

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LAURENN BORGES DE MACEDO

**Painéis OSB de madeira *Pinus* sp. e adição de partículas de polipropileno
biorientado (BOPP)**

São Carlos
2014

LAURENN BORGES DE MACEDO

Painéis OSB de madeira *Pinus* sp. e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)

VERSÃO CORRIGIDA

A versão original encontra-se na Escola de Engenharia de São Carlos

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

Área de Concentração: Materiais e Mecânica dos Materiais – Madeiras e seus Derivados.

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos
2014

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

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento ao Usuário do Serviço de Biblioteca- EESC/ USP.

| | |
|------|--|
| B141 | Borges de Macedo, Laurenn Painéis OSB de madeira Pinus sp. e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP) / Laurenn Borges de Macedo; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014. 1. Oriented Strand Board. 2. BOPP. 3. propriedades físicas. 4. propriedades mecânicas. I. Título. |
|------|--|

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharel **LAURENN BORGES DE MACEDO**.

Título da dissertação: "Painéis OSB de madeira pinus SP. e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)".

Data da defesa: 19/02/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Francisco Antonio Rocco Lahr (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Dr. **André Luís Christóforo**
(Universidade Federal São João Del Rei)

Aprovada

Prof. Associado **Juliano Fiorelli**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

APROVADA

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas):

Profa. Associada **Ana Lucia Homce de Cresce El Debs**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Aos meus pais, irmã, professor Rocco e Fatí,
com todo meu carinho e gratidão.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus e ao menino Jesus por toda ajuda enviada do alto, seja ela visível ou invisível aos meus olhos carnis.

Aos meus pais, por todo apoio prestado mesmo a distancia e pela imensa vontade de me ajudar nos momentos de aperto mesmo sem saber como. Agradeço, especialmente, ao meu pai por cuidar de mim com tanto carinho quando estava com os pés machucados no período prático e crítico deste trabalho.

À minha irmã por toda forma de amor dedicada e pelos ensinamentos prestados.

Ao meu cunhado Dalton Jr., tão amigo, prestativo e por cuidar da minha irmã.

Ao professor Rocco por toda orientação e ensinamentos prestados e, principalmente, por me deixar a vontade para seguir as minhas intuições quanto ao desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também, de coração, a amizade e o carinho proporcionados nestes quase três anos.

À Fatí por toda paciência, carinho e amizade prestada. Sem sua ajuda eu não saberia por onde começar, você me tem sido um anjo da guarda.

À minha colega de trabalho e amiga, Fabiane, por todas as vezes que me deu força em momento de desânimos e pelas sugestões em relação a este trabalho.

À minha colega de trabalho e amiga, Marília, por todos os cafezinhos e conselhos em momentos de desânimo.

Ao Amós, por todas as sugestões e auxílio prestado.

Ao Luciano, companheiro de sala, por me aguentar em momentos de estresses e chatice.

Ao Felipe por toda ajuda prestada.

Ao Elysson pelas bolachinhas de natas e tortas salgadas do fim de semana.

Ao professor André por todo apoio e estímulos prestados durante a reta final deste trabalho.

Aos técnicos Cido, Jaime, Samuel e Silvio, por toda ajuda prestada. Sem vocês não seria possível à realização deste trabalho, obrigada pela boa vontade.

As amigas Bruna Nery, Gisele Martins e Gabriela Fernandes pelos momentos de descontração e carinho vividos.

À minha amiga de infância, Laura Venâncio, por nunca desistir de mim e por ser tão sensata em seus conselhos e opiniões.

Aos meus amigos de graduação Bárbara, Andressa, Mariana e André por ainda fazerem parte da minha vida.

Aos amigos Rodrigo Enami, Ketson Roberto e Hugo por me ajudarem tanto nas disciplinas.

Às minhas tias Dalvinha, Denize, Denilze, Dione, Magali, Margarida, Marli, Nilda, e tios Joel e Divino por sempre orarem e torcerem por mim, vocês são essenciais em minha vida.

Aos meus primos, pelo carinho.

Aos meus filhotes Louis e Luigi, pela companhia e carinho incondicional.

À todos que contribuíram de uma forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

MACEDO, L. M. (2014). **Painéis OSB de madeira *Pinus sp.* e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)**. 84f. Qualificação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

O setor da construção civil é um dos que mais consomem recursos naturais e utilizam energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais juntamente com grande quantidade de resíduos. A utilização de produtos alternativos como painéis de madeira surge como uma possibilidade de redução de tais impactos. O Oriented Strand Board, desenvolvido para substituir o painel compensado, tem conquistado cada vez mais espaço na construção apesar de sua menor estabilidade dimensional perante o seu antecessor. A adição de resíduos, como o plástico, na matriz constituinte destes painéis representa alternativa de reaproveitamento destes descartes e economia de madeira no processo produtivo destes compósitos, além de proporcionar melhoria nas propriedades físicas dos mesmos. O objetivo deste trabalho foi confirmar a viabilidade técnica da produção de painéis OSB de madeira de *Pinus sp.* com adição de proporções de 20 e 30% de partículas de polipropileno biorientado em sua matriz constituinte e resina poliuretana à base de óleo de mamona. A avaliação de desempenho foi feita por intermédio das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, determinadas atendendo as recomendações da EN 300 (1999). Os painéis foram classificados como OSB 4, de acordo com as propriedades físicas avaliadas, e OSB 1, considerando os módulos de elasticidade e ruptura obtidos em ensaios de flexão estática. A adesão interna, para os painéis produzidos com os parâmetros de processo adotados, não alcançou os valores exigidos pela citada norma. De todas as propriedades avaliadas, apenas inchamento em espessura e absorção de água foram influenciadas pela porcentagem de BOPP. Assim, considera-se comprovada a viabilidade técnica da produção dos painéis OSB deste trabalho, para aplicação na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Oriented Strand Board, BOPP, propriedades físicas, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

MACEDO, L. M. (2014). **OSB of *Pinus* sp. wood and addition of particles of bioriented polypropylene (BOPP)**. 84f. Qualificação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Building construction is one of the sectors that most consuming natural resources and use energy intensively, generating considerable environmental impacts coupled with large amount of waste. Employing alternative product like wood panels comes as a possibility to reduce these impacts. Oriented Strand Board, developed to substitute the plywood panel, has gained more space in the construction spite of its lower dimensional stability against its predecessor. The addition of plastic waste in constitutive matrix of these panels represents an alternative to reuse this kind of waste and wood economy in the productive process of these composites, besides improving their physical properties. The aim of this study was to evaluate the technical feasibility of producing OSB of *Pinus* sp. wood with the addition of various proportions of particles of bioriented polypropylene in its constitutive matrix and polyurethane resin based on castor oil with evaluation of physical and mechanical properties of these panels. In accordance with EN 300 (1999), the OSB panels have been classified as 4 in accordance with the physical properties assessed and as OSB 1 for the elasticity modules and rupture. Property of internal bond not presented the minimum values required by the same standard. Of all properties evaluated, only thickness swelling and water absorption were influenced by the percentage of BOPP. However, it is considered completely evidenced the technical viability of production of the OSB of this work, and its potential employability in civil construction sector.

KEYWORDS: Oriented Strand Board, BOPP, Physical properties, mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Principais destinos das exportações de painéis industrializados de madeira do Brasil (ABRAF, 2013). | 24 |
| Figura 2: Orientação das partículas “strands” na matriz constituinte do painel OSB (ORIENTED, 1998). | 28 |
| Figura 3: Processo produtivo de painéis OSB (MENDES, 2001). | 30 |
| Figura 4: Determinação das variáveis de produção de painéis aglomerados com adição de BOPP. | 42 |
| Figura 5: A) constituintes da resina poliuretana à base de óleo de mamona, B) matriz constituinte do painel, C) prensagem do colchão e D) painéis de <i>Eucalyptus</i> sp., misto e <i>Pinus</i> sp. prontos. | 43 |
| Figura 6: CPs confeccionados a partir dos painéis para os testes de tração perpendicular, inchamento em espessura, absorção de água e densidade aparente. | 45 |
| Figura 7: Partículas misturadas juntas na encoladeira. | 54 |
| Figura 8: Partículas encoladas separadamente. A) partículas de madeira e B) partículas de BOPP. | 54 |
| Figura 9: Painel produzido com camada de plástico central. | 55 |
| Figura 10: CPs para ensaios de flexão estática, painéis produzidos pelos métodos 1, 2 e 3, respectivamente. | 56 |
| Figura 11: A) gerador de partículas, B) moinho de facas e C) betoneira adaptada como encoladeira (Souza, 2012; Varanda, 2012). | 61 |
| Figura 12: A) prensa hidráulica e B) separador de partículas (Souza, 2012). | 62 |
| Figura 13: A) estufa e B) balança. | 62 |
| Figura 14: A) serra circular e B) lixa. | 63 |
| Figura 15: A) máquina universal de ensaios, B) compressor de ar e C) pistola. | 63 |
| Figura 16: CPs utilizados na determinação da densidade aparente da madeira utilizada na produção dos painéis. | 64 |
| Figura 17: partículas de madeira e BOPP, respectivamente, geradas para a produção dos painéis. | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 18: Encolagem das partículas e pulverização da resina..... | 65 |
| Figura 19: Orientação das partículas com a ajuda de um orientador de partículas e o colchão final formado..... | 66 |
| Figura 20: pré-prensagem e prensagem final do painel. | 67 |
| Figura 21: Distribuição e dimensões nominais dos CPs retirados de cada painel. | 68 |
| Figura 22: Dispositivo de ensaio para flexão estática..... | 70 |
| Figura 23: Dispositivo de ensaio para resistência à tração perpendicular. | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Tratamentos investigados..... | 44 |
| Tabela 2 - Inchamento em espessura e absorção de água após 2 horas dos painéis de partículas..... | 46 |
| Tabela 3 - Inchamento em espessura e absorção de água após 24 horas dos painéis de partículas. | 47 |
| Tabela 4 - Valores médios da densidade aparente por tratamento. | 47 |
| Tabela 5 - Adesão interna dos painéis de partícula. | 48 |
| Tabela 6 - Módulo de Elasticidade e de Resistência na flexão dos painéis de partícula..... | 48 |
| Tabela 7 - Resultados da ANOVA sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas..... | 49 |
| Tabela 8 - Resultados do teste de Tukey para a AA e IE dos painéis de partículas..... | 50 |
| Tabela 9 - Comparação entre os painéis produzidos Tr. 6 e Iwakiriet al. (2005)..... | 51 |
| Tabela 10 - Comparação entre os painéis produzidos pelo Tr. 2 e Naumann et al. (2008)..... | 51 |
| Tabela 11 - Comparação entre os painéis produzidos Tr. 4 e Del Menezzi, Souza e Gonçalves, 1996. | 52 |
| Tabela 12 - Resultados médios e coeficientes de variação dos painéis segundo os três métodos de fabricação propostos. | 56 |
| Tabela 13 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente ao método de fabricação dos painéis. | 56 |
| Tabela 14 - Resultados do teste de Tukey para o MOE e MOR dos painéis elaborados segundo os três métodos de fabricação. | 57 |
| Tabela 15 - Resultados médios e coeficientes de variação dos painéis segundo as três composições entre partículas de BOPP e resina. | 59 |
| Tabela 16 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente à variação das frações de BOPP (20%; 30%) para 15% de resina PU. | 59 |
| Tabela 17 - Resultados do teste de Tukey para o MOE e MOR dos painéis elaborados segundo os três métodos de fabricação. | 59 |

| | |
|---|----|
| Tabela 18 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente à variação das frações de resina PU (15%; 18%) para 20% de BOPP..... | 60 |
| Tabela 19 - Ensaios a serem realizados, as normas utilizadas e a quantidade de CPs retirada em cada painel..... | 67 |
| Tabela 20 - Propriedades físicas dos painéis OSB..... | 71 |
| Tabela 21 - Propriedades mecânicas dos painéis OSB. | 72 |
| Tabela 22 - Resultados da Densidade Aparente (ρ)e Teor de Umidade (TU) dos painéis e seus respectivos Coeficientes de variação. | 72 |
| Tabela 23 - Resultados da ANOVA sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB..... | 73 |
| Tabela 24 - Resultados do teste de Tukey para a AA e IE dos painéis OSB..... | 73 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPA: Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAF: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas.

ANSI: American National Standard Institute.

CS: Commercial Standard.

EN: European Norm.

IPI: Imposto Sobre o Produto Industrializado.

MDF: Medium Density Fiberboard.

MDP: Medium Density Particleboard.

MOE: Módulo de elasticidade.

MOR: Módulo de ruptura.

NBR: Norma Brasileira Registrada.

OSB: Oriented Strand Board.

PEAD: Polietileno de Alta Densidade.

PEBD: Polietileno de Baixa Densidade.

PET: Politereftalato de etileno.

PIB: Produto Interno Bruto.

PP: Polipropileno.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 19 |
| 2 OBJETIVOS..... | 22 |
| 2.1 Objetivo geral | 22 |
| 2.2 Objetivos específicos | 22 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 23 |
| 3.1 Produtos derivados da madeira: painéis de madeira no Brasil | 23 |
| 3.2 Utilização de painéis OSB na construção civil..... | 25 |
| 3.3 OSB..... | 26 |
| 3.3.1 Introdução..... | 26 |
| 3.3.2 Conceito | 27 |
| 3.3.3 Comparativos entre OSB e o compensado..... | 28 |
| 3.3.4 Processo produtivo industrial dos painéis OSB | 29 |
| 3.3.5 Fatores ligados ao processo de fabricação que afetam as propriedades dos painéis OSB | 30 |
| 3.3.5.1 Espécie da madeira | 30 |
| 3.3.5.2 Densidades da madeira | 32 |
| 3.3.5.3 Geometria e dimensões das partículas..... | 32 |
| 3.3.5.4 Teor de umidade das partículas | 33 |
| 3.3.5.5 Orientação das partículas..... | 34 |
| 3.3.5.6 Resinas e proporções | 35 |
| 3.3.5.7 Processo de prensagem..... | 36 |
| 3.4 Adição de plástico a matriz constituinte de painéis de madeira | 37 |
| 3.5 Polipropileno biorientado (BOPP)..... | 38 |
| 3.6 Insumos alternativos adicionados a matriz de painéis OSB | 39 |
| 3.7 Conclusões da revisão bibliográfica | 40 |
| 4 METODOLOGIA..... | 41 |
| 4.1 Testes preliminares | 41 |
| 4.1.2 Fase 1: determinação da temperatura, prensagem e tempo de prensagem adequados | 41 |
| 4.1.2.1 Resultados..... | 43 |
| 4.1.2.1.1 Propriedades físicas | 45 |
| 4.1.2.1.2 Propriedades mecânicas | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.2.1.3 ANOVA, testes de normalidade e de homogeneidade de variância..... | 49 |
| 4.1.2.2 Discussões | 50 |
| 4.1.2.3 Conclusões | 52 |
| 4.1.3 Fase 2: definição do método de produção dos painéis OSB híbridos..... | 53 |
| 4.1.3.1 Método de produção 1..... | 53 |
| 4.1.3.2 Método de produção 2..... | 54 |
| 4.1.3.4 Método de produção 3..... | 55 |
| 4.1.3.5 Resultados | 55 |
| 4.1.3.6 Discussões e conclusões..... | 57 |
| 4.1.4 Fase 3: definição das porcentagens de partículas de BOPP, partículas de madeira e resina poliuretana à base de óleo de mamona na fabricação dos painéis OSB híbridos. . | 58 |
| 4.1.4.1 Porcentagem de partículas de BOPP..... | 58 |
| 4.1.4.2 Porcentagem de resina poliuretana de mamona..... | 58 |
| 4.1.4.3 Resultados e discussões | 58 |
| 4.2 Testes finais: processo produtivo determinado por meio dos testes preliminares | 60 |
| 4.2.1 Local do experimento e matérias primas utilizadas..... | 60 |
| 4.2.2 Equipamentos utilizados | 61 |
| 4.2.3 Determinação da densidade aparente da madeira | 63 |
| 4.2.4 Produção dos painéis | 64 |
| 4.2.4.1 Obtenção das partículas | 64 |
| 4.2.4.2 Aplicação da resina | 65 |
| 4.2.4.3 Orientação das partículas e formação do colchão..... | 66 |
| 4.2.4.4 Prensagem dos painéis | 66 |
| 4.2.4.5 Obtenção dos corpos-de-prova (CPs) | 67 |
| 4.2.5 Determinação das propriedades dos painéis | 68 |
| 4.2.5.1 Propriedades físicas | 68 |
| 4.2.5.2 Propriedades mecânicas..... | 69 |
| 4.2.6 Resultados..... | 71 |
| 4.2.7 Discussões..... | 74 |
| 5 CONCLUSÕES | 76 |
| 6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 77 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é um dos países de maior destaque internacional no setor florestal, apresentando uma das maiores áreas de florestas comerciais plantadas do mundo. Em 2011, a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. no país totalizou 6.515.844 hectares, sendo 74,8% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* sp. e 25,2% aos plantios de *Pinus* sp.. Espécies não convencionais, como Acácia, Araucária, Pópulus, Seringueira, Paricá, entre outras, constituem 421.588 hectares de área reflorestada, o que representa 6,0% da área total de plantios florestais do país (ABRAF, 2012).

Com a redução da oferta de árvores nativas de grandes portes em decorrência de certificação de áreas da Floresta Amazônica, madeiras de qualidade destinadas a serrarias vêm se tornando cada vez menos disponíveis. O plantio comercial de espécies exóticas para esta finalidade constitui uma boa opção, porém requer maiores ciclos de vida para que as árvores possam alcançar os diâmetros comercialmente necessários e, também, o manejo adequado para a boa qualidade da madeira, o que implica maiores valores de produção (NASCIMENTO; ROCCO LAHR; CHRISTOFORO, 2011).

A produção de painéis de madeira é uma boa alternativa para substituir a madeira serrada em diversos setores da nossa indústria, como setor moveleiro e de construção civil. Nos últimos 12 anos (2000-2011), a produção anual de painéis de madeira industrializada no Brasil cresceu de 2,7 milhões de toneladas para 6,5 milhões, o que representa um crescimento médio de 8,3% a.a.. Juntamente com o aumento da produção houve um aumento do consumo interno anual de 2,6 milhões de toneladas, para 6,5 milhões, um incremento médio de 8,7% a.a. (ABRAF, 2012). A vantagem da fabricação de painéis aglomerados é a não exigência de grande qualidade da madeira utilizada como matéria prima, podendo ser aproveitados resíduos e rejeitos florestais provenientes de serrarias e de desbastes e podas silviculturais, permitindo ainda o aproveitamento de diversos resíduos lignocelulósicos fornecidos pela agricultura nacional (NASCIMENTO; ROCCO LAHR ; CHRISTOFORO, 2011).

Segundo ABIPA (2013):

“O Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos

processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura” (ABIPA, 2013).

O Oriented Strand Board (OSB) está presente no mercado mundial desde a década de 1970 e foi desenvolvido nos Estados Unidos como uma segunda geração do “waferboard”. A partir da sua introdução no mercado americano, este painel estrutural foi rapidamente aceito, substituindo os demais painéis no segmento de construção civil. Neste setor, o OSB pode ser utilizado durante o período da obra em tapumes, instalações provisórias, bandejas de proteção, passarelas ou fôrmas de concreto. Por meio de composições distintas, também é possível fazer uso do OSB como estrutura de mezaninos, telhados ou mesmo como revestimento de paredes internas e externas.

Os painéis OSB são produzidos a partir de tiras orientadas de madeira, chamadas “strands”, aderidas com resina à prova de água e consolidadas pela prensagem a quente. Produto de grande versatilidade e projetado para obtenção de elevada resistência mecânica, é classificado como um painel estrutural. O OSB pode ser produzido a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial, pois não exige grande qualidade da madeira utilizada em sua produção. É concorrente direto do compensado, que apresenta indicações para os mesmos tipos de uso, entretanto que requer toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, é de custo relativamente superior, fator determinante para o declínio do consumo mundial deste produto (EISFELD; BERGER, 2012; SURDI, 2012).

A primeira empresa a produzir o OSB no Brasil foi a Masisa, em 2002, que aproveitou as extensas áreas de plantação de *Pinus* sp. presentes no estado do Paraná. O início da produção deste tipo de painel aglomerado de madeira em território nacional sanou uma defasagem histórica do país em relação aos principais produtores de painéis do mundo. Contudo, apesar da considerável participação do setor florestal no PIB nacional, a produção nacional de painéis ainda é inexpressiva perante o mercado mundial (REMADE, 2003; REMADE, 2004; REMADE, 2013).

Há ainda a possibilidade de utilizar-se de resíduos provenientes do consumo da sociedade em consórcio com a madeira, na produção de painéis aglomerados, como o OSB. É o caso das embalagens alimentícias de película de polipropileno biorientado (BOPP), comuns na indústria alimentícia devido às suas boas propriedades de conservação dos alimentos, mas que ainda sem reciclagem comercial no Brasil em grande escala (ALMEIDA, 2011). Este fato acarreta grande problema ambiental, como a poluição dos vários biomas brasileiros e a morte da fauna silvestre por intoxicação, e graves problemas sociais nos grandes centros urbanos. O

aproveitamento destes materiais descartados pela sociedade, que gradativamente vêm despertando o interesse de empresas do ramo da reciclagem, podendo ser uma boa opção na produção de painéis ecologicamente corretos.

Alguns trabalhos relacionados à adição de diversos tipos de plástico à matriz constituinte de painéis aglomerados já foram realizados. Como exemplos, têm-se a adição de poliestireno e polietileno tereftalado em painéis aglomerados de *Pinus elliottii* Engelm., a adição de plástico PET em painéis aglomerados de madeira de Candeia, painéis produzidos com serragem em consórcio com poliestireno expandido (MACIEL et al., 2004; SANTOS et al., 2011; ALMEIDA; LOGSDON; JESUS, 2012). Contudo, não foi localizada, nas bases de dados consultadas, qualquer referência a estudo realizado com a adição de plástico do tipo BOPP a painéis aglomerados de madeira ou a adição de qualquer tipo de plástico a painéis aglomerados do tipo OSB.

A utilização das embalagens de BOPP na fabricação de painéis OSB constitui uma possibilidade de melhoria das propriedades físicas do painel, como a maior estabilidade dimensional, e um destino final ecologicamente adequado para o resíduo plástico. De acordo com Mendes (2010), esta é a limitação mais significativa desse produto perante os painéis compensados, pois em contato com umidade o OSB apresenta grande inchamento em espessura e expansão linear. As partículas das embalagens de BOPP assumiriam os espaços vazios presentes na matriz constituinte do painel, limitando assim a quantidade de ligações disponíveis deste a se conectarem com moléculas de água presentes no ambiente onde se encontra.

Estes painéis ecologicamente corretos, por apresentarem menor consumo de madeira em função da introdução de BOPP em sua matriz constituinte, podem apresentar preços de mercado mais acessíveis. Com isto, este tipo de produto poderia ser utilizado como componente fundamental na construção de casas emergenciais para pessoas desabrigadas moradoras de áreas atingidas por desastres naturais, tão comuns atualmente no Brasil, decorrentes de chuvas de grande intensidade, ou mesmo para a substituição de barracos nas favelas dos grandes centros urbanos até a construção de casas de alvenarias definitivas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis OSB de madeira de *Pinus* sp.com adição de partículas provenientes de embalagens de BOPP em sua matriz constituinte.

2.2 Objetivos específicos

- Proporcionar maior estabilidade dimensional para o painel através da adição de partículas plásticas a matriz constituinte do mesmo.
- Confirmar a viabilidade da empregabilidade dos painéis OSB produzidos neste estudo em aplicações estruturais e componentes de edificação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produtos derivados da madeira: painéis de madeira no Brasil

A madeira é um material produzido a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas e que apresenta funções de sustentação e boas propriedades físico-químico-mecânicas. Devido a estas características singulares, a madeira sempre foi bastante utilizada desde as primeiras civilizações existentes, seja pelo uso estrutural em construção de abrigos ou na produção de calor através de sua combustão.

Devido ao seu potencial econômico, a madeira vem sendo há muito tempo alvo de grande exploração predatória. Este episódio tem gerado grande devastação da variabilidade das espécies existente no território nacional e a indisponibilidade de indivíduos de grandes diâmetros no mercado madeireiro nacional. Medidas legislativas, como a certificação da madeira e incentivos econômicos do governo favoreceram a implementação de plantios de reflorestamento comercial no país nas últimas décadas (UOL, 2013).

Em plantios comerciais as espécies mais utilizadas são as que apresentam o crescimento e desenvolvimento rápido, por isto indivíduos de grandes diâmetros dificilmente são o foco da produção devido à inviabilidade econômica em função do tempo dispensado para o seu desenvolvimento. Neste ínterim, os produtos derivados da madeira vêm se constituindo em interessante alternativa para a substituição da madeira maciça e de grandes diâmetros em diversas aplicações industriais, desde elementos estruturais e dos componentes da edificação até a indústria do mobiliário e de embalagens. Entre tais produtos destacam-se os painéis de lâminas, os painéis de partículas e os painéis de fibra (ROCCO LAHR, 2008).

Os painéis de madeira são fabricados em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas por uma resina específica com ação de temperatura e pressão. Substituem a madeira maciça em diferentes usos. Com o isolamento da Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial, o país se viu frente a algumas dificuldades que fomentaram o surgimento de novas tecnologias. Uma delas foi o desenvolvimento de painéis de madeira aglomerada, no final da década de 1940, como uma forma de se utilizarem os resíduos madeireiros existentes perante a escassez de madeira de boas características para a produção de painéis compensados (IWAKARI, 2005).

O setor de painéis de madeira industrializada nacional é formado pelas indústrias produtoras de painéis de MDP (aglomerado), MDF, OSB e chapas de fibra. As indústrias desse segmento são importantes fornecedoras de matéria prima para as indústrias de móveis, construção civil, embalagens, automobilística e eletroeletrônica. Dessa forma, o crescimento do mercado de painéis está fortemente ligado ao cenário econômico interno (ABRAF, 2012).

O mercado de painéis de madeira industrializada encontra-se em expansão no Brasil. Nos últimos 10 anos (2002-2012), a produção anual de painéis de madeira apresentou um crescimento médio de 8,9% a.a., da mesma forma o consumo anual também apresentou um crescimento de cerca de 10% a.a. (ABRAF, 2013). Segundo a ABIPA (2013), o faturamento bruto total do ano de 2011 no setor de painéis foi de 5,881 bilhões de reais, sendo 75,2 milhões de dólares o faturamento bruto em exportações. Em 2014, estão previstos vários investimentos no setor para a instalação de novas unidades industriais para que a produção anual de 10,9 milhões de metros cúbicos seja alcançada.

Em 2012, foram utilizados para a produção de painéis aglomerados de madeira industrializada 7,1% de toda a madeira de florestas plantadas produzida no país, sendo para produção de serrados 16,4% e de compensados 2,7%. Do total produzido de painéis de madeira, 98,6% foram destinados à demanda de indústrias do setor secundário nacional, ficando o restante destinado à exportação (ABRAF, 2013).

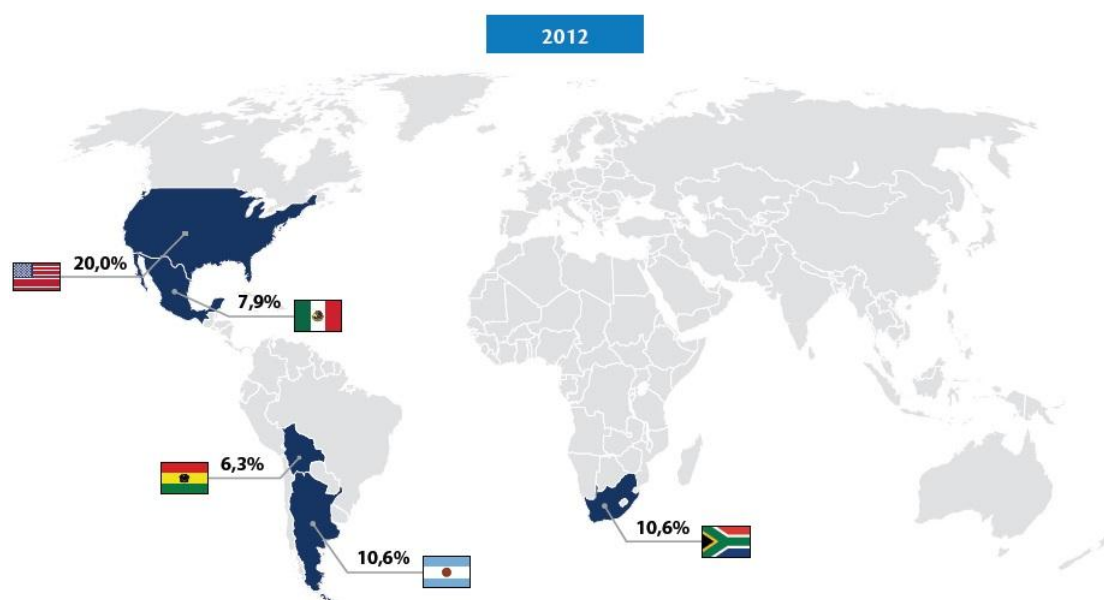


Figura 1: Principais destinos das exportações de painéis industrializados de madeira do Brasil (ABRAF, 2013).

Um dos maiores responsáveis pelo o crescimento do setor de painéis no país nos últimos tempos foram os pacotes de estímulos governamentais à elevação da competitividade do setor moveleiro brasileiro em 2012 (como a isenção do Imposto sobre o Produto Industrializado - IPI), as políticas públicas voltadas ao setor habitacional (Programa Minha Casa Minha Vida) e a elevação da renda média da população brasileira (ABRAF, 2013).

3.2 Utilização de painéis OSB na construção civil

Em países da América do Norte, 51% das aplicações do OSB ocorrem em construções habitacionais. Nos Estados Unidos da América, este painel está presente nas habitações em paredes internas e externas, pisos e forros, onde apresenta grande desempenho. O grande emprego deste painel nos Estados Unidos e na Europa se deve a rapidez e facilidade de instalação, além de uma grande economia de energia em comparação as construções convencionais (REMADE, 2007; SANTOS; AGUILAR, 2007). A ONG norte americana Stop Waste propõe em seu “Green Building Guidelines” a construção de habitações “verdes” com o emprego de matérias primas que sejam ecologicamente viáveis, como o OSB. Segundo o guia, o painel é indicado por ser resistente como os painéis compensados e mais barato, não necessitando de árvores de grandes diâmetros em sua produção (ALAMEDA COUNTY, 2003).

Ao contrário dos países do Hemisfério Norte, no Brasil a madeira e seus derivados não apresentam tamanha empregabilidade no setor da construção civil como a alvenaria, o concreto ou metais. No entanto, com o aparecimento de grande variedade em madeira e derivados destinados à construção civil, o uso destes materiais vem aumentando e o reconhecimento de seu valor como material de construção também.

De acordo com a ABIPA (2011), a empresa fabricante de OSB no Brasil totaliza a produção de 350 mil m³/ano, dos quais 40% são destinados ao uso na construção civil e 2% a construção seca na forma, como tapumes, fôrmas de concreto, em paredes, pisos e telhados no sistema construtivo seco (americano), bem como mezaninos.

3.3 OSB

3.3.1 Introdução

Após a Guerra, em 1946, o desenvolvimento de painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos da América (EUA), onde se aperfeiçoaram equipamentos e processos produtivos. A partir dos anos 1960, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos, nos anos de 1970 iniciaram-se o desenvolvimento dos painéis estruturais “Waferboard” e “Oriented Strand Board - OSB” (IWAKIRI, 2005).

O painel OSB é um material relativamente novo no mercado europeu e nacional, porém, é um produto de grande potencialidade futura devido à crescente demanda nos Estados Unidos e Canadá. Tem grande destaque no mercado por suas múltiplas empregabilidades, principalmente a estrutural. A crescente competitividade nas indústrias Norte Americanas de OSB estimula cada vez mais o desenvolvimento de técnicas de manejo florestal mais precisas e o processamento de toras de pequenos diâmetros nas indústrias.

No Brasil a produção do painel de tiras de madeira orientadas (OSB) é recente, sendo a sua resistência considerada alta e equiparada à dos compensados estruturais. O OSB tem a elasticidade da madeira em estado maciço, porém mais resistente mecanicamente, sendo seu custo mais baixo devido ao emprego de madeiras de pequenas dimensões como matéria prima (EISFELD; BURGER, 2012). Durante o seu processo de produção é possível o melhor aproveitamento das toras de madeira, sendo utilizadas 96% da madeira contra 56% na produção do compensado. No setor da construção civil, as indústrias procuram cada vez mais técnicas novas e materiais que possam melhorar a produtividade e baixar os custos das edificações. Os painéis OSB constituem alternativas viáveis para projetos da construção civil substituindo o compensado (REMADE, 2005; REMADE, 2007).

O painel compensado é um produto de aplicação estrutural obtido pela colagem de lâminas de madeira sobrepostas, com as fibras cruzadas perpendicularmente, de grande resistência física e mecânica. No entanto, mesmo com o seu ótimo desempenho, o uso deste produto vem sendo substituído por painéis OSB devido ao seu elevado preço decorrente da necessidade de madeira de qualidade para laminação e grande desperdício durante a produção. O que diverge o compensado do OSB é a utilização de espécies de madeira de menor

qualidade em seu processo produtivo e o fato de as dimensões do OSB serem definidas pela tecnologia utilizada e não pelo comprimento das toras da madeira utilizadas (IWAKIRI, 2005).

Os painéis OSB foram desenvolvidos para suprir a resistência mecânica para fins estruturais exigidas pelo mercado. Este tipo de painel em conjunto com perfis metálicos, e outras tecnologias integradas já presentes no Brasil, possibilita a execução de um inovador sistema de construção tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares, como para construções comerciais leves (REMADE, 2007). Muito utilizado nos Estados Unidos e na Europa, este painel apresenta vantagens como a rapidez e facilidade de instalação e economia de energia, materiais e mão de obra quando comparado com outros métodos convencionais. Além disto, o corte dos painéis OSB permite grande variedade nos desenhos arquitetônicos que antes eram impraticáveis.

3.3.2 Conceito

O OSB é um painel de múltiplas camadas constituído por partículas de madeira do tipo “strand”, unidas através de um aglutinante (adesivo). As partículas das camadas externas estão alinhadas e dispostas no sentido paralelo ao comprimento ou à largura do painel, enquanto que as partículas das camadas internas podem ser orientadas aleatoriamente ou alinhadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas das camadas externas (EN 300, 2006). A composição do painel em três camadas cruzadas propicia melhor distribuição da resistência nas direções longitudinal e transversal e uma melhoria na estabilidade dimensional do painel, Figura 2 (MALONEY, 1993).



Figura 2: Orientação das partículas “strands” na matriz constituinte do painel OSB (ORIENTED, 1998).

Segundo a EN 300 (2006), os painéis OSB são classificados em quatro categorias em função do seu emprego final:

- OSB / 1: Painéis para uso estrutural e interior em condições secas;
- OSB / 2: Painéis estruturais para uso em condições secas;
- OSB / 3: Painéis estruturais para uso em condições de ambiente úmido;
- OSB / 4: Painéis estruturais de alta especificação para ambiente úmido.

3.3.3 Comparativos entre OSB e o compensado

De acordo com Janssens (1998), *apud* Mendes (2001), o painel OSB é superior ao compensado devido ao conjunto dos seguintes aspectos:

- O painel OSB não apresenta delaminação, nem espaços internos vazios ou buraco de nó;
- O painel OSB apresenta resistências nas propriedades de flexão, tração e compressão, o que o assemelha ao compensado, e resistências ao cisalhamento melhores que a do compensado, devido a sua formação homogênea.
- A resistência do OSB não é afetada por umidade em função da sua exposição ao ambiente, no entanto, pode haver um aumento nas dimensões das bordas;

- O painel OSB é de produção ecologicamente correta, pois são utilizadas em sua produção árvores de menores diâmetros e resíduos de desbastes e podas florestais, sendo também gerado menos desperdício de matéria prima durante sua produção;

- O painel OSB é de construção uniforme, produzido para a obtenção da qualidade análoga em ambas às faces;

- O painel OSB é mais eficiente que o compensado, pois pode ser produzido em grandes dimensões, limitado apenas pela tecnologia aplicada, o que não acontece com o compensado que depende das dimensões do tronco utilizado na laminação. Isto possibilita grande aplicação arquitetônica deste painel;

- O painel OSB é pode ser produzido em uma ampla faixa de espessura;

- O painel OSB não emite gases mensuráveis, pois toda a resina utilizada é curada durante o processo de produção.

3.3.4 Processo produtivo industrial dos painéis OSB

De acordo com Cloutier (1998), o processo industrial de produção de painéis OSB divide-se nas seguintes etapas:

- 1) Toragem e acondicionamento das toras: a árvore abatida em campo é traçada em dimensões menores para facilitar o transporte e o armazenamento no pátio da empresa;

- 2) Descascamento das toras: a presença de casca na matriz constituinte do painel pode prejudicar o desempenho de algumas propriedades;

- 3) Geração das partículas do tipo “strand”;

- 4) Armazenamento das partículas úmidas;

- 5) Secagem das partículas: a umidade das partículas influencia diretamente na cura da resina, tempo de prensagem e pressão necessária para a consolidação do colchão;

- 6) Classificação e peneiramento: tem por principal objetivo a separação das partículas aceitáveis no processo de produção e a remoção de impurezas e finos;

- 7) Mistura dos componentes do colchão;

- 8) Formação do colchão: define a densidade do painel, uniformidade da distribuição e o arranjo do material (matriz randômica);

- 9) Prensagem à quente: fase em que ocorre a cura da resina e a densificação do painel;

10) Acabamento e esquadrejamento;

11) Despacho.

A Figura 3 apresenta parte do esquema do processo produtivo de painéis OSB:

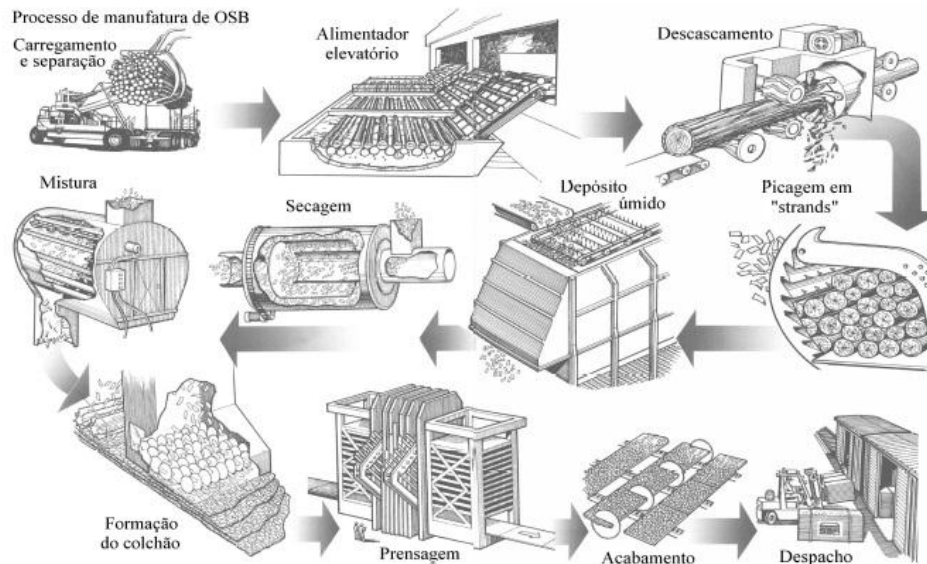


Figura 3: Processo produtivo de painéis OSB (MENDES, 2001).

3.3.5 Fatores ligados ao processo de fabricação que afetam as propriedades dos painéis OSB

3.3.5.1 Espécie da madeira

Como mencionado anteriormente, o painel OSB pode ser produzido a partir de árvores de pequenos diâmetros e de baixo valor comercial, sendo esta uma de suas grandes vantagens em relação ao compensado. Cabe ainda ressaltar a importância da utilização de espécies alternativas de rápido crescimento, visando explorar o grande potencial florestal do país, aumentando o volume de matéria prima disponível para uso industrial madeireiro.

Algumas características da espécie podem interferir negativamente no processo produtivo do painel e no seu desempenho final. A acidez da madeira é uma característica muito importante e de grande influência no processo de cura da resina e escolha do tipo de

catalisador utilizado durante o processo de produção dos painéis. Espécies de alta capacidade tampão requerem maior quantidade de ácidos catalíticos para reduzir seu pH ao valor ideal para que ocorra a cura adequada da resina (IWAKIRI, 2005).

Cloutier (1998) ainda afirma que a grande presença de extrativos, característica marcante de algumas espécies, também pode influenciar na cura da resina utilizada e proporcionar propriedades mecânicas menos eficientes ao painel. Segundo o mesmo autor, alta presença de extrativos ainda pode causar problemas durante o processo de prensagem. Mendes, Iwakiri e Saldanha (2002) atestaram que painéis OSB produzidos em laboratório com a madeira de *Pinus chiapensis* estouraram após a liberação no ciclo de prensagem. O fato foi atribuído aos altos teores de extrativos totais e a algumas propriedades anatômicas da madeira.

Em sua tese de doutorado, Mendes (2001) ressalta a importância e a grande influência da espécie botânica da madeira utilizada na qualidade da matéria prima disponível para o processo de produção dos painéis, constituindo um dos principais limitadores do tipo de partículas produzidas. O autor ainda comenta o quão interativa é a espécie de madeira em relação às demais variáveis do processo produtivo do painel, sendo grande responsável pela massa específica final do painel.

Para comparar a diferença existente entre espécies de madeira do mesmo gênero, Gouveia, Santana e Souza (2000) avaliaram o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na fabricação de OSB. Os autores concluíram pela viabilidade técnica do *Eucalyptus grandis* na produção deste compósito devido à sua resistência mecânica e à inviabilidade da utilização da madeira de *Eucalyptus urophylla* com idade superior a 18 anos em virtude de sua alta densidade.

Iwakiri et al. (2008) também avaliaram as propriedades mecânicas de painéis OSB fabricados com as madeiras do mesmo gênero e espécie diferente, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, e concluíram que apenas os painéis produzidos com a primeira espécie atenderam os requisitos mínimos normativos.

3.3.5.2 Densidades da madeira

A densidade é um dos fatores decisivos na escolha das espécies de madeira que podem ser utilizadas na fabricação de painéis, pois afeta diretamente a densidade do painel e várias fases de seu processo de fabricação, como a geração de partículas, secagem, consumo de resina e prensagem da chapa (MALONEY, 1993). A razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, denominada razão de compactação, é uma característica que exerce grande influência nas propriedades dos painéis particulados (MOSLEMI, 1974).

Espécies com densidade até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são consideradas as mais adequadas para produção de painéis de partículas, pois permitem uma razão de compactação de 1,3 a 1,6, considerada ideal para o processo de densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel (MALONEY, 1993). As partículas geradas de espécies com alta densidade, quando compactadas no processo de produção, produzem baixa razão de compactação, o que prejudica algumas propriedades do painel (MENDES, 2001).

Madeiras de densidade mais baixas possibilitam a produção de painéis dentro da faixa de densidade média, adequada para a obtenção de propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas e com a garantia de uma área de contato satisfatória entre partículas no colchão (KELLY, 1977; MALONEY, 1993). Contudo, as espécies de densidades maiores ainda podem ser utilizadas em consórcio com as de densidade menores, o que provém o aproveitamento das mesmas.

3.3.5.3 Geometria e dimensões das partículas

A geometria das partículas é responsável por características físicas e mecânicas do OSB tais como: resistência, estabilidade dimensional, acabamento, colagem e quantidade de resina requerida. Contudo, cada propriedade é afetada de maneira diferenciada em relação à variação das dimensões das partículas.

As partículas utilizadas na produção de OSB, tipo “strand”, mencionadas anteriormente, são produzidas com dimensões aproximadas de 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura (IWAKIRI, 2005). Esta geometria é um dos

fatores mais importantes na obtenção de melhorias nas propriedades desses painéis (NELSON, 1997). O comprimento e a largura são parâmetros que controlam o grau de orientação do painel durante a formação do colchão (MENDES, 2001; SALDANHA, 2004).

Painéis com partículas de maior relação comprimento/largura, orientação e formação em três camadas cruzadas do colchão (face-centro-face), apresentam maior módulo de resistência à flexão estática e melhor estabilidade dimensional. Contudo, para que ocorra uma boa orientação das partículas, a relação entre seu comprimento e sua largura deve ser de, no mínimo, três vezes para proporcionar uma boa orientação na formação do colchão (MALONEY, 1993).

A razão entre o comprimento e a espessura, denominada índice de esbeltez, influencia significativamente nas propriedades mecânicas e dimensionais dos painéis, em seu acabamento e usinabilidade. O índice de esbeltez ideal das partículas, na produção de painéis estruturais de três camadas, varia na faixa de 120 a 200, para partículas da camada externa, e de 60 a 120, para partículas da camada interna do painel (MALONEY, 1993). Kelly (1977) atestou em seus estudos que a relação entre espessura e comprimento apresenta alta correlação com o módulo de ruptura do painel, o que não acontece quando cada característica é avaliada separadamente. O autor ainda afirma que a espessura dos “strands” possui efeito bastante importante no painel, principalmente acima de 0,5mm.

Para Suzuki e Takeda (2000) o comprimento das partículas tem influência direta sobre a resistência dos painéis, sendo que quanto maior o comprimento dos “strands” maior tende a ser o MOR do painel. Os autores atribuem este aumento as propriedades longitudinais da madeira, que contribuem efetivamente nas propriedades das chapas.

3.3.5.4 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade nas partículas exerce grande influência sobre a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel. Teores muito elevados de umidade podem gerar alto teor de pressão interna que leva ao estouro ou delaminação do painel no momento de abertura da prensa. Por isto, as partículas devem passar pelo processo de secagem para que alcancem umidades finais entre 2 e 3% (IWAKIRI, 2005).

Partículas com alto teor de umidade, sob pressão, requerem um tempo menor para atingir a espessura final desejada devido à plasticização da madeira decorrente do consórcio da umidade e temperatura, responsável pela menor resistência à compactação da madeira. A umidade é importante, pois facilita a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel, promovendo o aquecimento e a cura da resina. Porém, altos teores de umidade requerem maiores tempos de prensagem e resultam em colagem de qualidade inferior (MATOS, 1988).

3.3.5.5 Orientação das partículas

O processo de formação do colchão é muito importante, pois as orientações das partículas das camadas internas e externas são fatores decisivos em relação à estabilidade dimensional e à flexão estática dos painéis (IWAKIRI, 2005).

Quando o colchão é formado por partículas orientadas nas camadas externas ocorre uma melhora expressiva das propriedades de flexão estática no sentido paralelo à orientação. No entanto, ocorre uma redução no sentido perpendicular do painel (Mac NATT; Bach; Wellwood, 1992). Em sua pesquisa, Gouveia, Santana e Souza (2000) atestaram a superioridade de painéis de *Eucalyptus grandis* de partículas orientadas em relação a painéis de partículas não orientadas, nas propriedades de flexão estática.

Durante a formação do colchão do painel, parâmetros como comprimento e a largura das partículas juntamente com a altura de queda das mesmas são decisivos no controle do nível de orientação das partículas (IWAKIRI, 2005). A adição de partículas com dimensões reduzidas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador também são responsáveis pelo decréscimo na percentagem de orientação do painel.

Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, a proporção ideal varia de 40:60 a 60:40, de acordo com a percentagem de peso seco de partículas encoladas (CLOUTIER, 1998). Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003), em estudos com OSB de *Eucalyptus grandis* com composição de camadas cruzadas de relação face-miolo-face de 20-60-20, atestaram melhor balanço de resistência à flexão estática entre os sentidos de ensaios paralelo e perpendicular ao alinhamento das partículas da camada externa. Tanto o MOE quanto o MOR apresentaram redução na diferença entre os sentidos

paralelo e perpendicular, com o aumento da proporção da camada interna de 0 para 40 e 60 partes.

3.3.5.6 Resinas e proporções

A resina é o componente mais oneroso na produção de painéis, sendo importante o investimento em tecnologia e manutenção dos equipamentos na linha de produção para aperfeiçoar a quantidade utilizada no momento da aplicação, evitando desperdícios.

Segundo Iwakiri (2005), a quantidade de adesivo a ser utilizada na produção de um painel varia em função do conteúdo de sólidos resinosos, com base no peso seco das partículas formadoras do colchão e nas propriedades físico-mecânicas exigidas pelo emprego final do painel. Varia de 5 a 10% para os principais adesivos usados na fabricação de painéis aglomerados:

- Uréia-formaldeído: É o adesivo mais utilizado na confecção de painéis aglomerados destinados a uso internos devido ao seu baixo custo, facilidade de manuseio, cura rápida e, ainda, por ser incolor.

- Fenol-formaldeído: É utilizado na produção de painéis estruturais que requerem maior resistência à umidade. Utilizado em menor escala.

- Melamina-formaldeído: Devido ao seu alto custo, é preferencialmente utilizada em consórcio com a uréia-formaldeído, provendo ao painel maior resistência à água.

Contudo, em estudos recentes tem sido realizada a produção de painéis aglomerados com o emprego de resina poliuretana à base de óleo de mamona, bicomponente, com teor de sólidos de 100%, proporções de aplicação variando de 8 a 15% do peso seco das partículas (BERTOLINI, 2011; VARANDA, 2012; SOUZA, 2012; FERRO, 2013). Cada vez mais estudos têm sido realizados com esta resina, dada sua origem natural e, assim, considerada um produto ecologicamente mais correto quando comparada com as demais.

3.3.5.7 Processo de prensagem

A prensagem a quente do painel tem por função consolidar o colchão de partículas num painel de densidade e espessura desejadas, a polimerização e cura da resina e estabilização do painel. O processo de prensagem pode ser dividido em 5 etapas: carregamento da prensa, fechamento da prensa, polimerização da resina, descompressão e abertura da prensa, e descarregamento (IWAKIRI, 2005). As principais variáveis do processo são: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem (SALDANHA, 2004).

Para a densificação do colchão até a espessura final do painel e também para assegurar o contato adequado entre as partículas de madeira, é necessária a aplicação de uma pressão mínima (KELLY, 1977). O nível de pressão requerida irá influenciar diretamente no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa, o que resultará em maior densificação das camadas externas do painel, fator que provoca um gradiente vertical de densidade do painel bem perceptível e que resulta em ligações internas das partículas enfraquecidas (SALDANHA, 2004).

Como as faixas de maior densificação do painel se localizam nas camadas mais externas, ocorre um aumento nas propriedades de flexão estática do mesmo. Contudo, a ligação interna do painel é determinada em função das faixas de menor densificação presentes na região central. A pressão a ser aplicada pode variar entre 12 a 40 kgf/cm², e é função do grau de densificação do material (IWAKIRI, 2005).

A temperatura de prensagem é definida em função da temperatura necessária para a cura da resina. Altas temperaturas possibilitam maior transferência de calor para as camadas internas do painel, reduzindo substancialmente o tempo de prensagem e aumentando a produtividade (IWAKIRI, 2005; CLOUTIER, 1998).

Mendes et al. (2005), em avaliações sobre a influência do tempo de prensagem na umidade equilíbrio final do painel, concluíram que o aumento da temperatura de prensagem provoca redução da umidade de equilíbrio, para os tempos de prensagem de 8 e 10 minutos, e que para a temperatura de prensagem 160°C o aumento do tempo de prensagem provoca um aumento na umidade de equilíbrio.

Painéis produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona com pressão de 4 MPa, temperatura de 90°C e tempo de prensagem 8 minutos apresentaram resultados para

as propriedades físicas e mecânicas superiores às de painéis comercializados nacionalmente. De modo similar ocorre com painéis de partículas aglomeradas produzidos a partir de resina poliuretana à base de óleo de mamona, pressão de 4,7 MPa, temperatura 100°C e tempo de 10 minutos, que também apresentaram valores superiores aos exigidos pela NBR 14810 (2006) para MOE e MOR (NASCIMENTO; ROCCO LAHR; CHRISTOFORO, 2011; BERTOLINI, 2011).

3.4 Adição de plástico a matriz constituinte de painéis de madeira

Embora a indústria de painéis de madeira aglomerada já esteja consolidada em todo o mundo, novos materiais e técnicas de produção têm sido desenvolvidos para a geração de novos produtos. Inúmeras alternativas relacionadas à questão ambiental têm sido destaque e foco da economia mundial nos últimos tempos. A adição de resíduos de embalagens provenientes de produtos para consumo humano na produção de painéis de madeira constitui uma alternativa importante para descarte adequado destes materiais plásticos e economia de madeira durante a fabricação de painéis. Este tipo de consórcio, além de uma maneira de reaproveitar resíduos, ainda se configura em uma possibilidade de melhoria em determinadas propriedades físicas e mecânicas do painel produzido. Na última década, vários trabalhos foram realizados em relação à adição de plástico a matriz constituinte de painéis aglomerados.

Santos et al. (2011) adicionaram plástico do tipo PET a painéis aglomerados de madeira de Candeia e atestaram redução das propriedades mecânicas diretamente relacionadas ao aumento da presença de plástico. Contudo, uma redução da absorção de água no painel consorciado foi observada.

Maciel et al. (2004) produziram painéis aglomerados de *Pinus elliottii* Engelm. com adição de poliestireno e polietileno tereftalado que apresentaram valores das propriedades mecânicas superiores aos mínimos exigidos pela norma ANSI A208.1 (1999), para painéis de partículas de baixa densidade.

Almeida, Logsdon e Jesus (2012) produziram painéis com 50% de serragem e 50% de poliestireno dissolvido em gasolina. De acordo com os autores:

“A caracterização física desse painel mostrou-se compatível aos padrões recomendados pela norma brasileira para o comércio. Os valores muito baixos de inchamento em espessura tornam esses painéis de uso promissor

para áreas externas, embora tenham apresentado elevados valores de absorção” (ALMEIDA; LOGSDON; JESUS, 2012).

Oliveira (2005), em sua tese de mestrado, verificou que painéis de madeira contendo plástico do tipo polietileno são mais estáveis que painéis contendo apenas madeira, independentemente das partículas serem acetiladas ou não. Contudo, o acréscimo do percentual de plástico promoveu uma redução dos valores médios da resistência do painel.

Quinhones (2007) produziu placas compostas de serragem de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* combinada com polietileno de baixa densidade reciclável (PEBD), todas as partículas em diversas granulidades. As chapas produzidas com lenho de *Pinus* e plástico, ambos de granulometria fina, apresentaram as melhores propriedades físico-mecânicas dentre os demais tratamentos: menor absorção de água, menor inchamento em espessura, boa resistência à compressão, e melhor módulo de ruptura na flexão estática.

Milagres et al. (2006) determinaram as propriedades de painéis fabricados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade e polipropileno. Em geral, os painéis produzidos com PEAD apresentaram maiores valores médios de resistência e melhores propriedades de absorção de água e inchamento em espessura em relação aos demais. No entanto, os painéis produzidos com PP foram mais resistentes do que aqueles com partículas de PEAD e PEBD, quando avaliados em testes de dureza Janka.

3.5 Polipropileno biorientado (BOPP)

Com a sua introdução no mercado na década de 1950, o polipropileno se tornou uma das mais importantes resinas termoplásticas. Desde 2000, a procura do filme de polipropileno apresentou um aumento médio de 8,7% ao ano, o que representou cerca de 5 milhões de toneladas em 2007. Devido ao contínuo crescimento do consumo deste polímero, a procura mundial de filme BOPP esperada para 2012 seria cerca de 7,8 milhões de toneladas (CARVALHO, 2008).

O polipropileno extrudado apresenta-se em filmes e películas para embalagens de diferentes usos, tendo a sua principal empregabilidade na indústria alimentícia. Quando utilizado na embalagem final do produto, o polipropileno pode ser associado a outros

plásticos ou lâminas de alumínio para aumentar a sua resistência mecânica e a permeabilidade a gases (CARVALHO, 2008). Segundo Miguel et al. (2003), o BOPP é obtido a partir da transformação da resina granulada de polipropileno através das seguintes etapas:

- 1) Extrusão: para a fusão do polipropileno;
- 2) Formação: onde ocorre a formação e resfriamento do filme de polipropileno;
- 3) Estiramento longitudinal e transversal: promovidos através de estiramento mecânico, resultando na película de polipropileno orientado biaxialmente;
- 4) Tração e tratamento da película orientada;
- 5) Embobinamento.

Ainda de acordo com Carvalho (2008), as características citadas a seguir são as principais responsáveis pela grande utilização do BOPP na produção de embalagens flexíveis:

- Baixo custo;
- Elevada resistência química a solventes;
- Fácil moldagem;
- Fácil coloração;
- Alta resistência à fratura por flexão ou fadiga;
- Boa resistência ao impacto acima de 15°C;
- Boa estabilidade térmica;
- Maior sensibilidade à luz UV e agentes de oxidação, sofrendo degradação.

3.6 Insumos alternativos adicionados a matriz de painéis OSB

Recentemente foram realizados alguns estudos objetivando-se a utilização de insumos alternativos na produção de painéis OSB. Souza (2012) produziu painéis OSB de *Pinus* sp. com adição de telas metálicas a matriz constituinte do painel, Ferro (2012) com a utilização de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Nascimento (2006) com madeira da caatinga do nordeste brasileiro.

Os resultados altamente satisfatórios têm incentivado o prosseguimento de pesquisas no sentido de evidenciar o potencial de outros insumos na produção do OSB, com o intuito de agregar valor ao subproduto.

3.7 Conclusões da revisão bibliográfica

Os painéis desenvolvidos neste trabalho são caracterizados pela sua extrema originalidade, uma vez que não foi encontrado nenhum trabalho nas bases de dados consultadas relacionado à adição de polipropileno biorientado a qualquer tipo de painel particulado de madeira ou à adição de outro plástico à matriz constituinte de painéis OSB.

4 METODOLOGIA

Este item foi dividido em duas partes, sendo a primeira destinada à descrição dos testes preliminares: determinação de fatores de produção dos painéis como o tamanho das partículas de BOPP, temperatura, pressão e tempo de prensagem adequados para a adesão efetiva do plástico a superfície da madeira e melhor desempenho mecânico. Na segunda parte foi apresentada a descrição do processo de produção definitivo dos painéis OSB, definido a partir dos testes preliminares.

4.1 Testes preliminares

4.1.2 Fase 1: determinação da temperatura, prensagem e tempo de prensagem adequados

Para o desenvolvimento de parte técnica de produção do painel OSB proposto neste trabalho foram fabricados vários painéis aglomerados homogêneos em acordo com Nascimento (2003) com partículas de madeira e de BOPP. Pelo o fato do OSB ser definido como painel aglomerado e a intenção dos ensaios preliminares na fase 1 ser a determinação de algumas variáveis do processo de prensagem e a dimensão adequada das partículas de BOPP para uma superfície de contato efetiva de aderência do adesivo, os painéis aglomerados homogêneo foram escolhidos pela possibilidade de melhor análise do comportamento das partículas devido a sua matriz homogênea.

A Figura 4 apresenta o esquema das várias tentativas realizadas para a determinação do processo de produção dos painéis aglomerados e suas respectivas particularidades. A temperatura, pressão, tempo de prensagem determinados foram os que possibilitaram que as partículas de BOPP se ligassem mais concisamente a madeira e possibilitasse um melhor desempenho mecânico do painel (Tentativa V).

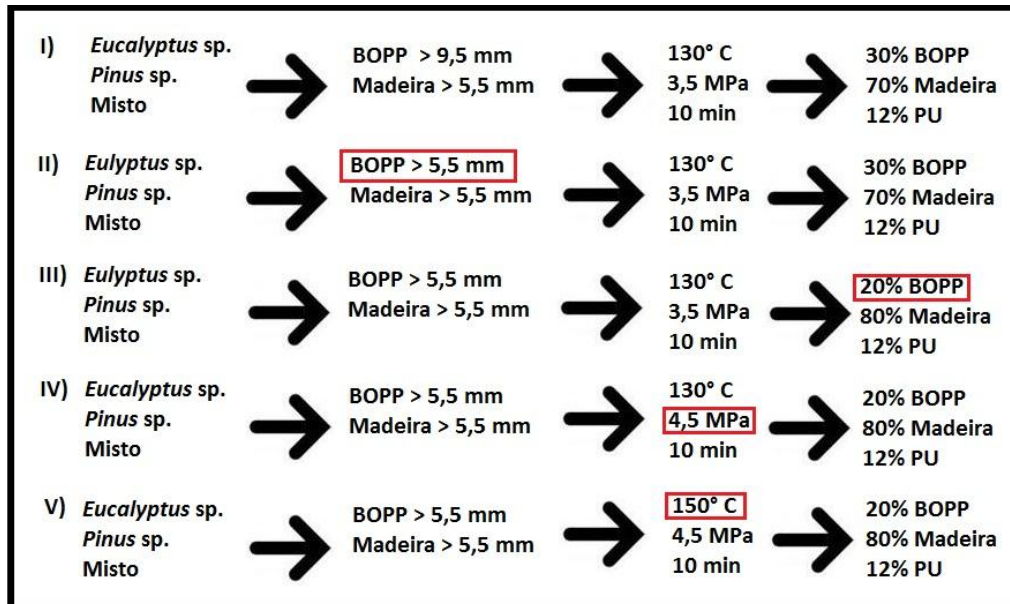


Figura 4: Determinação das variáveis de produção de painéis aglomerados com adição de BOPP.

Os painéis aglomerados homogêneos finais (Tentativa V) foram produzidos com partículas variando de 0,6 a 5,5 mm, tanto de BOPP quanto de madeira. Foram utilizados 12% de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona (PU) proporção de 1:1 de polioli e pré-polímero (Figura 5A), com base no peso de 640 gramas das partículas totais constituintes do colchão matricial do painel, das quais, 20% dessas partículas totais compostas por BOPP (Figura 5B). A temperatura ideal de prensagem encontrada foi de 150°C com pressão de 4,5 MPa por 10 minutos em prensa hidráulica (Figura 5C), já especificada, para que as normas de algumas propriedades físico-mecânicas fossem atendidas. Foram produzidos a partir do método definido pela Tentativa V, painéis com espécies de madeira de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e mistos das duas espécies (50% de cada uma), com espessura média de aproximadamente 9 mm (Figura 5D).

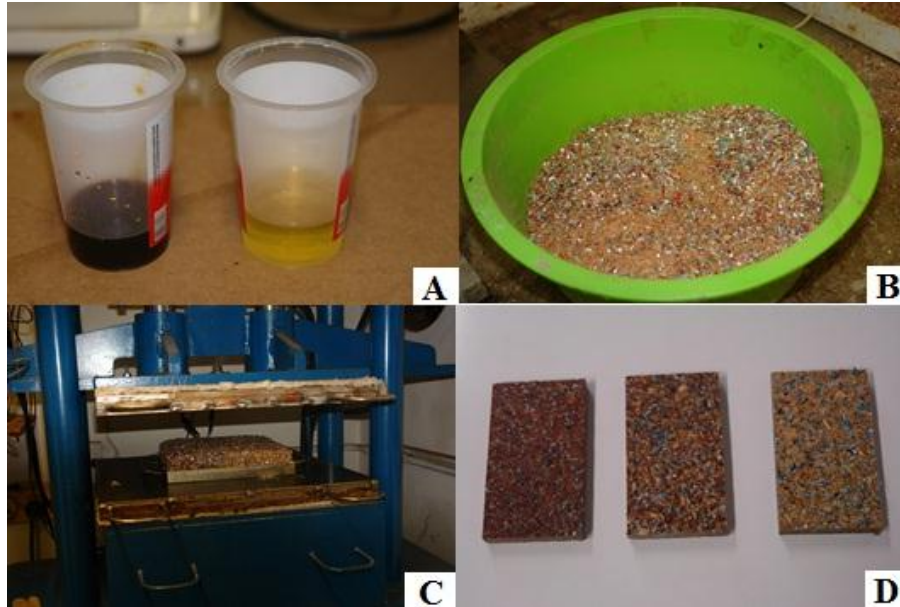


Figura 5: A) constituintes da resina poliuretana à base de óleo de mamona, B) matriz constituinte do painel, C) prensagem do colchão e D) painéis de *Eucalyptus* sp., misto e *Pinus* sp. prontos.

Por intermédio de alguns ensaios físico-mecânicos, foram determinados os valores de inchamento em espessura (I), absorção de água (A), densidade (ρ), adesão interna (RTP) e módulos de resistência (MOR) e de elasticidade (MOE) no ensaio de flexão estática.

4.1.2.1 Resultados

Os testes preliminares com os painéis de partículas com 20% de BOPP envolveram a combinação de dois fatores na elaboração dos materiais, as frações em massa de partículas de madeira de *Pinus* sp. na matriz lignocelulósica do painel e o uso ou não de material impermeabilizante na superfície dos corpos de provas (CPs) (Com; Sem), fornecendo um planejamento experimental completo com seis condições experimentais distintas, explicitadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos investigados.

| Tratamentos (Tr.) | Frações de Pinus | Impermeabilizante |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Tr. 1 ¹ | 0% | Com |
| Tr. 2 ¹ | 0% | Sem |
| Tr. 3 ² | 50% | Com |
| Tr. 4 ² | 50% | Sem |
| Tr. 5 ³ | 100% | Com |
| Tr. 6 ³ | 100% | Sem |

¹ Painéis apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

² Painéis apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

³ Painéis apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

As variáveis-resposta investigadas foram o inchamento em espessura (IE) em 2 horas (IE 2h) e em 24 horas (IE 24h), absorção de água (AA) em 2 horas (AA 2h) e em 24 horas (AA 24h), módulo de elasticidade (MOE) e de resistência (MOR) na flexão estática e adesão interna (RTP).

Os seis tratamentos experimentais foram utilizados na obtenção das propriedades físicas (IE; AA), enquanto que apenas três, da combinação de frações de *Pinus* sem o uso do impermeabilizante (Tr.2; Tr. 4; Tr. 6) foram utilizados para obtenção do MOE, MOR e RTP.

Os seis tratamentos do planejamento fatorial completo nas propriedades físicas e mecânicas de interesse foram avaliadas segundo a análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software Minitab® versão 14.

A ANOVA foi avaliada ao nível de 5% de significância, tendo a equivalência de médias entre os tratamentos como hipótese nula (H_0) e a não equivalência de médias como hipótese alternativa (H_1). P-valor superior ao nível de significância implica em aceitar H_0 , rejeitando-a em caso contrário. Para validação da ANOVA foi utilizado o teste de Anderson-Darling para verificação da normalidade nas distribuições por resposta e os testes Bartlett, teste F e de Levene para a verificação da homogeneidade de variâncias entre os tratamentos, ambos avaliados ao nível de 5% de significância. O teste de Anderson-Darling teve a normalidade à distribuição como hipótese nula, e a não normalidade como hipótese alternativa. P-valor superior a 5% implica em aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário. Os testes de homogeneidade entre variâncias tiveram a equivalência de variâncias entre tratamentos como hipótese nula e a não equivalência como hipótese alternativa. P-valor superior a 5% implica em aceitar H_0 , rejeitando-a em caso contrário.

Considerado significativo o fator ou interação dos fatores, na sequencia utilizou-se do teste de comparações múltiplas de Tukey, como forma de eleger o melhor tratamento por resposta.

4.1.2.1.1 Propriedades físicas

De cada tipo de painel de partículas foram fabricados 5 painéis e de cada painel foram extraídos 6 CPs para ensaios de inchamento em espessura e 6 para ensaios de absorção de água, 180 amostras no total (Figura 6). Metade dos CPs de cada painel foi então impermeabilizada com o produto comercial com nanotecnologia de repelência de água e outra metade permaneceu “in natura”, o que caracterizou os 6 tratamentos Tr. 1, Tr. 2, Tr. 3, Tr. 4, Tr. 5 e Tr. 6. Todos os CPs foram submersos em água por um período de 24 horas. Para a determinação da densidade básica foram extraídos 2 CPs (Figura 6) de cada um dos painéis produzidos, totalizando 30 amostras referentes aos Tr. 2, 4 e 6.

As Tabelas de 2 e 3 apresentam os valores médios (\bar{x}) e os coeficientes de variação (Cv) por painéis de cada um dos seis tratamentos estipulados para os painéis de partículas quanto as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água. A Tabela 4 apresenta os valores médios da densidade aparente dos painéis sem o tratamento de impermeabilização.



Figura 6: CPs confeccionados a partir dos painéis para os testes de tração perpendicular, inchamento em espessura, absorção de água e densidade aparente.

Tabela 2 - Inchamento em espessura e absorção de água após 2 horas dos painéis de partículas.

| Tratamento 1¹ | | Tratamento 3² | | Tratamento 5³ | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| IE 2h (%) | AA 2h (%) | IE 2h (%) | AA 2h (%) | IE 2h (%) | AA 2h (%) |
| \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv |
| 0,68; 41% | 0,81; 62% | 1,00; 36% | 3,17; 52% | 1,25; 33% | 1,69; 53% |
| 2,23; 26% | 1,12; 51% | 1,18; 31% | 4,76; 58% | 2,00; 39% | 2,99; 48% |
| 1,50; 32% | 1,06; 43% | 1,28; 42% | 4,69; 47% | 0,64; 41% | 3,76; 51% |
| 1,15; 35% | 1,64; 46% | 0,64; 30% | 6,35; 43% | 1,90; 30% | 0,73; 46% |
| 0,90; 33% | 2,23; 58% | 0,67; 33% | 0,92; 56% | 1,18; 45% | 2,69; 40% |
| 1,29; 33% ⁴ | 1,37; 52% ⁴ | 0,95; 34% ⁴ | 3,97; 51% ⁴ | 1,39; 38% ⁴ | 2,36; 48% ⁴ |
| Tratamento 2¹ | | Tratamento 4² | | Tratamento 6³ | |
| IE 2h (%) | AA 2h (%) | IE 2h (%) | AA 2h (%) | IE 2h (%) | AA 2h (%) |
| \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv |
| 1,45; 34% | 1,22; 48% | 2,49; 43% | 1,67; 50% | 1,91; 36% | 4,69; 55% |
| 1,34; 42% | 3,39; 54% | 1,30; 38% | 4,76; 53% | 0,87; 31% | 1,59; 58% |
| 2,76; 36% | 0,73; 46% | 1,54; 31% | 3,03; 41% | 2,78; 38% | 4,69; 50% |
| 1,63; 31% | 1,69; 51% | 1,36; 35% | 5,41; 48% | 1,96; 27% | 0,98; 48% |
| 2,22; 46% | 1,72; 49% | 1,30; 30% | 4,76; 42% | 1,49; 34% | 2,45; 52% |
| 1,88; 38% ⁴ | 1,75; 50% ⁴ | 1,59; 35% ⁴ | 3,92; 47% ⁴ | 1,80; 33% ⁴ | 2,88; 53% ⁴ |

¹ Painéis que apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.² Painéis que apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.³ Painéis que apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.⁴Média geral dos painéis por tratamento.

Tabela 3 - Inchamento em espessura e absorção de água após 24 horas dos painéis de partículas.

| Tratamento 1 ¹ | | Tratamento 3 ² | | Tratamento 5 ³ | |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| IE 24 h(%) | AA 24h (%) | IE 24 h(%) | AA 24h (%) | IE 24 h(%) | AA 24h (%) |
| \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv |
| 3,95; 51% | 6,39; 61% | 3,66; 46% | 8,33; 56% | 6,12; 52% | 11,86; 64% |
| 3,02; 56% | 5,06; 52% | 3,17; 44% | 6,78; 59% | 7,59; 45% | 13,43; 56% |
| 2,43; 44% | 7,69; 58% | 4,00; 38% | 4,55; 63% | 4,81; 55% | 12,70; 61% |
| 2,64; 49% | 6,84; 56% | 2,03; 43% | 6,78; 61% | 6,71; 41% | 8,33; 65% |
| 2,81; 43% | 8,68; 63% | 3,93; 41% | 8,62; 54% | 5,88; 48% | 10,94; 53% |
| 2,97; 49% ⁴ | 6,93; 58% ⁴ | 3,35; 42% ⁴ | 7,01; 59% ⁴ | 6,22; 48% ⁴ | 11,45; 60% ⁴ |
| Tratamento 2 ¹ | | Tratamento 4 ² | | Tratamento 6 ³ | |
| IE 24 h(%) | AA 24h (%) | IE 24 h(%) | AA 24h (%) | IE 24 h(%) | AA 24h (%) |
| \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv | \bar{x} ; Cv |
| 3,18; 48% | 8,33; 56% | 4,18; 65% | 11,11; 61% | 7,45; 46% | 13,75; 63% |
| 3,47; 53% | 6,78; 64% | 3,47; 53% | 12,70; 65% | 5,97; 52% | 12,70; 66% |
| 2,66; 56% | 4,55; 62% | 2,66; 58% | 10,94; 58% | 7,71; 56% | 14,06; 68% |
| 2,97; 46% | 9,78; 67% | 2,67; 61% | 12,70; 68% | 4,41; 49% | 11,11; 54% |
| 3,65; 55% | 8,62; 58% | 3,65; 55% | 9,90; 56% | 6,02; 55% | 15,25; 61% |
| 3,18; 52% ⁴ | 7,61; 61% ⁴ | 3,32; 59% ⁴ | 11,47; 62% ⁴ | 6,31; 52% ⁴ | 13,37; 62% ⁴ |

¹ Painéis que apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

² Painéis que apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

³ Painéis que apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

⁴ Média geral dos painéis por tratamento.

Tabela 4 - Valores médios da densidade aparente por tratamento.

| Tratamentos (Tr.) | ρ (kg/m ³) | Cv |
|--------------------|-----------------------------|-------|
| Tr. 2 ¹ | 963,79 | 0,16% |
| Tr. 4 ² | 946,08 | 1,43% |
| Tr. 6 ³ | 932,17 | 0,26% |

¹ Painéis que apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

² Painéis que apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

³ Painéis que apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

4.1.2.1.2 Propriedades mecânicas

As Tabelas de 5 e 6 apresentam os valores médios (\bar{x}) e os coeficientes de variação (Cv) por painel fabricado (Tr. 2, Tr. 4, Tr. 6) estipulados para os painéis de partículas quanto as propriedades de adesão interna e flexão estática. De cada tipo de painel foram fabricados 5 painéis de partículas, como mencionado anteriormente, e de cada painel foram extraídos 5 CPs para a realização dos ensaios de flexão e 5 CPs para os testes de resistência à tração perpendicular (Figura 6), totalizando 75 amostras para os ensaios de flexão e 75 amostras para os ensaios de resistência à tração perpendicular, todas as amostras referentes aos Tr. 2, 4 e 6.

Tabela 5 - Adesão interna dos painéis de partícula.

| Tratamento 2¹ RTP (MPa) | Tratamento 4² RTP (MPa) | Tratamento 6³ RTP (MPa) |
|---|---|---|
| \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ |
| 0,58; 23% | 1,09; 21% | 1,07; 25% |
| 0,80; 26% | 1,01; 20% | 1,03; 21% |
| 1,05; 18% | 0,89; 23% | 0,98; 18% |
| 0,80; 21% | 1,16; 16% | 1,01; 26% |
| 1,07; 25% | 0,95; 19% | 1,05; 20% |
| 0,86; 23% ⁴ | 1,02; 20% ⁴ | 1,02; 22% ⁴ |

¹ Painéis que apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

² Painéis que apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

³ Painéis que apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

⁴Média geral dos painéis por tratamento.

Tabela 6 - Módulo de Elasticidade e de Resistência na flexão dos painéis de partícula.

| Tratamento 2¹ | | Tratamento 4² | | Tratamento 6³ | |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| MOR (MPa) | MOE (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
| \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ | \bar{x} ; $Cv(\%)$ |
| 13,38; 31% | 2752; 17% | 13,36; 28% | 2131; 21% | 12,88; 33% | 2583; 15% |
| 17,18; 26% | 2359; 21% | 14,78; 23% | 2287; 15% | 16,82; 21% | 2820; 19% |
| 18,64; 28% | 3001; 19% | 15,19; 31% | 2225; 18% | 17,73; 30% | 2950; 23% |
| 14,73; 33% | 1907; 15% | 15,68; 26% | 1837; 23% | 17,58; 31% | 2630; 16% |
| 12,31; 20% | 2248; 16% | 11,82; 30% | 2466; 16% | 13,63; 26% | 3107; 22% |
| 15,24; 28% | 2453; 18% | 14,16; 28% | 2189; 19% | 15,72; 28% | 2818; 19% |

¹ Painéis que apresentam 100% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

² Painéis que apresentam 50% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

³ Painéis que apresentam 0% de madeira de *Eucalyptus* sp. em sua matriz constituinte lignocelulósica.

4.1.2.1.3 ANOVA, testes de normalidade e de homogeneidade de variância

A Tabela 7 apresenta os resultados da ANOVA e dos testes de normalidade e de homogeneidade de variância (validação) para cada propriedade física e mecânica investigada, sendo %Pin as frações de partículas de madeira de *Pinus*, Imp o fator impermeabilizante, %Pin×Imp a interação entre os dois fatores, AD o teste de normalidade de Anderson-Darling e Bt e Le os testes de homogeneidade de variâncias de Bartlett e Levene, respectivamente.

Tabela 7 - Resultados da ANOVA sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas.

| Respostas | P-valor (Testes) | | | P-valor (ANOVA) | | |
|-----------|------------------|-------|-------|-----------------|-------|----------|
| | AD | Bt | Le | %Pin | Imp | %Pin×Imp |
| IE 2h | 0,312 | 0,152 | 0,233 | 0,392 | 0,000 | 0,218 |
| IE 24h | 0,176 | 0,268 | 0,346 | 0,263 | 0,000 | 0,151 |
| AA 2h | 0,283 | 0,239 | 0,471 | 0,246 | 0,001 | 0,466 |
| AA 24h | 0,101 | 0,196 | 0,285 | 0,664 | 0,000 | 0,327 |
| MOE | 0,432 | 0,361 | 0,416 | 0,159 | | |
| MOR | 0,267 | 0,164 | 0,293 | 0,367 | | |
| RTP | 0,254 | 0,271 | 0,335 | 0,227 | | |

Os resultados do teste de normalidade e homogeneidade de variâncias apresentaram P-valores superiores a 0,05 em todas as respostas, validando o modelo de ANOVA. Dos fatores investigados, apenas o uso do impermeabilizante foi significativo, o mesmo não ocorreu com as frações de partículas de madeira de *Pinus* e da interação entre os dois fatores, que forneceram resultados equivalentes.

A Tabela 8 apresenta os resultados do teste de Tukey referente ao uso do impermeabilizante na obtenção do inchamento em espessura e absorção de água dos painéis de partícula, considerados significativos pela ANOVA. Letras iguais implicam em tratamentos com médias equivalentes, sendo A valores médios superiores a B.

Tabela 8 - Resultados do teste de Tukey para a AA e IE dos painéis de partículas.

| Resposta | Impermeabilizante | |
|----------|-------------------|-----|
| | Com | Sem |
| IE 2h | B | A |
| IE 24h | B | A |
| AA 2H | B | A |
| AA 24h | B | A |

Da Tabela 8 nota-se que houve diferença significativa quanto ao uso do impermeabilizante nos CPs na avaliação das propriedades físicas de IE e AA. A impermeabilização foi responsável por reduzir o inchamento em espessura e a absorção de água em 2 e em 24h dos painéis de partículas fabricados.

4.1.2.2 Discussões

De acordo com a ANSI A208.1 (1999), os painéis produzidos são classificados como de alta densidade (H). A propriedade física de inchamento em espessura por 2 horas submersos em água dos painéis atenderam ao exigido pela NBR 14810 (2002) para espessura de 8 a 13 mm. No módulo de ruptura, os painéis em questão não alcançaram os valores mínimos exigidos pelas duas normas citadas anteriormente, ficando apenas o painel do Tr. 6 próximo ao exigido para painéis H1 e H2 da classificação da ANSI A208.1 (1999). Porém, a propriedade de adesão interna atendeu o exigido pelas duas normas, sendo os painéis classificados pela ANSI A208.1 (1999) como H1, H2 e H3 nesta propriedade. Quanto ao módulo de elasticidade, apenas os painéis do Tr. 4 não obtiveram o valor mínimo exigido pela ANSI A208.1 (1999), sendo os painéis dos Tr. 2 e 6 classificados como H1 e H3, respectivamente.

As normas utilizadas estabelecem parâmetros de qualidade para painéis aglomerados de madeira produzidos com adesivo de natureza uréica. Contudo, ela foi usada devido à falta de normas específicas para painéis de alta densidade produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU) e matriz constituinte mista de madeira e material não-lignocelulósico (BOPP).

Iwakiri et al. (2005) produziram painéis de alta densificação de *Pinus* sp. com 12% de melamina-uréia-formaldeído (MUF) e densidade de 900 kg/m³ que apresentaram inchamento em espessura de 16,86%, em 2 horas, e 18,55% em 24 horas de imersão em água. Para absorção de água, os autores encontraram, para o mesmo tipo de painel, valores de 42,43%, para 2 horas, e 47,71% para 24 horas de imersão em água. Os valores apresentados são muito superiores aos dos painéis produzidos com *Pinus* sp. e adição de BOPP sem impermeabilização (Tr. 6), o que demonstra a superioridade do painel desenvolvido em relação a esta propriedade. Quanto ao módulo de ruptura e ao módulo de elasticidade em flexão estática, os valores apresentados pelos autores foram superiores ao dos painéis do Tr. 6, sendo o MOR e MOE 17,50 MPa e 2938 MPa, respectivamente. Em ensaios para a determinação da resistência à tração perpendicular, os painéis produzidos por Iwakiri et al. (2005) apresentaram valores superiores aos encontrados neste trabalho, 1,50 MPa (Tabela 9).

Tabela 9 - Comparação entre os painéis produzidos Tr. 6 e Iwakiriet al. (2005).

| Painéis | I(%) | I(%) | A(%) | A(%) | MOR | MOE | RTP |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2h | 24h | 2h | 24h | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| Literatura | 16,86 | 18,55 | 42,43 | 47,71 | 17,50 | 2938 | 1,50 |
| Tr. 6 | 1,80 | 6,31 | 2,88 | 13,91 | 15,72 | 2818 | 1,02 |

Naumann et al. (2008) fabricaram painéis aglomerados de *Eucalyptus* sp. com densidade de 600 kg/m³ com 8% de ureia-formaldeído e inchamento em espessura após imersão em água por 2 e 24 horas de 13,8 e 16,8 % e absorção de água nos mesmo períodos de 89,2 e 97,2%. Estes valores são muito superiores aos encontrados para os painéis produzidos Tr. 2 deste trabalho. Quanto às propriedades mecânicas avaliadas pelos autores, como tração perpendicular, MOR e MOE, os valores encontrados foram bastante inferiores ao dos painéis do Tr. 2, sendo estes, respectivamente, 0,16 MPa, 4,42 MPa e 734 MPa (Tabela 10).

Tabela 10 - Comparação entre os painéis produzidos pelo Tr. 2 e Naumann et al. (2008).

| Painéis | I(%) | I(%) | A(%) | A(%) | MOR | MOE | RTP |
|------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | 2h | 24h | 2h | 24h | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| Literatura | 13,8 | 16,8 | 89,2 | 97,2 | 4,42 | 734 | 0,16 |
| Tr. 2 | 1,88 | 3,18 | 1,75 | 7,61 | 15,24 | 2453 | 0,86 |

Del Menezzi, Souza e Gonçalves (1996) produziram painéis aglomerados com 50% de *Eucalyptus urophylla* e 50% de *Pinus oocarpa* com densidade média de 700 kg/m³ e 10% de ureia-formadeído. Estes painéis apresentaram inchamento em espessura com valores de 25,32% e 30,36%, para 2 e 24 horas, e absorção de água de 73,95% e 82,15% para 2 e 24 horas, valores superiores aos apresentados pelos painéis do Tr. 4. Em relação às propriedades mecânicas, os resultados apresentados pelos autores foram de 0,26 MPa para adesão interna, 10,78 MPa para MOR e 2468 MPa para MOE, sendo apenas o módulo de elasticidade na flexão estática superior aos resultados obtidos para os painéis do Tr. 4 (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação entre os painéis produzidos Tr. 4 e Del Menezzi, Souza e Gonçalves, 1996.

| Painéis | I(%) | I(%) | A(%) | A(%) | MOR | MOE | RTP |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2h | 24h | 2h | 24h | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| Literatura | 25,32 | 30,36 | 73,95 | 82,15 | 10,78 | 2468 | 0,26 |
| Tr. 4 | 1,59 | 3,32 | 3,92 | 11,47 | 14,16 | 2189 | 1,02 |

4.1.2.3 Conclusões

De acordo com os resultados físico-mecânicos e a variação de densidade e espessuras, o painel de partículas aglomeradas fabricado a partir de material lignocelulósico e 20% de embalagens de polipropileno biorientado (BOPP) em sua matriz constituinte tem grande potencial para uso em diversos setores. A grande estabilidade dimensional do painel é de muito interesse para indústria nacional, seja ela da construção civil ou moveleira, pois a variação dimensional é um dos maiores obstáculos a serem superados na melhoria da qualidade e do desempenho de painéis de madeira em geral, uma vez que esta propriedade é fator limitante para diversos usos deste produto.

Os ensaios preliminares realizados serviram de parâmetros para o desenvolvimento dos painéis do tipo OSB, tema deste projeto de mestrado, que tem por anseio um uso estrutural aplicado e que apresenta processo de fabricação muito semelhante ao dos painéis confeccionados, além de grandes problemas dimensionais quando expostos a ambiente de alta umidade.

4.1.3 Fase 2: definição do método de produção dos painéis OSB híbridos

Nesta fase dos ensaios preliminares foram produzidos 9 painéis OSB com sua matriz constituinte formada por 70% de “strands” de *Pinus* sp. e 30% de partículas de BOPP, cada 3 dos painéis produzidos por um método diferente. Os painéis foram produzidos com 30% de partículas de BOPP e não com 20%, como definido na fase 1, devido a grande diferença entre as partículas dos painéis aglomerados produzidos anteriormente e as partículas dos painéis OSB produzidos nesta fase. A espécie de madeira *Pinus* sp. foi escolhida em função da sua boa interação com o BOPP na fase 1 dos ensaios preliminares e pelo fato de toda a produção nacional de OSB ser com madeira desta espécie.

Foram utilizados 15% de PU, baseados em 1400 gramas de peso seco das partículas constituintes do colchão do painel. A temperatura de 150°C, 4,5 MPa e 10 minutos de prensagem foram utilizados como estabelecidos na fase anterior do testes preliminares e baseadas no comportamento do BOPP durante o processo produtivo.

Ensaio de flexão estática foram realizados para a determinação dos módulos de elasticidade e ruptura e comparação com os valores fornecidos pela EN 300 (2006).

4.1.3.1 Método de produção 1

Neste método de produção, as partículas de madeira e BOPP foram encoladas ao mesmo tempo na encoladeira adaptada (Figura 7). Após a resina ser pulverizada por meio de pistolas, as partículas foram destinadas à montagem do colchão do painel com a ajuda de um orientador de partículas. As camadas externas do painel foram orientadas na mesma direção, ficando com 20% de partículas cada uma, enquanto a camada interna foi orientada perpendicularmente às camadas externas, com 60% das partículas.

Durante a orientação do colchão, preferiu-se que a maior parte dos finos oriundos da madeira e grande parte das partículas de BOPP ficassem nas camadas internas do painel. O desperdício médio estimado para a produção dos painéis por este método foi de 10% para as partículas de madeira, 25% para as partículas de BOPP e 3% para a resina.



Figura 7: Partículas misturadas juntas na encoladeira.

4.1.3.2 Método de produção 2

Método caracterizado pela resinagem das partículas de madeira com a porcentagem de 70% da resina na encoladeira adaptada (Figura 8A). Os outros 30% da resina foram utilizados na resinagem das partículas de BOPP em uma encoladeira menor, com pás (Figura 8B). Após o processo completo de resinagem o colchão do painel foi montado, sendo o BOPP resinado distribuído ao longo das camadas orientadas do painel nas proporções adequadas. O desperdício médio estimado para a produção dos painéis por este método foi de 10% para as partículas de madeira, 20% para as partículas de BOPP e 3% para a resina.



Figura 8: Partículas encoladas separadamente. A) partículas de madeira e B) partículas de BOPP.

4.1.3.4 Método de produção 3

A produção do painel por este método é semelhante ao método anterior. O que o diferencia é a forma como é composta a camada interna do painel. A partir das partículas resinadas de madeira são formadas as camadas externas orientadas do painel com 35% de madeira em cada face. As partículas de BOPP resinadas são utilizadas na constituição da camada interna do painel (30%) (Figura 9). O desperdício médio estimado para a produção dos painéis por este método foi de 10% para as partículas de madeira, 17% para as partículas de BOPP e 3% para a resina.



Figura 9: Painel produzido com camada de plástico central.

4.1.3.5 Resultados

A partir dos 9 painéis produzidos, 3 para cada um dos métodos apresentados, foram retirados 6 CPs para ensaios de flexão estática e 2 CPs para determinação da densidade aparente, de cada painel (Figura 10). Na Tabela 12 estão presentes os valores médios (\bar{x}) e os coeficientes de variação (C_v) para o MOE, MOR e ρ dos fabricados segundo os três métodos utilizados.

Tabela 12 - Resultados médios e coeficientes de variação dos painéis segundo os três métodos de fabricação propostos.

| Métodos | MOE (MPa) | | MOR (MPa) | | ρ (kg/m ³) | |
|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------------------------|-------|
| | \bar{x} | C_v | \bar{x} | C_v | \bar{x} | C_v |
| 1 | 3168 | 12% | 19,48 | 13% | 886,63 | 6% |
| 2 | 2109 | 16% | 12,43 | 23% | 869,48 | 3% |
| 3 | 797 | 25% | 10,41 | 17% | 850,41 | 5% |



Figura 10: CPs para ensaios de flexão estática, painéis produzidos pelos métodos 1, 2 e 3, respectivamente.

Os resultados da ANOVA e da sua validação (normalidade nas distribuições e homogeneidade de variâncias entre tratamentos por resposta) para o MOR, MOE e ρ em função dos métodos de fabricação são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente ao método de fabricação dos painéis.

| Respostas | Validação da ANOVA | | | P-valor (ANOVA) |
|-----------|--------------------|-------|-------|--------------------|
| | AD | Bt | Le | |
| MOE | 0,526 | 0,392 | 0,421 | 0,000 |
| MOR | 0,381 | 0,183 | 0,196 | 0,000 |
| ρ | 0,763 | 0,318 | 0,276 | 0,173 |

Da Tabela 13 nota-se que os P-valores do teste de normalidade e de homogeneidade entre variâncias foram superiores a 0,05, validando o modelo de ANOVA, e que os P-valores

da ANOVA para o MOE e MOR acusam significância do método de fabricação dos materiais, o mesmo não ocorreu com a densidade, que apresentou valores equivalentes independente do método utilizado.

A Tabela 14 apresenta os resultados do teste de agrupamento de Tukey para o MOE e MOR dos painéis fabricados segundo os três métodos propostos, sendo A valores médios superiores a B e B valores superiores a C.

Tabela 14 - Resultados do teste de Tukey para o MOE e MOR dos painéis elaborados segundo os três métodos de fabricação.

| Métodos | MOE | MOR |
|----------------|------------|------------|
| 1 | A | A |
| 2 | B | B |
| 3 | C | B |

Da Tabela 14 pode-se concluir tanto para o MOE quanto para o MOR dos painéis fabricados segundo os três métodos distintos, que o primeiro forneceu os melhores resultados.

4.1.3.6 Discussões e conclusões

Os resultados encontrados mostram que os painéis produzidos pelo método 1 obtiveram melhor desempenho, dentre os painéis dos demais métodos, quando avaliados seu MOE e MOR. De acordo com EN 300:2006, o MOR apresentado pelo painel do método 1 atendeu aos valores exigidos para OSB do tipo 1 e, aproximadamente, aos de OSB 2 e 3. Quanto ao MOE, o valor médio obtido foi muito superior ao exigido para OSB 1 e muito próximo ao exigido pela norma para OSB do tipo 2 e 3.

O melhor desempenho do método 1 pode ser explicado pela sua distribuição mais homogênea de BOPP entre as partículas de madeira, o que propicia certa adesão entre ambas as partículas. Os métodos 2 e 3 apresentaram grandes concentrações de BOPP em determinadas partes dos painéis. Como a temperatura utilizada pode não ter sido suficiente para derreter o plástico, tais concentrações constituíram partes com baixa adesão dentro do painel.

4.1.4 Fase 3: definição das porcentagens de partículas de BOPP, partículas de madeira e resina poliuretana à base de óleo de mamona na fabricação dos painéis OSB híbridos.

4.1.4.1 Porcentagem de partículas de BOPP

Foram produzidos pelo método 1, painéis com 20% de partículas de BOPP, porcentagem baseada na massa de 1400 gramas das partículas constituintes do colchão do painel. Os resultados obtidos no teste preliminar anterior para os painéis com 30% de BOPP e 12% de PU produzidos pelo método de produção 1 foram utilizados nesta seção a nível de comparação.

4.1.4.2 Porcentagem de resina poliuretana de mamona

Produziram-se 6 painéis com 20% de BOPP, 3 com 15% de PU e outros 3 com 18%, baseados na massa das partículas constituintes do colchão do painel.

4.1.4.3 Resultados e discussões

A Tabela 15 apresenta os valores médios (\bar{x}) e os coeficientes de variação (Cv) para o MOE, MOR e ρ dos materiais fabricados segundo as composições de frações de BOPP e de resina poliuretana (PU).

Tabela 15 - Resultados médios e coeficientes de variação dos painéis segundo as três composições entre partículas de BOPP e resina.

| Composição | MOE (MPa) | | MOR (MPa) | | ρ (kg/m ³) | |
|-------------------|-----------|-----|-----------|-----|-----------------------------|----|
| | \bar{x} | Cv | \bar{x} | Cv | \bar{x} | Cv |
| 30% BOPP e 15% PU | 3168 | 12% | 19,48 | 13% | 866,63 | 8% |
| 20% BOPP e 15% PU | 2242 | 11% | 19,02 | 25% | 993,24 | 3% |
| 20% BOPP e 18% PU | 2349 | 13% | 18,59 | 19% | 977,63 | 6% |

Os resultados da ANOVA e da sua validação (normalidade nas distribuições e homogeneidade de variâncias entre tratamentos por resposta) para o MOR, MOE e ρ em função da variação das frações de BOPP (20%; 30%) mantendo-se fixo o teor de resina poliuretana (15%) são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente à variação das frações de BOPP (20%; 30%) para 15% de resina PU.

| Respostas | Validação da ANOVA | | | P-valor (ANOVA) |
|-----------|--------------------|-------|-------|--------------------|
| | AD | F | Le | |
| MOE | 0,318 | 0,430 | 0,481 | 0,000 |
| MOR | 0,176 | 0,263 | 0,328 | 0,361 |
| ρ | 0,531 | 0,676 | 0,690 | 0,001 |

Da Tabela 16 nota-se que os P-valores do teste de normalidade e de homogeneidade entre variâncias foram superiores a 5%, validando o modelo de ANOVA, e que os P-valores da ANOVA para o MOE e ρ acusam significância das frações de BOPP nos materiais fabricados, o mesmo não ocorreu com o MOR, que apresentou valores equivalentes.

A Tabela 17 apresenta os resultados do teste de agrupamento de Tukey para o MOE e ρ dos painéis fabricados com as duas frações de BOPP, sendo A valores médios superiores a B.

Tabela 17 - Resultados do teste de Tukey para o MOE e MOR dos painéis elaborados segundo os três métodos de fabricação.

| % de BOPP | MOE (MPa) | ρ (kg/m ³) |
|-----------|-----------|-----------------------------|
| 30% | A | B |
| 20% | B | A |

Da Tabela 17 pode concluir que a inclusão de 30% em frações mássicas de BOPP na matriz constituinte do painel forneceu os melhores resultados para o MOE, e com relação à densidade, os maiores valores foram provenientes do uso de 20% de partículas de BOPP, evidenciando dessa forma a viabilidade do uso do BOPP nos painéis por aumentar os valores de MOE e reduzir os valores da densidade.

Os resultados da ANOVA e da sua validação (normalidade nas distribuições e homogeneidade de variâncias entre tratamentos por resposta) para o MOR, MOE e ρ em função da variação das frações de resina PU (15%; 18%) mantendo-se fixo o teor de BOPP (20%) são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados da ANOVA para o MOE, MOR e ρ referente à variação das frações de resina PU (15%; 18%) para 20% de BOPP.

| Respostas | Validação da ANOVA | | | P-valor (ANOVA) |
|-----------|--------------------|-------|-------|--------------------|
| | AD | F | Le | |
| MOE | 0,168 | 0,314 | 0,382 | 0,436 |
| MOR | 0,223 | 0,184 | 0,211 | 0,173 |
| ρ | 0,432 | 0,421 | 0,456 | 0,258 |

Da Tabela 18 nota-se que os P-valores do teste de normalidade e de homogeneidade entre variâncias foram superiores a 0,05, validando o modelo de ANOVA, e que os P-valores da ANOVA para as três propriedades investigadas foram superiores a 5%, implicando na equivalência de resultados com o uso de 15% ou de 18% de resina PU.

4.2 Testes finais: processo produtivo determinado por meio dos testes preliminares

4.2.1 Local do experimento e matérias primas utilizadas

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Para produção das chapas foi utilizada madeira da espécie *Pinus* sp., resina poliuretana à base óleo de mamona (PU) fornecida pela Indústria Plural Química Ltda e partículas de embalagens de polipropileno biorientado (BOPP).

As embalagens de BOPP foram utilizadas com o propósito de promover maior estabilidade dimensional do painel, baseando-se na possibilidade de ocupação dos espaços vazios presentes na matriz.

4.2.2 Equipamentos utilizados

- Gerador de Partículas - É estruturado por um disco porta-faca de 500 mm de diâmetro, acionado por um motor elétrico de 3,5 HP (Figura 11A).
- Moinho de facas - Moinho do tipo Willye modelo MA680 constituído por motor trifásico 220 V, rotor com as facas móveis e telas com meshes diferenciadas (Figura 11B).
- Encoladeira - Adaptou-se uma betoneira de 30 litros, para desenvolver a função de misturar as partículas ao adesivo durante a encolagem (Figura 11C).

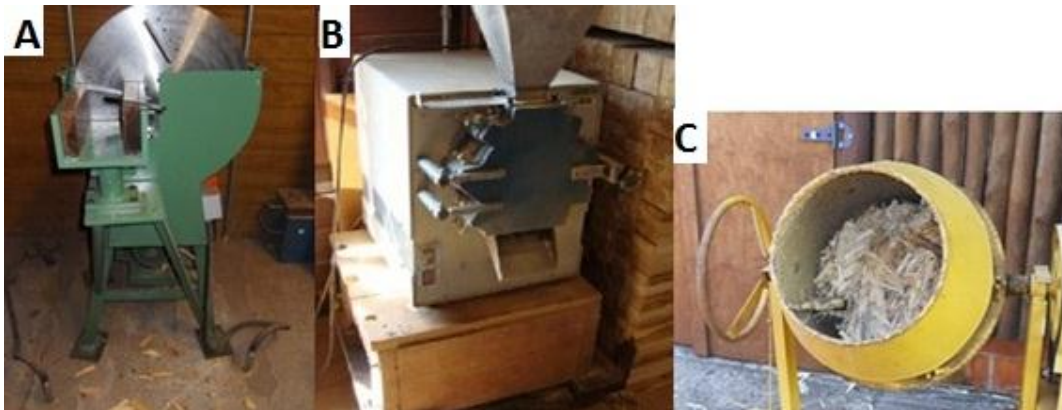


Figura 11: A) gerador de partículas, B) moinho de facas e C) betoneira adaptada como encoladeira (Souza, 2012; Varanda, 2012).

- Prensa hidráulica - A prensa modelo MA 098/50 é constituída de: três placas de aço; 02 (duas) placas de aço quadradas com 4000 watts cada; 02 (dois) cilindros de aço; 01 (um) motor trifásico de 220 volts; disjuntores; resistência de 80 A; motor 30 A trifásico; capacidade de 80 toneladas e temperatura máxima de 200° C (Figura 12A).

- Separador de Partículas - o separador de partículas foi confeccionado com material de aço revestido com teflon. As dimensões da caixa que compõe o equipamento são de 380 X 380 X 130 mm. Esta contém 8 lâminas separadoras e direcionadoras das partículas, com dimensões de 378 X 300 X 1 (mm) (Figura 12B).

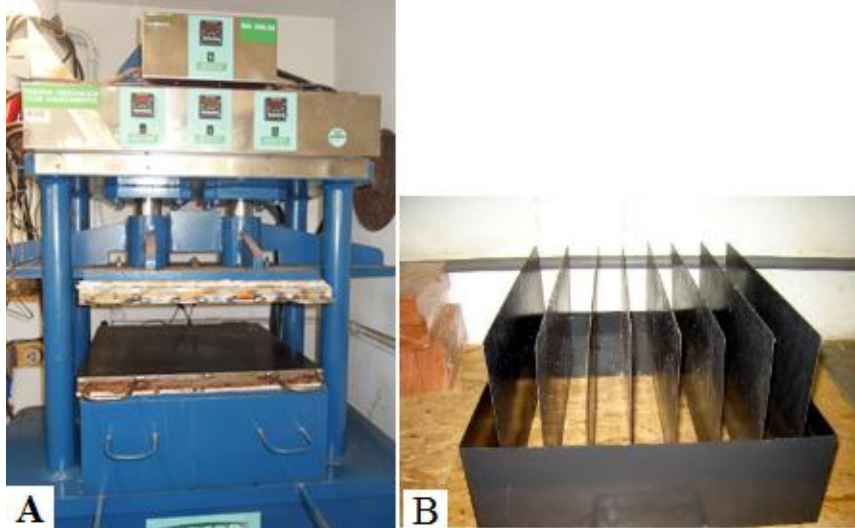


Figura 12: A) prensa hidráulica e B) separador de partículas (Souza, 2012).

- Estufa - A estufa Modelo – MA 037 / MA 035 com circulação e renovação de ar; controlador de temperatura digital, com sensor tipo J; moto-ventilador para circulação de ar; termostato de segurança; alimentação de 127 V ou 220 V; dois disjuntores de 25 A e temperatura de 0° C à 300° C (Figura 13A).

- Balança - A balança é eletrônica com sensibilidade 0,001g (Figura 13B).

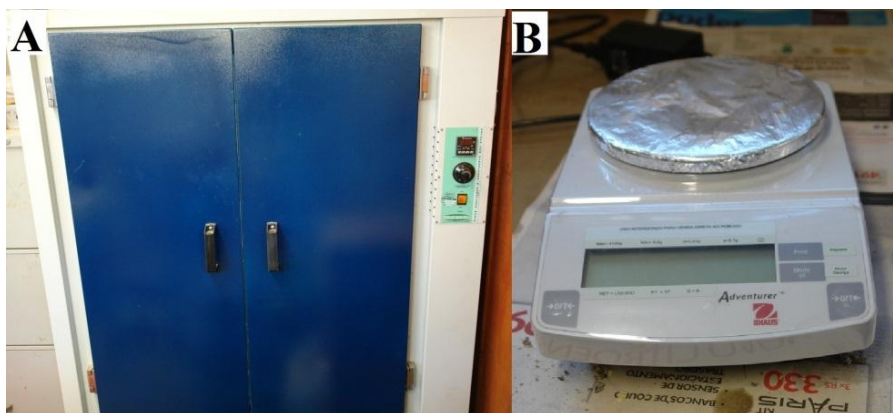


Figura 13: A) estufa e B) balança.

- Serra circular - Serra circular móvel (220 V) com motor de 2 HP (Figura 14A).

- Lixa - Lixadeira de fita com disco de comprimento 7000 mm e largura de 150 mm, motor de 4 HP (Figura 14B).

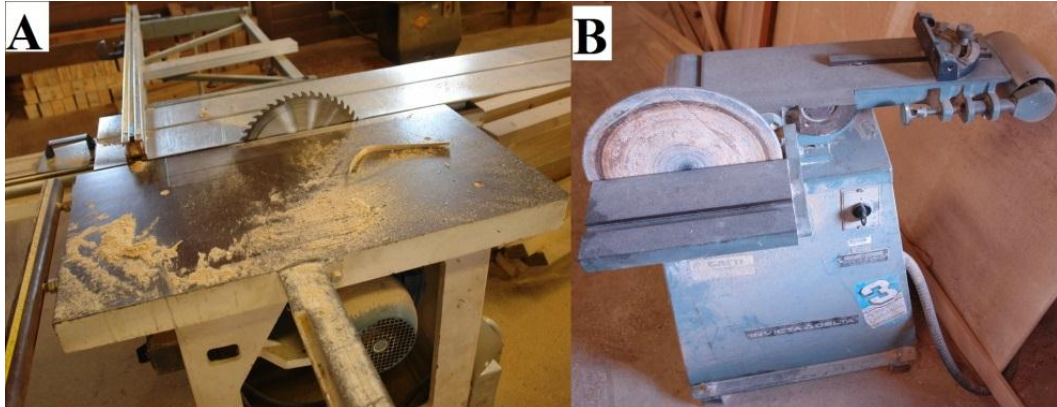


Figura 14: A) serra circular e B) lixa.

- Máquina universal de ensaio - AMSLER com capacidade de 250 kN (Figura 15A).
- Compressor de ar - Joagar com capacidade de 200 lbf/pol² (Figura 15B).
- Pistolas - MOD 12 da empresa Arplex (Figura 15C).



Figura 15: A) máquina universal de ensaios, B) compressor de ar e C) pistola.

4.2.3 Determinação da densidade aparente da madeira

Para determinação da densidade aparente da madeira foi seguida a norma NBR 7190 (1997), foram utilizados CPs prismáticos com seção transversal retangular de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm (Figura 16).

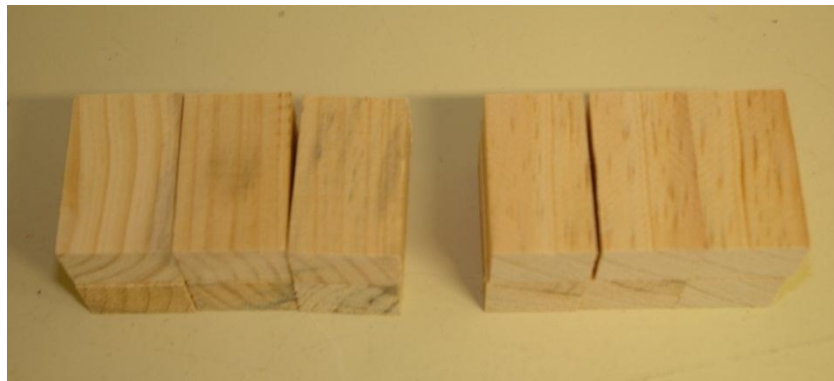


Figura 16: CPs utilizados na determinação da densidade aparente da madeira utilizada na produção dos painéis.

4.2.4 Produção dos painéis

Foram produzidos 3 painéis com partículas de madeira “strands” e de BOPP com proporções variando entre 70-30% e 80-20% madeira e BOPP, respectivamente, ambos com 15% de PU, produzidos pelo método de produção 1, determinado pelo segundo teste preliminar realizado.

4.2.4.1 Obtenção das partículas

Inicialmente, as vigas de madeira foram levadas à marcenaria, onde foram seccionadas em peças de 90 mm de largura e 45 mm de espessura, definindo o comprimento e a largura das partículas, respectivamente. As partículas de madeira e de embalagens BOPP foram geradas no gerador de partículas (11A) e moinho de faca (Figura 11B), respectivamente. Foram geradas partículas de madeira com espessuras entre 0,50 e 0,90 mm e partículas de BOPP com dimensões entre 0,60 e 5,5 mm (Figura 17).



Figura 17: partículas de madeira e BOPP, respectivamente, geradas para a produção dos painéis.

4.2.4.2 Aplicação da resina

As partículas foram então contidas na encoladeira adaptada. A distribuição do adesivo foi feita por pulverização e, para isso, foram utilizados um compressor de ar e duas pistolas. Primeiramente aplicou-se o polioli e em seguida o pré-polímero. Com base no trabalho de Bertolini (2011), adotou-se a proporção em peso entre polioli e pré-polímero de 1:1, o que possibilitou estabelecer um gel time da resina suficiente para preparação do colchão. Baseando-se nos estudos de Nascimento (2003), Dias et al. (2008) e nos testes preliminares, os teores de resinas para todos os painéis foram de 12%, contudo, levando-se em conta os possíveis desperdícios foram aplicados 15% de resina tendo como base peso seco das partículas.



Figura 18: Encolagem das partículas e pulverização da resina.

4.2.4.3 Orientação das partículas e formação do colchão

Após a distribuição do adesivo, as partículas foram colocadas no separador para realizar a sua orientação na formação do colchão (Figura 19). Em relação à direção das partículas nas superfícies e no centro, optou-se por um painel de três camadas tendo todas as camadas a presença de partículas de madeira e BOPP. Nas camadas externas, os “strands” de madeira com a mesma direção e a camada interna com distribuição orientada perpendicular às camadas externas. Baseando-se no trabalho de Cloutier (1998) e Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003), foi escolhida proporção (face/miolo/face) na faixa de 20:60:20, com base na percentagem de peso seco de partículas encoladas.



Figura 19: Orientação das partículas com a ajuda de um orientador de partículas e o colchão final formado.

4.2.4.4 Prensagem dos painéis

Inicialmente foi realizada uma pré-prensagem em prensa hidráulica manual, com o objetivo de uma melhor conformação do colchão e evitar o desperdício de partículas. Em seguida, o colchão foi prensado em uma prensa hidráulica motorizada, munida de controle de temperatura e pressão. Adotou-se a temperatura de prensagem de 150°C durante 10 minutos e pressão específica de 4,5 MPa, baseando-se nos testes preliminares realizados (Figura 20).

Após a confecção das chapas, as mesmas permaneceram por 48 horas em processo de cura da resina, condições exigidas pelas normas de ensaios.



Figura 20: pré-prensagem e prensagem final do painel.

4.2.4.5 Obtenção dos corpos-de-prova (CPs)

Com o auxílio de uma serra circular esquadrejadeira, foram retirados cerca de 25 mm de cada extremidade dos painéis. A Tabela 19 mostra os ensaios realizados, as devidas normas que foram seguidas e a quantidade de CPs produzidos a partir de cada painel. A Figura 15 apresenta a distribuição dos CPs dentro dos painéis e suas dimensões.

Tabela 19 - Ensaios a serem realizados, as normas utilizadas e a quantidade de CPs retirada em cada painel.

| Ensaio | Nº de CPs |
|---|-----------|
| Flexão estática: EN 310, 1993. | 4 |
| Adesão Interna (AI): EN 319, 1993. | 4 |
| Densidade Aparente (DA): EN 323, 1993. | 4 |
| Absorção de Água (AA): EN 317, 1993. | 4 |
| Inchamento em espessura (G_{t24h}): EN 317, 1993. | 4 |
| Teor de Umidade (TU): NBR 14810, 2006. | 4 |

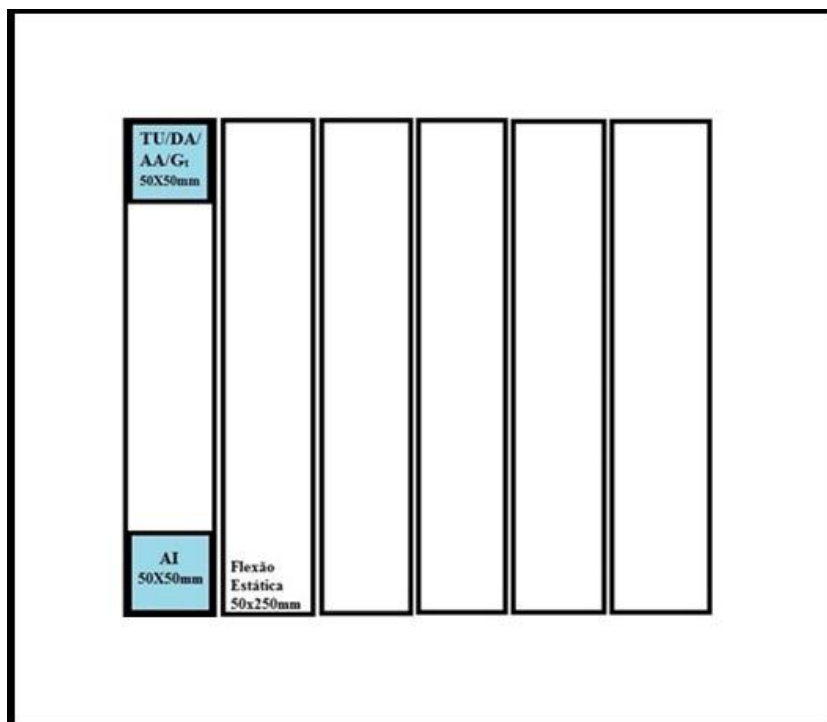


Figura 21: Distribuição e dimensões nominais dos CPs retirados de cada painel.

4.2.5 Determinação das propriedades dos painéis

Para os ensaios físicos foi seguida uma sequência que possibilitou a utilização do mesmo CP para todos os ensaios, respeitando todos os documentos normativos citados na Tabela 19.

4.2.5.1 Propriedades físicas

Densidade Aparente

Os valores de densidade aparente das amostras foram obtidos analogamente à determinação da densidade da madeira. Com um paquímetro digital (0,01 mm) mediou-se o volume e, utilizando-se uma balança analítica (0,01g), foi determinada a massa das amostras.

Razão de compactação das chapas

A razão de compactação foi determinada pela relação entre a densidade aparente da chapa e da madeira utilizada na confecção dos painéis.

Teor de umidade

As amostras foram inicialmente pesadas em uma balança analítica com sensibilidade de 0,01g para obtenção do peso úmido e, depois, levadas à estufa com circulação de ar a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ até a obtenção do peso seco.

Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Para a determinação destas propriedades, foi medida a espessura e pesadas as massas dos CPs, antes e após imersão em água a 20°C , por períodos de 2 e 24 horas. Para isso foi utilizado um paquímetro digital (0,01mm) e uma balança analítica (0,01g).

4.2.5.2 Propriedades mecânicas

A caracterização mecânica dos painéis foi realizada em máquina universal de ensaios AMSLER, com capacidade de 250 kN (Figura 15A).

Flexão estática

Neste ensaio, os CPs foram apoiados em suportes com distância entre si de 20 vezes a espessura nominal do CP e a força é aplicada no ponto médio do vão (Figura 22). O módulo de elasticidade (MOE) foi calculado utilizando-se a região linear da curva de leituras de força x deslocamento.

Para se determinarem os valores de MOR foi considerada a força máxima suportada pelo CP.



Figura 22: Dispositivo de ensaio para flexão estática.

Adesão Interna

Os ensaios para a determinação da resistência à tração perpendicular à face (adesão interna) do painel foram realizados utilizando-se CPs com 50 ± 1 mm de aresta. As faces dos CPs foram coladas em suportes de metal e tracionadas posteriormente em sentido oposto, até sua ruptura.



Figura 23: Dispositivo de ensaio para resistência à tração perpendicular.

4.2.6 Resultados

As Tabelas 20, 21 e 22 apresentam os valores médios (\bar{x}) e os coeficientes de variação (Cv) das propriedades avaliadas por OSB fabricado com 20% e 30% de BOPP em frações mássicas da matriz constituinte do painel. A densidade aparente média da madeira de *Pinus* sp. utilizada na fabricação dos painéis foi de 0,540 g/cm³ e a umidade das partículas 16, 15%.

Tabela 20 - Propriedades físicas dos painéis OSB.

| Respostas | 20% de BOPP | | 30% de BOPP | |
|------------|-------------|------|-------------|------|
| | \bar{x} | Cv | \bar{x} | Cv |
| IE 2h (%) | 2,01 | 13% | 1,12 | 21% |
| | 2,67 | 14% | 3,55 | 18% |
| | 1,72 | 24% | 3,32 | 14% |
| Média | 2,13 | 17% | 2,66 | 18% |
| IE 24h (%) | 10,44 | 36% | 6,56 | 45% |
| | 15,70 | 31% | 7,76 | 33% |
| | 9,64 | 30% | 9,77 | 39% |
| Média | 11,92 | 32% | 8,03% | 39% |
| AA 2h (%) | 8,32 | 27% | 5,54 | 14% |
| | 8,58 | 22% | 7,77 | 16% |
| | 6,41 | 49% | 11,27 | 21% |
| Média | 7,77 | 33% | 8,19 | 17% |
| AA 24h (%) | 24,66 | 51% | 16,16 | 48% |
| | 26,00 | 49% | 18,52 | 41% |
| | 20,73 | 65% | 27,45 | 35% |
| Média | 23,79 | 55% | 20,71 | 41% |
| RC (%) | 1,52 | 3% | 1,46 | 2% |
| | 1,59 | 1% | 1,48 | 1% |
| | 1,57 | 1% | 1,43 | 3% |
| Média | 1,56 | 2% | 1,45 | 2% |

Tabela 21 - Propriedades mecânicas dos painéis OSB.

| Respostas | 20% de BOPP | | 30% de BOPP | |
|-----------|-------------|------|-------------|------|
| | \bar{x} | Cv | \bar{x} | Cv |
| MOE (MPa) | 2914 | 29% | 2718 | 21% |
| | 2610 | 13% | 2470 | 33% |
| | 3200 | 14% | 3078 | 8% |
| Média | 2908 | 19% | 2755 | 21% |
| MOR (MPa) | 18,45 | 37% | 19,10 | 28% |
| | 19,64 | 20% | 17,24 | 12% |
| | 19,74 | 19% | 20,55 | 11% |
| Média | 19,27 | 25% | 18,96 | 17% |
| RTP (MPa) | 0,15 | 26% | 0,18 | 23% |
| | 0,21 | 21% | 0,17 | 28% |
| | 0,19 | 23% | 0,24 | 21% |
| Média | 0,18 | 23% | 0,19 | 24% |

Tabela 22 - Resultados da Densidade Aparente (ρ) e Teor de Umidade (TU) dos painéis e seus respectivos Coeficientes de variação.

| Painéis | ρ (g/cm ³) | Cv | TU (%) | Cv |
|---------|-----------------------------|-------|--------|--------|
| 20% | 0,837 | 5,87% | 5,20 | 10,06% |
| 30% | 0,784 | 6,86% | 4,55 | 12,00% |

A Tabela 23 apresenta os resultados da ANOVA e dos testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias (validação) das proporções de BOPP (20%; 30%) nas propriedades físicas e mecânicas de interesse, sendo AD o teste de normalidade de Anderson-Darling e F e Le os testes de homogeneidade entre variâncias.

Tabela 23 - Resultados da ANOVA sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

| Respostas | P-valor (Testes) | | | P-valor (ANOVA) |
|-----------|------------------|-------|-------|-----------------|
| | AD | F | Le | % de BOPP |
| IE 2h | 0,295 | 0,168 | 0,318 | 0,017 |
| IE 24h | 0,344 | 0,076 | 0,187 | 0,022 |
| AA 2h | 0,401 | 0,431 | 0,192 | 0,000 |
| AA 24h | 0,390 | 0,140 | 0,214 | 0,036 |
| RC | 0,295 | 0,080 | 0,127 | 0,268 |
| MOE | 0,484 | 0,204 | 0,497 | 0,136 |
| MOR | 0,263 | 0,263 | 0,356 | 0,169 |
| RTP | 0,301 | 0,186 | 0,433 | 0,473 |

Os resultados do teste de normalidade e homogeneidade de variâncias da Tabela 23 apresentaram P-valores superiores a 0,05 em todas as respostas, validando o modelo de ANOVA. As frações de partículas de BOPP investigadas foram significativas apenas nas propriedades inchamento em espessura em 2 e em 24 horas e absorção de água em 2 e em 24 horas, não sendo significativas nas demais, fornecendo resultados equivalentes independente da quantidade de BOPP utilizada na fabricação dos painéis OSB.

A Tabela 24 apresenta os resultados do teste de Tukey referente às frações de BOPP na obtenção do inchamento em espessura e absorção de água dos painéis OSB, considerados significativos pela ANOVA. Letras iguais implicam em tratamentos com médias equivalentes, sendo A valores médios superiores a B.

Tabela 24 - Resultados do teste de Tukey para a AA e IE dos painéis OSB.

| Resposta | Frações de BOPP | |
|----------|-----------------|-----|
| | 20% | 30% |
| IE 2h | A | B |
| IE 24h | B | A |
| AA 2h | A | B |
| AA 24h | B | A |

Da Tabela 24 nota-se que a inclusão de 30% em frações mássicas de BOPP na matriz constituinte do painel forneceu os melhores resultados para as propriedades físicas de

inchamento em espessura e absorção de água. O que evidencia dessa forma a viabilidade do uso do BOPP nos painéis por reduzir os valores de inchamento em espessura e absorção de água, propriedades determinantes quanto ao uso final destinado aos painéis.

4.2.7 Discussões

De acordo com a norma EN 300 (2006) os OSB produzidos com 20 e 30% de BOPP em sua matriz constituinte são classificados como OSB do tipo 1, quanto aos seus módulos de elasticidade e ruptura. No entanto, o mesmo não ocorreu com a propriedade de adesão interna, pois os painéis produzidos não alcançaram os valores mínimos exigidos para o mesmo tipo de painel. Quanto à propriedade física de inchamento em espessura, segundo a mesma norma, os painéis são classificados como OSB 4, apresentando o painel com 30% de BOPP valores muito inferiores ao exigido para painéis estruturais de alta especificação para ambiente úmido. O teor de umidade dos painéis também se encontra dentro do intervalo estabelecido pela EN 300 (2006).

Mendes, Iwakiri e Saldanha (2002) produziram painéis OSB com madeira de *Pinus* de 6 espécies diferentes que apresentaram densidade aparente variando de 0,76 a 0,83 g/cm³ e coeficiente de variação de 5,51 a 10,47%, valores compatíveis com os encontrados para os OSB híbridos de *Pinus* sp. e BOPP produzidos neste trabalho. Mendes (2000) afirma que painéis produzidos com densidades de 0,8 g/cm³ apresentam melhores propriedades.

A razão de compactação apresentada pelos painéis híbridos encontra-se dentro do intervalo de 1,3 à 1,6, definido como adequado para que ocorra boa densificação e consolidação do painel a espessura final almejada (KELLY, 1977; MOLESMI, 1974). Os OSB produzidos por Mendes, Iwakiri e Saldanha (2002) apresentaram razão de compactação muito superiores aos OSB híbridos produzidos neste trabalho, fato que se deve a maior densidade da madeira do *Pinus* sp. utilizada e as embalagens de BOPP. Quanto ao teor de umidade, os valores dos painéis híbridos se encontram inferiores ao intervalo apresentado por Souza (2012) para painéis OSB produzidos com *Pinus* sp. e resina poliuretana a base de óleo de mamona, 8,20 a 10,30 % de umidade.

Para propriedades de inchamento em espessura e absorção de água, Souza (2012) encontrou para o mesmo painel citado anteriormente valores médios de 15,2 e 24,7% para

inchamento em espessura para 2 e 24 horas submersos em água, respectivamente, e 38,7 e 56,6% para absorção de água em intervalos de submersão em água, também, de 2 e 24 horas, respectivamente. Valores que se encontram muito superiores aos apresentados pelos painéis híbridos de *Pinus* sp. e BOPP deste trabalho.

Os painéis produzidos por Mendes, Iwakiri e Saldanha (2002) apresentaram valores de módulos de elasticidade e ruptura e adesão interna muito superiores aos apresentados pelos painéis híbridos produzidos com *Pinus* sp. e BOPP. Sendo os intervalos de MOE, MOR e RTP, apresentados pelos autores, de: 4031,31 a 4800,74 MPa, 38,44 a 49,11 MPa e de 0,67 a 0,75 MPa, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

Com base no que foi obtido no desenvolvimento do presente trabalho, é possível registrar as seguintes conclusões:

- O teor de umidade dos painéis de 20 e 30% de BOPP foram de 5,20 e 4,55%, respectivamente, valores que atendem ao exigido pela EN 300 (2006);
- A densidade aparente dos painéis híbridos com 20 e 30% de BOPP foi de 0,837 e 0,784 g/cm³, respectivamente, compatível com os valores obtidos para painéis OSB comerciais;
- A razão de compactação variou de 1,56 a 1,45, para os painéis com 20 e 30% de BOPP, respectivamente, indicando a adequada densificação dos mesmos;
- De acordo com as propriedades físicas de inchamento em espessura e absorção de água, os painéis podem ser classificados, segundo a EN 300 (2006), como OSB 4;
- Os módulos de elasticidade e de ruptura, dos painéis de 20 e 30% de BOPP, permitem classificá-los, de acordo com a EN 300 (2006), como painéis OSB 1;
- Apenas a propriedade adesão interna não atendeu aos requisitos da EN 300 (2006);
- Das propriedades avaliadas, apenas inchamento em espessura e absorção de água foram influenciadas pela porcentagem de BOPP. As referidas propriedades apresentaram valores inferiores para 30% de BOPP;

Com isto, considera-se plenamente comprovada a viabilidade técnica da produção do painel OSB, conforme apresentado neste trabalho, e sua possível empregabilidade em setores da construção civil.

Para continuação da pesquisa no tema, considera-se importante desenvolver trabalhos que visem aos ajustes no processo e em alguns parâmetros dos insumos utilizados na produção do painel, necessários para que todas as propriedades mecânicas do mesmo atendam às exigências normativas, assim como já foi possível alcançar para as propriedades físicas.

Algumas sugestões específicas são registradas:

- Produção dos painéis com resinas diferentes, principalmente com as do tipo estrutural;
- Emprego de técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para avaliação mais precisa da ligação entre as partículas do painel;
- Ensaios de envelhecimento acelerado para avaliação do comportamento do produto ao longo do tempo;
- Ensaios para avaliação do comportamento acústico e térmico dos painéis.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALAMEDA COUNTY. (2003). **New home construction green building guidelines**. Disponível em:<www.stopwaste.org>. Acesso em: 13 Nov. 2013.

ALMEIDA, J. E. (2011). **Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido**. 127f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

ALMEIDA, J. E.; LOGSDON, N. B.; JESUS, J. M. H. (2012). Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido. **Revista Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.189-200, jan./mar.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (1999). **A208.1**: Particleboard. Gaithersburg.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. (2011). **Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. Disponível em:<<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2013.

_____. (2012). **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Disponível em:<<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. (2011). **Números**. Disponível em:<<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 29 out. 2013.

_____. (2013). **Nossos produtos**. Disponível em:<<http://www.abipa.org.br/produtosOSB.php>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2006). **NBR 14810**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro.

_____. (1997). **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. Em revisão.

BERTOLINI, M. S. (2011). **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 129f. Dissertação (Mestrado) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARVALHO, L. B. (2008). **Produção de polipropileno bi-orientado (BOPP): tecnologia e aplicações**. 43f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Bragança, Engenharia Química, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Bragança, 2008.

CASA em madeira reflorestada e painéis. (2005). **Revista da Madeira**, n.93, nov. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=829&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Casas%20em%20madeira%20reflorestada%20e%20pain%E9is>. Acesso em: 2 nov. 2013.

CLOUTIER, A. (1998). Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte: SIF. p.173-185.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; GONÇALES, J. C. (1996). Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada de mistura de *Eucalyptus urophylla* T. S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.3, p.371-379.

DIAS, N. A. B. et al. (2008). **Aproveitamento de resíduos de *Pinus sp* para a produção de chapas de partículas utilizando resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. São Carlos: LaMEM/SET/EESC/USP.

EISFELD, C. L.; BERGER, R. (2012). Análise das estruturas de mercado das indústrias de painéis de madeira (compensado, MDF e OSB) no estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.21-34, jan./mar.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1993a). **EN 310**: Wood-based panels - determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas.

_____. (1993b). **EN 317**: Particleboards and fibreboards - determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas.

_____. (1993c). **EN 319**: Particleboards and fibreboards - determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas.

_____. (1993d). **EN 323**: Wood-based – determination of density. Bruxelas.

_____. (2006). **EN 300**: Oriented strand boards (OSB) - definitions, classification and specifications. Portugal.

FERRO, F. S. (2013). **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana á base de óleo de mamona.** 101f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

GOUVEIA, N. F.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. (2000). Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.24, n.1, p.7-12, jan./mar.

IWAKARI, S. (2005). **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF. Cap.4, p.123-160.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. (2003). Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, p.89-94.

IWAKIRI, S. et al. (2005). Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v.11, n.4, p.323-328.

IWAKIRI, S. et al. (2008). Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.2, p.265-270, abr./jun.

KELLY, M.W. (1977). **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards.** Madison: U.S.Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory. (General Technical Report FPL – 10).

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

MACNATT, J. D.; BACH, L.; WELLWOOD, R. W. (1992). Contribution of flake alignment to performance of strandboard. **Forest Products Journal**, Madison, v.42, n.3, p.45-50.

MALONEY, T.M. (1993). **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing.** 2nd ed. São Francisco: M.Freeman.

MATOS, J. L. M. (1988). **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”.** 163f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, L. M. (2001). ***Pinus* sp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 181f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K. (2002). *Pinus* sp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.135-145.

MENDES, R. F. (2010). **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MERCADO estimula produtos de madeira com valor agregado. (2004). **Revista da Madeira**, n.84, out. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadama-deira_materia.php?num=630&subject=Valor%20Agregado&title=Mercado%20estimula%20produtos%20de%20madeira%20com%20valor%20agregado>. Acesso em: 20 nov. 2013.

MIGUEL, P. A. C. et al. (2003). Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v.13, n.2, p.87-94.

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

MOSLEMI, A. A. (1974). **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press. v.1: Materials.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CPH – chapas de partículas homogêneas: madeira do nordeste do Brasil**. 117f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NASCIMENTO, M. F. (2006). **Fabricação de chapas de partículas de OSB – Oriented Strand Board, com matéria-prima proveniente de espécies de madeira da caatinga do nordeste do Brasil**. São Carlos: EESC/USP, 2006. (Relatório de atividades apresentado ao CNPq, Processo n^o 303804/2003-3).

NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (2011). Painéis tipo OSB fabricados com madeiras brasileiras: produção e avaliação de desempenho. IN: CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 11, Coimbra, 2011. **Proceedings...** Portugal: Universidade de Coimbra. USB – pen.

NAUMANN, R. P. et al. (2008). Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake E DE *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.6, p.1143-1150.

OLIVEIRA, F. V. (2005). **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polietileno e embalagens cartonadas**. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005.

ORIENTED strand board in wood frame construction. (1998). Ontario: Structural Board Association.

OSB – opção no mercado. (2003). **Revista da Madeira**, n.71, maio. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=333&subject=OSB&title=OSB%20-%20op%E7%E3o%20no%20mercado>. Acesso em: 20 nov. 2013.

PAINÉIS de madeira MDP e MDF – mercado e competitividade. (2013). **Revista da Madeira**, n.136, out. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1683&subject=Pain%E9is&title=Pain%E9is%20de%20Madeira%20MDP%20e%20MDF%20%96%20Mercado%20e%20Competitividade>. Acesso em: 20 nov. 2013.

PAINEL de OSB oferece maior resistência para uso em estruturas. (2007). **Revista da Madeira**: n.108, out. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1157&subject=M%FAltiplos%20Usos&title=Painel%20de%20OSB%20oferece%20maior%20resist%Eancia%20para%20uso%20em%20estruturas>. Acesso em: 9 out. 2013.

QUINHONES, R. (2007). **Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável**. 46f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ROCCO LAHR, F. A. (2008). Apresentação. In:_____. (Org.). **Produtos derivados da madeira**. São Carlos: EESC-USP.

SANTOS, M. P.; AGUILAR, M. T. P. (2007). Painéis de madeira como vedação vertical em construções. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v.14, n.15, p.242-263, dez.

SANTOS, R. C. et al. (2011). Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*(dc.) macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v.21, n.1, p.149-158, jan./mar.

SALDANHA, L. K. (2004). **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 96f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Florestal, Universidade do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUZA, A. M. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus* sp. com inclusão de telas metálicas**. 117f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SURDI, P. G. (2012). **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliotti* var. *Pinus caribaea* var. *hondurenses***. 101f. Dissertação (Mestrado) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. (2000). Production and properties of japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. **Journal Japan Wood Science**, Tokyo, v.46, p.289-295.

EM 1ª medição após Código Florestal, desmatamento na Amazônia cresce 28%. (2013). Disponível em:<<http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2013/11/14/em-1-medicao-apos-codigo-florestal-desmatamento-na-amazonia-cresce-28.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

VARANDA, L. D. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia**. 157f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.