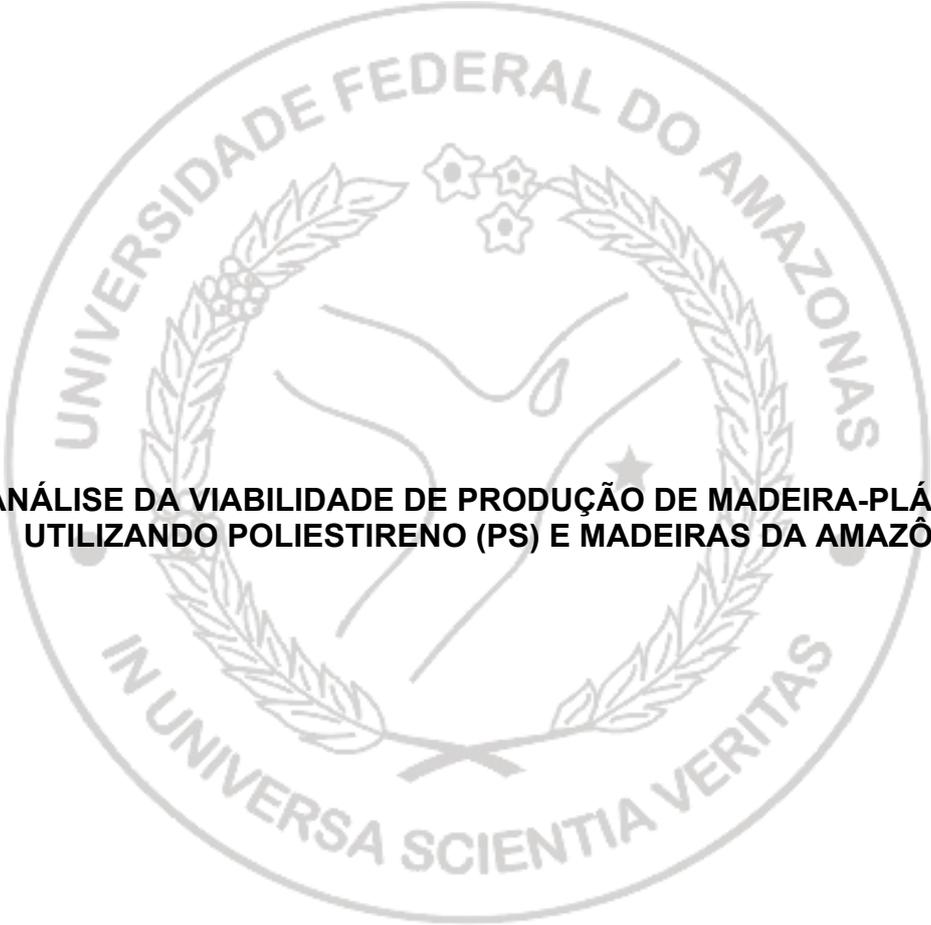


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**Faculdade de Ciências Agrárias**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

**GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA**



**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA  
UTILIZANDO POLIESTIRENO (PS) E MADEIRAS DA AMAZÔNIA**

Manaus  
2017

GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA  
UTILIZANDO POLIESTIRENO (PS) E MADEIRAS DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

**Orientadora:** Dra. Claudete Catanhede do Nascimento  
**Coorientador:** Dr. Afrânio Ferreira Neves Júnior

Manaus  
2017

### Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586a Silva, Giselle Larissa Rebouças Couto  
Análise da viabilidade de produção de madeira-plástica utilizando  
resíduos de poliestireno (PS) e de madeiras da Amazônia / Giselle  
Larissa Rebouças Couto Silva. 2017  
76 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Claudete Catanhede do Nascimento  
Coorientador: Afrânio Ferreira Neves Júnior  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduos. 2. Termoprensagem. 3. Madeira-plástica. 4.  
Ecoproduto. I. Nascimento, Claudete Catanhede do II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título



Poder Executivo  
Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
Faculdade de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



iii

## PARECER

Defesa nº 189

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir da mestranda **GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada **“ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA UTILIZANDO RESÍDUOS DE POLIESTIRENO (PS) E DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA”** é de parecer favorável à APROVADA da mestranda habilitando-a ao título de Mestre *“Magister Scientiae”* em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Professora Doutora Claudete Catanhede do Nascimento  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Presidente

Pesquisadora Doutora Sâmia Valéria dos Santos Barros  
Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
Primeira Examinadora

Pesquisador Doutor Celso Paulo de Azevedo  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Segundo Examinador



Manaus, 28 de Março de 2017.

Prof. Dr. Marciel José Ferreira  
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

*Dedicatória*

*À minha família que sempre me apoia, me sustenta, me conforta e me impulsiona.*

*Ao meu amado filho, Heitor Bruno, é tudo por e para você meu grande amor.*

*E todas as pessoas que estiveram ao meu lado nessa jornada.*

## **Agradecimentos**

A Deus, que me permitiu viver tudo isso e colocou as pessoas certas no momento exato em que eu mais precisava.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, na pessoa do coordenador, Dr. Marciel que sempre luta por melhorias no programa e da secretaria, Gilllieny que sempre esteve a disposição em ajudar e esclarecer o que fosse necessário. E ao meu co-orientador, que me apoiou quando decidi mudar de linha de pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa e as agencias de fomento que investiram na realização deste trabalho. E as empresas parceiras Mil Madeiras Preciosas e BIC.

Aos técnicos de diferentes laboratórios que me ajudaram nas várias etapas de realização dessa pesquisa: Cristiano, Genauro, José Maria, André Enriconi especialmente do LEAM (Marta, Roberto e Jair) que fizeram me sentir em casa sempre.

À minha querida e amada orientadora, Dra. Claudete Catanhede do Nascimento, que em todos os momentos esteve ao meu lado, muitas vezes sonhou e ousou mais que eu. Obrigada por fazer deste sonho realidade, por fazer este trabalho ser maior do que eu mesma jamais imaginei. Obrigada por me impulsionar e me fazer ir além e por acreditar que eu seria capaz. Deus não poderia ter me colocado em melhores mãos. Um grande obrigada a sua família também, em especial à sua filha Larissa por lhe ceder em diversos momentos (noites, feriados e fins de semana) e à sua mãe pela preocupação, orações e torcida.

Ao Dr. Alberto, que tantas e tantas vezes deu seu ponto de vista e por ceder o LEF, para que pudéssemos estudar.

À minhas irmãs pra vida toda que o mestrado me deu, Jennifer e Sulianne, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e dando luz e alegria nos momentos mais difíceis: “vou morrer de saudades” meninas da nossa convivência diária.

À meu minha família linda e maravilhosa (Rebouças e Santos). Agradeço imensamente por me apoiarem, por me compreenderem nos momentos em que estive ausente. Em especial às minhas tias Socorro, Anizia, Goreth, Tânia, minha prima-irmã Jackline, as minhas cunhadas Caroline e Tatiana, minha sogra Maria e meu sogro Euniro, que por tantas vezes se ocuparam do meu filho quando não pude estar. Amo vocês demais, essa vitória é de cada um de vocês.

À meu pai que sonha junto comigo e me apoia sempre. À matriarca da minha família, Raymunda Rebouças, por me incentivar e apoiar. Meu irmão Jonatas, por acreditar que seria possível. À minha mãe (em memória). Amo vocês demais.

À meu companheiro, Filipe Santos, que sabe o quão foi duro a distância e ausência. Obrigada por cuidar de nossa família sempre e por me amar, compreender e apoiar. E ao meu filho, que é meu incentivo, pois tudo que eu planto ele também colherá, espero ser um exemplo pra ti meu amor e que tenhas orgulho de tua mãe.

## RESUMO

A crescente demanda do mercado por produtos e serviços, faz com que se produza uma grande quantidade de resíduos sólidos. Dentre os principais materiais primários estão o plástico e a madeira que são considerados rejeitos tanto de forma doméstica quanto industrial. Devido a grande quantidade de resíduos plásticos e madeireiros produzidos, estudos com a finalidade de desenvolver um material composto que possua propriedades próximas ao da madeira e que tenha em sua matriz um reforço de cargas termoplásticas são de fundamental importância. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivos: definir as configurações e composições dos painéis, em relação às variáveis adotadas em sua manufatura; avaliar a qualidade de painéis madeira-plástica com diferentes composições de madeira e plástico; verificar a viabilidade de utilização dos painéis na confecção de artefatos; e avaliar a quantidade dos resíduos gerados para atender a demanda de mercado. Como matriz plástica foi utilizado resíduos industriais de poliestireno, em diferentes granulometrias e serragem de diferentes espécies de árvores tropicais amazônicas. Os resíduos foram misturados em diferentes proporções a partir de 50% de plástico até 100%. Após prensagem e posterior resfriamento, os painéis foram avaliados quanto a densidade, inchamento em espessura, absorção em água módulo de elasticidade dinâmico com Stress Wave Timer, compressão paralela e flexão estática. Avaliou-se também a trabalhabilidade dos painéis quanto a facilidade de corte na serra, perfuração por broca, prego e parafuso além do acabamento com verniz e cera de carnaúba. Os painéis tiveram densidade de média a alta. Os resultados de inchamento e absorção foram melhores quando comparados com trabalhos feitos com painéis de partícula. Nos testes mecânicos os melhores resultados foram com painéis que possuíam menor granulometria de poliestireno e, dependendo da granulometria, com maior proporção de plástico. É possível produzir painéis de madeira-plástica de maneira barata, reutilizando resíduos de madeira e de plástico de indústrias de grande porte pelo método de termoprensagem.

Palavras-chave: resíduos – termoprensagem – madeira-plástica.

## ABSTRACT

The growing market demand for products and services causes a large amount of solid waste to be produced. Among the main primary materials are plastic and wood which are considered waste both domestically and industrially. Due to the large amount of plastic and wood waste produced, studies with the purpose of developing a composite material that has properties close to the wood and that has a reinforcement of thermoplastic loads in its matrix are of fundamental importance. In this sense, the present study had as objectives: to define the configurations and compositions of the panels, in relation to the variables adopted in their manufacture; Evaluate the quality of wood-plastic panels with different compositions of wood and plastic; Verify the feasibility of using the panels in the manufacture of artifacts; And evaluate the amount of waste generated to meet market demand. As plastic matrix was used industrial waste polystyrene, in different granulometries and sawdust of different species of tropical Amazonian trees. The residues were mixed in different proportions from 50% plastic to 100%. After pressing and subsequent cooling, the panels were evaluated for density, swelling in thickness, water absorption dynamic modulus of elasticity with Stress Wave Timer, parallel compression and static bending. The workability of the panels was also evaluated for ease of cutting in the saw, drilling by drill, nail and screw in addition to finishing with varnish and carnauba wax. The panels had medium to high density. The results of swelling and absorption were better when compared to works made with particle panels. In the mechanical tests the best results were with panels that had lower polystyrene granulometry and, depending on the granulometry, with a higher proportion of plastic. It is possible to produce wood-plastic panels cheaply, reusing wood and plastic waste from large industries by the thermopressing method.

Keywords: waste - thermo-pressing - wood-plastic.

## LISTA DE SIGLAS

- AA – Absorção em água
- AFM – análise física e mecânica
- AV – análise visual
- CP – corpo de prova
- D – resíduo de poliestireno do tipo disco
- IE – Inchamento em espessura
- M – resíduo de poliestireno do tipo *mix*
- MOE – módulo de elasticidade
- MOEd – módulo de elasticidade dinâmico
- MOR – módulo de ruptura
- MORc – módulo de ruptura à compressão
- MORf – módulo de ruptura à flexão
- NBR – norma brasileira
- NC – resíduo de poliestireno do tipo não conforme
- NCM – resíduo de poliestireno do tipo não conforme + *mix*
- P – resíduo de poliestireno do tipo pó
- PET – politereftalato de etileno
- PS – poliestireno
- WPC – wood plastic composite (compósito madeira-plástica)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da empresa Mil Madeiras Preciosas e suas áreas manejadas e não manejadas.....	12
<b>Figura 2.</b> Resíduos de poliestireno coletados .....	14
<b>Figura 3.</b> Molde utilizado na produção dos painéis .....	15
<b>Figura 4.</b> Resíduos de poliestireno do tipo pó e de pedaço de lápis após teste de aquecimento à 150°C e 180°C.....	16
<b>Figura 5.</b> Esquema de produção dos painéis.....	17
<b>Figura 6.</b> Layout da posição de retirada dos corpos de prova dos painéis, para os ensaios físicos e mecânicos.....	18
<b>Figura 7.</b> Equipamento Stress Wave Timer, utilizado para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, ensaio não destrutivo.....	20
<b>Figura 8.</b> Máquinas de teste dos ensaios destrutivos .....	23
<b>Figura 9.</b> Furadeira horizontal de avanço manual utilizada nos ensaios de perfuração dos corpos de prova.....	24
<b>Figura 10.</b> Homogeneização das partículas de serragem com poliestireno de diferentes dimensões .....	28
<b>Figura 11.</b> Fuga do material do tipo pedaço de lápis durante aquecimento.....	29
<b>Figura 12.</b> Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'mix' .....	30
<b>Figura 13.</b> Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'pó' .....	31
<b>Figura 14.</b> Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'disco'.....	32
<b>Figura 15.</b> Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'pedaço de lápis' .....	33
<b>Figura 16.</b> Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'pedaço de lápis + mix' .....	34
<b>Figura 17.</b> Gráfico da relação densidade e proporção de material plástico .....	35
<b>Figura 18.</b> Gráfico da relação densidade e tipo de material plástico.....	36
<b>Figura 19.</b> Corpos de prova imersos em água para ensaios de absorção de água e inchamento em espessura .....	37
<b>Figura 20.</b> Ensaio de compressão paralela .....	43
<b>Figura 21.</b> Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão estática.....	48
<b>Figura 22.</b> Superfícies do painel após perfuração por prego e parafuso .....	54
<b>Figura 23.</b> Superfícies e parte interna do painel após perfuração por brocas.....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais espécies comercializadas pela empresa Mil Madeiras Preciosas .....	13
<b>Tabela 2.</b> Tratamentos, segundo o tipo de plástico e a composição do painel .....	25
<b>Tabela 3.</b> Quantidade de painéis produzidos e ensaios realizados.....	26
<b>Tabela 4.</b> Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do inchamento em espessura, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% ....	38
<b>Tabela 5.</b> Média, desvio padrão, valo mínimo e máximo da absorção em água, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	40
<b>Tabela 6.</b> Médias do inchamento em espessura e absorção de água, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	42
<b>Tabela 7.</b> Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do MOR na compressão paralela, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	44
<b>Tabela 8.</b> Valores médios do ensaio de módulo de ruptura na compressão paralela, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	45
<b>Tabela 9.</b> Módulo de ruptura à compressão (MORc) de madeiras da Amazônia.....	46
<b>Tabela 10.</b> Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do módulo de ruptura na flexão estática, em corpos de prova do centro (C) e lateral (L), em que PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> , PL = pedaço de lápis, D = disco, P = pó e M = <i>mix</i> e as respectivas porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	47
<b>Tabela 11.</b> Valores médios do ensaio de módulo de ruptura na flexão estática de corpos de prova do centro e da lateral dos painéis, em que M = <i>mix</i> , D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	49
<b>Tabela 12.</b> Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do módulo de elasticidade dinâmico, em corpos de prova do centro (C) e lateral (L), em que PLM = pedaço de lápis + <i>mix</i> , PL = pedaço de lápis, D = disco, P = pó e M = <i>mix</i> e as respectivas porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% .....	51

**Tabela 13.** Valores médios do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) de corpos de prova do centro e da lateral dos painéis, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100% ..... 52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 PRESSUPOSTOS.....	3
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>1.2.1 Geral</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2.2 Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 MADEIRA.....	4
2.2 POLÍMEROS.....	4
2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	5
<b>2.3.1 Resíduos madeireiros</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3.2 Resíduos plásticos</b> .....	<b>7</b>
2.4 MADEIRA-PLÁSTICA .....	7
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
3.1 COLETA, SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	11
<b>3.1.1 Resíduo madeireiro</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.2 Resíduo plástico</b> .....	<b>13</b>
3.2 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS .....	14
<b>3.2.1 Estudo preliminar</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2.2 Manufatura dos painéis a serem testados</b> .....	<b>17</b>
3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉCNOLÓGICAS .....	18
<b>3.3.1 Propriedades físicas</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3.2 Propriedades mecânicas</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.3 Trabalhabilidade</b> .....	<b>23</b>
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
<b>3.4.1 Análise descritiva</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4.2 Análise de variância</b> .....	<b>24</b>
3.5 ANÁLISE DA PRODUÇÃO E DA UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS.....	26
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
4.1 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	27
4.2 ANÁLISE VISUAL .....	29
<b>4.2.1 Mix</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2.2 Pó</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2.3 Disco</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.4 Pedaco de lápis</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.5 Pedaco de lápis + mix</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2.6 Seleção dos painéis para testes físicos e mecânicos</b> .....	<b>34</b>
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS .....	35
<b>4.3.1 Densidade</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.2 Inchamento em espessura e absorção de água</b> .....	<b>36</b>
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	42
<b>4.4.1 Compressão paralela</b> .....	<b>42</b>
<b>4.4.2 Módulo de ruptura à flexão estática</b> .....	<b>46</b>
<b>4.4.3 Módulo de elasticidade dinâmico</b> .....	<b>50</b>
4.5 TRABALHABILIDADE .....	54
4.6 ANÁLISE DA PRODUÇÃO E DA UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS.....	55

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os problemas ambientais relacionados a produção intensiva de resíduos sólidos é cada vez mais preocupante. Tanto as indústrias como a população, produzem esses resíduos em grandes quantidades. Dar uma destinação ecologicamente adequada não é tarefa fácil e, diante da crise ambiental contemporânea, buscar alternativas para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos é fundamental (CARVALHO, CASTRO & GUIMARÃES, 2014).

Existe, no mundo, uma crescente busca por novos materiais que possam substituir materiais comumente utilizados na construção, como madeira, plástico, alumínio, entre outros, que sejam mais baratos, mas que tenham propriedades e características melhores ou mais eficientes (MORENO et al., 2013).

Compósitos termoplásticos são produtos obtidos a partir de uma matriz, contínua ou descontínua, de resina termoplástica reforçada com partículas de madeira. Os produtos obtidos associam as melhores qualidades de cada constituinte e se caracterizam por apresentar propriedades peculiares, como baixa massa específica, boa estabilidade dimensional e alta resistência à corrosão, distinguindo-os de outros materiais. Geralmente os compósitos termoplásticos são produzidos pelos processos de extrusão, injeção e compressão (MACIEL et al., 2004).

Na América do Norte e na Europa, os termoplásticos e elementos de madeira veem sendo combinados com a finalidade de produzir painéis (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Esses painéis são conhecidos com madeira-plástica ou compósitos termoplásticos (do inglês WPC – wood plastic composite). Enquanto no Brasil o uso dessa tecnologia é tímida, com possibilidade de aplicação considerando as pesquisas desenvolvidas neste segmento com resultados satisfatórios.

Em comparação com produtos de origem florestal, a madeira-plástica possui as seguintes vantagens (ARRUDA, 2007):

- Não é atacada por cupins ou fungos;
- Não absorve umidade;
- Resistente a agentes químicos em geral e a raios ultravioleta;
- Baixo consumo energético em sua produção;
- Resistente à água salgada e à deterioração ambiental;

- Não requer elementos de proteção como seladoras e vernizes;
- Fácil instalação e permite uso de pregos e parafusos;
- Não apresenta nós nem farpas;
- Aceita o uso de ferramentas de corte manual;
- Pode apresentar perfis com formatos diversificados;
- É reciclável; e
- Possui menor custo de manutenção de rotina, entre outros.

Dessa forma, a grande quantidade de madeira plástica comercializada nos EUA, Europa e Ásia podem vir a representar uma tendência para os países em desenvolvimento, dando a esse produto uma possível alternativa ambiental para diminuir o volume de resíduos destinados aos aterros (GUIMARÃES, 2013). No Brasil as indústrias produzem chapas de partículas essencialmente para as espécies *Pinus* e *Eucalyptus* (floresta plantada), (CHRISTOFORO et al., 2015).

A produção de painéis de partículas, geralmente, utiliza resinas que poluem o meio ambiente, principalmente por meio da emissão de gases (CHRISTOFORO et al., 2015). Estudos vêm sendo realizados, visando reduzir ou excluir o uso desse tipo de resina, substituindo-a por resina poliuretana à base de óleo de mamona, por exemplo.

Pesquisas têm demonstrado que no processamento da madeira, em todos os seus segmentos, são gerados resíduos com qualidades para serem aproveitados na geração de produtos com valor agregado que, geralmente, são transformados em energia ou descartados na natureza (NASCIMENTO et al., 2011), porém por falta de conhecimentos da tecnologia 65% da tora é transformado em resíduos no momento do processamento (CAVALCANTI et al., 2012).

Recentemente o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA aprovou a redução do percentual de aproveitamento de toras nas serrarias de 45% para 35%, medido pelo Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CONAMA, 2016). Apesar de essa mudança no percentual de aproveitamento solucionar o problema com o “esquentamento” de madeiras, acaba contribuindo de maneira significativa para desvalorização das madeiras da Amazônia, pois aumenta-se a produção de resíduos. Nesse sentido, pesquisas que visem aproveitar resíduos de madeira da Amazônia, na produção de painéis de partículas, mostram-se de grande importância.

Diante da escassez de estudos de produção de painéis de madeira-plástica,

utilizando madeiras amazônicas, e a problemática dos resíduos sólidos industriais e pós-consumo, este trabalho surge como uma possibilidade de reduzir os impactos negativos na geração de resíduos. Além da possibilidade de agregar valor a esses resíduos, que em sua maioria causa prejuízos ao meio ambiente e a saúde humana. A questão norteadora do trabalho é pesquisar se resíduo de plástico e de madeira são capazes de se aglutinar o suficiente para formar um painel resistente.

## 1.1 PRESSUPOSTOS

Os resíduos de madeira e plásticos podem fornecer painéis madeira-plástica com características tecnológicas para uso em artefatos.

A quantidade de resíduos gerados podem atender a demanda de produção de painéis.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Propor uso de resíduos sólidos (plástico e madeira) para a produção de painéis.

### 1.2.2 Específicos

- a) Definir as configurações e composições dos painéis, em relação às variáveis adotadas em sua manufatura;
- b) Avaliar a qualidade de painéis madeira-plástica com diferentes composições de madeira e plástico;
- c) Verificar a viabilidade de utilização dos painéis na confecção de artefatos;
- d) Avaliar a quantidade dos resíduos gerados para atender a demanda de mercado.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 MADEIRA

A madeira é um material versátil que possui diferentes aplicabilidades nas mais diversas atividades humanas. Essa matéria-prima é utilizada desde a fabricação de móveis, estruturas de construções, servindo também como fonte de energia e adubo. O aumento do mercado consumidor dessa importante matéria-prima, faz com que ocorra um aumento também da produção de resíduos no processo de beneficiamento. A madeira é um produto ecologicamente correto, por se tratar de uma fonte de matéria-prima natural e renovável (TAKESHITA, 2011). Apesar de ser um recurso renovável é um recurso finito, e para que esse recurso não se esgote é necessário utiliza-lo de forma racional (NAHUZ, 2001). Em florestas nativas existe uma preocupação com o reduzido número de espécies altamente exploradas e com o elevado volume de resíduos gerados desde a exploração até o processamento (NAHUZ, 2001).

### 2.2 POLÍMEROS

Os polímeros, comumente chamados de plásticos, são materiais sintéticos que sob a ação do calor e pressão podem ser moldados. São macromoléculas formadas pela união de monômeros, que são cadeias longas de moléculas pequenas que se entrelaçam. A polimerização é o processo de união entre os monômeros. Os plásticos são materiais produzidos a partir do petróleo, são baratos, duráveis e versáteis, isso facilita o desenvolvimento de novos produtos e beneficia a sociedade em diversos aspectos (OLIVEIRA, 2012).

O plástico é um material de difícil degradação e é bastante utilizado no dia-a-dia da população. Esse material está presente em diferentes formas no cotidiano do ser humano, principalmente como embalagens que são, em sua maioria, plásticas. Uma das matérias primas de reciclagem mais visadas é o PET (politereftalato de etileno), pois dele são fabricados variados itens em larga escala, principalmente garrafas sendo, portanto, abundante a proporção deste no lixo produzido (RIBEIRO et al. 2010).

Os plásticos se dividem em três grandes grupos (KAKIZAWA, 2009):

- a) **Termoplásticos** – são os diversos materiais plásticos encontrados no dia-a-dia. Sua característica principal é poder ser fundido inúmeras vezes e dependendo do tipo do plástico, pode dissolver-se em vários solventes. Esse grupo é o que possui a característica de reciclagem possível, que é uma característica muito desejável atualmente. As propriedades mecânicas irão variar conforme o plástico: sob temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis;
- b) **Termorrígidos** (termofixos ou termoestáveis) – são rígidos e frágeis, muito estáveis a variações de temperatura. Quando prontos, não se fundem mais. Quando acabado, se for aquecimento a altas temperaturas decompõe-se antes de sua fusão. Por isso sua reciclagem é complicada; e
- c) **Elastômeros** (borrachas) – é a classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos: não são fusíveis, no entanto apresentam uma elasticidade alta, não sendo rígidos como os termofixos. Sua reciclagem é complicada devido a sua incapacidade de fusão.

Uma particularidade dos plásticos é seu caráter viscoelástico: suas propriedades mecânicas agregam características dos líquidos viscosos e dos sólidos elásticos. Essa natureza explica o seu comportamento complexo – dependente do tempo, da temperatura e da taxa de deformação (PARENTE & PINHEIRO, 2008).

Os plásticos possuem as seguintes características físicas: leveza (quando comparado ao metais ou cerâmicas), alta flexibilidade, alta resistência ao impacto, baixas temperaturas de processamento, baixa condutividade elétrica e térmica, maior resistência a corrosão, alta resistência à degradação por microorganismos. Esses são amplamente utilizados como embalagens.

## 2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei Federal N°. 12.305, de 2 de agosto de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conceitua resíduo sólido e rejeito como (BRASIL, 2012):

“resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja a destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas

particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

“rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Diante do exposto, a maioria dos resíduos sólidos de plástico e de madeira, vem sendo tratados comumente como rejeitos, sendo que são resíduos sólidos e podem, como tal, ter uma nova destinação.

As grandes geradoras de resíduos e rejeitos madeireiros são as indústrias madeireiras, que em alguns casos destinam esses materiais para geração de energia para a própria indústria, ou para olarias próximas. Mas há ainda os resíduos urbanos, oriundos da construção civil, arborização urbana e embalagens ou descarte.

Os resíduos plásticos são oriundos das mais diversas atividades humanas, visto que as embalagens são em sua totalidade ou grande parte feita com plásticos. Dessa forma, acabam sendo usadas temporariamente, e logo em seguida são descartadas no lixo.

### **2.3.1 Resíduos madeireiros**

Os resíduos madeireiros são oriundos das diferentes etapas do processamento de toras na indústria madeireira: desdobro, canteamento, resserragem e destopamento. Produzindo resíduos de diferentes tamanhos e qualidade: casca, costaneiras, refilos, etc. A geração excessiva de resíduos madeireiros e seu baixo aproveitamento resultam em danos ambientais, perda significativa de oportunidade para a indústria, comunidades locais, governos e sociedade em geral, especialmente em regiões remotas, dependentes de fontes energéticas externas (BRASIL, 2009).

Nas indústrias madeireiras, das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, os resíduos são destinados em sua maioria, para a produção de produtos de maior valor agregado (PMVA) como carvão, cabos, briquete e embalagem (BRASIL, 2009). A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela lei 12.305/2010,

prevê a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, pois o crescimento do setor florestal indica que a geração de resíduos aumentará, e será necessário implementar políticas e tecnologia para que seja feito o manejo adequado desses subprodutos (BRASIL, 2012). Em Manaus, capital estado do Amazonas, práticas de gestão ambiental são pouco desenvolvidas entre as microempresas e empresas de pequeno porte da cidade (JERONIMO, 2014).

Estudo realizado sobre o aproveitamento de resíduos de madeira da região de Santiago de Compostela (Espanha), a produção de chapas de partículas foi considerada mais viável que a utilização desses resíduos para produção de energia, concluindo que o aproveitamento de resíduos em produtos com maior valor agregado se apresenta como interessante solução, não apenas por reduzir os impactos ambientais negativos (decorrentes da emissão de gases), como também para gerar trabalho e renda (RIVELA et al., 2006).

### **2.3.2 Resíduos plásticos**

Os plásticos em geral são moldados sob ação do calor e da pressão. Eles estão presentes nas mais diversas atividades humanas do dia-a-dia, principalmente na forma de embalagens descartáveis, por isso sua presença é constante no lixo produzido diariamente pelas atividades humanas.

As embalagens, após serem absorvidas pelo mercado consumidor, são descartadas como resíduo pós-consumo, e por não serem biodegradáveis acabam tornando-se um sério problema ambiental. Parte deste material, usualmente rejeitado, se recuperado poderia estar sendo utilizado como matéria-prima para produção de compósitos termoplásticos (MACIEL et al., 2004).

## **2.4 MADEIRA-PLÁSTICA**

O compósito madeira-plástico, WPC do inglês Wood Plastic Composites, é definido como produtos compósitos que contêm partículas lignocelulósicas (de diferentes fontes) misturadas com termoplásticos ou termoendurecíveis (CLEMONS, 2002). Pode-se definir ainda, como a mistura ou combinação de dois ou mais constituintes, que se diferem na forma ou na composição química e que são essencialmente insolúveis um ao outro, afim de gerar qualidade superior aos de

seus constituintes individualmente, sendo um a matriz – meio de transferência da força aplicada – e o outro o reforço – responsável por fornecer a resistência principal do esforço (CORRÊA, 2004).

Como definição, esse termo é bastante amplo, e as fibras utilizadas na produção podem ser de origem madeireira ou de outras fontes naturais. A escolha da matéria-prima depende, normalmente, da localização geográfica onde o produto será fabricado. Por exemplo, na América do Norte, a madeira é a matéria-prima mais comum, na Europa fibras naturais enquanto que na Ásia fibras de bambu e farinha de casca de arroz (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). O ponto de fusão dos termoplásticos, comumente, utilizados com fibras vegetais deverá ser inferior ao ponto de degradação das fibras, que ocorre geralmente entre 200 e 220°C (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

No ano de 2014 foram produzidos 388 milhões de m<sup>3</sup> de painéis a base de madeira, desses, 227 milhões de m<sup>3</sup> foram painéis à base de partículas e fibras de madeira, em comparação ao ano 2000, esse valor representa um aumento de 89% (FAO, 2016). Isso significa, que esse tipo de produto esta em expansão no mercado.

A madeira para produção de painéis, no Brasil, vem de florestas plantadas e de empresas produtoras de painéis, que utilizam madeira de pinus, eucalipto ou ambas em sua produção. Apesar da produção de painéis de madeira aglomerada já ser consolidada no mundo, novas matérias-primas e tecnologias de produção estão sendo testadas afim de gerar novos produtos. Nesse sentido, as resinas termoplásticas, aparecem com grande potencial para ser associado à madeira, para produção de painéis (MACIEL et al., 2004).

A madeira-plástica esta consolidada em alguns mercados ao redor do mundo. Na América do Norte a madeira plástica tem sido utilizada principalmente na indústria da construção, na Europa na indústria automobilística e na Ásia estão presentes na indústria de móveis e construção de interiores, e há uma forte tendência a se infiltrar no mercado global (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

Cerca de 1 milhão de toneladas de WPC são produzidas nos EUA, na China são 200.000 toneladas e no Japão são 100.000 toneladas. A Alemanha é líder europeu nesse seguimento, com mais de 70.000 toneladas e é líder na fabricação de maquinário utilizado na produção desse tipo de painel (GUIMARÃES, 2013).

Os compósitos a base de partículas lignocelulósicas e termoplásticos podem ser produzidos pelo processo de extrusão ou termocompressão. No processo de extrusão ocorre o aquecimento do plástico e do material lignocelulósico juntos. Após o aquecimento, essa mistura é forçada a passar por uma cavidade, que possui a forma final do produto desejado. A termoprensagem consiste em aplicar pressão e temperatura aos materiais. Pelo processo de extrusão pode-se obter diferentes perfis, sendo a forma do perfil constante e o comprimento conforme a necessidade. Na termoprensagem, os painéis podem ter diferentes espessuras e tamanhos, segundo a capacidade e dimensionamento da máquina (CORRÊA, 2004).

Pesquisa realizada com partículas de madeira (*Pinnus elliottii*), com resinas sintéticas (poliestireno – PS) e com polietileno tereftalato (PET), empregando adesivos de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído para formação de painéis de  $0,6 \text{ g/cm}^3$  utilizando três proporções, apresentaram propriedades mecânicas superiores às exigidas pela norma ANSI/A 208.1-1993. Contudo, todos os painéis absorveram água em valores superiores àqueles normalmente observados em painéis comerciais. Apesar disto, o inchamento em espessura foi compatível com o dos painéis de partículas de madeira existentes no mercado. Os painéis nos quais se aplicou a solução de poliestireno, foram de modo geral, os que apresentaram os melhores valores para todas as propriedades (MACIEL et al., 2004).

As propriedades de painéis de partículas aglomeradas com bagaço de cana e resina poliuretana derivada de óleo de mamona foram avaliadas com base nas prescrições do documento normativo NBR 14810, de acordo com Fiorelli et al. (2011). Apresentaram densidade média de  $0,93 \text{ g/cm}^3$  MOR e MOE médios 24,4 e 2432 MPa, recomendado para uso industrial segundo os indicativos da norma ANSI A208.1 (1993).

Foram confeccionados painéis com resíduos de madeira de *Pinus elliottii* e resina poliuretana à base de mamona em várias combinações da pressão (2,0; 3,0; 3,5; e 3,5 MPa) e temperatura (90; 90; 50; e 60°C) na qualidade das chapas produzida. As chapas produzidas nas condições de pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90°C e aquelas com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60°C apresentaram os melhores resultados. A temperatura de prensagem foi a variável

preponderante na qualidade das chapas produzidas. (PAES et al., 2011).

Resíduos de madeira tropical de baixa densidade (*Cordia goeldiana*) e resinas poliuretanas monocomponente e bicomponente derivadas de óleo de mamona, foram utilizadas para produção de chapas de partículas. As chapas foram confeccionadas com 15% de resina (sendo uma parte de polioli para uma parte de pré-polímero), a uma pressão de 4 MPa, temperatura de prensagem de 90°C e prensagem por 7 minutos. Testaram-se as seguintes propriedades físicas e mecânicas: densidade; umidade; módulo de resistência na flexão estática e adesão interna, todas seguindo a norma NBR 14810:2002. Os valores médios obtidos das propriedades físicas e mecânicas foram superiores aos requisitos das norma, o que indica a possibilidade do emprego dos resíduos dessa espécie *C. Goeldiana* na produção de painéis de partícula (CHRISTOFORO et al., 2015).

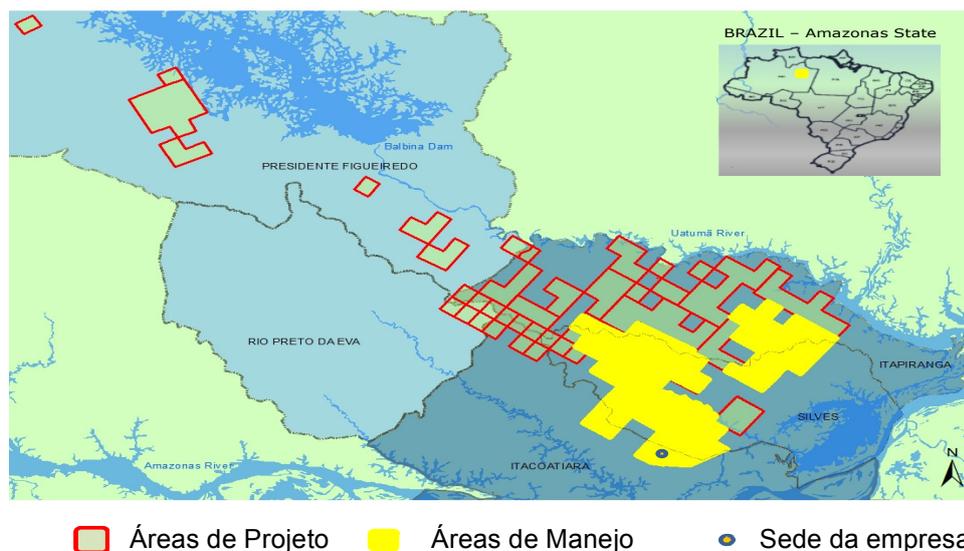
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia proposta neste trabalho foi realizada nas seguintes etapas: coleta, seleção e caracterização dos resíduos; confecção dos painéis segundo as granulometria dos materiais (madeira e plástico) e avaliação das propriedades tecnológica dos painéis.

#### **3.1 COLETA, SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS**

##### **3.1.1 Resíduo madeireiro**

Os resíduos madeireiros empregados na produção dos painéis de partículas foram obtidos na serraria da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda., sediada no município de Itacoatiara/Amazonas à 250 quilômetros a leste de Manaus, Brasil. A empresa tem práticas florestais sustentáveis em 506.637 hectares em terras próprias no município de Itacoatiara. Mais de 70 diferentes espécies de madeira são utilizadas em seu processo produtivo. Em 1997, a empresa foi certificada de acordo com os padrões do Forest Stewardship Council (FSC). A madeira colhida é processada em madeira serrada, produtos acabados e laminados, destinada, principalmente, para a exportação para a Europa, Estados Unidos e Ásia. A empresa possui serrarias e instalações de fabricação próprias, e os resíduos de madeira da serraria são queimados em uma usina de geração de energia elétrica de biomassa, onde parte é destinada para a cidade de Itacoatiara. A usina está em operação desde 2002, (PRECIOUS WOOD, 2016).



**Figura 1.** Localização da empresa Mil Madeiras Preciosas e suas áreas manejadas e não manejadas.

Fonte: preciouswood.com

Foram coletados resíduos de diferentes espécies e de diferentes tipos de resíduos madeireiros, dentre eles serragem e costaneiras. Optou-se por utilizar apenas a serragem, pelos seguintes motivos:

- a empresa não utiliza serragem na produção de energia, o que a torna o resíduo com maior risco de passivo ambiental;
- os resíduos de maiores dimensões, como as costaneiras, tem um valor tecnológico maior, podendo agregar valor ao serem transformados em móveis ou outro objetos;
- usando a serragem, não será necessário transformar os resíduos de maior dimensão em serragem, poupando tempo e dinheiro na produção dos painéis; e
- a serragem possui tamanho de partículas reduzido, que propicia uma melhor homogeneidade com os resíduos plásticos utilizados neste estudo.

No entanto, por serem utilizadas diferentes espécies no processo produtivo da empresa, não foi possível identificar quais e quantas espécies estavam presentes na serragem. As espécies atualmente comercializadas pela empresa nos últimos quatro anos, são as presentes na Tabela 1, que possuem densidade básicas de média a alta.

**Tabela 1.** Principais espécies comercializadas pela empresa Mil Madeiras Preciosas

<b>Nome Vulgar</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Densidade Básica</b>
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium modestum</i>	0,59
Angelim-rajado	<i>Pithecellobium incuriale</i>	0,81
Breu-branco	<i>Protium paniculatum</i>	0,74
Cedrinho	<i>Scleronema micranthum</i>	0,57
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i>	1,08
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	0,71
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	0,76
Jutaí-pororoca	<i>Dialium guianense</i>	0,88
Louro-gamela	<i>Ocotea rubra</i>	0,64
Louro-itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>	0,80
Louro-preto	<i>Ocotea neesiana</i>	0,63
Mandioqueira	<i>Qualea paraenses</i>	0,70
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>	0,90
Pequiá-marfim	<i>Aspidosperma desmanthum</i>	0,93
Pequiá	<i>Caryocar villosum</i>	0,72
Sucupira-amarela	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0,85
Sucupira-vermelha	<i>Andira parviflora</i>	0,67
Tauari-cachimbo	<i>Coriniana rubra</i>	0,65
Uxi	<i>Endopleura uchi</i>	0,74

Fonte: Mil Madeiras Preciosas, 2016.

### 3.1.1.1 Umidade

Para determinar a umidade da serragem, uma amostra de 150 g foi depositada em uma estufa a 105°C. Após 48 horas a amostra foi pesada novamente e a umidade foi determinada seguindo a Equação 1.

$$U = \frac{P_u - P_f}{P_f} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

U – umidade (%);

P<sub>u</sub> – peso inicial – úmido (g); e

P<sub>f</sub> – peso final – seco em estufa (g).

### 3.1.2 Resíduo plástico

A resina plástica de poliestireno (PS), adveio dos rejeitos do processo produtivo diário de lápis, da empresa BIC. Os resíduos utilizados, foram oriundos de dois tipos de processos da empresa:

- apontamento: resíduo do apontamento dos lápis; e
- pedaço de lápis: são descartados por não serem aprovados no controle de qualidade.

Como principal diferença dos materiais pode-se destacar, o tamanho das partículas. Os resíduos oriundos do 'apontamento' são menores que os 'pedaços de lápis' oriundos do controle de qualidade. Por essa razão, os resíduos do apontamento foram divididos em 3 diferentes tipos: 'disco', 'pó' e 'mix' (que é a mistura do resíduo tipo 'disco' e do tipo 'pó'). Dessa forma, obteve-se quatro diferentes tipo de resíduos plásticos (Figura 2). Fez-se uma mistura utilizando os resíduos 'pedaço de lápis' com o 'mix', totalizando cinco tipos de resíduos.



**Figura 2.** Resíduos de poliestireno coletados  
a) pedaço de lápis; b) disco; c) pó; d) pedaço de lápis + mix; e) mix

### 3.2 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS

As medidas dos pratos (20 x 20 cm) da prensa e a espessura final requerida do painel determinaram as suas dimensões e forma. A partir das dimensões e da definição da densidade nominal de 1 g/cm<sup>3</sup>, calculou-se a quantidade de material necessária para produzir os painéis, conforme Equação 2.

$$D = \frac{P}{V} \quad (2)$$

Onde:

D – densidade (g/cm<sup>3</sup>);

P – peso (g);

V – volume (cm<sup>3</sup>).

Para montagem dos painéis foi confeccionado molde (laterais e chapas superior e inferior) em aço inox (Figura 3a). Tubos de aço foram utilizados acima da

chapa superior afim de superar algumas limitações da prensa no momento da prensagem (Figura 3b).



**Figura 3.** Molde utilizado na produção dos painéis

a) molde com chapas superior e inferior móveis; b) molde com os tubos utilizados para ajudar na prensagem.

### 3.2.1 Estudo preliminar

Estudo preliminar foi realizado com o intuito de estudar as condições de produção dos painéis. Após a classificação dos diferentes tamanhos de partículas de PS, estas foram misturadas à serragem de acordo com as proporções pré-determinadas para cada painel (ver item 3.5.2).

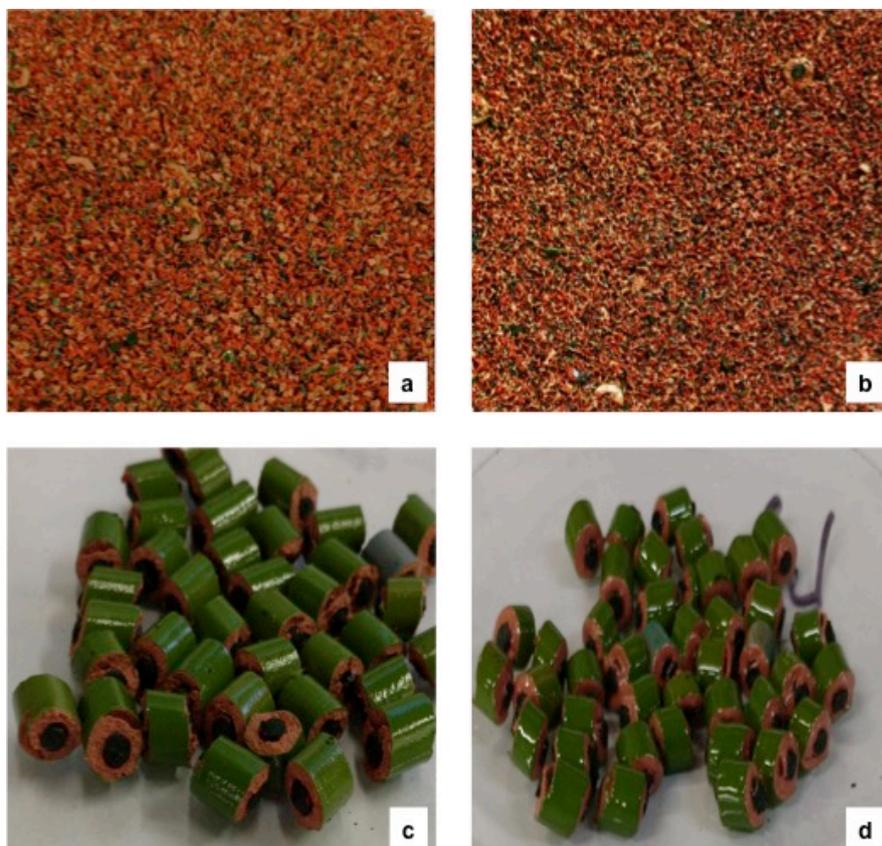
#### 3.2.1.1 Definição dos fatores e metodologia de produção

Para estimar a temperatura de derretimento da resina plástica PS, submeteu-se 10 g do material nas granulometrias 'pó' e 'pedaço de lápis' à três diferentes temperaturas de aquecimento em estufa eletrônica: 150°C, 180°C e 200°C.

A partir de 15 minutos de aquecimento observou-se o comportamento do material. Observações sucessivas foram realizadas a cada cinco minutos, até atingir 30 minutos de aquecimento.

Fez-se três repetições para cada material e cada temperatura. Das observações feitas, optou-se pela temperatura de 180°C por 25 minutos (Figura 4b e

4d), pois a 150°C não ocorreu o derretimento do material (Figura 4a e 4c). A 200°C ocorreu o mesmo comportamento que a 180°C, mas devido a elevada temperatura houve a preocupação com ocorrência de degradação da madeira.



**Figura 4.** Resíduos de poliestireno do tipo pó e de pedaço de lápis após teste de aquecimento à 150°C e 180°C

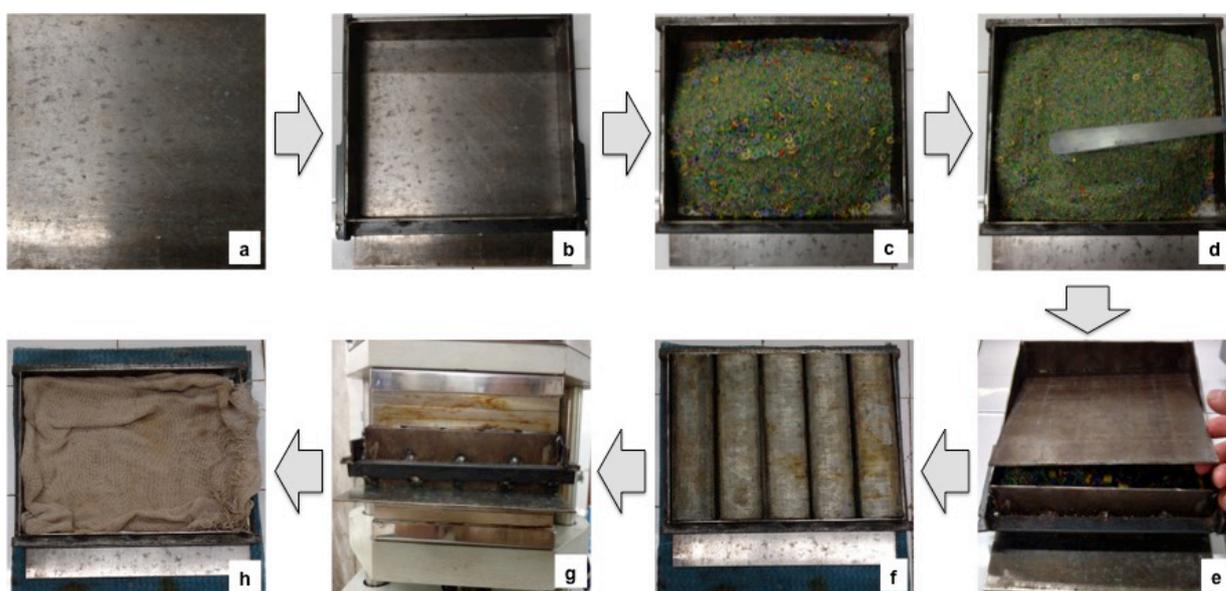
a) resíduo tipo pó após 30 minutos de aquecimento à 150°C; b) resíduo tipo pó após 30 minutos de aquecimento à 180°C; c) resíduo tipo pedaço de lápis após 30 minutos de aquecimento à 150°C; d) resíduo tipo pedaço de lápis após 30 minutos de aquecimento à 180°C.

Levando em consideração as dimensões dos painéis determinados no item 3.2, quantificou-se o total de material necessário para a formação do painel. Posteriormente, foram calculadas as proporções de madeira e de PS para cada painel. As diferentes proporções foram misturadas em sacos plásticos. Posicionou-se a forma sobre a chapa inferior móvel, para a deposição e espalhamento do material da maneira mais uniforme possível.

O molde foi fechado com a chapa superior móvel e sobre ela foram colocados tubos de aço, de iguais dimensões, para então o molde ser levado a prensa. Esses tubos foram uma adaptação para superar algumas limitações da

prensa. A prensa utilizada foi a Marconi MA098, com capacidade de prensagem de 15 toneladas e sistema hidráulico de prensagem.

A pressão empregada foi a mesma utilizado por Zoch (2013), 62 kgf/cm<sup>2</sup>. Fez-se a conversão da pressão para toneladas (1,2 t), pois é a unidade de uso da prensa. Após o tempo de aquecimento, retirou-se a forma da prensa com o painel, que foi imediatamente depositado entre dois panos úmidos para a diminuir a temperatura. Após cerca de 10 minutos foi possível ocorrer o desprendimento do painel das chapas (superior e inferior).



**Figura 5.** Esquema de produção dos painéis

a) fundo falso; b) molde depositado sobre o fundo; c) deposição do material do painel na forma; d) espalhamento do material do painel na forma; e) fechamento da forma com uma tampa móvel; f) tubos que auxiliam na prensagem; g) prensagem; h) resfriamento da forma para posterior retirada do painel.

Foram produzidos 75 painéis nesta fase preliminar. Estes foram analisados visualmente e manualmente (pequenos esforços manuais para verificar a consistência do painel). A partir dessa análise preliminar, escolheu-se os melhores painéis para serem reproduzidos na segunda fase.

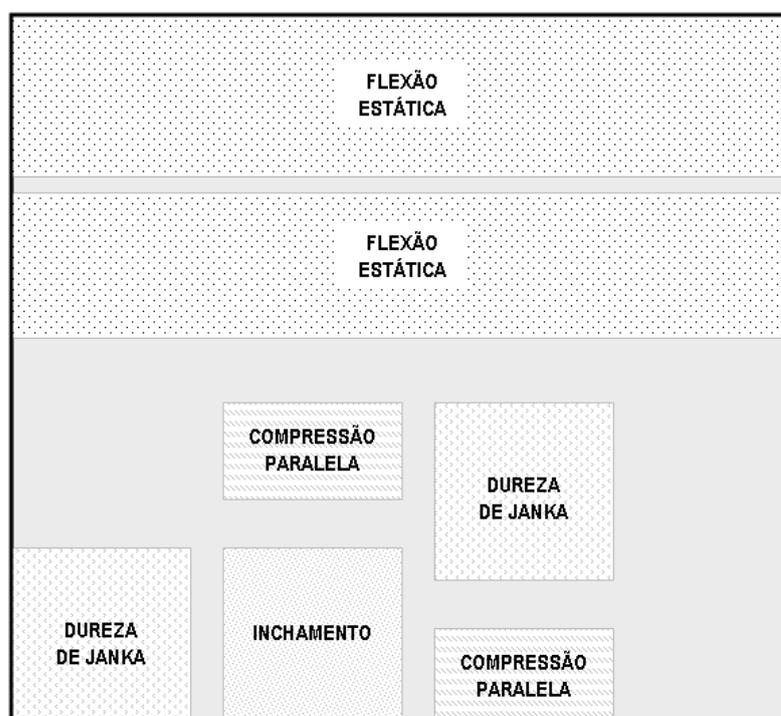
### 3.2.2 Manufatura dos painéis a serem testados

Após a avaliação das características visuais e a resistência dos painéis à pequenos esforços manuais, selecionou-se os painéis para avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas de acordo com as exigências da norma ASTM

D1037, 1999. Para cada painel selecionado na etapa de Análise Visual, foram produzidos mais dois painéis, por painel selecionado.

### 3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉCNOLÓGICAS

Para realização dos ensaios das propriedades físicas e mecânicas, retirou-se diferentes corpos de prova de cada painel. A etapa de esquadrejamento, para retirada dos corpos de prova, dos painéis foi realizada conforme o layout de corte apresentado na Figura 6. Para a densidade não foi retirado corpo de prova, pois a mesma foi calculada com relação ao painel inteiro.



**Figura 6.** Layout da posição de retirada dos corpos de prova dos painéis, para os ensaios físicos e mecânicos

Assim, foram retiradas duas amostras de cada painel para os ensaios de flexão estática, dureza e compressão paralela, visando retirar amostras da borda e do centro de um mesmo painel. Para os ensaios de inchamento e absorção foi retirada uma amostra da borda do painel.

### 3.3.1 Propriedades físicas

#### 3.3.1.1 Densidade

A densidade foi obtida por meio da relação massa/volume do painel (Equação 2), com o auxílio de um paquímetro digital e uma balança analítica.

#### 3.3.1.2 Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Na análise do inchamento em espessura e absorção de água, corpos de prova com dimensões de 50 mm × 50 mm, foram imersos em água. Os corpos de prova foram pesados em balança analítica e dimensionados sua espessura com paquímetro digital, antes e após imersão em água, por períodos de 2 e 24 horas. Os valores do inchamento em espessura e absorção de água, em 2 e 24 horas de imersão em água, foram obtidos conforme as Equações 3 e 4.

$$IE = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

IE – inchamento em espessura (%);

E1 – espessura do corpo de prova após imersão (mm); e

E0 – espessura do corpo de prova anteriormente à imersão (mm).

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

Onde:

AA – absorção de água (%);

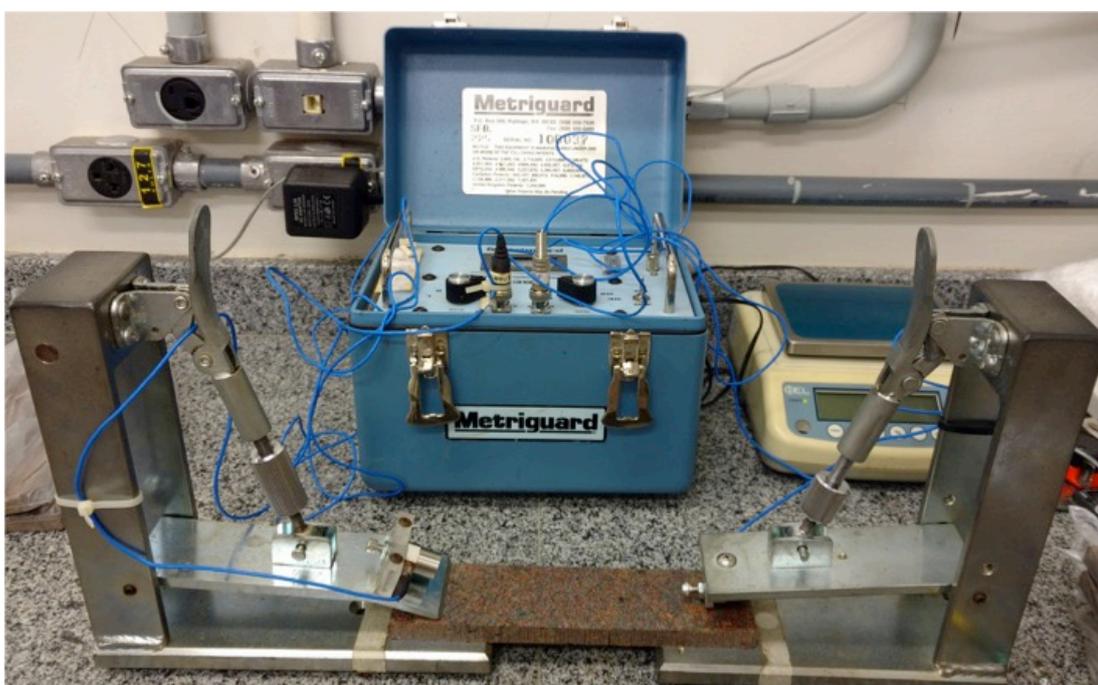
M1 – massa do corpo de prova após imersão (g); e

M0 – massa do corpo de prova anteriormente à imersão (g).

### 3.3.2 Propriedades mecânicas

#### 3.3.2.1 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd)

As amostras destinadas ao ensaio de flexão estática, primeiramente foram avaliadas por método não destrutivo com uso do aparelho Stress Wave Timer modelo 239-A, marca Metriguard, composta de acelerômetro, sistema de garras e pêndulo (Figura 7).



**Figura 7.** Equipamento Stress Wave Timer, utilizado para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, ensaio não destrutivo

As amostras foram pesadas e mensuradas para o cálculo da densidade do material (Equação 2). A medição com o aparelho foi realizada no sentido longitudinal, com a emissão e recepção de onda de tensão no meio da peça, efetuando três medições. A velocidade de propagação de ondas de tensão foi determinada por meio da Equação 5.

$$V = \frac{d}{t} \quad (5)$$

Onde:

V – velocidade de propagação de onda (m/s);

d – distância entre os transdutores (m); e

t – tempo de propagação da onda (s).

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado segundo a equação 6.

$$MOEd = V^2 \times \delta \times \frac{1}{g} \quad (6)$$

Onde:

MOE<sub>d</sub> – módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm<sup>2</sup>);

V – velocidade de propagação da onda (m/s);

δ – massa específica do material (g/cm<sup>3</sup>); e

g – aceleração da gravidade (9,804 m/s<sup>2</sup>).

### 3.3.2.2 Compressão paralela e flexão estática

Os ensaios de compressão paralela para obtenção do módulo de ruptura e flexão para determinação dos módulos de elasticidade e de ruptura foram realizados de acordo com as recomendações da ASTM D 1037 – 99, com alteração na largura da amostra de flexão de 75 mm para 50 mm.

Os ensaios de compressão foram realizados em máquina universal de testes da marca EQUILAM, modelo EQTB – 100 (Figura 8a), em corpos de prova com dimensões de 50 x 25 mm.

Para o cálculo de módulo de ruptura na compressão foram utilizadas as Equações 7 e 8.

$$A = l \times e \quad (7)$$

Onde:

A – área (cm<sup>2</sup>);

l – largura (cm);

e – espessura do corpo de prova (cm).

$$MORc = \frac{P}{A} \quad (8)$$

Onde:

MORc – módulo de ruptura na compressão (kgf/cm<sup>2</sup>);

P – carga máxima (kgf);

A – área (cm<sup>2</sup>)

A norma NBR 14810-1 (2002) define a flexão estática com “a resistência que o corpo-de-prova de uma chapa, apoiado entre dois suportes, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a sua ruptura”. Este teste determina dois principais parâmetros: módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE).

Corpos de prova de 200 x 50 mm foram aferidos quanto suas dimensões de espessura em três pontos, tomando o valor médio de espessura. Em seguida, foram testados para determinação do módulo de ruptura (MOR) conforme a Equações 9. Os ensaios foram realizados na máquina INSTRON 5982 (Figura 8b).

$$R = \frac{3 P L}{2 b d^2} \quad (9)$$

Onde:

R – módulo de ruptura (MPa);

P – carga máxima (N);

L – distância entre apoios – vão (mm);

b – largura do corpo de prova (mm); e

d – espessura do corpo de prova (mm).



**Figura 8.** Máquinas de teste dos ensaios destrutivos  
a) ensaio de compressão; b) ensaio de flexão.

### 3.3.3 Trabalhabilidade

Após análises das propriedades mecânicas, foram selecionadas as amostras dos melhores tratamentos para verificar a trabalhabilidade levando em consideração facilidade para serrar com serra de 15 mm, furar com brocas de 7 mm e 9 mm de diâmetro, penetração por parafuso com pré furação com broca de 4 mm e penetração com prego de 2x13 com utilização de martelo. A furacão foi realizada em furadeira horizontal com velocidade da broca de 1700RPM e velocidade de avanço da broca manual (Figura 9).

Avaliou-se o comportamento da superfície após penetração dos materiais, e foi realizado corte transversal afim de avaliar a qualidade interna da peça após perfuração por broca. Quanto ao acabamento foi aplicado o verniz incolor (três demãos) e cera de carnaúba.



**Figura 9.** Furadeira horizontal de avanço manual utilizada nos ensaios de perfuração dos corpos de prova

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.4.1 Análise descritiva

Na estatística descritiva, foram analisadas a média, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo dos ensaios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis testados (Tabela 2).

#### 3.4.2 Análise de variância

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) onde se considerou a produção de painéis madeira-plástica, com diferentes tamanhos de partículas de plástico além de diferentes proporções de madeira e PS (Tabela 2) como sendo os tratamentos.

**Tabela 2.** Tratamentos, segundo o tipo de plástico e a composição do painel

Tratamento	Tipo de Plástico					Composição do painel (%)	
	<i>Mix</i>	Pó	Disco	Pedaço de lápis	Pedaço de lápis + <i>Mix</i>	Madeira	Plástico
<b>M 50</b>	x					50	50
<b>M 75</b>	x					25	75
<b>M 85</b>	x					15	85
<b>M 90</b>	x					10	90
<b>M 100</b>	x					0	100
<b>P 50</b>		x				50	50
<b>P 75</b>		x				25	75
<b>P 85</b>		x				15	85
<b>P 90</b>		x				10	90
<b>P 100</b>		x				0	100
<b>D 50</b>			x			50	50
<b>D 75</b>			x			25	75
<b>D 85</b>			x			15	85
<b>D 90</b>			x			10	90
<b>D 100</b>			x			0	100
<b>PL 50</b>				x		50	50
<b>PL 75</b>				x		25	75
<b>PL 85</b>				x		15	85
<b>PL 90</b>				x		10	90
<b>PL 100</b>				x		0	100
<b>PLM 50</b>					x	50	50
<b>PLM 75</b>					x	25	75
<b>PLM 85</b>					x	15	85
<b>PLM 90</b>					x	10	90
<b>PLM 100</b>					x	0	100

Os painéis foram confeccionados em cinco variadas combinações para cada tipo de PS (pó, disco, *mix*, pedaço de lápis e pedaço de lápis + *mix*) e cinco diferentes proporções (50, 75, 85, 90 e 100%), totalizando 25 tratamentos. A qualidade dos painéis foi avaliada com base nos aspectos visuais e nas propriedades físicas (estabilidade dimensional) e mecânicas (compressão e flexão), conforme Tabela 3.

Para cada ensaio foi realizado análise de variância (ANOVA), comprovada a significância dos tratamentos, realizou-se o teste de médias de Scott-Knott à 5% de significância.

**Tabela 3.** Quantidade de painéis produzidos e ensaios realizados

<b>Tratamentos</b>	<b>Painéis (AV)</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Painéis (AFM)</b>
25	3	<b>Estabilidade dimensional</b>	2*
		- Inchamento	
		- Absorção	
		<b>Compressão</b>	
		- MOR	
		<b>Flexão estática e dinâmica</b>	
		- MOR	
		- MOEd	
	<b>75</b>		<b>50</b>
<b>Total: 125 painéis</b>			

Onde: AV – análise visual; AFM – análise física e mecânica; MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade

\*Somente para as proporções selecionadas ao final da fase preliminar

### 3.5 ANÁLISE DA PRODUÇÃO E DA UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS

A análise de produção foi feita através da relação da quantidade de resíduos gerados nas duas indústrias e a quantidade de resíduos utilizados na produção dos painéis de cada tratamento selecionado.

Quanto a utilização dos painéis em artefatos, foi solicitado a um designer para projetar um produto modular utilizando diferentes painéis e resíduos de madeira de processamento mecânico na conexão. O produto foi analisado considerando quantidades de máquinas utilizadas, facilidade de confecção, desgaste da serra, estabilidade do produto confeccionado, acabamento e estética.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A homogeneidade da mistura dos resíduos foi altamente influenciada pela diferença de tamanho das partículas de plástico e pela proporção de madeira. Assim, o resíduo tipo 'pó' e 'mix' tiveram uma melhor homogeneização com a serragem devido a proximidade de tamanho das partículas (Figura 10c e 10b, respectivamente) e os tratamentos com proporção de 50 e 75% de madeira foram mais difíceis de homogeneizar.

Nos painéis com PS do tipo 'pedaço de lápis + mix', observou-se que as partículas do tipo 'mix', se homogeneizaram mais com a serragem que com as partículas do tipo 'pedaço de lápis'. Quanto aos resíduos do tipo 'disco' e 'pedaço de lápis' são difíceis de homogeneizar com a serragem (Figura 10d e 10a, respectivamente), sendo os do tipo 'pedaço de lápis' mais difíceis de homogeneizar.



**Figura 10.** Homogeneização das partículas de serragem com poliestireno de diferentes dimensões

a) Pedaco de lápis – amostra não homogeneizada; b) Mix – amostra homogeneizada; c) Pó – amostra homogeneizada; d) Disco – amostra não homogeneizada.

Durante o processo de produção dos painéis, pode-se notar que desde os minutos iniciais do aquecimento dos materiais, um forte odor de plástico queimado. Nas proporções 15:85, 10:90 e 0:100 foi necessário muita cautela durante a prensagem, devido a fuga de material pelas bordas (Figura 11a).

Todos os tratamentos compostos por somente plástico tiveram excelente resultado quanto a homogeneidade da mistura das partículas em saco plástico. Na deposição das partículas dentro do molde, no entanto, foi difícil deixar as partículas distribuídas igualmente nos cantos.

Os painéis compostos pelo PS não conforme, foi difícil distribuir as partículas linearmente no molde, o que pode ter ocasionado os defeitos nos painéis prontos. Também foi necessário ter muita atenção com fuga do material plástico (Figura 11b) durante a produção, pois com o aquecimento e pressão o material saía pelas bordas do molde.



**Figura 11.** Fuga do material do tipo pedaço de lápis durante aquecimento  
a) Na proporção de 90%; b) Na proporção de 100%

## 4.2 ANÁLISE VISUAL

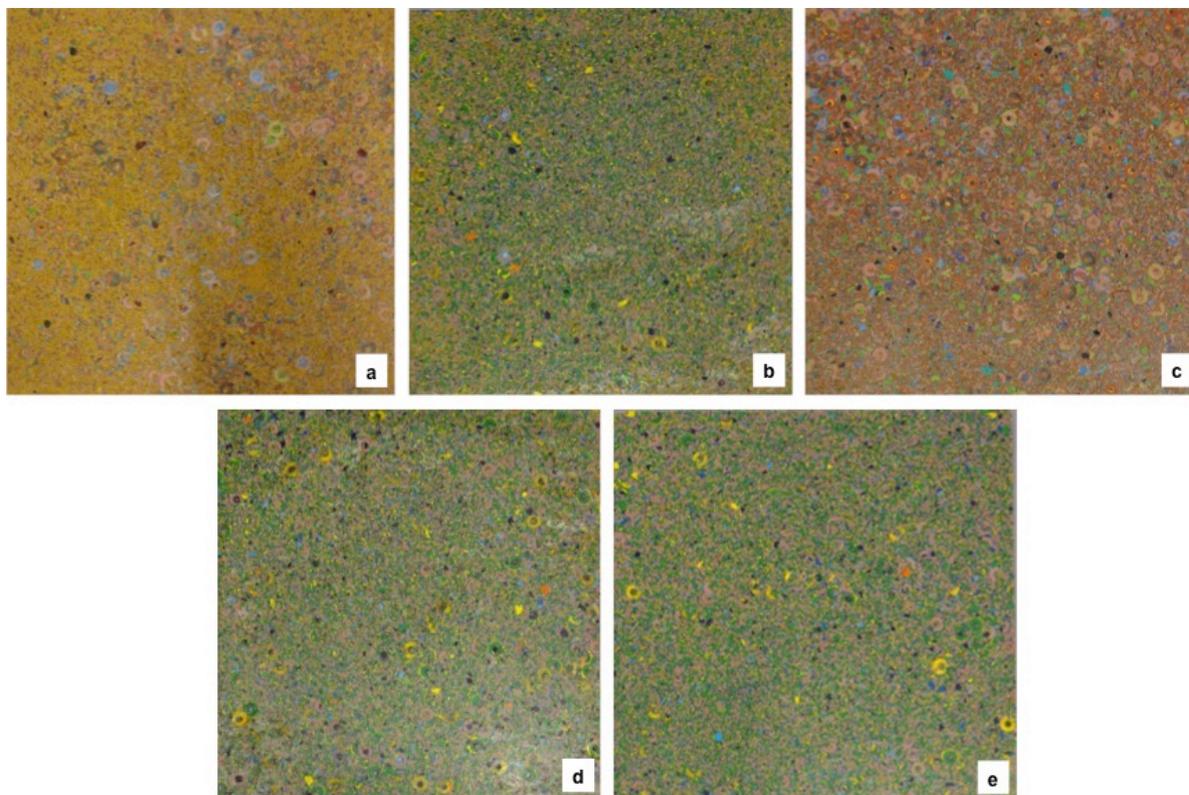
Depois de prontos os três painéis por tratamento (75 painéis), realizou-se a análise dos painéis, observando-se defeitos e se os mesmos eram resistentes a pequenos esforços manuais. A análise visual foi descrita segundo o tipo de material plástico utilizado na composição do mesmo.

### 4.2.1 Mix

As faces se assemelham, sendo uniforme a presença dos materiais (serragem e plástico). Os painéis apresentaram aspectos lisos e lineares com algumas depressões nos cantos, que podem estar associadas à dificuldade de espalhamento dos materiais nos cantos. Além das características mencionadas, o 'mix com 90%' (Figura 12d) apresentou enrugamento em alguns pontos que pode ter ocorrido devido a uma maior presença de material plástico.

Os painéis 'mix com 50%' e 'mix com 75%' (Figura 12a e 12b, respectivamente) foram os mais suscetíveis a esfarelamento ao serem manuseados, apresentando 'ilhas' de serragem. Observa-se alguns pontos com maior concentração de serragem e outro com maior concentração de plástico. Os pontos com maior concentração de serragem, ao serem friccionados, esfarelam-se com facilidade. No 'mix com 85%', após o aquecimento ocorreu alguns pontos com

depressões, principalmente nos cantos e/ou um tufamento no centro da peça. Os melhores resultados foram a partir da proporção de 85% de plástico.



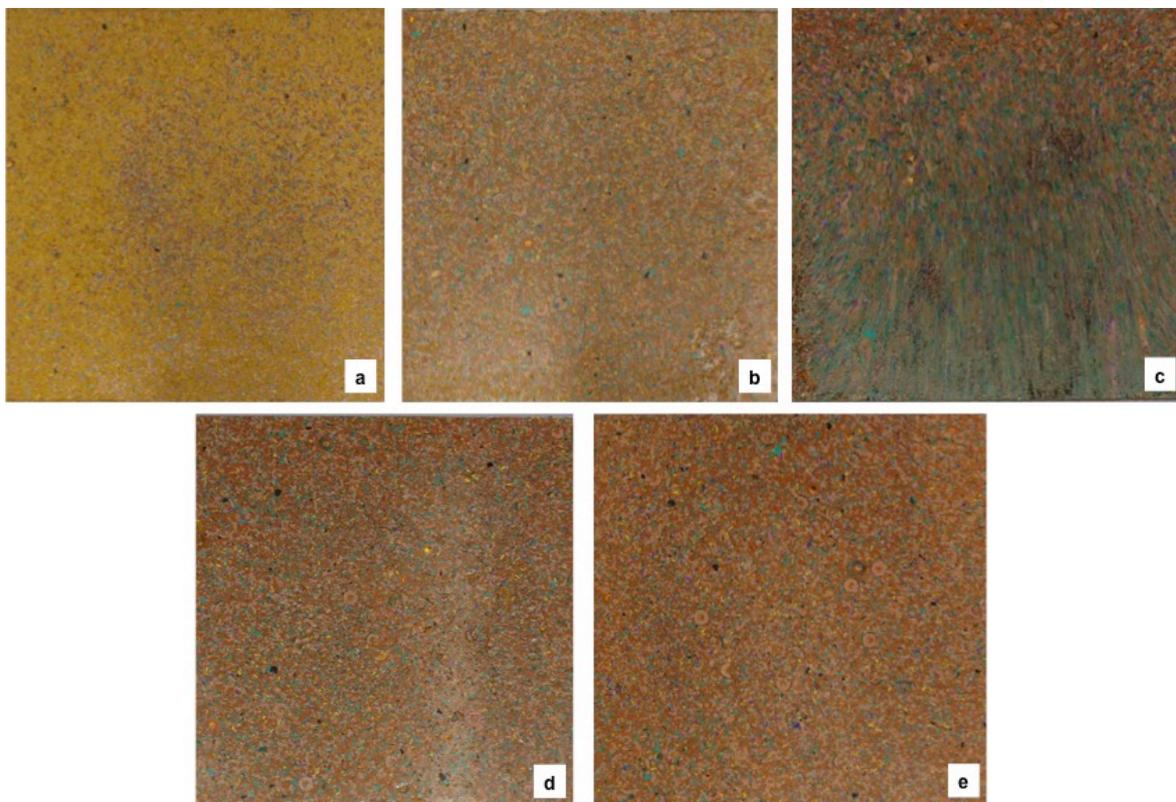
**Figura 12.** Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'mix'  
a) Proporção de 50%; b) Proporção de 75%; c) Proporção de 85%; d) Proporção de 90%;  
e) Proporção de 100%

#### 4.2.2 Pó

Ocorreu semelhança nas faces devido a boa homogeneização dos materiais, em todos os painéis. Assim como nos painéis compostos por plástico *mix*, todos os painéis foram lisos e lineares e as bordas tem pequenas depressões. Os painéis compostos por 'pó com 90%' (Figura 13d) apresentou pequenos pontos com maior presença de serragem, mais tão isolados e pequenos que não esfarelam facilmente.

Os painéis compostos por 'pó com 75%' (Figura 13b), além das depressões ocorreu rugosidade nas faces, que podem ser associadas à maior presença de material plástico no local. Dos cinco tratamentos com esse tipo de material, apenas o tratamento 'pó com 50%' (Figura 13a) foi que apresentou maior esfarelamento ao ser manuseado. Observaram-se alguns pontos com maior concentração de

serragem que ao serem friccionados, esfarelavam-se com facilidade. Os melhores resultados foram a partir da proporção de 75% de plástico.



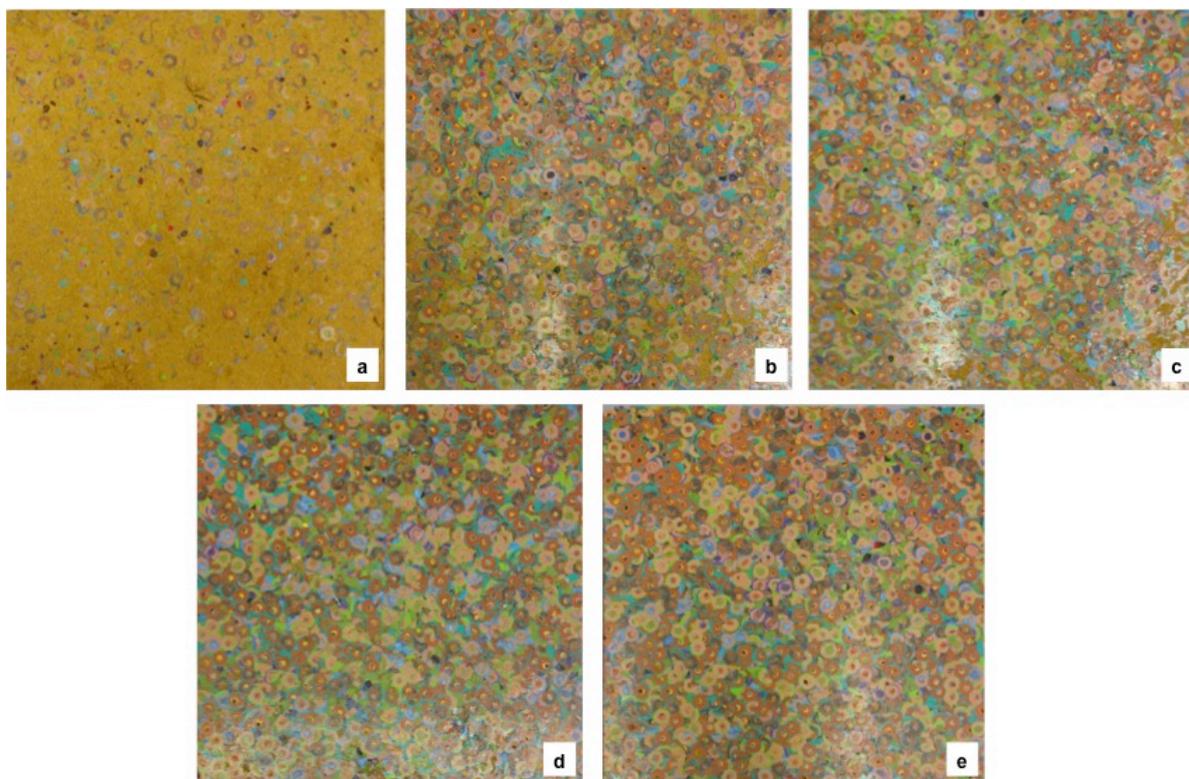
**Figura 13.** Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'pó'  
a) Proporção de 50%; b) Proporção de 75%; c) Proporção de 85%; d) Proporção de 90%;  
e) Proporção de 100%

#### 4.2.3 Disco

Alguns painéis do 'disco com 100%' (Figura 14e) ficaram com a parte superior rugosa, que pode estar associada ao fato de o prato superior da prensa ser controlado manualmente, logo, a distribuição do calor pode não ter sido uniforme. Painel na sua maior parte liso e linear, com presença de depressões nas bordas.

Os painéis compostos por 'pó com 75%, 85% e 90%' (Figuras 14b, 14c e 14d, respectivamente) apresentam 'ilhas' de serragem, que se esfrelam ao serem friccionadas, mas eram pequenas. Os painéis compostos por 'pó com 50%' teve grandes áreas com maior concentração de serragem, por essa razão era extremamente frágil ao manuseio (Figura 14a). Essa fragilidade pode estar associada a diferença no tamanho das partículas, sendo a serragem muito menor que o material plástico o que dificulta a homogeneização da mistura dos materiais e

por consequência do painel. Os melhores resultados foram a partir da proporção de 75%.



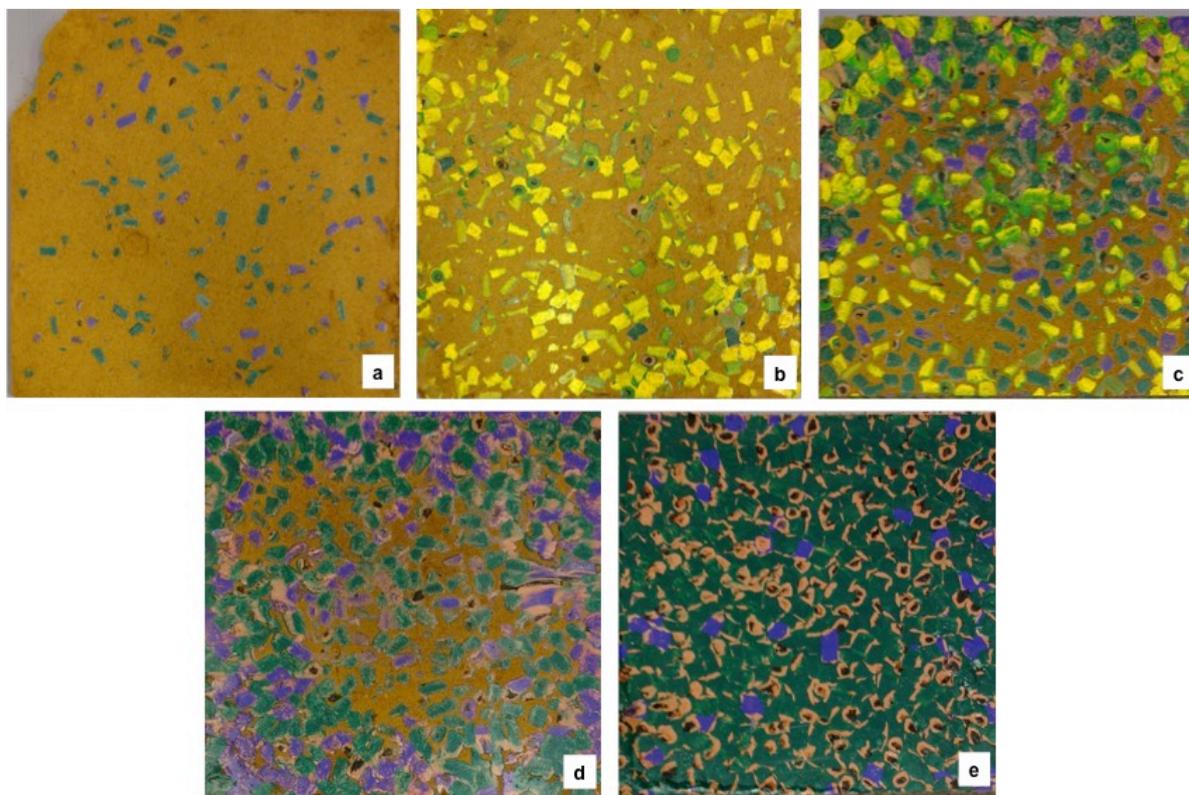
**Figura 14.** Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo 'disco'  
a) Proporção de 50%; b) Proporção de 75%; c) Proporção de 85%; d) Proporção de 90%;  
e) Proporção de 100%

#### 4.2.4 Pedaco de lápis

Os painéis feitos com 'pedaco de lápis com 100%' (Figura 15e) foram lisos e lineares com raros pontos de depressão ou rugosidade, que pode ser explicado pela não uniformidade do arranjo das partículas. A serragem pode ter ocasionado a rugosidade, por ser um agente de impedimento da transmissão do calor.

Painéis produzidos com 'pedaco de lápis' com proporções de 75%, 85% e 90%' (Figura 15b, 15c e 15d, respectivamente), possuem áreas com maior predominância de um dos materiais, sendo que as áreas com maior predomínio de serragem se esfrelam facilmente ao serem manuseadas ou friccionadas. Os painéis feitos com 'pedaco de lápis com 50%' foi o que apresentou maior fragilidade ao manuseio, devido a concentração de serragem em determinados pontos. Assim como no material feito com material plástico do tipo disco, essa fragilidade pode estar associada a diferença no tamanho das partículas, sendo a serragem muito

menor que o material plástico o que dificulta a homogeneização da mistura dos materiais e por consequência do painel. Os melhores resultados foram a partir da proporção de 90% de plástico.

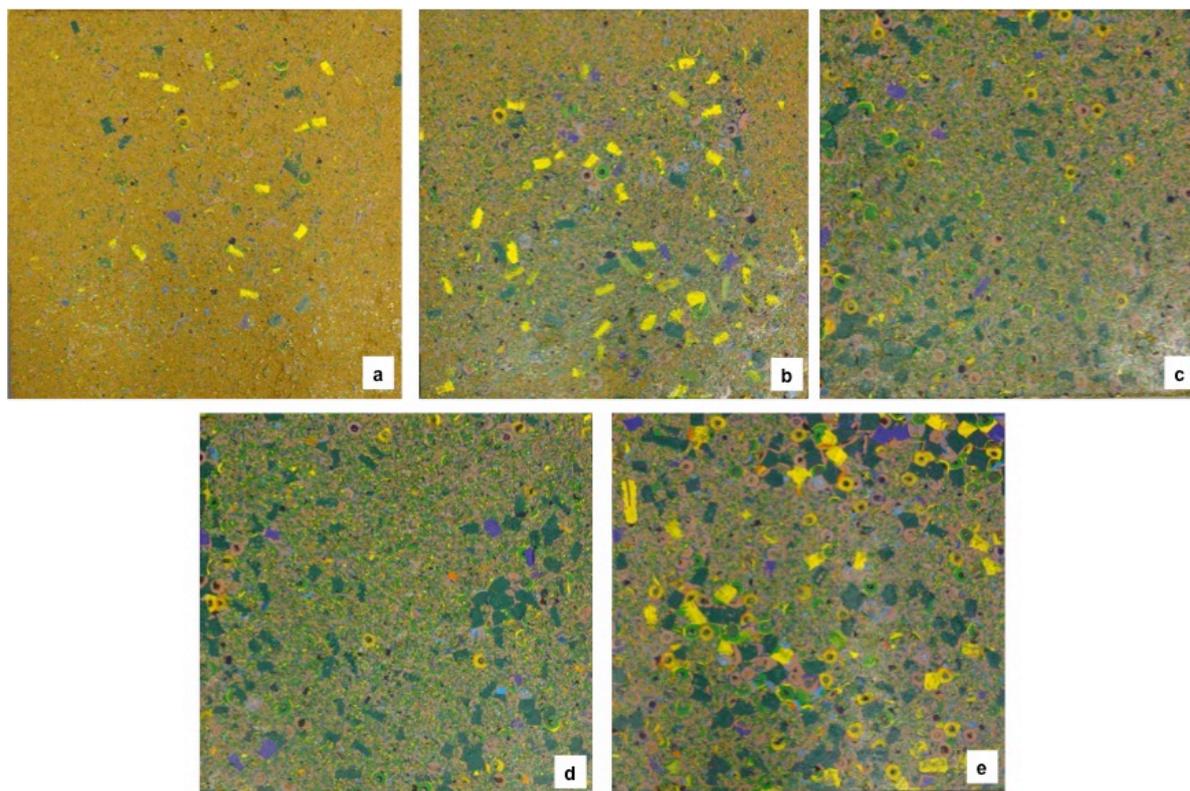


**Figura 15.** Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo ‘pedaço de lápis’  
 a) Proporção de 50%; b) Proporção de 75%; c) Proporção de 85%; d) Proporção de 90%;  
 e) Proporção de 100%.

#### 4.2.5 Pedaço de lápis + *mix*

As faces se assemelham, sendo que os painéis feitos com ‘pedaço de lápis + *mix* com 100%’ (Figura 16e) foram lisos e lineares. Os tratamentos ‘pedaço de lápis + *mix* com 75%, 85% e 90%’ (Figuras 16b, 16c e 16d, respectivamente), possuem áreas com maior predominância de um dos materiais, sendo as áreas com maior predomínio de serragem se esfrelam ao serem friccionadas. O tratamento ‘pedaço de lápis + *mix* com 50%’ ficou frágil ao manuseio e esfrela-se com certa facilidade (Figura 16a). Essa fragilidade ocorreu também nos painéis com plástico do tipo ‘disco’ e ‘pedaço de lápis’ e pode estar associada a diferença no tamanho das partículas, sendo a serragem muito menor que o material plástico o que dificulta a

homogeneização da mistura dos materiais e por consequência do painel. Os melhores resultados foram a partir da proporção de 85%.



**Figura 16.** Painéis madeira-plástica feitos com poliestireno do tipo ‘pedaço de lápis + *mix*’  
a) Proporção de 50%; b) Proporção de 75%; c) Proporção de 85%; d) Proporção de 90%;  
e) Proporção de 100%.

#### 4.2.6 Seleção dos painéis para testes físicos e mecânicos

Os painéis que não apresentaram esfarelamento e foram resistentes a pequenos esforços manuais, foram selecionados para os testes físicos e mecânicos. Assim, todos os painéis feitos com material plástico do tipo ‘*mix*’ e do tipo ‘pó’ foram selecionados para os testes físicos e mecânicos. Os painéis feitos com material do tipo ‘disco’ e ‘pedaço de lápis + *mix*’ foram selecionados os compostos a partir de 75% de plásticos. Dos painéis feitos com material ‘pedaço de lápis’ foram selecionados os painéis a partir de 80% de plástico. Dessa forma, foram reproduzidos mais dois painéis por tratamento selecionado, totalizando mais 42 painéis.

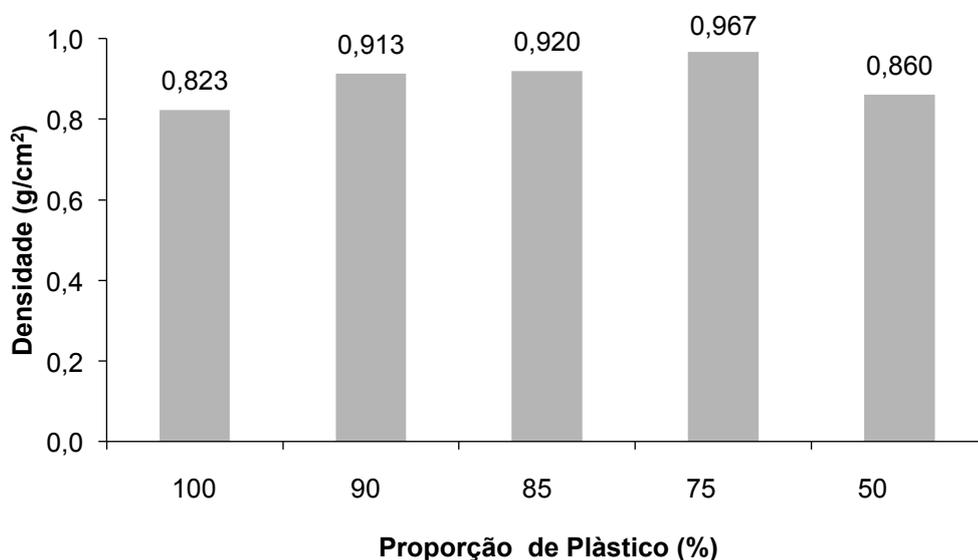
## 4.3 PROPRIEDADES FISICAS E MECANICAS

### 4.3.1 Densidade

As densidades médias dos painéis prontos variaram de  $0,660 \text{ g/cm}^3$  ('pedaço de lápis a 100%') á  $1,015 \text{ g/cm}^3$  ('pó à 75'). Não foram observadas tendências da densidade aumentar em função da variação da proporção dos resíduos (Figura 17), em média a maior densidade foi de  $0,97 \text{ g/cm}^3$ .

Fiorelli et al. (2015), ao produzir painéis com pinus, fibra de coco verde e aditivos, alcançaram densidades que variaram de  $0,72$  à  $0,85 \text{ g/cm}^3$ , sem uma tendência de aumento ou redução de acordo com as proporções. Longo et al. (2015), utilizando cinco espécies de madeiras tropicais, entre elas angelim e cedro, com adição de aditivos e parafina, obtiveram densidade variando de  $0,46$  à  $0,71 \text{ g/cm}^3$ .

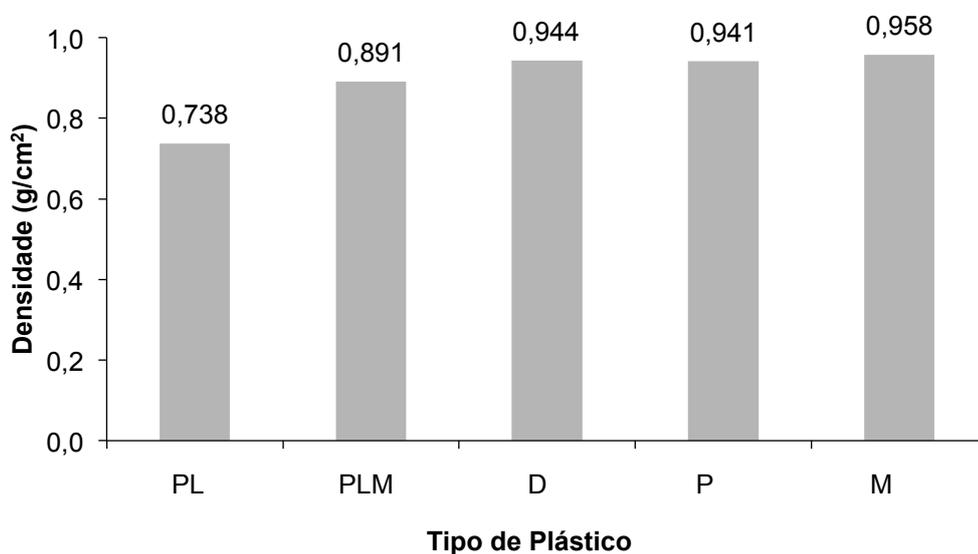
Mesmo sem o uso de aditivos, que ajudam na aglutinação das partículas, as densidades dos painéis desta pesquisa variaram, em sua maioria, de  $0,8$  a  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , com coeficientes de variação abaixo de 5%.



**Figura 17.** Gráfico da relação densidade e proporção de material plástico

Quanto ao tipo de resíduo, verificou-se uma tendência ao aumento da densidade com a redução dos tamanhos das partículas de PS. Isso pode ter ocorrido devido a uma melhor homogeneidade da mistura entre a serragem e o PS, assim como um melhor espalhamento da mistura na forma, conforme a redução das partículas. Os painéis com a mistura dos dois resíduos menores ('pó' e 'disco') foi o

que teve a maior densidade, enquanto os painéis formados por PS 'pedaço de lápis' apresentaram a menor densidade (Figura 18). Embora detectada essa variação, todos estão dentro da mesma classe de densidade, que é alta.



**Figura 18.** Gráfico da relação densidade e tipo de material plástico  
Onde: PL – pedaço de lápis; PLM – pedaço de lápis + *mix*; D – disco; P – pó; M – *mix*

#### 4.3.2 Inchamento em espessura e absorção de água

Os painéis compostos apenas por material plástico ('pedaço de lápis + *mix* à 100%', 'pedaço de lápis à 100%', 'disco à 100%', 'pó à 100%' e '*mix* à 100%') não sofreram absorção nem inchamento devido à natureza do material. Na Figura 19 vê-se as amostras submersas em água para realização dos ensaios referidos ensaios.



**Figura 19.** Corpos de prova imersos em água para ensaios de absorção de água e inchamento em espessura

#### 4.3.2.1 Inchamento em espessura

Os painéis feitos com 'pedaço de lápis à 85%', 'pó à 90%', 'pó à 85%' e 'mix à 90%', não tiveram inchamento, nem mesmo após 24h de imersão em água. Entretanto os painéis feitos com 'mix à 85%', 'pedaço de lápis + mix à 90%', 'pedaço de lápis à 90%', 'disco à 90%' e 'disco à 85%' tiveram inchamento somente após 24h, sendo todos menores que 0,5%. Os painéis feitos com 'pó à 50%' e 'mix à 50%', foram os únicos que tiveram inchamento acima de 1% em 2h e 24h, o painel feito com 'mix à 50%' teve inchamento acima de 5% (5,63%) após 24h de imersão.

A norma da ABNT, NBR 14810-2 (2002), estabelece requisitos para chapas de madeira aglomerada, prescrevendo 8% para inchamento máximo em 2h, dessa forma todos os resultados obtidos são inferiores ao exigido por esta norma, mesmo após 24h. Na Tabela 2 constam a média, desvio padrão, valor mínimo e máximo de cada tratamento.

**Tabela 4.** Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do inchamento em espessura, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Tempo (h)	Média (%)	Desvio Padrão	Mínimo (%)	Máximo (%)
<b>PLM</b>					
90	2	-	-	-	-
	24	0,290	0,50	0,0	1,16
85	2	0,077	0,17	0,0	0,38
	24	0,154	0,34	0,0	0,77
75	2	0,260	0,37	0,0	0,69
	24	0,928	0,23	0,66	1,15
<b>PL</b>					
90	2	-	-	-	-
	24	0,275	0,61	0,0	1,37
85	2	-	-	-	-
	24	-	-	-	-
<b>D</b>					
90	2	-	-	-	-
	24	0,164	0,37	0,0	0,82
85	2	-	-	-	-
	24	0,330	0,35	0,0	0,85
75	2	0,315	0,43	0,0	0,8
	24	1,183	0,64	0,36	2,00
<b>P</b>					
90	2	-	-	-	-
	24	-	-	-	-
85	2	-	-	-	-
	24	-	-	-	-
75	2	0,406	0,30	0,0	0,85
	24	0,401	0,41	0,0	0,85
50	2	2,231	0,56	1,35	2,68
	24	3,241	0,41	2,75	3,69
<b>M</b>					
90	2	-	-	-	-
	24	-	-	-	-
85	2	-	-	-	-
	24	0,177	0,40	0,0	0,88
75	2	0,240	0,54	0,0	1,20
	24	0,320	0,72	0,0	1,60
50	2	3,971	1,72	2,10	5,69
	24	5,633	1,22	4,27	7,31

Houve uma tendência, de aumento do inchamento com a redução da proporção de material plástico, observando maior inchamento nas proporções de 50:50 seguido de 25:75 (madeira e lápis, respectivamente), tanto em 2h quanto em 24h de imersão em água.

Verificando ainda maior inchamento nos painéis dos tratamentos com material '*mix*' que nos outros tipos de PS. Acredita-se que o baixo inchamento os painéis feitos com 'pedaço de lápis' e 'pedaço de lápis + *mix*', pode ser explicado pelo fato desses materiais possuírem uma granulometria maior. Assim o painel tinha uma área maior com PS do tipo 'pedaço de lápis' e 'pedaço de lápis + *mix*' do que

serragem, logo a amostra poderia ter uma área maior de plásticos do que serragem, fazendo com que o CP não sofresse uma grande variação quanto a espessura após o período de imersão em água.

#### 4.3.2.2 Absorção

Os 105 corpos de prova submetidos a imersão em água, tiveram absorção. Em valores médios, observou-se uma tendência de aumento de absorção de acordo com a redução da proporção de material plástico, assim houve maior absorção nas proporções de 50:50 seguido de 25:75 (madeira e plástico, respectivamente), em 2h e 24h de imersão em água. A diferença de absorção entre os tratamentos 50:50 e 25:75 (madeira e plástico, respectivamente) é quase seis vezes maior em 2h e quase quatro vezes maior em 24h.

Doze tratamentos tiveram média de absorção menor que 10% em 2h de imersão e onze tratamentos em 24h. Apenas os painéis feitos com 'pedaço de lápis à 85%' e 'disco à 75%' tiveram absorção acima de 10% em 2h e 24h. Os painéis feitos com 'pó à 50%' e 'mix à 50%' foram os que tiveram absorção entre 30 e 40% nos dois períodos de medição (Tabela 5).

O PS 'mix' foi o que menos absorveu água (0,796%). A adição de PS 'mix' ao material 'pedaço de lápis' (tratamento 'pedaço de lápis + mix'), reduziu em mais de dez vezes a absorção se comparado aos tratamentos com 'pedaço de lápis' em 2h, e em 24h essa melhora foi o triplo tanto se comparado ao 'pedaço de lápis + mix' e 'mix'.

Segundo o tipo de material, em termos médios, a maior absorção ocorreu com painéis feitos com material 'pedaço de lápis', o que era de se esperar devido a diferença nos tamanhos das partículas, que não gerou um painel homogêneo. Contrário ao que se esperava, os painéis feitos com material plástico do tipo 'pó' foi o segundo com maior absorção em relação ao tempo de imersão de 24h, mas foi o segundo mais baixo em 2h, esperava-se que ele absorvesse menos água, por ser o material de melhor homogeneização com a serragem. Pode-se concluir que esses painéis tendem a absorver mais água a medida que ficam expostos a ela.

**Tabela 5.** Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo da absorção em água, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Tempo (h)	Média (%)	Desvio Padrão	Mínimo (%)	Máximo (%)
<b>PLM</b>					
<b>90</b>	2	1,608	1,18	0,48	3,54
	24	2,926	1,96	1,13	6,11
<b>85</b>	2	0,981	0,32	0,52	1,27
	24	2,033	0,52	1,38	2,54
<b>75</b>	2	5,692	4,58	1,48	13,44
	24	9,458	6,39	2,96	19,84
<b>PL</b>					
<b>90</b>	2	9,961	7,26	2,91	20,95
	24	11,771	6,50	4,91	22,13
<b>85</b>	2	16,275	7,64	8,42	27,29
	24	17,699	7,31	11,11	28,47
<b>D</b>					
<b>90</b>	2	3,835	2,53	0,61	7,04
	24	5,962	2,74	2,14	9,08
<b>85</b>	2	4,091	2,42	1,57	7,20
	24	6,007	2,47	3,45	8,92
<b>75</b>	2	14,235	5,22	8,87	20,76
	24	17,059	5,18	10,78	22,49
<b>P</b>					
<b>90</b>	2	1,290	2,10	0,16	5,04
	24	1,850	0,30	0,47	5,98
<b>85</b>	2	0,893	0,66	0,31	1,75
	24	2,360	1,66	0,78	4,91
<b>75</b>	2	4,738	5,36	0,93	13,92
	24	9,385	7,84	1,86	22,16
<b>50</b>	2	36,040	5,95	30,14	43,49
	24	40,550	4,93	34,85	47,04
<b>M</b>					
<b>90</b>	2	0,591	0,45	0,32	1,36
	24	1,092	0,76	0,48	2,41
<b>85</b>	2	1,001	0,81	0,16	2,32
	24	2,483	1,89	0,62	5,64
<b>75</b>	2	2,570	1,36	1,10	4,41
	24	4,841	2,10	2,58	7,28
<b>50</b>	2	33,661	13,27	18,18	45,83
	24	38,716	9,55	28,35	47,95

Em comparação com os trabalhos citados no Quadro 1, pode-se afirmar que os resultados do presente trabalho são melhores, em se tratando de inchamento em espessura e absorção em água, sugerindo sua utilização para uso interno e externo. Vale ressaltar que diferentemente dos outros trabalhos citados no Quadro 1, o presente estudo não fez uso de nenhum tipo de aglutinante, adesivo ou aditivo, que não o PS.

A NBR 14810-2 (2002), determina o inchamento máximo de 8% após 2h de imersão em água. Apesar de não ter parâmetro, na referida norma, para inchamento em imersão em água por 24h nem para absorção, essas análises foram realizadas

visando a possibilidade de o painel ser usado em locais de grande umidade, como é o caso da região norte do Brasil, onde o estudo foi desenvolvido.

**Quadro 1.** Resultados de estudos em IE e AA

<b>Autor / Ano</b>	<b>Material</b>	<b>2h (%)</b>	<b>24h (%)</b>
Este trabalho (2017)	Espécies tropicais + PS	I.E: 0,0 – 3,971 A.A: 0,59 – 36,04	I.E: 0,0 – 5,63 A.A: 0,41 – 40,55
Iwakiri et al. (2000)	Eucalipto + resina	I.E: 12,31 – 30,60 A.A: 13,94 – 41,74	I.E: 23,51 – 38,81 A.A: 37,37 – 58,80
Correa (2004)	PEAD/PP + Pinus + adesivo	I.E: 1,09 – 10,79 A.A: 37,31 – 103,19	I.E: 3,20 – 15,24 A.A: 45,55 – 114,67
Maciel et al. (2004)	Pinus + PS + PET + adesivo + solução poliestireno em tuoleno	X	I.E: 4,25 – 56,75 A.A: 48,51 – 165,07
Iwakiri et al. (2005)	Pinus + resina	X	I.E: 21,08 – 43,97
Negrão et al. (2014)	Espécies tropicais + resinas	I.E: 3,46 – 31,33 A.A: 6,44 – 62,54	I.E: 9,35 – 38,40 A.A: 20,07 – 84,88
Fiorelli et al. (2015)	Pinus + fibras de coco + aditivos	I.E: 6,92 – 25,97 A.A: 12,82 – 69,81	X
Longo et al. (2015)	Espécies tropicais + resina + parafina	A.A: 19,89 – 40,49	A.A: 27,86 – 42,64

A análise de variância foi significativa para os testes de absorção e inchamento tanto em 2h quanto em 24h, conforme a Tabela 6. Com o teste de Scott-Knott, pode-se afirmar que independente do tipo de material, os painéis com 90, 85 e 75% de material plástico tiveram menor inchamento e absorção quando comparados com os painéis de 50:50.

**Tabela 6.** Médias do inchamento em espessura e absorção de água, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Inchamento		Absorção	
	2h <sup>(1)</sup>	24h <sup>(2)</sup>	2h <sup>(3)</sup>	24h <sup>(4)</sup>
90 PLM	0,00000 <sup>a</sup>	0,29992 <sup>a</sup>	1,60809 <sup>a</sup>	2,92626 <sup>a</sup>
90 PL	0,00000 <sup>a</sup>	0,27591 <sup>a</sup>	9,69064 <sup>b</sup>	11,77078 <sup>b</sup>
90 P	0,00000 <sup>a</sup>	0,00000 <sup>a</sup>	1,28963 <sup>a</sup>	1,85471 <sup>a</sup>
90 M	0,00000 <sup>a</sup>	0,00000 <sup>a</sup>	0,59120 <sup>a</sup>	1,09241 <sup>a</sup>
90 D	0,00000 <sup>a</sup>	0,16393 <sup>a</sup>	3,83450 <sup>a</sup>	5,96242 <sup>a</sup>
85 PLM	0,07692 <sup>a</sup>	0,15385 <sup>a</sup>	0,98177 <sup>a</sup>	2,03250 <sup>a</sup>
85 PL	0,00000 <sup>a</sup>	0,00000 <sup>a</sup>	16,27461 <sup>b</sup>	17,69860 <sup>c</sup>
85 P	0,00000 <sup>a</sup>	0,00000 <sup>a</sup>	0,89324 <sup>a</sup>	2,36035 <sup>a</sup>
85 M	0,00000 <sup>a</sup>	0,17699 <sup>a</sup>	1,00119 <sup>a</sup>	2,48264 <sup>a</sup>
85 D	0,00000 <sup>a</sup>	0,32962 <sup>a</sup>	4,09072 <sup>a</sup>	6,00727 <sup>a</sup>
75 PLM	0,26994 <sup>a</sup>	0,92842 <sup>b</sup>	5,69203 <sup>a</sup>	9,45763 <sup>b</sup>
75 P	0,40608 <sup>a</sup>	0,40121 <sup>a</sup>	4,73769 <sup>a</sup>	9,38518 <sup>b</sup>
75 M	0,24000 <sup>a</sup>	0,32000 <sup>a</sup>	2,56978 <sup>a</sup>	4,84088 <sup>a</sup>
75 D	0,31504 <sup>a</sup>	1,18294 <sup>b</sup>	14,23478 <sup>b</sup>	17,05896 <sup>c</sup>
50 P	2,23108 <sup>b</sup>	3,24111 <sup>c</sup>	36,03861 <sup>c</sup>	40,55496 <sup>d</sup>
50 M	3,97142 <sup>c</sup>	5,63300 <sup>d</sup>	33,66134 <sup>c</sup>	38,71645 <sup>d</sup>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% probabilidade

<sup>(1)</sup> F 23,5241\*\*, <sup>(2)</sup> F 46,3694\*\*, <sup>(3)</sup> F 24,3119\*\*, <sup>(4)</sup> F 32,6082\*\*

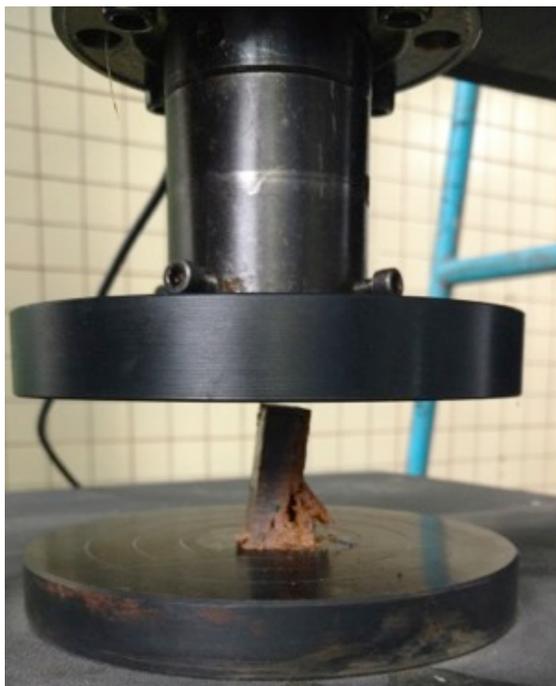
\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

#### 4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

##### 4.4.1 Compressão paralela

No ensaio de módulo de ruptura na compressão paralela (Figura 20), as maiores médias foram obtidas nos tratamentos com material PS do tipo 'pó' e '*mix*', respectivamente, e nos que possuíam menor porcentagem de serragem (Tabela 7). Assim, os piores resultados foram nas proporções 50:50.

Os painéis feitos com '*mix* à 90%', apresentou médias menores, tanto no centro quanto na lateral, do que '*mix* à 85%', o que não era esperado devido a maior concentração de PS no '*mix* à 90%'. Isso pode ter ocorrido devido a falta de uniformidade dentro dos painéis, apresentando variação em sua resistência dentro do tratamento, considerando os valores mínimos e máximos. Na maioria das vezes as médias foram influenciadas por um único painel com resistência menor. Os painéis da posição central do tratamento 'pó à 85%' apresentaram menor resistência que o tratamento 'pó à 75%', provavelmente pela mesma razão.



**Figura 20.** Ensaio de compressão paralela

Os painéis compostos por PS do tipo ‘disco’, ‘pedaço de lápis’ e ‘pedaço de lápis + *mix*’ apresentaram menores médias (Tabela 7), essa resistência inferior pode ser explicada pela dificuldade de homogeneização da serragem como essas granulometrias de PS. Nesses painéis também foi difícil de encontrar uma tendência a melhores tratamentos de acordo com maior quantidade de plástico, sendo muitas vezes os melhores resultados com painéis com maior quantidade de serragem.

O poliestireno do tipo ‘pedaço de lápis’, foi o que apresentou menores médias, no entanto, ao adicionar o PS ‘*mix*’ ao ‘pedaço de lápis’ (tratamento ‘pedaço de lápis + *mix*’), obteve-se resultado superior do que nos painéis com ‘pedaço de lápis’.

**Tabela 7.** Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do MOR na compressão paralela, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Posição Corpo de prova	Média (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
				(Kgf/cm <sup>2</sup> )	
<b>PLM</b>					
100	L	170,41	48,34	112,80	224,34
	C	146,10	48,19	80,58	191,77
90	L	144,03	25,05	116,77	181,25
	C	133,35	24,46	99,41	157,62
85	L	184,09	47,07	104,93	224,49
	C	187,78	43,84	123,68	232,24
75	L	137,22	55,02	51,80	201,09
	C	162,61	31,81	124,79	204,23
<b>PL</b>					
100	L	72,82	16,54	49,69	90,66
	C	61,84	21,13	41,68	85,55
90	L	78,04	26,39	59,14	123,45
	C	76,46	33,07	32,05	114,07
85	L	54,22	23,88	22,56	87,53
	C	59,17	30,45	28,68	108,46
<b>D</b>					
100	L	154,10	36,38	89,97	178,85
	C	165,69	59,45	73,59	231,65
90	L	171,00	35,14	139,71	222,41
	C	170,35	16,88	141,80	185,05
85	L	161,49	21,96	132,25	183,72
	C	182,10	33,81	134,54	224,87
75	L	115,37	29,53	75,05	151,67
	C	148,10	33,79	113,27	194,47
<b>P</b>					
100	L	341,33	65,54	226,41	383,07
	C	386,60	28,24	365,74	422,59
90	L	304,30	72,39	202,42	377,93
	C	275,01	116,56	140,46	408,25
85	L	217,42	92,24	97,95	324,77
	C	211,57	97,80	96,26	321,30
75	L	205,91	60,95	99,90	246,28
	C	242,37	72,50	164,54	353,27
50	L	60,90	29,32	35,97	105,04
	C	86,49	43,64	43,13	141,39
<b>M</b>					
100	L	277,05	91,46	144,17	367,10
	C	278,50	69,21	162,64	336,59
90	L	249,18	39,83	184,74	290,78
	C	227,60	44,99	175,13	299,35
85	L	291,70	61,56	227,25	384,18
	C	292,12	77,61	195,96	382,13
75	L	207,74	54,42	129,77	272,48
	C	148,85	69,76	101,53	270,88
50	L	44,29	29,42	12,92	84,37
	C	80,67	65,15	27,28	160,07

Houve diferença nos valores de módulo de ruptura à compressão entre os tipos de materiais que compunham os painéis, sendo as maiores médias no PS 'pó' e 'mix' e as menores no tipo 'pedaço de lápis'. Quanto a posição do corpo de prova,

houve diferença em quatro tratamentos ('mix à 75%', 'mix à 85%', 'mix à 100%' e 'mix à 90%') sendo que os melhores resultados foram nos CP's da lateral (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores médios do ensaio de módulo de ruptura na compressão paralela, em que M = mix, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + mix e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Centro <sup>(1)</sup>	Lateral <sup>(2)</sup>
<b>P 100</b>	386,60 <sup>a</sup>	341,33 <sup>a</sup>
<b>M 85</b>	292,12 <sup>b</sup>	291,70 <sup>a</sup>
<b>M 100</b>	278,50 <sup>b</sup>	277,06 <sup>a</sup>
<b>P 90</b>	275,01 <sup>b</sup>	304,30 <sup>a</sup>
<b>M 90</b>	227,60 <sup>b</sup>	249,18 <sup>b</sup>
<b>P 75</b>	242,37 <sup>b</sup>	205,91 <sup>b</sup>
<b>P 85</b>	211,57 <sup>b</sup>	217,42 <sup>b</sup>
<b>M 75</b>	148,85 <sup>c</sup>	207,74 <sup>b</sup>
<b>D 75</b>	148,10 <sup>c</sup>	115,37 <sup>c</sup>
<b>D 85</b>	182,10 <sup>c</sup>	161,48 <sup>c</sup>
<b>D 90</b>	170,35 <sup>c</sup>	171,22 <sup>c</sup>
<b>D 100</b>	165,69 <sup>c</sup>	154,10 <sup>c</sup>
<b>PLM 75</b>	162,61 <sup>c</sup>	137,22 <sup>c</sup>
<b>PLM 85</b>	187,78 <sup>c</sup>	184,99 <sup>c</sup>
<b>PLM 90</b>	133,35 <sup>c</sup>	144,03 <sup>c</sup>
<b>PLM 100</b>	146,10 <sup>c</sup>	170,41 <sup>c</sup>
<b>M 50</b>	80,67 <sup>d</sup>	44,29 <sup>d</sup>
<b>PL 85</b>	59,17 <sup>d</sup>	54,22 <sup>d</sup>
<b>PL 90</b>	76,46 <sup>d</sup>	78,04 <sup>d</sup>
<b>PL100</b>	61,84 <sup>d</sup>	72,82 <sup>d</sup>
<b>P 50</b>	86,49 <sup>d</sup>	60,90 <sup>d</sup>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% probabilidade.

<sup>(1)</sup> F 11,2643\*\*; <sup>(2)</sup> F 14,5223\*\*

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 8 verifica-se a formação de três classes de resistência, considerando os tratamentos. A primeira classe com resistência variando de 275,01 a 386,60 kgf/cm<sup>2</sup>, a segunda classe com resistência de 205,91 a 249,81 kgf/cm<sup>2</sup>, e a terceira classe com variação de 115,37 a 184,99 kgf/cm<sup>2</sup>. Esses valores foram semelhantes aos obtidos para algumas espécies de madeiras da Amazônia, conforme Tabela 9, nas três classes de resistência.

**Tabela 9.** Módulo de ruptura à compressão (MORc) de madeiras da Amazônia

Classe de resistência	Espécies	MORc (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tratamentos
1	<i>Alexa grandiflora</i>	287	
	<i>Carapa guianensis</i>	275	P100
	<i>Mezilaurus itauba</i>	349	P90
	<i>Qualea brevipedicellata</i>	380	M100
	<i>Scleronema micranthum</i>	383	M85
	<i>Nectandra rubra</i>	315	
2	<i>Anacardium giganteum</i>	224	M90
	<i>Cedrelinga catenearformis</i>	239	P75
3	<i>Jacaranda copaia</i>	169	M75; D90
	<i>Schefflera morototoni</i>	174	D85; PLM100
	<i>Simarouba amara</i>	185	PLM85

Fonte: Laboratório de Engenharia e Artefatos de Madeira (LEAM), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Onde: P – pó; M – *mix*; D – disco; PLM – pedaço de lápis + *mix*; 100 – 100% de plástico; 90 – 90% de plástico; 85 – 85% de plástico; 75 – 75% de plástico;

Ao comparar com os resultados de painéis de *Eucalyptus urophylla* feitos com adesivo uréia-formaldeído, no estudo realizado por Mendes et al. (2014), todos os resultados do presente estudo foram superiores.

#### 4.4.2 Módulo de ruptura à flexão estática

Os resultados seguiram a mesma tendência dos resultados do ensaio de compressão paralela. Neste sentido os melhores resultados foram nos tratamentos com presença de PS tipo ‘pó’ e ‘*mix*’ (Tabela 10).

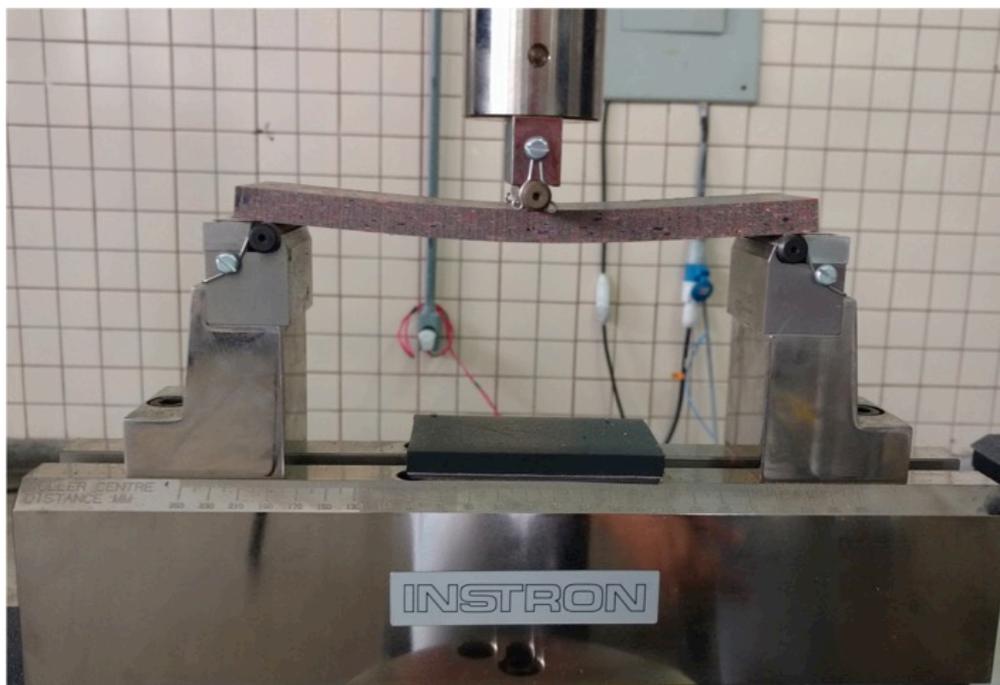
Os tratamentos com partículas do tipo ‘disco’, ‘pedaço de lápis’ e ‘pedaço de lápis + *mix*’, podem ter tido um resultado inferior devido a dificuldade de homogeneização com a serragem, por causa da diferença de tamanho de ambas partículas.

**Tabela 10.** Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do módulo de ruptura na flexão estática, em corpos de prova do centro (C) e lateral (L), em que PLM = pedaço de lápis + *mix*, PL = pedaço de lápis, D = disco, P = pó e M = *mix* e as respectivas porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Posição Corpo de prova	Média (MPa)	Desvio Padrão	Mínimo Máximo (MPa)	
<b>PLM</b>					
100	L	8,86	0,38	8,48	9,26
	C	9,17	0,96	8,56	9,26
90	L	11,33	0,77	10,58	12,24
	C	9,42	0,94	8,19	10,29
85	L	11,45	1,59	9,51	12,86
	C	9,08	2,35	5,96	11,68
75	L	7,46	0,99	6,08	8,33
	C	11,20	1,68	8,96	13,44
<b>PL</b>					
100	L	5,64	1,68	3,60	7,91
	C	4,92	1,59	2,96	6,95
90	L	4,56	0,76	3,80	5,70
	C	4,19	0,59	3,38	4,62
85	L	3,75	1,25	2,65	5,75
	C	3,79	0,75	3,25	4,99
<b>D</b>					
100	L	10,46	1,73	8,04	12,20
	C	9,70	1,27	7,85	11,04
90	L	9,72	1,23	8,15	11,01
	C	8,71	1,04	7,52	9,98
85	L	11,33	1,97	9,37	14,14
	C	8,15	4,88	0,16	13,41
75	L	5,99	1,63	4,53	8,75
	C	7,84	1,04	6,64	9,49
<b>P</b>					
100	L	16,45	4,38	11,57	23,10
	C	15,68	4,26	10,82	21,31
90	L	18,56	1,21	16,77	19,88
	C	15,93	3,96	9,95	19,42
85	L	14,47	4,24	9,84	19,46
	C	11,58	2,45	8,36	14,29
75	L	13,57	4,63	6,47	18,29
	C	15,27	4,25	7,86	18,53
50	L	2,24	1,07	0,56	3,30
	C	3,68	0,65	2,67	4,38
<b>M</b>					
100	L	15,26	4,97	6,73	19,16
	C	15,02	5,34	6,31	19,40
90	L	13,13	2,43	9,97	16,01
	C	12,57	1,54	10,66	14,15
85	L	17,50	3,37	13,66	22,72
	C	16,34	3,33	11,27	19,58
75	L	12,65	1,44	10,76	14,76
	C	10,63	2,35	8,49	14,59
50	L	3,19	2,74	1,18	7,43
	C	4,70	3,54	1,85	9,66

Em se tratando do PS tipo 'pedaço de lápis', as menores médias podem ter ocorrido devido a dificuldade de arranjo das partículas, que não são uniformes e são

difíceis de alinhar, o que por sua vez pode ter criado espaços vazios no CP, deixando a peça mais susceptível à não causar resistência ao esforço empregado durante o ensaio (Figura 21). Ao acrescentar PS do tipo 'mix' ao 'pedaço de lápis', observou-se melhora considerável nos resultados.



**Figura 21.** Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão estática

As amostras obtidas nos tratamentos 'pó à 75%' do centro e o 'pó à 85%' da lateral, além dos tratamentos 'mix à 85%', 'pó à 90%' e 'mix à 100%' (Tabela 11) tanto do centro quanto da lateral do painel, tiveram os melhores resultados estatisticamente. Comparando os resultados com a norma de comercialização CS 236-66, que estabelece os critérios mínimos de qualidade para painéis de partículas, a média mais alta (16,34 MPa) para CP's do centro ('mix à 85%') fica um pouco a baixo do exigido pela norma para painéis de alta densidade que é de 168 kgf/cm<sup>2</sup> (16,47 MPa). Para os CP's da lateral o maior valor (18,56 MPa) do tratamento ('pó à 90%'), atende ao valor mínimo exigido pela norma.

Apesar dos melhores resultados, não atenderem ao mínimo exigido pela norma, pode-se considerar um excelente resultado visto que essa norma rege painéis feitos com resina uréia-formaldeído ou resinas fenólicas e o presente trabalho, não usou resina ou adesivos.

Nesse sentido há uma grande possibilidade de melhora nos resultados ao se acrescentar resinas ou adesivos, o que pode também aumentar a porcentagem de madeira nos painéis e assim uma maior quantidade de resíduos madeireiros serão reaproveitados ao invés de serem descartados no ambiente.

**Tabela 11.** Valores médios do ensaio de módulo de ruptura na flexão estática de corpos de prova do centro e da lateral dos painéis, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	MOR (MPa)	
	Centro <sup>(1)</sup>	Lateral <sup>(2)</sup>
<b>M 85</b>	16,34 <sup>a</sup>	17,50 <sup>a</sup>
<b>P 90</b>	15,93 <sup>a</sup>	18,56 <sup>a</sup>
<b>P 100</b>	15,68 <sup>a</sup>	16,45 <sup>a</sup>
<b>M 100</b>	15,02 <sup>a</sup>	15,26 <sup>a</sup>
<b>P 75</b>	15,27 <sup>a</sup>	13,57 <sup>b</sup>
<b>P 85</b>	11,58 <sup>b</sup>	14,47 <sup>a</sup>
<b>M 75</b>	10,63 <sup>b</sup>	12,65 <sup>b</sup>
<b>M 90</b>	12,57 <sup>b</sup>	13,13 <sup>b</sup>
<b>PLM 75</b>	11,20 <sup>b</sup>	7,46 <sup>c</sup>
<b>PLM 85</b>	9,08 <sup>c</sup>	11,45 <sup>b</sup>
<b>PLM 90</b>	9,42 <sup>c</sup>	11,33 <sup>b</sup>
<b>D 85</b>	8,15 <sup>c</sup>	11,33 <sup>b</sup>
<b>D 90</b>	8,70 <sup>c</sup>	9,72 <sup>b</sup>
<b>D 100</b>	9,70 <sup>c</sup>	10,46 <sup>b</sup>
<b>D 75</b>	7,84 <sup>c</sup>	5,99 <sup>c</sup>
<b>PLM 100</b>	9,18 <sup>c</sup>	8,86 <sup>c</sup>
<b>PL 100</b>	4,92 <sup>d</sup>	5,64 <sup>c</sup>
<b>M 50</b>	4,70 <sup>d</sup>	3,19 <sup>d</sup>
<b>PL 85</b>	3,79 <sup>d</sup>	3,75 <sup>d</sup>
<b>PL 90</b>	4,19 <sup>d</sup>	4,56 <sup>d</sup>
<b>P 50</b>	3,68 <sup>d</sup>	2,24 <sup>d</sup>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% probabilidade.

<sup>(1)</sup> F 11,4875\*\*, <sup>(2)</sup> F 18,5186\*\*

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados mais baixos em sua maioria foram dos painéis compostos por material plástico de tipo 'pedaço de lápis', o que era de certa forma esperado por se tratar de um material maior que as partículas de serragem. No entanto não se esperava que a composição 100% de 'pedaço de lápis' estivesse entre os resultados mais baixos, mas isso pode ser explicado pelo arranjo irregular das partículas dentro do molde, o que pode ter gerando espaços vazios que gerou uma menor resistência ao ensaio a que foi submetida.

De maneira geral, não houve diferença estatística quanto à origem do corpo de prova (centro e lateral, conforme Tabela 11), o que pode ser considerado como

painel sendo uniformidade. Nos poucos casos divergentes, os CP's da lateral foram melhores.

#### **4.4.3 Módulo de elasticidade dinâmico**

Os resultados não alcançaram o valor exigido pela norma CS 236-66 que é de 24500 kgf/cm<sup>2</sup> para painéis de alta densidade. No entanto, para painéis de baixa densidade a maioria dos tratamentos alcançaram o valor exigido para painéis de uso interno.

Considerando que a norma não é específica para painéis madeira-plástica e que os testes de absorção e inchamento caracterizaram o presente painel como uso interno e externo, pode-se considerar que os resultados alcançados foram satisfatórios.

Os maiores desvios foram nos tratamentos '*mix* à 50%' e '*pó* à 50%' nos CP's do centro e da lateral, e no tratamento '*pedaço de lápis* à 85%', na posição lateral (Tabela 12). O tratamento '*pedaço de lápis* à 85%' foi o que teve maior diferença entre os desvios da posição centro e lateral, que pode ter sido causado pela diferença no arranjo das partículas.

**Tabela 12.** Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo do módulo de elasticidade dinâmico, em corpos de prova do centro (C) e lateral (L), em que PLM = pedaço de lápis + *mix*, PL = pedaço de lápis, D = disco, P = pó e M = *mix* e as respectivas porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	Posição Corpo de prova	Média (MPa)	Desvio Padrão	Módulo de Elasticidade (MPa)	
				Mínimo	Máximo
<b>PLM</b>					
100	L	1048,634	174,57	830,58	1265,58
	C	1058,48	179,61	864,44	1333,79
90	L	1156,24	161,66	1034,81	1436,42
	C	1129,33	171,86	870,24	1284,77
85	L	1278,96	147,32	1116,35	1434,14
	C	1227,72	183,85	1011,88	1469,14
75	L	931,77	72,15	840,99	1011,07
	C	1271,98	185,29	1123,11	1490,45
<b>PL</b>					
100	L	701,36	127,82	578,92	889,37
	C	605,10	131,78	472,69	743,70
90	L	862,93	51,43	805,79	909,16
	C	712,56	53,37	639,61	786,04
85	L	721,41	425,69	435,87	1476,2
	C	649,63	96,31	546,50	748,66
<b>D</b>					
100	L	1001,10	207,46	709,09	1263,72
	C	1320,42	390,35	667,07	1649,54
90	L	1379,24	102,44	1197,17	1436,62
	C	1500,13	116,27	1317,45	1609,96
85	L	1273,87	167,83	1141,42	1536,76
	C	1385,84	178,04	1084,09	1540,93
75	L	1076,30	142,22	920,68	1218,92
	C	1238,99	148,68	1127,04	1499,42
<b>P</b>					
100	L	1319,65	207,56	1158,66	1659,04
	C	1404,09	204,89	1120,02	1670,63
90	L	1497,30	324,34	1071,05	1942,31
	C	1658,49	308,67	1281,24	1991,66
85	L	1162,04	220,57	873,53	1442,12
	C	1305,6	196,67	1062,76	1600,73
75	L	1361,91	301,34	835,36	1593,49
	C	1499,72	198,39	1299,25	1824,47
50	L	1029,15	198,39	910,54	1193,35
	C	787,20	85,19	716,17	914,35
<b>M</b>					
100	L	1430,13	296,46	999,72	1777,47
	C	1514,49	184,26	1330,82	1758,91
90	L	1531,89	164,02	1346,53	1758,56
	C	1595,27	131,26	1435,75	1768,65
85	L	1519,86	212,10	1225,28	1735,66
	C	1591,77	172,93	1397,70	1763,25
75	L	1444,92	87,53	1339,28	1570,16
	C	1338,97	182,99	1078,46	1589,20
50	L	1034,22	405,19	677,64	1545,99
	C	1200,10	483,92	786,15	1777,22

Assim como nos demais testes mecânicos (MORc e MORf), os menores resultados foram nos tratamentos com PS 'pedaço de lápis'. Ocorreu uma melhora

ao se adicionar PS 'mix' ao 'pedaço de lápis'. Considerando os tamanhos das partículas, pode-se afirmar que houve uma melhora de acordo com a redução dos tamanhos das partículas de PS, sendo os melhores resultados nos tratamentos com PS 'mix' e 'pó' (Tabela 13).

**Tabela 13.** Valores médios do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) de corpos de prova do centro e da lateral dos painéis, em que M = *mix*, D = disco, PL = pedaço de lápis, PLM = pedaço de lápis + *mix* e P= pó e as porcentagens de poliestireno 50%, 75%, 85%, 90% e 100%

Tratamento	MOEd (MPa)	
	Centro <sup>(1)</sup>	Lateral <sup>(2)</sup>
<b>P 90</b>	1658,49 <sup>a</sup>	1497,30 <sup>a</sup>
<b>M 90</b>	1595,27 <sup>a</sup>	1531,89 <sup>a</sup>
<b>M 85</b>	1591,77 <sup>a</sup>	1519,86 <sup>a</sup>
<b>M 100</b>	1514,49 <sup>a</sup>	1430,13 <sup>a</sup>
<b>D 90</b>	1500,13 <sup>a</sup>	1379,24 <sup>a</sup>
<b>P 75</b>	1499,72 <sup>a</sup>	1361,91 <sup>a</sup>
<b>P 100</b>	1404,09 <sup>b</sup>	1319,65 <sup>a</sup>
<b>D 85</b>	1385,84 <sup>b</sup>	1273,87 <sup>a</sup>
<b>M 75</b>	1338,97 <sup>b</sup>	1444,92 <sup>a</sup>
<b>P 85</b>	1305,60 <sup>b</sup>	1162,04 <sup>a</sup>
<b>PLM 85</b>	1227,72 <sup>b</sup>	1278,96 <sup>a</sup>
<b>D 75</b>	1238,99 <sup>b</sup>	1076,30 <sup>b</sup>
<b>M 50</b>	1200,10 <sup>b</sup>	1034,22 <sup>b</sup>
<b>D 100</b>	1320,42 <sup>b</sup>	1001,10 <sup>b</sup>
<b>PLM 75</b>	1271,98 <sup>b</sup>	931,77 <sup>b</sup>
<b>PLM 90</b>	1129,33 <sup>b</sup>	1156,24 <sup>b</sup>
<b>PLM 100</b>	1058,48 <sup>c</sup>	1048,63 <sup>b</sup>
<b>P 50</b>	1029,15 <sup>c</sup>	787,20 <sup>c</sup>
<b>PL 90</b>	712,56 <sup>d</sup>	862,93 <sup>c</sup>
<b>PL 85</b>	649,63 <sup>d</sup>	721,41 <sup>c</sup>
<b>PL 100</b>	605,10 <sup>d</sup>	701,36 <sup>c</sup>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% probabilidade.

<sup>(1)</sup> F 10,0201\*\*, <sup>(2)</sup> F 7,3568\*\*

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Mesmo não tendo alcançado os valores exigidos pela norma, acredita-se que os resultados obtidos são satisfatórios pois a natureza do PS não é elástica, o que pode ter influenciado o resultado substancialmente. O fato dos piores resultados terem sido encontrados no PS tipo 'pedaço de lápis', embasa ainda mais essa ideia, visto que os painéis com esse material, desde 50% até 90%, tinham grandes áreas sem presença de serragem. Pode-se afirmar ainda que a serragem contribuiu para melhora na característica de elasticidade dos painéis, pois no próprio tratamento 'pedaço de lápis', o pior resultado foi o tratamento composto somente pelo PS e foi

melhorando a medida que se adicionou serragem, e isso confirma um dos princípios da madeira-plástica que é um material reforçar o outro.

Ao comparar resultados obtidos nesta pesquisa, com os trabalhos presentes no Quadro 2, no que tange o item MOR, pode-se inferir que o resultado mais satisfatório deste trabalho, esta próximo ou superior à maioria dos melhores resultados dos estudos citados. Vale ressaltar que todos os trabalhos presentes no Quadro 2, fazem uso de adesivos e/ou aditivos, que melhora as características dos painéis consideravelmente. Acredita-se que é possível favorecer a ligação entre o PS e a serragem com o uso de aditivos, que poderá ampliar os resultados alcançados.

Por conseguinte, supõe-se que o uso de aditivos favorecerá os resultados dos tratamentos com maior quantidade de serragem, como o da composição de 50%, que consequente aumentará o uso de serragem, proporcionando um maior aproveitamento de madeiras da Amazônia.

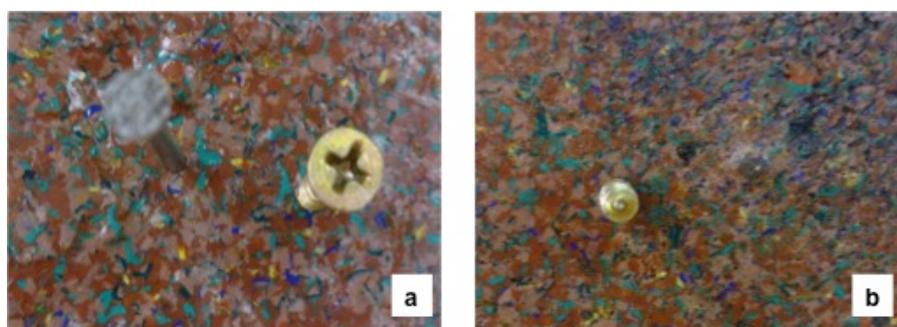
**Quadro 2.** Comparação com outros autores dos resultados de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática

<b>Autor / Ano</b>	<b>Material</b>	<b>MOE (MPa)</b>	<b>MOR (MPa)</b>
Este trabalho (2017)	Espécies tropicais + PS	605,10 – 1658,49	2,24 – 18,56
Iwakiri et al. (2000)	Eucalipto + resina uréia-formaldeído (8% e 12%)	1194,35 – 2261,02	7,27 – 16,02
Correa (2004)	PEAD/PP + Pinus/aglomerado + resina uréia-formaldeído (6% e 9%)	77,03 – 793,50	0,45 – 6,83
Maciel et al. (2004)	Pinus + PS + PET + resina uréia-formaldeído/ resina fenol-formaldeído (0%, 4% e 6%) + solução poliestireno em tuoleno	1410 – 3050	6,55 - 16,88
Iwakiri et al. (2005)	Pinus + resina uréia-formaldeído / melanina-uréia-formaldeído / fenol-melanina-uréia-formaldeído / fenol-formaldeído (10%)	2,09 – 3,49	14,42 – 27,65
Bertolini (2014)	Pinus (com preservante) + borracha de pneu + poliuretana à base de óleo de mamona	149 – 309	1 – 6
Mendes et al. (2014)	<i>Eucalyptus urophylla</i> + uréia-formaldeído (6%)	975,6 – 1284,9	3,0 – 6,2
Negrão et al. (2014)	Espécies tropicais + resina poliuretana bicomponente derivada de mamona / uréia-formaldeído / Purbond	1581 – 4500	19,0 – 27,0
Christoforo et al. (2015)	<i>Cordia goeldiana</i> + resina poliuretana mono e bicomponente derivadas do óleo de mamona	X	Monocomponente: 21,3 – 26,7 Bicomponente: 29,7 – 41,2
Fiorelli et al. (2015)	Pinus + fibras de casca de coco + resina poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona (10%) /	859 – 2341	8,68 – 25,85

	uréia-formaldeído (12%)		
Longo et al. (2015)	Espécies tropicais + uréia-formaldeído (12%) + 1% emulsão de parafina	552,14 – 935,62	2,12 – 6,21

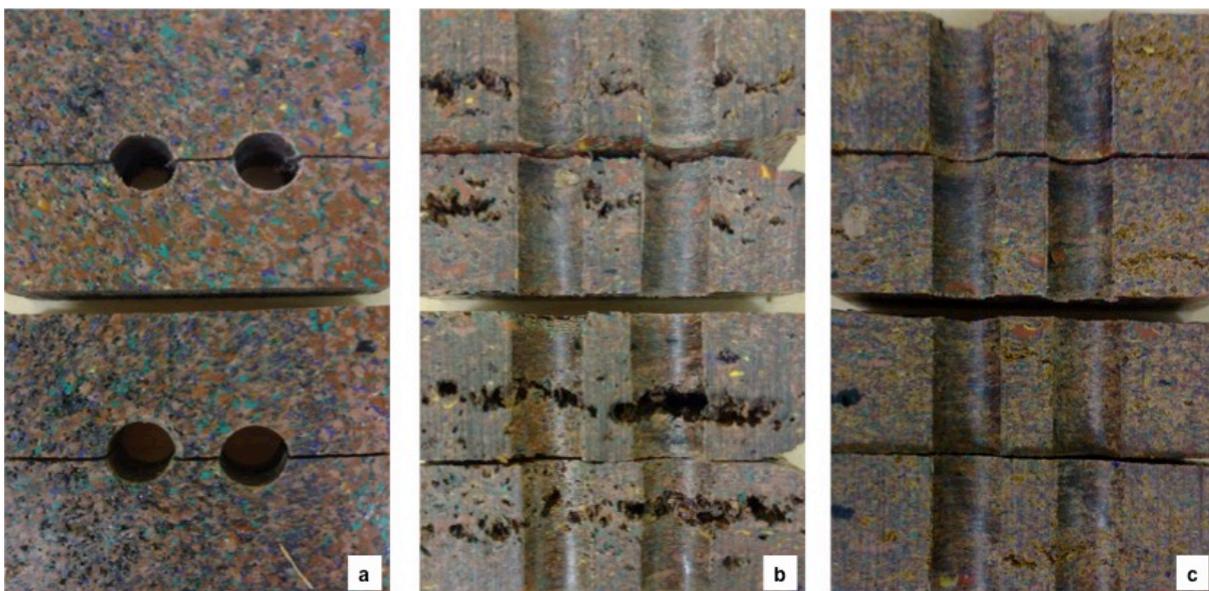
#### 4.5 TRABALHABILIDADE

No que tange a trabalhabilidade dos painéis, foram selecionados os tratamentos com PS 'pó' e 'mix' nas composições 100%, 90%, 85% e 75%. Todos eles apresentaram excelentes resultados em relação ao uso da broca, parafusos e penetração de prego. As amostras avaliadas não sofreram modificações, como rachaduras na superfície (Figura 22a e 22b).



**Figura 22.** Superfícies do painel após perfuração por prego e parafuso  
a) superfície superior; b) superfície inferior

Após o corte transversal, concluiu-se que os painéis avaliados, possuem o mesmo comportamento de algumas madeiras da Amazônia de média e alta densidade, apresentando superfície lisa após perfuração por broca (Figura 23a). Mesmo se o painel possui defeitos internos, a superfície interna permanece lisa após a influência da broca (Figura 23b e 23c). Quanto ao acabamento, os painéis receberam melhor a utilização de verniz em três demãos do que a cera de carnaúba.



**Figura 23.** Superfícies e parte interna do painel após perfuração por brocas  
 a) superfície; b) visão interna de painel com defeito; c) visão interna do painel após perfuração

Não foi encontrada nenhuma pesquisa desenvolvida que mostrasse resultado de trabalhabilidade de painéis de madeira-plástica, relacionado a uso de verniz como acabamento superficial e utilização de prego e parafuso. Os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem como indicação de uso, dos painéis selecionados, na composição de móveis modulares e divisórias que necessitam de prego e parafusos na sua confecção tanto para uso interno como externo. Confirmando que os resíduos de madeira e plástico podem fornecer painéis madeira-plástica com características tecnológicas para uso de artefatos.

#### 4.6 ANÁLISE DA PRODUÇÃO E DA UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS

Os resíduos produzidos pelas indústrias, nos dois seguimentos, poderão no futuro atender demanda de produção em escala industrial os painéis selecionados na análise visual, nas propriedades físicas-mecânicas, na trabalhabilidade, tempo de produção e pela quantidade de 480 g usada na formação dos painéis.

Em alta temporada a empresa BIC da Amazônia produz 18 toneladas mensais de resíduos, da mesma forma que a Mil Madeiras Preciosas produz 9 toneladas diárias. Considerando a grande quantidade de resíduos produzidos, uma cooperativa teria condições de produzir 37.500 painéis 100% plástico, e com adição da serragem à 15%, é possível produzir de 44.118 painéis, utilizando 22% do

resíduo madeireiro produzido na Mil Madeiras Preciosas, o que evidencia que a quantidade de resíduos gerados pode atender a demanda de produção de painéis.

Dessa forma, comprova-se a agregação de valor das madeiras da Amazônia ao utilizar resíduos na produção de produtos sustentáveis com qualidade, para ser inserido no mercado com competitividade, contribuindo para o aumento do rendimento das madeiras amazônicas e comprovando a viabilidade do manejo na Amazônia, e mantendo a floresta em pé.

Outro aspecto positivo foi a utilização de resíduos de grandes dimensões descartados durante o processo de controle de qualidade da empresa, na composição e produção de uma mesa. A destinação desses resíduos seria a caldeira para geração de energia. Agora comprova-se que esses resíduos podem ter uma destinação mais nobre.

O produto confeccionado ficou esteticamente bonito com excelente acabamento, estabilidade e foi utilizado somente as máquinas serra fita e desengrosso na sua produção.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nessa pesquisa, pode-se extrair as seguintes conclusões:

- É possível produzir madeira-plástica por termoprensagem sem a inclusão de aditivos que não a matriz plástica;
- Os painéis possuem qualidade próximas a exigidas por algumas normas de comercialização de painéis de partículas e possuem excelente trabalhabilidade, que é um fato determinante para inserção de um produto no mercado;
- É possível agrupar diferentes painéis, como 'pó à 100% e 90%', 'mix à 100% e 85%', em classes de qualidade de resistência a compressão próxima as de madeiras Amazônicas;
- A quantidade de resíduos gerados podem atender a demanda de produção de painéis;
- É possível agregar valor aos resíduos e contribuir para maior rendimento de madeiras amazônicas, por fazer um aproveitamento total do indivíduo, além de reduzir os impactos ambientais causados pela atual destinação dada a essa matéria-prima.

## **6 CONSIDERAÇÕES**

Novos estudos devem ser desenvolvidos nesse seguimento visando melhorar os tratamentos que foram colocados como de terceira classe, afim de aumentar o aproveitamento de madeiras da Amazônia, diminuindo o impacto ambiental, uma vez que a empresa pode ser penalizada por não realizar a destinação dos seus resíduos. Uma solução proposta é o uso de misturados industrial e/ou a adição de aditivos, afim de aumentar a quantidade de madeira utilizada, tendo em vista que os que foram considerados de terceira classe são em sua maioria de 50%.

## 7 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particles panel materials. Philadelphia, 1999.

ARRUDA, R. A. **Avaliação de possível obtenção de créditos de carbono através do mecanismo de desenvolvimento limpo a partir de madeira plástica de polietileno e fibra de coco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14810**: Chapas de madeira aglomerada: parte 1 terminologia. Rio de Janeiro, 2002.

BERTOLINI, M. da S. **Painéis de resíduos madeireiros e de borracha de pneu associados à espuma poliuretana à base de mamona para aplicação como composições termoacústicas**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, SP. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF. 2012. Disponível em: <<http://www.justicaeleitoral.jus.br/arquivos/lei-12-305-2010-pnrs/view>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos: Projeto PNUD BRA 00/20: Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental**. Curitiba, PR. 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/164/\\_publicacao/164\\_publicacao10012011033501.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf)>. Acesso em 18 mar. 2016.

CARVALHO, M. L. U.; CASTRO, R.; GUIMARÃES, M. **Isolamento do ruído de impacto com resíduos de PET e PNEU – análise preliminar de dados**. Paranoá, Brasília, 12: 125-130, 2014.

CAVALCANTI, M. A.; NASCIMENTO, C. C. **Avaliação do rendimento de duas espécies de madeiras da Amazônia**. IN: Potencial tecnológico de madeiras e resíduos florestais da Amazônia central, 236p.2012, 225-235p.

COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: mat formed wood particleboard. 1968.

CORRÊA, G. R. **Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). UFOP – CETEC – UEMG, Belo Horizonte, 111 p. 2004.

CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, S. A. M. da; BARBOSA, J. C.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. **Produção de Chapas de Partículas com Resíduos de Madeira *Cordia goeldiana***. Revista Engenharia Agrícola. 35(2): 368-377, 2015.

CLEMONS, C. 2002. **Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries**. Forest Products Journal 52(6): 10-18.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/publicadas/conama-inibe-mercado-de-madeira-ilegal>. Acesso em: 10 maio 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/fr/>. Acesso em: 29 fev. 2016.

IORELLI, J.; LAHAR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO Jr., H.; ROSSIGNOLO, J. A. **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades**. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, 33 (4): 401-406, 2011.

IORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F. do; CURTOLO, D. D.; SARTORI, D. de L.; BELINI, U. L. **Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibras de coco verde**. Scientia Forestalis. 43(105): 175-182. 2015.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p. 2010.

GUIMARÃES, L. F. C. **Avaliação dos aspectos técnicos e econômicos na produção de madeira plástica por meio da utilização de materiais reciclados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química). Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, Belo Horizonte, 125 p. 2013.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B. da; ALBURQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. **Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto**. Scientia Agraria. 1(1-2): 23-28. 2000.

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

JERONIMO, C. E. M. **Diagnóstico da gestão ambiental em microempresas e empresas de pequeno porte da cidade de Manaus-AM**. RAUnP – Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Administração da Universidade Potiguar, 6(1): 71-90, out. 2013/mar. 2014.

KAKIZAWA, M. W. **Madeira Plástica**. Monografia (Engenharia Civil do Centro de

Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia). UNAMA, Belém-PA. 48 p. 2009.

LONGO, B. L.; CUNHA, A. B. da; RIOS, P. D.; TEREZO, R. F.; ALMEIDA, C. C. F. de. **Caracterização tecnológica de painéis particulados produzidos com resíduos de cinco espécies tropicais**. Scientia Forestalis. 43(108): 907-917. 2015.

MACIEL, A. da S.; VITAL, B. R.; LÚCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. **Painéis de Partículas Aglomerada de Madeira de *Pinus elliottii* Engelm., Poliestireno (PS) e Polietileno Tereftalato (PET)**. Revista Árvore 28(2): 257-266. 2004.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; MENDONÇA, L. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MORI, F. A. **Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla***. Cerne. 20(2): 329-336. 2014.

MORENO, P.; RODRIGUE, D.; GIROUX, Y.; BALLERINI, A.; GACITÚA, W. **Caracterización Mecánica y Morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con sub productos de madera**. Maderas. Ciencia y Tecnología 15(1): 3-16. 2013.

NAHUZ, M. A. R. **Uso Racional de Produtos Florestais**. REMADE, 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=53&subject=Uso%20Racional&title=Uso%20Racional%20de%20produtos%20Florestais](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=53&subject=Uso%20Racional&title=Uso%20Racional%20de%20produtos%20Florestais)>. Acesso em: 20 nov. 2013.

NASCIMENTO, C. C. VIANEZ, B. F. **Aproveitamento de resíduos madeireiros provenientes do processo de classificação na comercialização da espécie *Nectandra rubra* (Mez) C. K. Allen (louro gamela)**. IN: Bioconversão de resíduos lignocelulolíticos da Amazonia para cultivo de cogumelos comestíveis. 2011, 166p. 34-38p.

NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M. da; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais**. Ambiente construído 14(3): 103-112. 2014.

OLIVEIRA, M. C. B. R de. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). UFRJ, Rio de Janeiro, 104 p. 2012.

PAES, J. B.; NUNES, S. T; ROCCO LAHR, F. A.; NASCIMENTO, M. F.; LACERDA, R. M. A. **Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura**. Ciência Florestal, Santa Maria, 21(3): 551-558, 2011.

PARENTE, R. A.; PINHEIRO, L. M. **Plásticos Reciclados para Elementos Estruturais**. São Carlos, Cadernos de Engenharia de Estruturas. 10 (47): 75- 95, 2008.

PRECIOUS WOOD. Disponível em:  
[http://www.preciouswoods.com/site/index.cfm?id\\_art=92651&actMenuItemID=42569&vsprache=EN](http://www.preciouswoods.com/site/index.cfm?id_art=92651&actMenuItemID=42569&vsprache=EN). Acesso em: 23 de fev. 2016.

RIBEIRO, R. A. C.; DAMASCENO, C. S. R.; GRAÇA, M. S. B. de A.; GAVAZZA, S. **Comportamento do Concreto Reforçado com Fibras Plásticas Produzidas com Garrafas Pet**. Revista de Ciência e Tecnologia. 1(1): 36-44, 2010.

RIVELA, B; MOREIRA, M. T.; MUNÓZ, I.; RIERADEVALL, J.; FEIJOO, G. **Life cycle inventory of particleboard: A case study in the wood sector**. International Journal of Life Cycle Assessment. 11(2): 106-113. 2006.

TAKESHITA, S. **Redução na Higroscopicidade e na Movimentação Dimensional da Madeira de Folhosas Submetida a Tratamentos Térmicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais). ESALQ/USP, Piracicaba. 106 p. 2011.

ZOCH, V. P. **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados**. Monografia (Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal). UNB, Brasília, 2013.