painéis são classificados como de média densidade.

Tabela 2. Comparação das médias de Densidade das chapas, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Densidade (g/m ³)	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	0,699 (Ab)	0,697 (Ab)
25%	0,705 (Ab)	0,702 (Ab)
40 %	0,704 (Ba)	0,729 (Aa)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

As chapas de *Pinus caribaea*, com maior proporção de PEAD (40%) tiveram um maior adensamento durante a prensagem, apresentando valores médios de 0,729 g/cm³. O maior adensamento das chapas pode estar relacionado à maior proporção de plástico, que ao fundir durante a prensagem proporcionou uma menor espessura das mesmas.

4.1.2 Teor de Umidade (%)

Os valores médios de umidade, após equilíbrio a 20° C e 65% de umidade relativa, são apresentados na **Tabela 3**. Observa-se que estes valores variaram entre 6,02% e 9,70% para a espécie *Eucalyptus* sp. e entre 5,87% e 11,19% para o *Pinus caribaea*.

Tabela 3. Comparação das médias de Teor de umidade, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Teor de umidade (%)	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	9,70 (Ba)	11,19 (Aa)
25%	7,46 (Ab)	7,13 (Ab)
40 %	6,02 (Ac)	5,87 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Observa-se que houve diferença significativa, pelo teste de Tukey, das médias das chapas (0% de PEAD) de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus* sp. entre si, e destas em relação às demais chapas. Pode-se, também, concluir que não houve diferença estatística nos valores de teor de umidade entre as espécies, quando comparadas nas mesmas proporções de 25 e 40%.

A comparação entre as médias gerais dos tratamentos indicou uma relação inversamente proporcional entre o teor de umidade das chapas e a proporção de plástico adicionada, ou seja, quanto maior a proporção de plástico na chapa menor é seu teor de umidade. Esta redução da higroscopicidade está relacionada a maior quantidade de grupos hidrofóbicos na constituição das chapas, oriundos do PEAD.

No trabalho de Milagres et al (2004), foram encontrados valores para chapas fabricadas com madeira de *Eucalyptus grandis* e PEAD (25%) de 6,20%, sendo estes valores próximos aos encontrados no presente trabalho.

4.1.3 Absorção de Água (após 2 horas de imersão)

A **Tabela 4** mostra a média de absorção de água pelas chapas, após 2 horas de imersão. Houve uma grande variação de valores dentro das chapas produzidas e os valores se situaram entre 5,25% e 91,84%. Percebe-se claramente a influência da espécie nos valores deste parâmetro.

Tabela 4. Comparação das médias de Absorção de Água (2Hrs), pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Absorção de Água (após 2 horas de imersão) (%)	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	21,04 (Ba)	91,84 (Aa)
25%	11,71 (Bb)	33,47 (Ab)
40 %	5,25 (Bc)	27,03 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Na **Tabela 4** pode ser observado que houve diferença significativa, pelo teste de Tukey, entre todas as médias das chapas. Pode-se, também, concluir que a adição de PEAD contribuiu significativamente para a diminuição da absorção de água pelas chapas.

Ao analisar as médias gerais, nota-se claramente a relação inversamente proporcional existente entre a proporção de PEAD adicionado e a porcentagem de absorção de água, ou seja, quanto maior a proporção de PEAD, menor é o valor de absorção. Ainda, é possível observar que as chapas constituídas de *Pinus caribaea* absorveram, relativamente, maior quantidade de água do que as de *Eucalyptus sp.*

No trabalho de Milagres et al (2004), foram encontrados valores médios de absorção de água, após 2 horas de imersão, para chapas fabricadas com madeira de *Eucalyptus grandis* e adição de PEAD (25%), de 11,75%, este valor está próximo ao encontrado no presente trabalho para chapas de *Eucalyptus sp.* com adição de 25% de PEAD, o qual foi de 11,71%.

4.1.4 Inchamento em Espessura (após 2 horas de imersão)

As médias para o inchamento em espessura das chapas estão apresentadas na **Tabela 5**. Observou-se uma variação de inchamento em espessura entre 1,10% e 6,89% para a espécie *Eucalyptus* sp. e entre 5,55% e 19,48% no *Pinus caribaea*. No geral, as chapas com proporção de 0% de PEAD foram as que tiveram maior inchamento em espessura, sendo as de *Pinus* de maior valor médio, 19,48%.

Tabela 5. Comparação das médias de Inchamento em Espessura (2Hrs), pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Inchamento em Espessura (após 2 horas de imersão) (%)	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	6,89 (Ba)	19,48 (Aa)
25%	4,28 (Bb)	10,91 (Ab)
40 %	1,10 (Bc)	5,55 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

No **Tabela 5**, podemos observar que houve diferença estatística significativa, dos valores médios de inchamento em espessura, entre todas as chapas produzidas. Pode-se observar, também, que existiu uma relação inversamente proporcional entre o valor médio de inchamento em espessura e a proporção de PEAD adicionados às chapas, ou seja, quanto maior a proporção de PEAD adicionada na chapa menor é o seu inchamento em espessura. Nota-se, também, que as chapas que apresentaram as maiores médias, foram as mesmas que apresentaram as maiores médias para absorção de água.

As chapas com adição de 40% de PEAD se mostraram mais estáveis dimensionalmente, em relação as demais, sendo as da espécie *Eucalyptus* sp. as que apresentaram menor inchamento, com um valor médio de 1,10%. Os maiores valores apresentados pelo *Pinus caribaea* foram associados à maior taxa de compactação (relação vol. inicial/ vol. final) sofrida pelo colchão de partículas desta espécie.

4.2 Ensaio Mecânicos

4.2.1 Dureza Janka

A dureza Janka, mede a resistência da chapa à penetração da metade de uma esfera de 11,3mm de diâmetro. A norma ANSI/A1-208/93, estipula um valor mínimo de 222,5 kgf de dureza Janka para atender as especificações de mercado. Observa-se na **Tabela 6** que todos os painéis, apresentaram valores médios superiores ao estipulado pela norma.

As médias para a dureza Janka das chapas estão apresentadas na **Tabela 6**. Os valores variaram entre 304,63 kgf e 456 kgf para a espécie *Eucalyptus* sp. e entre 397,92 kgf e 547,08 kgf para o *Pinus caribaea*. No geral, as chapas de proporção 0% de PEAD obtiveram valores inferiores aos das chapas de proporção 25% PEAD e superiores aos das chapas de proporção 40% de PEAD. Tal fato ocorreu para ambas as espécies.

Tabela 6. Comparação das médias de Dureza Janka, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Dureza Janka (kgf)	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	450,00 (Ba)	504,06 (Ab)
25%	456,88 (Ba)	547,08 (Aa)
40 %	304,63 (Bb)	397,92 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

No trabalho de Milagres et al (2004), foi observado que as chapas apresentaram um comportamento semelhante ao ocorrido no presente trabalho, ou seja, a adição de 25% de PEAD, contribuiu positivamente na resistência a penetração da esfera. Acima desta proporção, houve um decréscimo na resistência, este fato pode estar associado a maior maleabilidade do PEAD, o qual em proporções acima de 25% exerce efeito negativo na resistência a dureza Janka.

4.2.2 Tração Perpendicular

A resistência à tração perpendicular é uma das propriedades mais importantes na avaliação de uma chapa, pois permite tirar conclusões referentes ao comportamento do adesivo com os componentes químicos da madeira, nas reações de adesão, além de avaliar a eficiência do tempo e temperatura de prensagem. No caso do compósito plástico-madeira, se pode relacionar o valor desta resistência ao grau de penetração do plástico entre as partículas de madeira.

As médias dos valores de resistência à tração perpendicular, por tratamento, estão apresentadas na **Tabela 7**. Observou-se uma variação nesses valores entre 5,39 kgf/cm² e 13,45 kgf/cm² para a espécie *Eucalyptus sp.* e entre 7,50 kgf/cm² e 12,37 kgf/cm² para o *Pinus caribaea*.

A norma ANSI/A1-208/93, estipula um valor mínimo de 4 kgf/cm² de tração perpendicular para atender as especificações de mercado. Observa-se que todos os painéis, apresentaram valores médios superiores ao estipulado pela norma.

Tabela 7. Comparação das médias de Tração Perpendicular, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Tração Perpendicular (kgf/cm ²)	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	5,39 (Bc)	12,37 (Aa)
25%	13,45 (Aa)	8,51 (Bb)
40 %	9,01 (Ab)	7,50 (Bc)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Para o *Eucalyptus sp.*, a adição de partículas de PEAD nas chapas contribuiu positivamente para a resistência à tração na proporção de 25%, porém ao aumentar esta proporção para 40%, houve uma queda no valor da resistência. No caso do *Pinus caribaea*, os valores da resistência foram inversamente proporcionais à adição de

partículas de PEAD, ou seja, quanto maior a proporção de PEAD adicionada nas chapas, menor foi a média dos valores de resistência à tração.

Este comportamento pode estar associado ao grau de adensamento das partículas de madeira durante a prensagem, as chapas de *Eucalyptus* sp. proporcionaram uma superfície com maior número de reentrâncias, permitindo uma maior penetração do plástico fundido entre as partículas. Tal fato não ocorreu para as chapas de *Pinus caribaea*, provavelmente devido à maior taxa de compactação e adensamento das partículas de madeira, proporcionando poucas reentrâncias para a penetração do plástico.

4.2.3 Arrancamento de Parafuso

Os valores médios obtidos no arrancamento de parafuso variaram entre 144 kgf e 200,67 kgf no *Eucalyptus* sp. e entre 180,67 kgf e 248,67 kgf no *Pinus caribaea*, conforme mostrado na **Tabela 8**.

Na norma ANSI/A 208.1-93, é estipulado um mínimo de 100 kgf para chapas de média densidade, fabricados comercialmente. Visto isto, pode-se dizer que todas as chapas produzidas superaram o mínimo exigido pela norma.

Tabela 8. Comparação das médias de Arrancamento de Parafuso, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Arrancamento de Parafuso (kgf)	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	144,00 (Bb)	235,67 (Ab)
25%	200,67 (Ba)	248,67 (Aa)
40 %	151,50 (Bb)	180,67 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Na **Tabela 7**, está representado o teste de Tukey para as médias dos valores de arrancamento de parafuso. No *Eucalyptus* sp. o efeito da adição da PEAD nas chapas mostrou ser positiva e significativa na proporção de 25%, já a proporção de 0% e 40% PEAD obtiveram valores inferiores. No *Pinus caribaea* o efeito da adição de PEAD 40% nas chapas foi inversamente proporcional à resistência à tração, ou seja, quanto maior a proporção de PEAD adicionado, menor a resistência das chapas.

No trabalho de Milagres et al (2004), foi observado que as chapas de *Eucalyptus grandis* apresentaram um comportamento semelhante ao ocorrido no presente trabalho, ou seja, a adição de 25% de PEAD, contribuiu positivamente na resistência ao arrancamento de parafuso, e acima desta proporção, houve um decréscimo na resistência. O valor médio encontrado pelo autor foi de 153,38 kgf para chapas com adição de 25% de PEAD, valor este, inferior ao encontrado no presente trabalho, que foi de 200,67 kgf.

4.2.4 Compressão Longitudinal

Os valores médios de resistência à compressão longitudinal podem ser observados na **Tabela 9**. Os valores variaram de 63,59 kgf/cm² a 133,32 kgf/cm².

Tabela 9. Comparação das médias de Compressão Longitudinal, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Compressão Longitudinal (kgf/cm ²)	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	63,60 (Bb)	105,27 (Ac)
25%	118,19 (Ba)	133,32 (Aa)
40 %	66,89 (Bb)	114,88 (Ab)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Na **Tabela 9**, está representado o teste de Tukey para os valores médios de resistência à compressão longitudinal. Para o *Eucalyptus sp.* o efeito da adição de PEAD nas chapas mostrou ser positivo e estatisticamente significativo na proporção de 25%, já a testemunha e a proporção de 40% PEAD obtiveram valores inferiores. No *Pinus caribaea*, o efeito da adição de PEAD 25% nos valores médios, não foi estatisticamente diferente dos valores da testemunha 0% PEAD. Ao aumentar a proporção para 40% PEAD, se obteve valores estatisticamente inferiores aos demais.

4.2.5 Módulo de Ruptura na Flexão Estática (MOR)

O módulo de ruptura é conceituado como sendo a tensão máxima das fibras no colapso, determinada em um teste de flexão.

As médias de resistência à flexão estática- MOR, estão representadas na **Tabela 10**. A variação dos valores desta propriedade foi de 125,27 kgf/cm² a 241,96 kgf/cm² e, no geral, percebe-se a influência da espécie nos valores médios das chapas. Nota-se uma tendência de valores maiores para as de *Pinus caribaea* e menores para o *Eucalyptus* sp.

A norma ANSI/A1-208/93, estipula um valor mínimo de 110 kgf/cm² para resistência ao módulo de ruptura na flexão estática, para atender as especificações de mercado. Observa-se que todos os painéis, apresentaram valores médios superiores ao mínimo estabelecido pela norma.

Tabela 10. Comparação das médias Flexão Estática - MOR, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Flexão Estática - MOR (kgf/cm ²)	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	179,15 (Bb)	239,05 (Aa)
25%	197,09 (Ba)	241,96 (Aa)
40 %	125,27 (Bc)	192,38 (Ab)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

No geral, os melhores valores foram obtidos nas chapas de *Pinus caribaea*, sendo que as chapas com proporção de 25% PEAD, apesar de terem apresentado valores médios numericamente maiores do que as chapas com proporção 0% de PEAD, não diferiram estatisticamente entre si.

4.2.6 Módulo de Elasticidade na Flexão Estática

O módulo de elasticidade pode ser definido como a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo a máxima tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente, ou seja, quanto maior o MOE mais rígido é o material.

Na **Tabela 11**, está representado o teste de Tukey para os valores médios de resistência à flexão estática-MOE, estes, variaram de 19.534,00 kgf/cm² a 64.156,00 kgf/cm². A norma ANSI/A1-208/93, estipula um valor mínimo de 17.250,00 kgf/cm² para resistência ao módulo de elasticidade na flexão estática, para atender as especificações de mercado. Observa-se que todos os painéis, apresentaram valores médios superiores ao mínimo estabelecido pela norma.

Tabela 11. Comparação das médias Flexão Estática - MOE, pelo teste de Tukey.

Proporção de PEAD	Flexão Estática - MOE (kgf/cm ²)	
	<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Pinus caribaea</i>
0 %	22.063,00 (Ba)	64.156,00 (Aa)
25%	21.102,00 (Bab)	58.345,00 (Ab)
40 %	19.534,00 (Bb)	41.508,00 (Ac)

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma linha ou mesma letra minúscula numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

No geral, os melhores valores foram obtidos nas chapas de *Pinus caribaea*, sendo que, quanto maior a proporção de PEAD adicionado, menor foram os valores médios de MOE. Tanto nas chapas de *Eucalyptus sp.* quanto nas chapas de *Pinus caribaea* o efeito da adição de PEAD ocasionou uma redução na rigidez da chapa. Este fato foi atribuído à maior flexibilidade do material plástico em relação às partículas de madeira, o qual conferiu às chapas uma menor rigidez.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se, dentre as proporções de PEAD testadas (0%, 25% e 40%), que as chapas produzidas com 25% apresentaram maiores valores para todas as propriedades mecânicas, exceto para a resistência ao módulo de elasticidade na flexão estática, ensaio no qual as chapas com proporções 0% de PEAD apresentaram valores superiores aos demais. Nas propriedades físicas, as chapas confeccionadas com a proporção de 40% de PEAD, apresentaram-se mais estáveis dimensionalmente, com baixos valores de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas de imersão. Para densidade, as chapas com 40% de PEAD apresentaram maiores valores.

Houve influência da espécie nas propriedades físicas e mecânicas das chapas com PEAD produzidas. Em relação às propriedades físicas, as chapas produzidas com *Pinus caribaea* apresentaram valores superiores, em relação às chapas de *Eucalyptus* sp., para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, após 2 horas de imersão. Para as propriedades mecânicas, as mesmas apresentaram valores superiores para dureza Janka, arracamento de parafuso (25% PEAD), compressão longitudinal (40% PEAD), módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática.

Conclui-se que o uso de PEAD é tecnicamente viável, para a confecção de compósitos plástico-madeira, visto que todas as chapas apresentaram valores médios superiores ao mínimo estabelecido pela norma ANSI/A1-208.93, para todas as propriedades mecânicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012** / ABRAF. – Brasília: 2013.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat-formed wood particleboard**: specification ANSI/A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particlesboards Association, 1993. 9p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels**: ASTM D 1037-91. Philadelphia: ASTM, v.04.09, 1991. (Annual Book of ASTM Standards).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de Madeira Aglomerada- Métodos de Ensaio**. ABNT NBR 14810-3. Março, 2002.

ASTM STANDARD D3878-01. **Standard terminology for composite materials**. West Conshohocken: ASTM International, 2001.

BRASIL, A. **As exportações brasileiras de painéis de madeira**. (Dissertação – Mestrado na Área de Economia e Política Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002, 74p.

BENADUCE, K. **Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret e *Golfari***. (Dissertação – Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Piracicaba: USP/ESALQ, 1998. 128p.

CABRAL, C. P. T. **Propriedades de painéis OSB fabricados com flocos esterificados**. Viçosa, MG, 2010.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2002.

CANDIAN, L. M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil.

CLEMONS, C. **Wood-plastic composites in the United States**. Forest Products Journal, v.52, n.6, p.10-18, 2002.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N.; NEVES, S. Compósitos termoplásticos com madeira. **Revista Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003

COUTINHO, F. M. B. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações 2003. **Revista Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

Em: <<http://www.plastivida.org.br>>. Acesso em: 20 de novembro 2013. Plastivida - Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos.

EIN, Co. Ltd. **Environmental Technology for a cleaner earth**. Japan: Ein Engineering Co.,Ltd, 2001. Technical Report.

SPECIALCHEM. **Additive developments aid growth in wood-plastic composites**. Disponível em: <<http://www.specialchem4polymers.com>> Acesso em: 02 julho, 2014.

KOENIG, K.M.; SYPKENS, C.W. Wood-plastic composites vie for market share. **Wood and Wood Products**, v.107, n.5, p.49-58, 2002.

MACIEL, A.S. et al. Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm., poliestireno (PS), e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 257-266, 2004.

MILAGRES, E. G. et al. Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.463-470, 2006.

REYNOLDS, T. **Wood Plastic Composites**. UK: Watford, n.211-511, 2004.
Technical Report.

REZENDE E; KAMEOKA F; OLIVEIRA J.A; **Wood Plastic Composites (WPC)**. Escola Politécnica da USP. São Paulo 2009.

PUPO, H. F. **Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (*Bactris gasepaes* Kunth)**. Botucatu, SP, 2012

Spinacé, M. A. da S ; Paoli, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Revista Química Nova**, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005.

YOUNGQUIST, J. A. Unlikely partners? The marriage of wood and nonwood materials. **Forest Products Journal**, v.45, n.10, p.25-30, 1995.