UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LAURENN BORGES DE MACEDO

Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partículas de madeira e de película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedades para empregabilidade como piso.

São Carlos

2018

LAURENN BORGES DE MACEDO

Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partículas de madeira e de película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedades para empregabilidade como piso.

Versão corrigida

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Francisco Antônio Rocco Lahr.

São Carlos

2018

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M141p Macedo, Laurenn Borges
Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partícula de madeira e película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedade para empregabilidade como piso / Laurenn Borges Macedo; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2018.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2018.

1. painéis híbridos . 2. película de polipropileno biorientado. 3. madeira. 4. resíduos. 5. pisos engenheirados. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

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

Título da tese: "Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partículas de madeira e película de polipropileno biorientado: avaliação de propriedades para empregabilidade com piso".

Data da defesa: 26/09/2018.

Comissão Julgadora:

Resultado:

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

APROVADA

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

APROVADA

Prof. Dr. **José Silvio Govone**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP – Rio Claro)

José Silvio Govone Aprovado

Prof. Associado **José Ricardo Tarpani**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Dr. **Ivaldo de Domenico Valarelli**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP – Bauru)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais:

Prof. Associado **Rafael Salomão**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

“Dedico este trabalho à vida, e todas as oportunidades de crescimento proporcionadas, seja
em forma de dor, seja em forma de amor”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, e todo seu amor e cuidado por mim, mesmo que às vezes me fiz cega e pouco receptiva pelo desânimo e desespero.

Agradeço aos meus pais, por tudo que me proporcionaram, na medida de suas capacidades, para que eu alçasse meus voos. Muitas das vezes sem me entenderem, mesmo de tão longe, torcendo sempre por mim.

Agradeço a minha irmã por estar presente, dando apoio à sua maneira, em momentos tão difíceis experimentados por mim este ano, juntamente com Louís Alfredo, Luigi Augusto, Teodoro Henrique e Berenice Katrina.

Agradeço ao Mano Rocco por ser um colo sempre presente e uma inspiração tão forte quanto a humana que quero ser para o mundo, me ensinando a olhar de outra maneira os meus momentos de dificuldade. Obrigada imensamente por estes 8 anos.

Agradeço a minha mãe, e às vezes filha, Maria por toda a cumplicidade que desenvolvemos nestes 7 anos de convívio. Obrigada por todo apoio e cuidado, paciência e aprendizado! Por ser tão amável e prestativa.

Agradeço a Giovana pelo companheirismo e lealdade. A oportunidade de conviver com você ressignificou profundamente o sentido de amizade para mim.

Agradeço a Zii por compartilhar comigo momentos de extremo companheirismo e amizade. Em sete anos passamos por tantas fases, né amiga? Não existem palavras para explicar a que patamar de intimidade estes sete anos de convivência levou nossa amizade hahahahaha

Agradeço ao meu amigo Mateus por todo apoio, ajuda e confiança dedicados a mim nos últimos tempos. Você é a prova de quem tem amigo não perece.

Agradeço ao Mano André por toda ajuda, boas conversas e puxões de orelha. Mano, um dia alcanço sua serenidade e calma.

Agradeço também aos técnicos e funcionários do LaMEM por toda ajuda prestada, sem vocês este trabalho não poderia ter sido realizado. Obrigada Jaime, Silvinho, Samuca, Cidão (in memoriam), Arnaldo, Roberto e Bragaboy.

Agradeço à amiga Carol e ao professor José Reinaldo da Universidade Federal de Lavras, sem os quais não teria sido possível a realização de parte importante deste trabalho.

Agraço a CAPES pelo financiamento deste doutorado e todas as oportunidades que vieram juntamente com ele.

Agradeço a EESC por ser minha casa por tantos anos e me proporcionar convivência com tantas pessoas maravilhosas.

A comissão do curso de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais por toda paciência e compreensão.

E por fim, agradeço a todas as pedrinhas que entraram no meu sapato durante esta jornada. Obrigada por me ajudarem a me resignar e submeter meus joelhos ao chão e pedir por proteção divina e equilíbrio. Vocês me ajudaram a me construir mais forte e ter mais confiança no alto e em mim mesma.

A todos, o meu muito obrigada!!!!

“As pessoas que mudam o mundo são
aquelas que não pensam duas vezes antes de fazerem o que é certo, mesmo
quando todos insistem em fazer o que é errado”.

MACEDO, L. B. **Painéis compósitos híbridos de alta densidade fabricados a partir de partículas de madeira e de película de polipropileno biorientado**: avaliação de propriedades para empregabilidade como piso. 2018. 119 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O modo de vida consumista, presente na sociedade moderna, está diretamente relacionado ao problema dos resíduos gerados pela atividade do setor econômico, tanto na produção quanto no pós-consumo desses bens. Neste contexto, é possível considerar o setor alimentício como responsável por grande produção de resíduos poliméricos (plásticos), bastantes utilizados na produção de embalagens. A reciclagem destes polímeros constitui umas das principais soluções para o reaproveitamento desse material, porém, nem todo tipo de polímero possui reciclagem em grande escala no Brasil. Como o caso da película de polipropileno biorientado (BOPP), que apesar de muito empregado, é exemplo de material polimérico não priorizado pelas cooperativas de catadores e sucateiros por não ser de interesse da indústria de reciclagem nacional, dadas as características de sua composição. Uma possibilidade para o reaproveitamento do BOPP constitui a produção de painéis aglomerados de partículas de madeira em consórcio com tal material. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade de painéis híbridos produzidos a partir de partículas de resíduos de madeiras e de BOPP e resina poliuretana à base de óleo de mamona para uso como piso em edificações, por intermédio de ensaios laboratoriais de desempenho físico e mecânico dos mesmos. Foram encontrados os resultados: 768 kg/m³ para densidade; 1,63% para inchamento em espessura 2h e 4,03% para 24h; 8,3% para absorção de água em 2h e 19,95% para 24h; porosidade de 41,01%; 0,48 MPa de resistência à tração perpendicular; 716,88 N de resistência ao arranchamento de parafuso para face e 950,81 N para topo; 2,96 µm de rugosidade superficial; 0,2145 mm em perda de espessura por abrasão; 0,28 mm de endentação por queda de esfera; 0,057 mm de endentação para cargas em pequenas áreas; 0,319 mm de endentação por carga rolante; coeficiente de atrito estático de 0,372 e dinâmico de 0,231. Os resultados alcançados para os ensaios realizados demonstram a alta potencialidade dos painéis de partículas híbridos de madeira e BOPP desenvolvidos neste trabalho.

Palavras- chave: Painéis híbridos; película de polipropileno biorientado; madeira; resíduos; pisos engenheirados.

MACEDO, L. B. **High density hybrid composite panels manufactured from wood and bioriented polypropylene film particles: properties evaluation for employability as a flooring.** 2018. 122 p. Thesis (Doctorate) – Engineering School of São Carlos of University of São Paulo, São Carlos, 2018.

Consumerist way of life, present in modern society, is directly related to residues problem generated by economic sector activity, both in production and in post-consumption of these goods. In this context, it is possible to consider food sector as responsible for large polymer waste (plastics) production, quite used in packaging production. These recycling polymers constitutes one of the main solutions for this material reutilization, however, not every polymer type has large-scale recycling in Brazil. As in the case of biaxially oriented polypropylene film (BOPP), which although very employed, is an example of polymeric material not prioritized by scavengers cooperatives and scrappers because it is not yet of interest to national recycling industry, given its composition characteristics. One possibility for BOPP reuse is agglomerated panels production of wood particles in consortium with such material. Thus, this work aims to evaluate the potentiality of hybrid panels produced from wood waste and BOPP particles and polyurethane resin based on castor oil for use as flooring in buildings, by means of laboratory tests of their physical and mechanical performance. Results found were: 768 kg/m³ for density; 1.63% for swelling in thickness (2h) and 4.03% (24h); 8.3% for water absorption (2h) and 19.95% (24h); porosity 41.01%; 0.48 MPa of internal bond; 716.88 N of resistance to screw pullout to face and 950.81 N of top; 2.96 µm of surface roughness; 0.2145 mm in thickness loss by abrasion; 0.28 mm in indentation by ball drop; 0.057 mm of indentations for loads in small areas; 0.319 mm of indentation by rolling load; coefficient of static friction 0.372 and dynamic 0.231. Results achieved for tests carried out demonstrate that hybrid wood and BOPP particle panels developed in this work high potentiality.

Key words: hybrid panels; biaxially orientated polypropylene film; wood; residues; engineered floor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Camadas constituintes do piso laminado (ABIPILAR, 2014).....	36
Figura 2 - A) moinho de facas do tipo Willye utilizado na produção das partículas, B) bateadeira Lieme utilizada como encoladeira das partículas. Fonte: autora.	55
Figura 3 - A) prensa mecânica, B) bateadeira Lieme utilizada como encoladeira das partículas.	56
Figura 4 - A) Balança analítica utilizada durante o processo produtivo, B) Paquímetro digital de mesmo modelo utilizado para realização de ensaios.	56
Figura 5- A) Serra circular utilizada para o esquadreamento dos painéis, B) serra circular utilizada na confecção dos CP's para os ensaios	57
Figura 6 - A) máquina Universal de Ensaio onde foi realizado o ensaio de flexão estática, B) layout do ensaio.	61
Figura 7 - Variação das propriedades mecânicas em função do tratamento experimental delineado: MOE (a), MOR (b).	64
Figura 8 - Resultados dos testes de validação da ANOVA sobre os resíduos obtidos para a estimativa do MOE – normalidade (a), independência (b).....	66
Figura 9 - Resultados dos testes de validação da ANOVA sobre os resíduos obtidos para a estimativa do MOR – normalidade (a), independência (b).	67
Figura 10 - Peneira utilizada para produção das partículas de BOPP utilizadas na produção dos painéis finais.	69
Figura 11 - Peneira utilizada para produção das partículas de madeira utilizadas na produção dos painéis finais.	70
Figura 12 - Partículas de madeira e BOPP, já homogeneizadas com a resina poliuretana à base de óleo de mamona.....	71
Figura 13 - Partículas de madeira e BOPP, alocadas no molde antes da pré-prensagem.....	72
Figura 14 - A) colchão do painel formado após a pré-prensagem, B) encaminhado à prensa munida de temperatura e pressão para cura da resina e conformação do painel	72
Figura 15 - Painel recém retirado da prensa.	73
Figura 16 - Equipamento utilizado para ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio, Micromeritics Poresizer.....	75
Figura 17- Dispositivo utilizado para ensaio de resistência à tração perpendicular realizado em Máquina de Ensaio Universal Amsler.	76

Figura 18 - Dispositivo para ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso, A) face e B) topo, realizados em Máquina de Ensaio Universal Amsler.....	77
Figura 19 - Equipamento utilizado para gerar abrasão no CP e testar sua resistência.....	78
Figura 20 - Rugosímetro utilizado nos ensaios de rugosidade superficial.....	78
Figura 21 - Aparato utilizado para ensaio de queda de esfera.	80
Figura 22 - Equipamento utilizado em ensaio de endentação.....	81
Figura 23 - Equipamento utilizado em ensaio de esforço rolante.....	82
Figura 24 - Equipamento utilizado para determinação de atrito estático e dinâmico nos CP's.	83
Figura 25 - Resultados das propriedades físicas dos painéis eleitos: densidade [ρ] (a); inchamentos em espessura após 2 [Inc-2h] (b) e 24 horas [Inc-24h] (c) de imersão em água; absorção após 2 [Abs-2h] (d) e 24 horas [Abs-24h] (e) de imersão em água.	85
Figura 26 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis eleitos: resistência à tração perpendicular [TP] (a); resistência ao arrancamento de parafuso de face [RAPf] (b) e de topo [RAPt] (c).....	89
Figura 27 - Resultado da rugosidade [Rug] dada pelo desvio aritmético médio (b) dos painéis fabricados.	91
Figura 28 - Resultado da Resistência à Abrasão (Rabr), dado pela perda em espessura (a) e em massa (b) em função do número de ciclos [Nci].....	92
Figura 29 - Ajuste pelo modelo de regressão polinomial cúbico da estimativa das depressões em função das alturas de queda da esfera.	94
Figura 30 - Resultados do teste de Tukey do fator número de viagens nos valores da depressão por endentação nas amostras de painel.	96
Figura 31 - Resultados do teste de Tukey do fator número de viagens nos valores da depressão por carga rolante nas amostras de painel.	98
Figura 32 - Coeficientes de atrito estático [CAest] (a) e dinâmico [CAdin] (b) dos painéis fabricados.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do piso quanto à resistência à abrasão.	39
Tabela 2 - Classificação de pisos laminados melamínicos quanto ao nível de uso.....	39
Tabela 3 - Classe de rugosidade de acordo com a NBR 8404 (1984)	40
Tabela 4 - Requisitos para painéis aglomerados de acordo com ANSI A.208 (1999).....	51
Tabela 5 - Requisitos para painéis aglomerados de média densidade e espessura variando de 6 a 13mm de acordo com NBR 14810 (2013).....	52
Tabela 6 - Tratamentos experimentais delineados do planejamento experimental preliminar	62
Tabela 7- Resultados das propriedades mecânicas dos painéis para cada tratamento.....	64
Tabela 8 - Resultados da ANOVA do modelo de regressão para o MOE.	66
Tabela 9 - Resultados da ANOVA do modelo de regressão para o MOR.	67
Tabela 10 - Resultados do teste de Tukey.	68
Tabela 11 - Massa dos componentes utilizados na produção dos painéis.	71
Tabela 12 - Ensaio realizados, normas utilizadas e quantidade de corpos de prova.....	84
Tabela 13 - Valores deste trabalho e da literatura para densidade aparente.....	86
Tabela 14 - Valores deste trabalho e da literatura para inchamento em espessura e absorção de água.....	87
Tabela 15 - Características porosimétricas das amostras analisadas.	87
Tabela 16 - Valores deste trabalho e da literatura para porosidade.....	88
Tabela 17 - Valores deste trabalho e da literatura para tração perpendicular e arrancamento de parafuso face e topo.	90
Tabela 18 - Valores deste trabalho e da literatura para rugosidade superficial.....	91
Tabela 19 - Perda de espessura (mm) por abrasão	93
Tabela 20 - Valores deste trabalho e da literatura para endentação causada por queda de esfera cadente à 180 cm de altura.	95
Tabela 21 - Valores deste trabalho e da literatura para endentação por carga em pequena área após 100 viagens.....	97
Tabela 22 - Valores deste trabalho e da literatura para endentação por carga rolante após 50 99	
Tabela 23 - Valores deste trabalho e da literatura para coeficientes de atrito estático e dinâmico.	100
Tabela 24 - Classe de qualidade de pisos proposta por Oliveira (2015)	101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Modelos de regressão multivariáveis para os painéis preliminares em relação ao MOE e MOR	56
Equação 02 – Modelos de regressão obtido para estimativa de valores de MOE	59
Equação 03 – Modelo de regressão obtido para estimativa de valores do MOR	60
Equação 04 – Modelo de regressão polinomial cúbico para estimativa de depressões nas amostras em função da altura de queda da esfera	87

LISTA DE SIGLAS

ANPM: Associação Nacional de Produtores de Piso de Madeira;
BOPP: Película de Polipropileno Biorientado;
CCB: Borato de Cobre Cromatado;
CP: Corpo de prova;
CPL: Constant Pressure Laminate;
DCF: Departamento de Ciências Florestais – Universidade Federal de Lavras;
EESC: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo;
HDF: High Density Fiberboard;
HPL: High Pressure Laminate;
IFSC: Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo;
LaMEM: Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo;
MDF: Medium Density Fiberboard;
OSB: Oriented Strand Board;
PEAD: Polietileno de Alta Densidade;
PEBD: Polietileno de Baixa Densidade;
PET: Polietileno Teraftalado;
PIB: Produto Interno Bruto
PMVA: Produto de Maior Valor Agregado;
PNRS: Política Nacional dos Resíduos Sólidos;
PS: Poliestireno;
PU: Resina Poliuretana à Base de Óleo de Mamona;
Ra: Desvio Aritmético Médio do Perfil de Rugosidade Superficial;
SET: Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo;
UFLA: Universidade Federal de Lavras;
USP: Universidade de São Paulo.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	25
2. OBJETIVOS.....	29
2.1 Objetivos gerais	29
2.2 Objetivos específicos	29
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
3.1 Mercado de pisos de madeira no Brasil	31
3.2 Tipos de pisos de madeira.....	32
3.2.1 Pisos de madeira maciça.....	33
3.2.2 Pisos engenheirados.....	35
3.3 Propriedades para pisos	38
3.3.1 Abrasão.....	38
3.3.2 Rugosidade superficial	39
3.3.3 Endentação por queda de esfera	41
3.3.4 Endentação causada por carga aplicada em pequena área.....	41
3.3.5 Esforço rolante.....	41
3.3.6 Coeficiente de atrito.....	41
3.4 Resíduos sólidos como matéria prima de painéis compostos de alta densidade	42
3.4.1 Resíduos Sólidos	42
3.5 Painéis aglomerados de partículas	44
3.5.1 Processo produtivo de painéis aglomerados de partículas: variáveis	45
3.5.2 Documentos Normativos vigentes.....	50
3.6 Conclusão da Revisão Bibliográfica.....	52
4. METODOLOGIA	55
4.1 Equipamentos utilizados	55
5. PAINÉIS PRELIMINARES	59
5.1 Painéis preliminares I.....	59
5.2 Painéis preliminares II	59
5.3 Painéis preliminares III	60
5.4 Painéis preliminares IV.....	60
5.5 Ensaio de Flexão estática realizado (MOE/MOR)	60
5.6 Análise estatística dos resultados.....	61
5.7 Resultados e discussões	63
6. PAINÉIS FINAIS.....	69
6.1 Geração das partículas	69

6.2	Aplicação da resina	70
6.3	Processo de prensagem do painel.....	71
6.4	Ensaio realizado	73
6.4.1	Ensaio físico.....	73
6.4.2	Ensaio mecânico	75
6.4.3	Ensaio específico para materiais empregados como pisos	77
6.5	Resumo sobre os ensaios realizados nos painéis finais.....	83
6.6	Resultados e discussões.....	84
6.7	Classificação dos painéis deste trabalho em uso como piso	101
7.	Conclusões.....	103
8.	Sugestão de estudos futuros.....	105
9.	Referências bibliográficas	107

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado um país de grande importância no setor florestal perante o mundo. Seu potencial vai desde a Floresta Amazônica, composta por espécies nativas, em sua maioria ainda pouco conhecidas, até florestas de produção que se espalham por diversas áreas de nosso território, com o cultivo de espécies exóticas e nacionais em grande escala. Contudo, apesar dessa enorme capacidade, o setor florestal é responsável por uma pequena parcela de exportações na balança comercial do agronegócio do nosso país (PAINEL FLORESTAL, 2018).

Mundialmente, o Brasil é considerado fornecedor de matéria prima do setor do agronegócio para nações produtoras de tecnologia. Para que haja mudança de postura de nosso país e aumento das suas exportações de forma competitiva, é fundamental a concepção de se agregar valor aos bens cultivados nacionalmente por meio tecnológico-industrial. Nesta conjuntura, em relação a madeira

Para que tais mudanças ocorram, é preciso incrementar novas tecnologias, focadas em agregar valor aos produtos nacionais em conjunto com incentivos financeiros e fiscais à expansão do setor industrial. Assim, dentro do setor florestal por meio de um planejamento estratégico, com intuito de incentivar a pesquisa e a inovação junto às empresas relacionadas ao setor de piso de madeira, foi criada a Associação Nacional de Produtores de Piso de Madeiras (ANPM). Essa medida visa a divulgação de bens fabricados no país, para que cada vez mais produtos brasileiros sejam utilizados, gerando renda e empregos, e promovendo a indústria nacional.

A tecnologia atualmente exigida, em qualquer setor, vem atrelada à necessidade irrevogável de caráter sustentável. Cada vez mais questões ligadas ao consumo responsável de recursos naturais e à geração de resíduos antes, durante e após os processos produtivos estão em evidência. No presente, a sociedade vem valorizando a consciência de seu consumo e exigindo dos produtores de seus bens uma postura diferenciada, que visa exploração adequada de recursos e o reaproveitamento dos resíduos produtivos em uma cadeia que tem como foco o meio ambiente.

Como exemplo de um setor que gera grande quantidade de resíduos pode-se citar o alimentício. Este setor apresenta uma gama dos mais diferentes tipos de produtos, como é possível ver nas prateleiras de supermercados, caracterizada pelo consumo cada vez mais estimulado midiaticamente por intermédio de um apelo que atinge os mais diferentes estilos de vida. Neste contexto, cabe citar os resíduos gerados a partir de embalagens de película de

polipropileno biorientado (BOPP), que representam um problema para as indústrias, devido às exigências da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) quanto ao reaproveitamento de resíduos. Por serem embalagens que apresentam boas características para a conservação dos alimentos, são largamente utilizadas, porém, devido à sua estrutura, não apresentam reciclagem em larga escala no país.

De acordo com Araújo (2003), o setor florestal também é gerador de grande quantidade de resíduos oriundos do desdobro primário e secundário, bem como da utilização da madeira, sendo considerados como resíduos cascas, costaneiras, pontas, aparas, lascas, nós, pó de serra e maravalhas. Para Souza (2010), o processo de desdobro de toras em tábuas, pranchas, vigas entre outros subprodutos é responsável pela geração de um volumoso montante de resíduos. O autor associa a quantidade de resíduos gerados à aspectos inerentes a espécie de madeira processada e ao sistema de desdobro, que inclui qualidade da mão de obra e maquinário utilizados. Nolasco e Uliana (2014) afirmam que, em média, 40% do total de madeira que entra na indústria de piso como matéria prima se torna resíduo durante o processo produtivo. Lopes (2009) afirma que a maior parte dos resíduos madeireiros gerado pelas indústrias do setor é destinado a queima para geração de energia térmica, empregada em secadores de madeira ou queimado a céu aberto, quando não descartado em locais inadequados gerando impactos ambientais graves.

Assim, com foco nos resíduos florestais gerados em serraria na região de São Carlos, devido ao desdobro de madeira originada de florestas de produção, este trabalho pretende dar continuidade a estudos já realizados pela autora relativos à associação de madeira, BOPP e resina poliuretana à base de óleo de mamona na produção de painéis de partículas. Neste momento, pretendeu-se o delineamento de um painel de partículas homogêneo de alta densidade destinado à aplicação como piso em edificações.

Este objetivo de uso foi definido com base na avaliação dos principais problemas apresentados por pisos produzidos a partir de madeira maciça. Pois, por ser um material biológico e heterogêneo, a madeira está susceptível à presença de nós, tortuosidades, grãos inclinadas, variação dimensional, aspectos que têm influência direta na qualidade final do piso produzido e são decisivos na escolha de espécies madeireiras para este fim. Neste contexto, a indicação de uso de painéis homogêneos de partículas de alta densidade para produção de pisos é de grande importância, uma vez que problemas relacionados à estrutura da madeira seriam minimizados, possibilitando maior controle de qualidade do produto final. O uso de painéis também diminuiria a pressão quanto a espécies nativas almejadas para este fim, pois

devido às atuais condições legislativas relacionadas às aprovações de concessões serem muito lentas ocorre incentivo ao uso de madeira ilegal.

Em relação ao que se propõe neste trabalho, registra-se seu caráter inovador, uma vez que o painel produzido a partir do consórcio de madeira e polímero apresenta grande estabilidade dimensional devida à parte da matriz constituinte do painel ser formada por material hidrofóbico. Esta característica de estabilidade dimensional é almejada pelos produtores de pisos, por ser fator limitante para a qualidade do produto final, além de definir suas possíveis aplicações, como ambientes úmidos e secos, e qualidade do acabamento aplicado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar a potencialidade de painéis híbridos de partículas de resíduos de madeira e película de polipropileno biorientada (BOPP) para uso como piso em edificações.

2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar o teor adequado de partículas de BOPP e de madeira e resina para produção dos painéis homogêneos;
- b. Avaliar por meio de ensaios físicos e mecânicos a eficiência desses painéis híbridos para uso como piso.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mercado de pisos de madeira no Brasil

No Brasil, o setor florestal se caracteriza pela grande exportação de matéria prima, sendo ainda pouco representativas as indústrias PMVA. Do ponto de vista econômico e social, este fator mantém nosso país ainda no encalço de outras potências econômicas, pois está relacionado diretamente à geração de renda e empregos. Os pisos de madeira são considerados PMVA florestais por serem produzidos a partir de um reprocessamento da madeira serrada. Apesar de nacionalmente ser um setor muito diversificado e dividido, vem se desenvolvendo tanto em produção quanto em consumo nacional (REMADE, 2014).

Na Europa e nos Estados Unidos, o *engineered wood floor* ou piso engenheirado tem mercado em expansão constante devido à sua grande aceitação em função de suas excelentes características, o que gera grande interesse em empresas nacionais do ramo de pisos. Atualmente, a participação brasileira no mercado internacional de pisos ainda é restrita, apresentando China, Indonésia e Áustria valores de exportação muito superiores ao do Brasil, apesar de seu constante crescimento no setor. E ainda, mesmo com o grande potencial florestal nacional, o consumo interno de pisos é menor quando comparado com pisos cerâmicos e porcelanatos (REMADE, 2005; REMADE, 2014).

Neste contexto, surgiu a Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM), que tem como objetivo contribuir para o uso sustentável de recursos florestais e agregar valores aos produtos madeireiros brasileiros, por meio da união de empresas nacionais produtoras de pisos de madeira e incentivo ao desenvolvimento de tecnologia e inovação no setor. Esta associação busca o desenvolvimento do setor e também a divulgação dos produtos nacionais como um incentivo ao consumo e consequentemente a criação de novos empregos (ANPM, 2017).

Uma das principais preocupações da ANPM é qualidade dos pisos de madeira produzidos nacionalmente, uma vez que o setor de produtos florestais apresenta grande carência de técnicas de padronização e estratégias relacionadas a qualidade do produto final. A garantia da qualidade, impacta diretamente no maior valor agregado dos produtos produzidos e no maior crescimento econômico do setor, pois este ponto restringe a concorrência desleal do mercado e promove o maior consumo do produto. Uma vez que o produto sem o devido controle de produção apresenta grande quantidade de defeitos,

impedindo seu bom desempenho em uso e o tornando mal visto no mercado (ANDRADE et al., 2013).

Em seu trabalho, Soares et al. (2012) avaliaram pontos críticos durante o processo produtivo de pisos de madeira e concluíram que estes são ocasionados, principalmente, por mistura de espécies de madeira na produção de pisos, peças fora das dimensões ou esquadro além de defeitos ocasionados durante o processo de acabamento final do piso. Padilha et al. (2006) avaliaram o desempenho da madeira de sete clones de *Eucalyptus urophylla* como piso de madeira, pois a espécie de madeira escolhida para produção é um dos principais fatores determinantes da qualidade de piso em serviço. Neste contexto, os autores reafirmam a coerência dos pontos levantados pela ANPM quanto ao controle de qualidade dos pisos de madeira produzidos nacionalmente e os cuidados necessários durante o processo produtivos dos mesmos.

Entre os anos de 1999 e 2008, o segmento de pisos de madeira (laminados e sólidos) apresentou um aumento 140% na produção e 186,8% no consumo (REMADE, 2014). Em 2006, a produção de pisos de madeira extrapolou 33 milhões de metros quadrados, dos quais 75% correspondem a pisos engenheirados (ABIMCI, 2007). Em 2010, a produção foi de 25 milhões de metros quadrados, dos quais 13 milhões eram de pisos engenheirados (ANPM, 2015). No ano de 2012, o setor de pisos de madeira sólida foi responsável por 272 milhões de reais do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, gerando 112 milhões de dólares em exportações (ANDRADE, 2015).

3.2 Tipos de pisos de madeira

Atualmente, os pisos de madeira disponíveis no mercado são os de madeira maciça e os engenheirados (engineered wood floor) compostos em camadas. Os pisos maciços são produzidos mais comumente por madeiras nobres e, como exemplos, podem ser citados o assoalho, o taco e o parquet. Segundo Coletti et al. (2010), pisos engenheirados são produzidos a partir de painéis de madeira, que vão desde HDF (high density fiberboard) até compensado multilaminado, em combinação com um revestimento, que podem ser lâminas decorativas de madeira ou papéis melamínicos.

3.2.1 Pisos de madeira maciça

Como já mencionado, o uso de pisos de madeira no Brasil tem crescido a cada ano, o que é importante uma vez que a madeira é um material renovável que armazena carbono em sua biomassa. Contudo, apesar da grande variabilidade de espécies nativas no território brasileiro, principalmente na região amazônica, as indicadas para a produção de piso maciço não são numerosas (VARANDA, 2016).

As características primordiais que devem ser levadas em consideração para que uma espécie possa ter um bom desempenho em uso como piso é a massa específica, dureza Janka e a retratibilidade, sendo a última relacionada diretamente ao processo de secagem e à anatomia da madeira. Como os pisos de madeira exigem alta resistência, são indicadas espécies de maior massa específica em sua produção, apesar de que atualmente espécies de massa específica média também têm sido utilizadas. Já a dureza Janka é considerada indicativo de grande importância na seleção da madeira adequada para matéria prima de pisos por estar correlacionada diretamente com outras propriedades como massa específica, resistência à compressão, flexão, cisalhamento e rigidez. Ainda no contexto de madeira para piso, quanto à retratibilidade, o ideal seria considerar espécies que apresentem variação dimensional na relação tangencial e radial menores que 1,5, pois estas tendem a apresentar deformações menores em função da variação climática ao longo do ano, o que geraria menores defeitos quando em uso (GALINA et al., 2013; ANDRADE, 2015).

Assim, com base em características similares, Andrade (2015) propôs o agrupamento de espécies nativas para possibilitar o processamento e utilização conjunta das diferentes variabilidades de madeiras objetivando beneficiar indústrias e consumidores. Espécies com propriedades similares, tendem a apresentar comportamentos similares, o que evitaria o aparecimento de alguns defeitos inerentes ao material após instalação e durante o uso dos pisos.

Contudo, alguns defeitos que surgem em pisos de madeira maciça são oriundos do processamento da madeira e da instalação dos mesmos. Como exemplos destes defeitos, tem-se pisos: com deformações ocasionadas pelo seu teor de umidade estar diferente da umidade de equilíbrio do local de instalação; com furos de insetos; com a presença de canais de resinas; com nós em condições inadequadas (ocos ou soltos), fora do esquadro ou com defeitos de empenamento ou manchas de fungos, dentre outros. Também existem fatores anteriores à instalação do piso que têm influência direta em seu desempenho, como: umidade e resistência do contra piso ou distribuição inadequada da resina no contra piso antes da

aplicação do piso, que pode permitir com maior facilidade a movimentação da madeira. Deste modo, para que a indústria de piso alcance o controle de qualidade requerida pela ANPM para agregar maior valor a este tipo de produto florestal, fatores como espécies de madeira, processamento e instalação do produto devem ser bem considerados. O conhecimento adequado de tecnologias referentes ao material madeira pode reduzir consideravelmente problemas no controle dos parâmetros do processo produtivo (COLETTI, 2010; ANDRADE, 2015).

Não diferentes das demais indústrias nacionais, a de pisos de madeira maciça também é grande geradora de resíduos, em quantidade e diversidade. Cerca de 40% de todo material madeireiro que entra na indústria de piso como matéria prima se torna resíduo e é descartado, sendo eles de todo o tipo, desde partículas a pedaços de maiores dimensões. Este valor pode variar de empresa para empresa em função da qualidade da matéria prima utilizada, dos processos inerentes a produção de cada empresa e do mercado para o qual se destina o produto final produzido (NOLASCO, 2014).

Assim, como proposta de redução dos resíduos madeireiros nas indústrias de pisos, Nolasco (2014) propõe ações como:

1. Matéria prima: avaliação dos fornecedores, além da substituição de essências que propiciem a maior ocorrência de defeitos, buscando sempre melhor qualidade da matéria prima. Este fato é diretamente proporcional à geração de resíduos;
2. Variabilidade de produtos: promover o desenvolvimento de novos produtos a partir dos resíduos gerados, como: pisos engenheirados e pisos de pequenas dimensões;
3. Equipamentos e ferramentas: utilizar no chão de fábrica sempre equipamentos de boa qualidade e tecnológicos, além de mantê-los em boa conservação, com protocolos de manutenção periódicas;
4. Mão de obra: investir nos funcionários da empresa por meio de treinamentos e capacitações, aprimorando conhecimentos e gerando motivação. Avaliar a qualidade das equipes.

Quando se trata da matéria prima na indústria de pisos, as essências mais utilizadas, em acordo com Martin et al. (2012), são Cumaru (*Dypterix odorata*), Ipê (*Tabebuia* sp.), Jatobá (*Hymenaea courbaril*). Para Padilha et al. (2006), as espécies citadas apresentam excelente qualidade para uso como piso, no entanto são caras e nem sempre são encontradas em dimensões padronizadas. Os autores ainda ressaltam que a diversidade madeireira nativa destinada ao uso como piso no mercado é pequena quando comparada com a quantidade de espécies nativas potenciais existentes em nosso território, e que por este motivo existe uma

pressão grande sobre estas espécies que pode culminar na extinção das mesmas em função de extrações ilegais e predatórias. Então, na tentativa de evitar que isto aconteça, órgãos nacionais competentes criaram barreiras ambientais rigorosas.

Neste contexto, para diminuir a pressão sobre determinadas espécies, ressalta-se a extrema importância da caracterização de novas essências florestais, uma vez que apenas uma pequena parte dos indivíduos na região amazônicas são conhecidos. Além de pesquisas relacionadas a espécies de plantios comerciais para serem utilizadas como possível alternativa, seja quanto ao melhoramento genético ou desenvolvimento de tecnologia industrial produtiva adequada.

Assim, com intuito de propor o uso do *Eucalyptus* em larga escala para produção de piso, ressalta-se novamente os estudos de Padilha et al. (2006) quanto as características e comportamento em serviço de sete clones de *Eucalyptus urophylla*. Os autores concluíram que os clones apresentaram comportamento mecânico ligeiramente inferior ao de madeiras nativas normalmente utilizadas como piso. Apenas um dos clones em estudo foi considerado como seguro para produção de pisos em função dos seus maiores coeficientes de atrito estático e dinâmico.

Com objetivo de aumentar a oferta de materiais madeireiro de construção e de acabamento no mercado consumidor, Santos et al. (2010) propuseram o uso de dois clones de *Eucalyptus* de pequeno diâmetro oriundos de florestas de produção como piso. Foram realizados ensaios de retratibilidade e específicos para pisos de carga rolante, endentação por carga em pequenas áreas e queda de bola cadente para pisos fabricados com 8 e 14 mm. Como resultado, apenas a propriedade de endentação para pisos de 14 mm de um dos clones não apresentou valores adequados com documentos normativos.

Na tentativa de minimizar a exploração de essências nativas no mercado de madeira serrada, Martins et al. (2012) avaliaram o uso das espécies de reflorestamento de rápido crescimento, *Eucalyptus* sp. e *Corymbia maculata*, quanto às suas propriedades físicas e mecânicas, simulando seu uso como piso. Os autores concluíram que a madeira de *E. cloeziana* F. Muell, *E. microcorys* F. Muell e *C. maculata* Hook, em comparação com a literatura, podem ser empregadas como pisos.

3.2.2 Pisos engenheirados

O piso engenheirado é considerado alternativa ao piso convencional de madeira maciça, sendo que a diferença entre os dois se dá no processo de produção (REMADE, 2012).

Os últimos são confeccionados a partir do desdobro de toras de madeira nobre, seguido de vários processos de serragem e usinagem até o produto final. Os pisos engenheirados são concebidos a partir de vários processos de produção industrial.

Os pisos engenheirados são classificados em duas categorias: os estruturados e os laminados. Os estruturados, mais conhecidos, são constituídos por uma base de material compósito, que pode ser um compensado ou medium density fiberboard (MDF), e uma lâmina ou lamela de madeira maciça serrada. Os pisos laminados são produzidos a partir de painéis compósitos de madeira e revestidos com um papel impregnado com resina melamínica, que possibilita diversos padrões decorativos, inclusive de madeira maciça. (REMADE, 2006; REMADE, 2012; ANDRADE, 2015). As camadas constituintes do piso laminado são melhores especificadas na Figura 1:

Figura 1- Camadas constituintes do piso laminado (ABIPILAR, 2014).

Overlay (camada superficial) - é um filme cristalino de celulose, impregnado com resina melamínica, que garante alta resistência a riscos, abrasão e absorção de líquidos.

Laminado Decorativo - lâmina decorativa de celulose, impregnada com resina melamínica que proporciona variados padrões decorativos.

Substrato - composto por painéis de fibra ou partículas de madeira de alta densidade, conferindo uma montagem perfeita, resistência e robustez do piso.

Balanço - camada constituída de lâmina de celulose impregnada com resina melamínica, responsável pela estabilidade dimensional.

Em se tratando de variação dimensional, propriedade técnica diretamente relacionada ao desempenho e possível surgimento de defeitos, os pisos engenheirados são superiores aos maciços. Os primeiros apresentam grande estabilidade dimensional, o que permite sua instalação em locais com maior variação de umidade e diretamente sobre o contra piso. No caso dos pisos engenheirados laminados, esta estabilidade dimensional é proporcionada pela camada de balanceamento (ou balanço), constituída de folhas prensadas, HPL (High Pressure Laminate) ou CPL (Constant Pressure Laminate) ou lâminas de celulose impregnadas. Quanto aos pisos maciços, existe uma alta variabilidade dimensional devida à anisotropia natural da madeira, o que exige maior cuidado em sua instalação e manutenção (ANDRADADE, 2011; NBR 14833-1, 2014; ANDRADE, 2015).

Assim, a Associação Brasileira da Indústria de Piso Laminado de Alta Resistência criou o Programa Setorial da Qualidade de Pisos Laminados Melamínicos, cujo objetivo é garantir que os pisos laminados comercializados nacionalmente exibam performance

satisfatória, atendendo às exigências do consumidor e não prejudicando a igualdade na concorrência entre fabricantes. A qualidade dos pisos auditados é atestada por meio da norma brasileira NBR 14833 – 1 (2014) que estabelece os requisitos para classificação e nível de uso dos pisos a partir de parâmetros de resistência à abrasão, inchamento, resistência a manchas, resistência ao impacto de esferas e efeito de marca de rodízio de poliuretano (ABIPILAR, 2014).

Do ponto de vista de sustentabilidade, os pisos engenheirados estruturados consomem menor quantidade de madeira quando comparados com os de madeira maciça por possuírem, segundo ABIMCI (2009), substrato constituído de painéis compósitos. Contudo, esta quantidade de madeira utilizada ainda é considerada alta, e nem sempre de fácil obtenção, como já comentado. Assim, o uso de pisos engenheirados laminados é considerado uma possível solução à pressão sofrida pelas essências nativas utilizadas na produção dos pisos maciços e engenheirados estruturados, pois os primeiros são confeccionados de painéis compósitos de alta densidade produzidos de partículas de madeira geradas, em muitos casos, a partir de material residual.

Varanda et al. (2012) fizeram ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio em painéis híbridos de alta densidade produzidos a partir de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, em diferentes proporções. Os painéis foram confeccionados com resina poliuretana à base de óleo de mamona sob pressão de 4 MPa a 100°C. Os autores encontraram, para os painéis, resultados de porosidade semelhantes aos obtidos para materiais cerâmicos tradicionalmente utilizados, o que atesta potencial aplicabilidade dos referidos painéis como pisos.

Poleto (2014) afirma que a escolha por painéis produzidos a partir de resíduos para emprego como vedação na construção civil, seja como piso ou parede, é uma escolha diferenciada com valor agregado em contrapartida aos existentes no mercado. Para construção de um protótipo arquitetônico em escala real, a autora utilizou partículas de madeira *Eucalyptus grandis* tratadas com CCB (Borato de Cobre Cromatado) e resina poliuretana à base de óleo de mamona na produção dos painéis empregados como piso. Foram produzidos painéis com 1g/cm³ de densidade, 1 cm de espessura sob pressão de 4,7 MPa e 100°C. Os mesmos foram impermeabilizados com Osmocolor UV para deck e submetidos a ensaios de abrasão. De acordo com os resultados encontrado pela autora, em comparação com a NBR 14833 (2014), os painéis alcançaram os valores mínimos para resistência em número de ciclos para aplicação interna em edificações.

Varanda (2016) produziu painéis compósitos de alta densidade a partir do consórcio de resíduos de madeira de *Pinus elliottii* e de casca de aveia. Durante o processo produtivo foram

utilizados 4 MPa de pressão e dois tipos de resina, sendo os painéis com resina poliuretana à base de óleo de mamona produzidos a 100°C e os com melamina formaldeído a 160°C. O autor avaliou propriedades para pisos e concluiu que: para abrasão, os painéis híbridos foram classificados quanto à resistência em AC4, segundo a NBR 14833 (2014), o que significa que foram realizadas 4000 rotações até atingir o ponto inicial de desgaste das amostras; em relação à dureza Janka, os painéis apresentaram classificação de H-1, em acordo com a ANSI A208 (1999); quanto à energia absorvida por impacto, os painéis apresentaram valores inferiores aos da literatura; no tocante à rugosidade superficial, os painéis do estudo em questão apresentaram classificação N10 em acordo com a NBR 8404 (1984).

Nascimento et al. (2016) avaliaram a perda de massa e espessura por meio de ensaios de abrasão em pisos engenheirados produzidos a partir de painéis homogêneos de partículas, com e sem revestimento. Foram considerados dois tipos de painéis, um com resina poliuretana à base de óleo de mamona e outro com ureia formaldeído, ambos com partículas de madeira de *Eucalyptus* sp., pressão de 3,5 MPa e 90°C. Os autores encontraram valores mínimos para perda de massa e espessura dos painéis em ensaios de abrasão em acordo com NBR 14535 (2008), o que valida a aplicabilidade dos mesmos como piso para ambientes internos. E ainda não foi atestada diferença significativa entre os corpos de provas com e sem revestimento ensaiados, assim como houve equivalência dos painéis produzidos com resina de mamona e ureia formaldeído.

Neste contexto, atesta-se a escassez de referências bibliográficas em se tratando de painéis aglomerados de partículas de alta densidade em uso como piso laminado. O que diminuiria a pressão sobre as tão almejadas espécies nativas de madeiras nobres ainda utilizada em pisos de madeira maciça e pisos engenheirados estruturados.

3.3 Propriedades para pisos

3.3.1 Abrasão

A resistência à abrasão trata-se de uma das propriedades avaliadas para a classificação de pisos laminados quanto ao nível de uso e tráfego. O documento normativo NBR 14833-1 (2014) estabelece limites mínimos de desgaste abrasivos, com impacto direto relacionados à vida útil do revestimento, pois, uma vez que o mesmo é prejudicado, além de impacto no caráter estético, o piso fica suscetível à ocorrência de manchas e à penetração de umidade (ABIPILAR, 2014).

Os resultados dos ensaios de abrasão podem ser expressos, em acordo com a NBR 14535 (2008), das seguintes formas:

1. Taxa de desgaste: calculada a partir da massa (mg) perdida a cada 100 ciclos;
2. Perda de massa: obtida através da determinação da massa perdida em função do desgaste aplicado pelo equipamento;
3. Número de ciclos de desgaste: estabelecimento de dois parâmetros comparativos, sendo o primeiro determinado a partir da quantidade de ciclos necessários para se atingir o substrato do piso, e o segundo, a quantidade de ciclos necessários para se remover completamente o filme.

A NBR 14833-1 (2014) apresenta uma classificação de resistência à abrasão de pisos laminados melamínicos em função do ponto inicial de desgaste do piso em relação à quantidade de ciclos aplicados, como pode ser notado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação do piso quanto à resistência à abrasão.

Classe de abrasão	AC2	AC3	AC4	AC5
Número de ciclos	≥ 1500	≥ 2500	≥ 4000	≥ 5000

Fonte: NBR 14833-1, 2014.

A partir da classificação da resistência à abrasão, a NBR 14833-1 (2014) permite que o piso seja classificado quanto ao nível de uso, como na Tabela 2:

Tabela 2: Classificação de pisos laminados melamínicos quanto ao nível de uso.

Nível de uso	Doméstico			Comercial		
Tráfego	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
Classe	21	22	23	31	32	33
Resistência à abrasão	AC2		AC3		AC4	AC5

Fonte: NBR 14833-1, 2014.

3.3.2 Rugosidade superficial

A rugosidade é um dos parâmetros levantados, juntamente com ondulação e perfil primário, para determinação do estado de uma superfície, a qual é medida em micron (NBR ISO 4287, 2002). É uma propriedade muito útil na avaliação de faces usinadas que, segundo Varanda (2016), permite a análise do acabamento da superfície de materiais. Martins (2011)

estudou a rugosidade superficial em painéis colados lateralmente produzidos a partir da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. O autor concluiu que a rugosidade superficial do painel não foi afetada pela maneira como o painel teve sua superfície processada (plaina ou lixa grã 60), apesar das superfícies lixadas apresentarem fibrilações e ranhuras e a plainadas células de vasos abertas.

A rugosidade superficial em um material pode ser inerente a sua natureza, ao processamento que o mesmo sofreu, ou devida a ambos. Os fatores do processo de manufatura que afetam diretamente a superfície de um material são as condições de maquinário e ferramentas, além de geometria de corte. Para avaliação dos níveis de irregularidade de superfícies existem diversas técnicas, como: apalpamento mecânico, técnicas óticas paramétricas e não-paramétricas, microscopia, emissão acústica, ultrassom, técnica pneumática e capacitância (LEMASTER & BEALL, 1996).

A NBR 8404 (1984) estabelece classes de rugosidades com base no desvio aritmético médio do perfil de rugosidade superficial (R_a), como apresentado na Tabela 3:

Tabela 3: Classe de rugosidade de acordo com a NBR 8404 (1984)

Classe de rugosidade	Rugosidade R_a (μm)
N12	50
N11	25
N10	12,5
N09	6,3
N08	3,2
N07	1,6
N06	0,8
N05	0,4
N04	0,2
N03	0,1
N02	0,05
N01	0,025

Fonte: NBR 8404 (1984), p.2.

3.3.3 Endentação por queda de esfera

Este tipo de ensaio tem por objetivo avaliar a resistência a danos ocasionados por possíveis quedas de objetos, de diferentes alturas, ao longo da vida útil de um piso. A ASTM D 2394: 83 (1999) estabelece para o ensaio, a queda de uma esfera em aço a partir de 152 mm de altura até 1,8 metros. O parâmetro avaliado é a endentação residual ocasionada pela absorção de energia, devida à queda da esfera, em função das diferentes alturas, a qual é utilizada para comparação entre pisos.

3.3.4 Endentação causada por carga aplicada em pequena área

Este ensaio é realizado para medir a resistência de pisos a cargas aplicadas por meio de pequenas áreas, como por exemplo, o caso do salto alto ou travas de chuteira. De acordo com a ASTM D 2394: 83 (1999), alguns danos ao piso sempre ocorrem, então, o objetivo desta análise é comparativo entre pisos para determinar o que apresenta melhor desempenho em uso. Sendo assim, o resultado apresentado é mais qualitativo do que quantitativo. A classificação proposta pela norma é visual quanto às injúrias sofridas pelo piso: nenhuma presença, moderada presença, severa presença e completamente danificado. Também são feitas medições das deformações para serem feitas comparações entre pisos.

3.3.5 Esforço rolante

Este teste, segundo a ASTM D 2394: 83 (1999), tem por objetivo simular os danos ocasionados a pisos devido ao arraste móveis, eletrodomésticos ou outros objetos pesados sobre os mesmos. Ainda de acordo com a norma, a profundidade da endentação produzida pelas repetitivas passagens da carga rolante sobre os pisos durante o ensaio está diretamente relacionada a resistência do mesmo ao tipo de esforço aplicado. Valor da endentação é utilizado para comparação entre pisos.

3.3.6 Coeficiente de atrito

Ensaio realizado para determinar os coeficientes de atritos gerados, devidos ao uso de sapatos sobre o piso durante o deslocamento de pessoas (MARTINS et al., 2012; BLANCO-FLÓREZ et al.; 2015). De acordo com a ASTM D 2394: 83 (1999), dois parâmetros são

calculados por meio deste ensaio: os coeficientes de atrito estático e dinâmico. O primeiro é determinado com base na força necessária para mover um corpo a partir de uma posição estacionária e, o segundo, com base na força necessária para manter outro corpo em determinada velocidade de arraste constante.

3.4 Resíduos sólidos como matéria prima de painéis compósitos de alta densidade

3.4.1 Resíduos Sólidos

Em meio a uma sociedade onde são cada vez mais ofertados diferentes produtos e uma economia expansiva em busca constante de novos nichos consumidores, o homem tem gerado grande volume de resíduos. Neste contexto também surgiram problemas relacionados ao descarte e disposição desses rejeitos, seja quanto aos gerados durante o processo produtivo pelas grandes indústrias, seja quanto aos gerados após o consumo em grandes centros urbanos, e a disponibilidade e uso de recursos naturais.

Besen et al. (2010) ressaltam que a gestão e a disposição final de resíduos sólidos em locais inadequados geram impactos ambientais como poluição do solo, de mananciais e corpos d'água, e sociais, como a maior ocorrência de enchentes, maior poluição do ar, proliferação de vetores causadores de doenças. Para Besen e Jacobi (2011), é cada vez mais evidente que a adoção de padrões de consumo e produção mais sustentáveis e o gerenciamento correto de resíduos sólidos podem reduzir problemas relacionados à preservação do meio ambiente e da saúde.

Através deste embate, foi instituída em 2010 a Lei nº 12.305 referente à PNRS, que reúne diretrizes e ações a serem adotadas para a adequada gestão e gerenciamento de resíduos sólidos gerados (Brasil, 2012). Assim, neste íterim, começou a ser exaltada a necessidade de novas prioridades como: a diminuição de resíduos nas fontes geradoras e disposição final no solo, maximização do reaproveitamento e consumo consciente, coleta seletiva e reciclagem com maior participação da sociedade, geração de novas fontes sustentáveis de energia.

Neste contexto, destacam-se os trabalhos de Varanda et al. (2012) e Varanda (2016), nos quais é notado o potencial do reaproveitamento de resíduos agroindustriais, além de resíduos madeireiros proveniente de serrarias, como insumo na produção de painéis compósitos com propriedades para possível empregabilidade como piso engenheirado laminado. Do ponto de vista ambiental, esta possibilidade evitaria a queima de resíduos lignocelulósicos em indústrias, ato ainda comum no Brasil, responsável pela liberação de

diversas substâncias gasosas à atmosfera responsáveis pelo efeito estufa. Com base no exposto, pode-se ainda citar diversas chapas de partículas produzidas a partir de resíduos lignocelulósicos, como as dos trabalhos de: Silva (2006), que utilizou partículas longas de bagaço de cana de açúcar; Sartori et al. (2012), que consorciaram partículas de madeira e de bagaço de cana de açúcar; Gatani et al. (2013), que reaproveitaram casca de amendoim; Ferreira (2013), que associou casca de noz macadâmia e *Eucalyptus saligna*; Cravo et al. (2015), que reutilizaram casca de amendoim e fibra de coco verde. Ainda na mesma linha, pode-se citar Melo et al. (2009), Mendes et al. (2010), Protásio et al. (2015), Guimarães (2012), Trianoski et al. (2013), Barbirato et al. (2014).

Assim, também é possível a produção de painéis de partículas através do reuso de diversos resíduos sólidos oriundos de embalagens alimentícias pós consumo em consórcio com partículas de madeira. Maciel et al. (2004) produziram painéis a partir de partículas de *Pinus elliottii* Engelm, poliestireno (PS) e polietileno tereftalado (PET). Oliveira (2005) fabricaram painéis a partir de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (acetiladas e não-acetiladas) combinadas com partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD) e embalagens cartonadas. Milagres *et al.* (2006) utilizaram polipropileno e o polietileno de alta e baixa densidade em consórcio com madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de painéis aglomerados de partículas. Hillig *et al* (2008) caracterizaram um painel produzido a partir de polietileno de alta densidade e serragem da indústria moveleira. Santos et al. (2011) confeccionaram painéis a partir de resíduos de madeira de Candeia (*Eremanthus erythropappus*) gerado após extração de óleo em consórcio e polietileno tereftalado (PET). Borenstain (2014) desenvolveu um compósito à base de madeira de *Pinus* e *Eucalyptus* e polietileno de alta densidade. Macedo et al. (2015) desenvolveram painéis híbridos a partir de partículas de madeira e película de polipropileno biorientado (BOPP). Macedo et al. (2016) utilizaram pequenas partículas de BOPP em meio a “strands” de *Pinus* sp. na confecção de painéis OSB (Oriented Strand Board).

Todos as pesquisas apresentadas nos parágrafos anteriores, referentes aos painéis de partículas produzidos a partir dos mais diversos tipos de matérias prima residual, servem para exaltar a grande potencialidade do setor no desenvolvimento de novos materiais e produtos. Assim, a partir da modificação de determinados parâmetros do processo produtivo, é possível fabricar painéis com propriedades adequadas para uso como pisos engenheirados laminados.

3.4.1.1 Película de polipropileno biorientado

No contexto sobre resíduos sólidos, é possível considerar o setor alimentício como responsável por grande produção, principalmente pós-consumo. Embalagens alimentícias confeccionadas a partir de polímeros estão bastantes presentes nos lixões e aterros. Contudo, grande parte desses resíduos é descartada em locais incorretos, promovendo a proliferação de epidemias, devido ao acúmulo de água em sua superfície, a ocorrência de enchentes devidas ao entupimento de estruturas de escoamento e drenagem, além da poluição de rios e mares, prejudicando a fauna aquática.

A reciclagem do plástico constitui uma das principais soluções para o reaproveitamento desse resíduo. No entanto, nem todo tipo de plástico é reciclável em larga escala nacionalmente, como o caso da película de polipropileno biorientado (BOPP). Filme termoplástico muito utilizado pela indústria alimentícia na confecção de embalagens flexíveis para alimentos como salgadinhos, biscoitos, barrinhas de cereais, sopas instantâneas, rótulos de embalagens PET, chocolates, dentre outros alimentos. Segundo Boyd et al. (1997), o BOPP é produzido a partir da deformação biaxial do polipropileno seguida da deposição de um filme de alumínio por evaporação térmica, Corredori (2015) afirma que a bi orientação do polipropileno ocasiona melhorias nas propriedades óticas do material e na sua resistência à ruptura. No contexto sustentável, o BOPP é exemplo de material polimérico não priorizado pelas cooperativas de catadores e sucateiros por não ser de interesse da indústria de reciclagem nacional, dadas as características de sua composição. O que o torna um problema para as empresas que o utilizam devido às exigências da PNRS.

Uma possibilidade para o reaproveitamento do BOPP é a produção de painéis de madeira em consórcio com tal material (Macedo *et al.*, 2015; Macedo *et al.*, 2016). Porém, não foi encontrado na literatura consultada nenhum trabalho com foco em painéis aglomerados híbridos de alta densidade, produzidos a partir de partículas de madeira e BOPP, destinados ao emprego como pisos engenheirados laminados.

3.5 Painéis aglomerados de partículas

Segundo ANSI A208.1 (1999), painéis de partículas são produzidos primordialmente por material celulósico, usualmente madeira. Já a NBR 14810.1 (2013) especifica diretamente requisitos mínimos para painéis produzidos apenas de partículas de madeira. Para Melo *et al.* (2009), as chapas aglomeradas não necessitam especificamente serem produzida somente a partir

de madeira, constituindo os diferentes materiais lignocelulósicos uma opção, desde que estes proporcionem a resistência mecânica adequada com densidade previamente determinada. Contudo, como já exposto, é comprovada a possibilidade do uso dos mais diversos resíduos sólidos na confecção de painéis de partículas.

3.5.1 Processo produtivo de painéis aglomerados de partículas: variáveis

Segundo Iwakiri (2005), em razão de seu princípio de fabricação, os painéis de madeira aglomerada apresentam inúmeros benefícios em relação à madeira serrada e painéis compensados. O autor ainda afirma que é possível eliminar o efeito da anisotropia presente na madeira maciça e dos fatores capazes de reduzir a resistência da madeira, além possibilitar o manejo das variáveis do processo produtivo para a obtenção de propriedades físicas e mecânicas desejáveis. Outro fator de grande importância é a desnecessidade de matéria prima de grande qualidade, o que permite o aproveitamento de resíduos de diversos setores, como já mencionado inúmeras vezes, diminuindo assim o custo de produção.

No contexto de pisos, a eliminação da anisotropia da madeira faz com que os pisos engenheirados apresentem propriedades mais desejáveis que os pisos maciços em questão de controle de qualidade quando em uso, como o caso da estabilidade dimensional, como já mencionado anteriormente.

3.5.1.1 Madeira

No setor brasileiro de painéis de madeira, a principal gênero de madeira utilizadas é o *Pinus*, devido às suas características e possibilidades de cultivo em larga escala, função do seu rápido crescimento. No entanto, estão presentes na literatura estudos a respeito de painéis de madeira reconstituída produzidos a partir: *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br (IWAKIRI *et al.*, 2004), Candeia (SANTOS *et al.*, 2011), Eucalipto em consórcio com Paricá e Vassoura (BIANCHE *et al.*, 2012), *Cryptomeria japonica* (TRIANOSKI *et al.*, 2013), Paricá (FERRO *et al.*, 2014), resíduo de serrarias de madeiras tropicais (SIMAL *et al.*, 2014), Cajueiro e Amescla (FREITAS *et al.*, 2017).

Iwakiri (2005) elucida o quão importante é a madeira na confecção de painéis aglomerados. Para o autor, a matéria prima madeireira deve ser de baixa densidade para a densificação adequada do painel durante a conformação de seu colchão até a espessura final desejada. De acordo com Molesmi (1974), madeiras de baixa densidade resultam em alta

razão de compactação dos painéis devido à maior superfície de contato entre as partículas, o que resulta em melhores propriedades de flexão estática do painel. Contudo, Nascimento (2007, comprovou a viabilidade da produção e superioridade de painéis aglomerados de partículas produzidos a partir de madeiras de alta densidade da Caatinga nordestina quanto a propriedades de flexão estática em comparação com chapas produzidas a partir de Eucalipto e Pinus.

Outras variáveis de grande influência no processo produtivo dos painéis aglomerados são o pH da madeira e a presença de extrativos. Espécies com baixo pH podem comprometer a colagem do painel. Intensa presença de extrativos também pode gerar problemas relacionados à cura da resina, além de alto consumo da mesma, higroscopicidade e o aparecimento de bolhas no painel durante a prensagem. A presença de extrativos pode proporcionar também baixa resistência do produto final à umidade. Portanto, a escolha da madeira utilizada é de grande importância, pois a presença de extrativo pode ter influência negativa no processo de fabricação do painel (MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005).

3.5.1.2 Resina

A resina, ou adesivo, é a componente de maior custo do processo produtivo de painéis aglomerados, sendo que a quantidade empregada deve ser determinada em função do peso seco das partículas formadoras do colchão do painel. Os principais adesivos empregados na indústria de painéis atualmente são: ureia-formaldeído (TRIANOSKI *et al.*, 2013; BARBIRATO *et al.*, 2014; BORENSTAIN, 2014), fenol-formaldeído (MACIEL *et al.*, 2004; MACIEL *et al.*, 2004; MENDES *et al.*, 2010), melamina-uréia-formaldeído (IWAKIRI *et al.*, 2005; MENDES *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2012). Sendo que cada tipo de resina promove as diferentes respostas às diversas propriedades dos painéis.

Contudo, vários autores têm utilizado aglutinantes alternativos, de caráter ecologicamente mais correto, na confecção de painéis: resina poliuretana à base de óleo de mamona (FIORELLI *et al.*, 2011; PAES *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2015), tanino-formaldeído (FERNANDES *et al.*, 2003; GONÇALVES, LÉLIS & OLIVEIRA, 2008; MELO *et al.*, 2009) e material plástico extrudado (YAMAJI, 2004; ADHIKARY, PANG & STAIGER, 2008; HILLIG *et al.*, 2008).

Considerando-se a resina poliuretana à base de óleo de mamona, bicomponente, com teor de sólidos de 100%, foram encontrados na literatura diferentes painéis confeccionados a

partir da utilização de 8 a 15% da resina: Fiorelli *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013; Ferro, 2013; Macedo, 2014.

A resina bicomponente em questão teve seu processo de desenvolvimento na Escola de Engenharia de São Carlos, no início dos anos 80, por meio da extração do óleo de mamona da semente da planta “*Ricinus communis*”, espécie bastante abundante em território nacional. Algumas de suas vantagens são: alta resistência a umidade e raios ultravioletas e alta resistência mecânica, sendo considerada uma resina de origem natural (OLMOS, 1992; JESUS, 2000; DIAS, 2008).

3.5.1.3 Partículas

A relação entre o comprimento e espessura, chamada razão de esbeltez, das partículas utilizadas na confecção de painéis aglomerados tem grande influência sobre as propriedades mecânicas, estabilidade dimensional, acabamento e usinabilidade dos painéis produzidos. A geometria das partículas também consiste em fator de grande importância nas propriedades do painel, pois está diretamente relacionada à área de contato entre partículas e o dispêndio relativo de adesivo. Aumento na espessura das partículas e constância de seu comprimento proporcionarão ao painel maior adesão interna. Por outro lado, um aumento do comprimento das partículas e a constância de sua espessura aumentarão a razão de esbeltez das partículas e, por conseguinte, tornaram superiores as propriedades de flexão estática do painel (IWAKIRI, 2005).

Macedo (2014), na tentativa de determinar os parâmetros produtivos de painéis aglomerados produzidos a partir de partículas de madeira e de BOPP, realizou alguns testes preliminares. Um fator de grande influência sobre as propriedades de flexão estática dos painéis produzidos pela autora foi a dimensão das partículas de BOPP. Inicialmente, os painéis foram produzidos com partículas de madeira e BOPP com dimensões de, respectivamente, até 5,5 mm e até 9,5 mm, mas não apresentaram resultados coerentes com a ANSI 208.1 (1999). Contudo, a partir do momento que as partículas de BOPP passaram a ser produzidas com dimensões de até 5,5 mm, as propriedades de flexão estática se aproximaram bastante dos valores mínimos exigidos pela norma mencionada.

Além das dimensões das partículas utilizadas na confecção de painéis, Iwakiri (2005) especifica a importância da umidade, dentre outros fatores produtivos, nas propriedades finais requeridas dos painéis. O mesmo autor considera que a umidade das partículas afeta diretamente a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a

conformação final do painel quanto à espessura desejada, e considera abaixo de 3% a porcentagem de umidade ideal, para as resinas à base de ureia. O autor ressalta a influência do teor de umidade das partículas no controle da umidade final do painel e considera que partículas com alto teor de umidade podem gerar painéis com umidade acima do recomendado, possibilitando a ocorrência de bolhas e vapor durante a prensagem. Para Matos (1988), a umidade das partículas também é de grande importância pois possibilita a transferência de calor da superfície do painel até seu interior, o que promove o aquecimento e a cura da resina.

Em acordo com o proposto pela literatura, Iwakiri *et al.* (2005) produziram painéis a partir de partículas de *Pinus* spp. com teor de umidade 3%; Fiorelli *et al.* (2011) produziram painéis de partículas de bagaço de cana com umidade entre 2 e 3%; Cravo *et al.* (2015) produziram painéis aglomerados a partir de resíduos agroindustriais, onde as partículas de casca de amendoim e fibra de coco utilizadas também se encontravam a umidade de 3%.

3.5.1.4 Formação do colchão do painel

Antes da conformação do colchão de partículas do painel, alguns fatores relevantes e devem ser considerados. Primeiramente, deve-se determinar a densidade e espessura final desejada para o painel e depois buscar a distribuição homogênea das partículas em todo colchão para a confecção de um painel com densidade e propriedades homogêneas, mesmo que a distribuição seja orientada ou randômica, como no caso do OSB. Desejando-se um painel de alta densidade ou de maior espessura, maior deverá ser a quantidade de material presente no colchão do painel e maior a sua altura. Caso a madeira utilizada seja de baixa densidade, também maior será a quantidade de partículas no colchão do painel e maior a sua altura (IWAKIRI, 2005). O último pode ser aplicado a qualquer material parte da composição do colchão do painel, como já apresentado pelos vários trabalhos citados ao longo do texto e suas diversas possibilidades de matéria prima utilizadas na confecção de painéis aglomerados.

3.5.1.5 Prensagem do painel

Após a formação do colchão de partículas, alguns autores consideram a realização da pré-prensagem para melhor conformação do painel, diminuindo a altura do colchão e evitando o desperdício de partículas (BERTOLINI, 2011; VARANDA, 2012; SOUZA, 2012).

Nascimento (2007) considera que o processo de pré-prensagem reduz o tempo de carga e de prensagem e melhora as qualidades finais do painel.

Durante o processo produtivo dos painéis, os objetivos primordiais da prensagem a quente são a cura da resina, densificação e consolidação a espessura pré-determinada do painel. As principais variáveis envolvidas nesta etapa de fabricação consistem na pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem (SALDANHA, 2004).

Para que o painel de madeira aglomerada seja consolidado até a espessura final desejada, uma pressão específica deve ser aplicada durante o processo de prensagem, o que também promove a transferência de adesivo entre as partículas. Para a aplicação da intensidade de pressão adequada, alguns fatores devem ser levados em consideração. Assim, a pressão será maior quanto maior a área de contato entre as partículas. Igualmente maior quanto maior a necessidade de densificação do painel para que alcance densidade mais elevada. A temperatura aplicada durante a prensagem tem por objetivo primordial promover a polimerização e cura da resina, além de diminuir a resistência da madeira à compressão por meio de sua plasticização, o que permite que o painel seja consolidado a espessura final com maior facilidade. A temperatura empregada é função tipo de resina utilizada na produção do painel e inversamente proporcional ao tempo de prensagem, ou seja, tanto maior a temperatura, menor o tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

Barbirato *et al.* (2014) produziram painéis de alta densidade a partir de partículas de casca de amendoim e madeira de Itaúba (*Mezilaurus itauba*). Cravo *et al.* (2015) produziram painéis de baixa densidade (ANSI A.209, 1999) a partir de partículas de casca de amendoim e fibra de casca do coco verde. Os painéis em ambos os trabalhos foram produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona, temperatura de 100°C e pressão de 5 MPa por 10 minutos. Macedo (2014) produziu painéis de partículas de alta densidade com madeira, película de polipropileno biorientado e resina poliuretana à base de óleo de mamona, à temperatura de 150°C e pressão de 4,5 MPa por 10 minutos.

Bianche *et al.* (2012) confeccionaram painéis de partículas de madeira de Vassoura e Eucalipto de densidade média (ANSI A.209, 1999) a partir de ureia-formaldeído a 170°C e 32 kgf/cm² (aproximadamente 3,13 MPa) por 10 minutos. Mesma temperatura, pressão e resina utilizadas por Borenstain (2014), quando produziu painéis de partículas de densidade média da madeira de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. com polietileno de alta densidade. Diferentemente de Barbirato *et al.* (2014) que utilizaram 130°C e 5 MPa por 8 minutos de prensagem na produção de painéis de partículas de alta densidade a partir da casca de amendoim, madeira de Itaúba e uréia-formaldeído.

3.5.2 Documentos Normativos vigentes

Como já discutido, as questões ambientais, atualmente tão evidentes, estimulam cada vez mais o surgimento de tecnologias que visam a preservação dos recursos naturais para manutenção das atividades humanas. A preocupação com a qualidade de vida associada à conscientização ambiental tem promovido mudanças de hábito e o surgimento de alternativa de consumo baseada em novos produtos com marketing mais sustentável.

Os painéis de madeira aglomerada deram origem aos chamados painéis de partículas. Os primeiros foram desenvolvidos na década de 1940, na Alemanha, durante o seu isolamento na Segunda Guerra Mundial, devido à falta de matéria prima de qualidade para produção de painéis compensados (IWAKIRI, 2005), sendo produzidos a partir de madeira em diversos estágios de desagregação. Já os segundos permitem a utilização como matéria prima de diversos materiais lignocelulósicos, como resíduos das atividades de agricultura, além das diversas espécies de madeira, mas também materiais descartáveis pós-consumo, como já explicitado.

Contudo, apesar de possibilitar o reaproveitamento de resíduos antes descartados e também a economia de madeira, estes painéis ainda não são normatizados. Os trabalhos presentes na literatura fizeram uso da norma norte americana ANSI A.208 (1999) e brasileira NBR 14810 (2013). Esta situação não é diferente quanto a documentos normativos relacionados a pisos. A ASTM D 2394 – 83 (1999), utilizada como referência em alguns ensaios deste trabalho, foi desenvolvida para pisos de madeira maciça.

3.5.2.1 ANSI 208.1 (1999)

A American National Standard ANSI 208.1 (1999) define painéis de partículas como painéis produzidos primordialmente a partir de material celulósico, preferencialmente madeira, em forma de pedaços pequenos, ou partículas, aglutinados por uma resina com a possibilidade de adição de aditivos.

A norma classifica os painéis de acordo com a sua densidade:

1. H – Densidade alta: acima de 800 kg/m³;
2. M – Densidade média: entre 640 e 800 kg/m³
3. LD – Densidade baixa: menor de 640 kg/m³

Na Tabela 4 constam os valores requeridos para algumas propriedades físicas e mecânicas para painéis produzidos a partir de resina constituída por formaldeído, em função de sua densidade:

Tabela 4 - Requisitos para painéis aglomerados de acordo com ANSI A.208 (1999)

Painel	MOR ¹ (N/mm ²)	MOE ² (N/mm ²)	TP ³ (N/mm ²)
H-1	16,5	2400	0,9
H-2	20,5	2400	0,9
H-3	23,5	2750	1,0
M-1	11	1725	0,4
M-S	12,5	1900	0,4
M-2	14,5	2250	0,45
M-3	16,5	2750	0,55
LD-1	3	550	0,1
LD-2	5	1025	0,15

¹MOR: módulo de ruptura obtido em ensaios de flexão estática

²MOE: módulo de elasticidade obtido em ensaios de flexão estática

³TP: adesão interna ou resistência à tração perpendicular

3.5.2.2 NBR 14810 (2013)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio da NBR 14810 (2013), define chapas de partículas de madeira de média densidade como sendo um painel constituído por partículas de madeira aglomeradas por meio de resina sob a ação de pressão e calor, com densidade entre 551 e 750 kg/m³.

A norma classifica os painéis de acordo com seu lugar de uso em seis tipos:

1. P2: painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
2. P3: painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
3. P4: painéis estruturais para uso em condições secas;
4. P5: painéis estruturais para uso em condições úmidas;
5. P6: painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos;
6. P7: painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

A NBR 14810 (2013) estabelece os requisitos mínimos (propriedades físicas e mecânicas) para painéis aglomerados de média densidade, ver Tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos para painéis aglomerados de média densidade e espessura variando de 6 a 13mm de acordo com NBR 14810 (2013).

Painel (espessura)	IE ¹ 24h (%)	TP ² (MPa)	MOR ³ (MPa)	MOE ⁴ (MPa)
P2 (6-13mm)	18	0,4	11	1800
P3 (6-13mm)	17	0,45	15	2000
P4 (6-10mm)	19	0,4	16	2300
P5 (6-10mm)	13	0,45	18	2650
P6 (6-10mm)	16	0,6	20	3150
P7 (6-10mm)	10	0,75	22	3350

¹IE: inchamento em espessura por 24h.

²TP: adesão interna ou resistência à tração perpendicular.

³MOR: módulo de ruptura obtido em ensaios de flexão estática.

⁴MOE: módulo de elasticidade obtido em ensaios de flexão estática.

3.6 Conclusão da Revisão Bibliográfica

Através do que foi exposto durante a Revisão Bibliográfica exalta-se o ineditismo deste trabalho e sua importância, uma vez que o mesmo propõe reaproveitamento de um resíduo como o BOPP, que constitui um problema nacional e internacional quanto a sua disposição final após consumo. O tema também engloba o uso de matéria prima renovável e sustentável, como é o caso do resíduo de madeira gerado através de seu processamento.

Atualmente, a questão relacionada a recursos e meio ambiente é pauta mundial, o que tem gerado diversos apelos por mudanças no estilo de vida da população, principalmente, no quesito consumo. Juntando este fator a crise financeira vivenciada nacionalmente, eleva-se a importância do produto desenvolvido neste trabalho que além de seu apelo ecológico também é econômico, uma vez que o mesmo é produzido por matéria prima de baixo custo, além de apresentar grande capacidade de gerar empregos no setor de cooperativas relacionadas a reciclagem.

Como já exposto, o setor florestal brasileiro é dono de enorme potencialidade e tem despertado para a valorização de seus produtos por meio do controle da qualidade produtiva, sendo o setor de piso é um grande exemplo disto graças a ANPM. Assim, aliando a preocupação ecológica e matéria prima de baixo custo a um rígido controle de qualidade

produtiva, os pisos produzidos no Brasil apresentam considerável potencial frente ao mercado nacional e internacional cada vez mais exigente.

4. METODOLOGIA

A produção dos painéis, preliminares e finais, foi realizada no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Com intuito de dar continuidade a trabalhos já realizados (MACEDO, 2012; MACEDO et al., 2015; MACEDO et al., 2016), foram utilizadas na confecção dos painéis: partículas de madeira de *Pinus* sp., geradas a partir de resíduos de serrarias da região de São Carlos, SP; partículas de película de polipropileno biorientado (BOPP), obtidas de embalagens alimentícias pós-consumo cedidas pela empresa PEPSICO do Brasil Ltda.; e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU), fornecida pela Indústria Plural Química.

4.1 Equipamentos utilizados

Para a produção dos painéis e a confecção dos corpos de provas para os ensaios, foram utilizados os seguintes equipamentos:

1. Moinho de facas tipo Willye, modelo MA680, com rotor de facas móveis (Figura 2A);
2. Batedeira Lieme modelo B-12, com capacidade para 12 kg (Figura 2B).

Figura 2 - A) moinho de facas do tipo Willye utilizado na produção das partículas, B) batedeira Lieme utilizada como encoladeira das partículas. Fonte: autora.

Fonte: Autoria própria.

3. Prensa mecânica de fabricação própria (Figura 3A).

4. Prensa hidráulica Marconi modelo MA 098/50, capacidade de 80 toneladas e temperatura máxima de 200° C (Figura 2B).

Figura 3 - A) prensa mecânica, B) bateadeira Lieme utilizada como encoladeira das partículas.

Fonte: Autoria própria

5. Balança eletrônica com sensibilidade 0,001g (Figura 4A).
6. Paquímetro digital (Figura 4B).

Figura 4 - A) Balança analítica utilizada durante o processo produtivo, B) Paquímetro digital de mesmo modelo utilizado para realização de ensaios.

Fontes: A) Autoria própria, B) FERRO, 2017

7. Serra Circular Esquadrejadeira, da marca Invicta, modelo SCI-160 (Figura 5A).
8. Serra Circular, da marca Marajó, modelo KSN 7945 (Figura 5B).

Figura 5- A) Serra circular utilizada para o esquadrejamento dos painéis, B) serra circular utilizada na confecção dos CP's para os ensaios

Fonte: Autoria própria.

5. PAINÉIS PRELIMINARES

5.1 Painéis preliminares I

Inicialmente, para confirmação de parâmetros de produção utilizados em trabalhos anteriores, foram confeccionados seis painéis preliminares com 10mm de espessura e dimensões de 280x280 mm, com as seguintes porcentagens:

A) Três com colchão (640 g), constituídos por 20% de partículas de BOPP e 80% de partículas de madeira;

B) Três com colchão (640 g), constituídos por 30% de BOPP e 70% de madeira.

As partículas foram produzidas no moinho de facas (Figura 1), com dimensões de até 2,8mm (partículas de madeira) e até 0,5mm (partículas de BOPP). Com base em Macedo (2014), foram utilizados 12% de resina poliuretana à base de óleo de mamona a partir do peso seco das partículas constituintes do colchão (640g), temperatura de prensagem 150°C; pressão quatro MPa; tempo de prensagem dez minutos.

Após a cura dos painéis (aproximadamente 72h), foram produzidos três corpos de provas (CP's) por painel para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) por meio de ensaios de flexão estática (ABNT NBR 14810, 2013).

5.2 Painéis preliminares II

Com base nos resultados das propriedades mecânicas dos painéis preliminares I, foram produzidos:

C) quatro painéis com colchão de partículas (640 g), constituídos por 20% de BOPP e 80% de partículas de madeira;

D) quatro com colchão de partículas (640 g), constituídos por 30% de BOPP e 70% de madeira.

As partículas de madeira e BOPP foram produzidas em um moinho de facas (Figura 1) com dimensões de até 0,5 mm. Os parâmetros de produção utilizados, incluindo dimensões e porcentagem de resina, foram os mesmos dos painéis preliminares I (MACEDO, 2014).

Após o processo de cura dos painéis, foram confeccionados três CP's por painel para determinação do MOE e MOR por meio de ensaios de flexão estática (NBR 14810, 2013).

5.3 Painéis preliminares III

A partir da análise dos resultados dos painéis preliminares II, na tentativa de melhorar suas propriedades de flexão estática, produziram-se:

E) três painéis com colchão de partículas (640 g), constituídos por 20% de BOPP, 80% de madeira, 15% de resina poliuretana à base de óleo de mamona. Partículas de BOPP e madeira apresentavam dimensões de até 2,8 mm;

F) três painéis com colchão de partículas (640 g), constituídos por 20% de BOPP, 80% de madeira, 17% de resina poliuretana à base de óleo de mamona. As partículas de BOPP apresentavam dimensões de até 0,5mm e as de madeira de até 2,8mm;

G) três painéis com colchão de partículas (640 g), constituídos por 30% de BOPP, 70% de madeira e 15% de resina poliuretana à base de óleo de mamona. Partículas de BOPP e madeira com dimensões de até 2,8 mm.

Todos os colchões dos painéis foram prensados à temperatura de 150° C, pressão quatro MPa e dez minutos de prensagem, em acordo com Macedo (2014), as dimensões dos painéis foram mantidas em acordo com os painéis preliminares anteriores. Confeccionaram-se três CP's por painel para realização de ensaios de flexão estática visando a determinação do MOE e do MOR (ABNT NBR 14810, 2013).

5.4 Painéis preliminares IV

A partir dos resultados dos painéis preliminares, na tentativa de melhorar suas propriedades de flexão estática, produziram-se:

H) quatro painéis com 20% de BOPP, 80% de madeira e 12% de resina poliuretana.

As partículas de BOPP utilizadas possuíam dimensões de até 2,8 mm e as de madeira de até 8,25mm. Os parâmetros produtivos utilizados foram os mesmos dos painéis I, II e IV, incluindo as dimensões dos painéis (MACEDO, 2014).

Foram realizados ensaios de flexão estática para determinação do MOE e MOR dos painéis, confeccionou-se três CP's por painel.

5.5 Ensaio de Flexão estática realizado (MOE/MOR)

Para determinação dos MOE e MOR, foram utilizados CP's com dimensões nominais de (20 x espessura + 50 mm) por 50 mm de largura. Na Máquina Universal de Ensaio do tipo

Amsler (Figura 6), o CP foi apoiado em suportes com distância entre eles de 20 vezes a espessura do CP, sendo que uma força foi aplicada no ponto médio do seu vão livre (ABNT NBR 14810, 2013).

Figura 6 - A) máquina Universal de Ensaio onde foi realizado o ensaio de flexão estática, B) layout do ensaio.

Fonte: Autoria própria.

5.6 Análise estatística dos resultados

Os fatores investigados no planejamento experimental preliminar foram as frações mássicas de partículas de BOPP [%B] (20%, 30%) em substituição às partículas de madeira de *Pinus* sp. [%P], as faixas granulométricas das partículas de BOPP [AB] (até 0,5mm; até 2,8mm), as faixas granulométricas das partículas de madeira de *Pinus* sp. [AP] (até 0,5mm; até 2,8mm; até 8,25mm) e o teor de adesivo sobre a massa seca de partículas [PU] (12, 15, 17%). Foram delineados 8 tratamentos experimentais distintos (Tr), explicitados na Tabela 6.

Tabela 6 - Tratamentos experimentais delineados do planejamento experimental preliminar

Ident.	Tr	%B	%P	AB (mm)	AP (mm)	PU	Nº
Preliminar I	1	20%	80%	> 0,5	< 2,8	12%	12
Preliminar I	2	30%	70%	> 0,5	< 2,8	12%	12
Preliminar II	3	20%	80%	> 0,5	< 0,5	12%	12
Preliminar II	4	30%	70%	> 0,5	< 0,5	12%	12
Preliminar III	5	20%	80%	> 2,8	< 2,8	15%	9
Preliminar III	6	20%	80%	> 2,8	< 2,8	17%	9
Preliminar III	7	30%	70%	> 2,8	< 2,8	15%	9
Preliminar IV	8	20%	80%	> 2,8	< 8,25	12%	12

- Ident.: identificação do tratamento, Nº: número de amostras por propriedade mecânica avaliada.

As propriedades avaliadas no planejamento preliminar foram MOE e MOR, ambos na flexão estática. Para os tratamentos de 1 a 4 e o tratamento 8 foram confeccionados 12 corpos de prova para a determinação das propriedades mecânicas supracitadas, e 9 amostras para cada um dos tratamentos de 5 a 7, resultando em 174 determinações (87 para o MOE e 87 para o MOR).

Modelos de regressão multivariáveis (Equação 1), baseados em análise de variância (ANOVA), foram utilizados para a estimativa dos valores do MOE e do MOR dos painéis. A ANOVA foi considerada ao nível de 5% de significância (α), possibilitando avaliar, pelo modelo proposto, a influência de cada fator e da interação entre ambos nos valores do módulo de elasticidade e no módulo de resistência na flexão estática. A normalidade e a independência dos resíduos foram avaliadas com o uso do teste de Anderson-Darling e do gráfico de resíduos versus ordem, respectivamente, como forma de validação da análise de variância. Pela formulação das hipóteses, P-valor menor que o nível de significância implica rejeitar a hipótese nula (modelos e/ou coeficientes não representativos), e de aceitá-la em caso contrário.

$$\begin{aligned}
 Y = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \%B + \beta_2 \cdot AB + \beta_3 \cdot AP + \beta_4 \cdot PU + \beta_5 \cdot \%B \cdot AB + \beta_6 \cdot \%B \cdot AP + \beta_7 \cdot \%B \cdot PU + \\
 & \beta_8 \cdot AB \cdot AP + \beta_9 \cdot AB \cdot PU + \beta_{10} \cdot AP \cdot PU + \beta_{11} \cdot \%B \cdot AB \cdot AP + \beta_{12} \cdot \%B \cdot AB \cdot PU + \\
 & \beta_{13} \cdot \%B \cdot AP \cdot PU + \beta_{14} \cdot AB \cdot AP \cdot PU + \beta_{15} \cdot \%B \cdot AB \cdot AP \cdot PU + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Na Equação (1), Y denota a variável dependente (MOE ou MOR), β_i são os coeficientes ajustados pelo método dos mínimos quadrados e ε consiste no erro aleatório do modelo.

Entendida a influência dos fatores e das interações entre ambos nos valores das propriedades mecânicas de interesse, o Teste de Tukey, também ao nível de 5% de significância, foi utilizado para avaliar a influência de cada um dos oito tratamentos (Tabela 1) nos valores do MOE e do MOR dos painéis fabricados. Assim, é possível identificar o tratamento que forneceu o maior valor médio, o tratamento associado ao segundo maior valor médio (assim sucessivamente) e os tratamentos que apresentaram resultados equivalentes. Do teste de Tukey, “A” denota o nível do fator (tratamento) de maior valor médio, “B” está associado ao nível do fator de segundo maior valor médio e letras iguais implicam níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes.

5.7 Resultados e discussões

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios ($\bar{x}$), os coeficientes de variação (CV) e os intervalos de confiança ao nível de 95% (IC) das propriedades mecânicas de MOE/MOR referentes a cada um dos oito tratamentos experimentais estipulados.

Tabela 7- Resultados das propriedades mecânicas dos painéis para cada tratamento

Tr 1	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)	Tr 2	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)
MOE	1741	14,92	[1576; 1905]	MOE	1498	11,29	[1390; 1605]
MOR	16,81	10,01	[15,74; 17,87]	MOR	14,77	10,95	[13,74; 15,79]
Tr 3	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)	Tr 4	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)
MOE	1791	16,30	[1604; 1976]	MOE	1510	10,70	[1407; 1612]
MOR	16,26	16,75	[14,53; 17,99]	MOR	13,45	11,33	[12,49; 14,42]
Tr 5	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)	Tr 6	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)
MOE	1420	11,73	[1291; 1547]	MOE	1670	11,23	[1526; 1813]
MOR	9,77	16,64	[8,52; 11,02]	MOR	12,05	8,98	[11,22; 12,89]
Tr 7	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)	Tr 8	$\bar{x}$ (MPa)	CV (%)	IC (95%)
MOE	1120	12,04	[1017; 1224]	MOE	1497	6,45	[1436; 1559]
MOR	8,98	10,15	[2,28; 9,68]	MOR	11,11	8,29	[10,53; 11,70]

Na Figura 7 são apresentados os gráficos com os valores médios e intervalos de confiança do MOE e do MOR em função dos tratamentos. Cabe destacar que os intervalos de confiança para a média consistem na estimativa do valor médio das respectivas propriedades avaliadas para toda a população de painéis fabricados de acordo com cada tratamento.

Figura 7- Variação das propriedades mecânicas em função do tratamento experimental delineado: MOE (a), MOR (b).

Em acordo com a norma ANSI A208.1 (1999), os painéis preliminares produzidos pelos tratamentos 1 e 3 foram classificados quanto ao seu módulo de elasticidade em M1. Enquanto que os painéis dos tratamentos 2, 4, 5, 6, 7 e 8 em LD2. Em relação ao módulo de ruptura, os painéis do tratamento 1 foram classificados em H1, os do tratamento 2 em M2, os do tratamento 3 em, aproximadamente, H1 e M3, os do tratamento 4 em M5, os dos tratamentos 5 e 7 em LD2 e os dos tratamentos 6 e 8 em M1.

Por meio da NBR 14810 (2013), os painéis preliminares produzidos pelos tratamentos 1 e 2 puderam ser classificados aproximadamente quanto ao seu módulo de elasticidade em P2, sendo que os painéis dos demais tratamentos não alcançaram os valores mínimos exigidos pela norma. Quanto ao módulo de ruptura, os painéis dos tratamentos 1 e 3 foram classificados em P4, os do tratamento 2 em aproximadamente P3, os dos tratamentos 4, 6 e 8 em P2, enquanto que os painéis dos tratamentos 5 e 7 não alcançaram o mínimo exigido para serem classificados.

Em comparativo com os valores de referência do documento normativo europeu BS EN 312 (2003) em relação ao módulo de elasticidade, apenas os painéis do tratamento 1 e 3 alcançaram valores aproximados da classificação P2. Quanto ao módulo de ruptura, os painéis do tratamento 1 podem ser classificados como P4, do tratamento 2 em aproximadamente P3, do tratamento 3 em P4 e do tratamento 4 em P2.

Com base nas classificações realizadas nos parágrafos anteriores, é importante ressaltar que apenas os Documentos Normativos ANSI A208.1 (1999) considera painéis de alta densidade. Como os resultados desse trabalho demonstram potencialidade para aplicação dos painéis híbridos como piso considera-se mais relevantes propriedades de abrasão, rugosidade superficial, queda de esfera, endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas, esforço rolante e atrito.

A Equação 2 expressa o modelo de regressão (com a exclusão de fatores e interações não possíveis de serem estimadas e de outliers) obtido para a estimativa dos valores do MOE em função das variáveis %B, AB, AP e PU juntamente com o coeficiente de determinação (R^2). Na Tabela 8 são apresentados os resultados da ANOVA do modelo de regressão e a Figura 8 ilustra os resultados dos testes de validação da ANOVA.

$$\text{MOE} = 4013,9 - 51,4397\%B - 1025,54\cdot AB + 181,116\cdot AP - 73,6247\cdot PU + 31,5684\%B\cdot AB - 10,1389\%B\cdot AP - 2,81553\cdot AB\cdot AP \quad [R^2=77,49\%] \quad (2)$$

Tabela 8 - Resultados da ANOVA do modelo de regressão para o MOE.

Fonte	P
Regressão	0,000
%B	0,000
AB	0,000
AP	0,192
PU	0,000
B·AB	0,000
B·AP	0,223
AB·AP	0,980

Figura 8 - Resultados dos testes de validação da ANOVA sobre os resíduos obtidos para a estimativa do MOE – normalidade (a), independência (b).

O ajuste para a estimativa dos valores de MOE apresenta normalidade na distribuição e independência dos resíduos, validando o modelo da ANOVA. O valor do coeficiente de determinação (77,49%) confirma a boa qualidade do modelo.

Da Tabela 8, o modelo encontrado e os termos %B, AB, PU e B·AB foram considerados significativos pela ANOVA (P-valor < 0,05), o mesmo não ocorreu com os termos AP e AB·AP (P-valor > 0,05).

Pela ANOVA do modelo de regressão pode constatar que os fatores individuais %B, AB e PU promoveram reduções significativas nos valores do módulo de elasticidade dos painéis, e que a interação entre os fatores %B·AB resultou em aumento significativo dessa propriedade.

A Equação 3 expressa o modelo de regressão (com a exclusão de fatores e interações não possíveis de serem estimadas e de outliers) obtido para a estimativa dos valores de MOR

em função de %B, AB, AP e PU juntamente com o coeficiente de determinação (R^2). Na Tabela 9 são apresentados os resultados da ANOVA do modelo de regressão e na Figura 9 está ilustrado os resultados dos testes de validação da ANOVA.

$$\begin{aligned} \text{MOR} = & 46,1761 - 0,338352 \cdot \%B + 0,904731 \cdot AB + 4,21091 \cdot AP - \\ & 2,0561 \cdot PU + 0,0608008 \cdot \%B \cdot AB + 0,155381 \cdot \%B \cdot AP - 7,08827 \cdot AB \cdot AP \quad (3) \\ [R^2 = & 79,53\%] \end{aligned}$$

Tabela 9 - Resultados da ANOVA do modelo de regressão para o MOR.

Fonte	P
Regressão	0,000
%B	0,000
AB	0,707
AP	0,007
PU	0,000
B·AB	0,488
B·AP	0,095
AB·AP	0,000

Figura 9 - Resultados dos testes de validação da ANOVA sobre os resíduos obtidos para a estimativa do MOR – normalidade (a), independência (b).

O ajuste obtido para a estimativa de MOR dos painéis apresenta normalidade na distribuição e independência dos resíduos, validando assim o modelo da ANOVA, e o valor do coeficiente de determinação de 79,53% evidencia a boa qualidade do modelo.

Da Tabela 9, o modelo encontrado e os termos %B, AP, PU e AB·AP foram considerados significativos pela ANOVA (P-valor < 0,05), o mesmo não ocorreu com os termos AB e B·AB e B·AP (P-valor > 0,05).

Pela ANOVA do modelo de regressão pode concluir que os fatores individuais %B, PU e AB·AP promoveram reduções significativas nos valores da resistência na flexão estática dos painéis, e que o fator AP (dimensão das partículas) resultou em aumento significativo dessa propriedade.

Na Tabela 10 está apresentado os resultados do teste de Tukey com a consideração de cada tratamento (Tr) estipulado como um nível desse fator.

Tabela 10 - Resultados do teste de Tukey.

Fator	Tr 1	Tr 2	Tr 3	Tr 4	Tr 5	Tr 6	Tr 7	Tr 8
MOE	A	BC	A	BC	C	ABC	D	BC
MOR	A	AB	A	BC	DE	CD	E	DE

Da Tabela 10, nota-se que os Tr 1 ou Tr 3 forneceram os melhores valores tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura na flexão estática. Cabe destacar que os dois tratamentos diferem entre si apenas pela faixa granulométrica das partículas de *Pinus*. Os painéis de ambos os tratamentos foram classificados em acordo com NBR 14810 (2013) quanto ao seu módulo de elasticidade em painéis não estruturais para uso em condições secas. Quanto ao seu módulo de ruptura, foram enquadrados em painéis estruturais para uso em condições secas, podendo ser aplicados como painéis não estruturais para uso em condições úmidas.

Contudo, para a produção dos painéis finais destinados aos testes de propriedades específicas para piso foi escolhido o tratamento 1. A escolha foi realizada em função dos painéis de madeira presentes no mercado serem produzidos com partículas de madeira com dimensões nesta mesma faixa de comprimento.

6. PAINÉIS FINAIS

Após a avaliação de todos os tratamentos aplicados nos painéis preliminares, escolheu-se o tratamento do painel preliminar I, pois o mesmo apresentou melhores propriedades de flexão estática. Então, foram produzidos seis painéis com colchão de partículas de espessura de 10 mm com dimensões de 280x280 mm, constituído por 20% de BOPP e 80% de madeira, com partículas de BOPP com dimensões até 0,5 mm e as de madeira de até 2,8 mm, 12% de resina poliuretana à base de óleo de mamona, temperatura de 150°C, 4 MPa de pressão e 10 minutos de prensagem.

Neste tópico é especificado com mais detalhes o processo produtivo dos painéis. Consideram-se semelhantes os processos produtivos dos painéis preliminares e finais, diferenciando-se um do outro por alguns parâmetros de produção, como porcentagem de resina e dimensões das partículas.

6.1 Geração das partículas

A empresa PEPSICO do Brasil Ltda. cedeu embalagens de BOPP, pós-consumo, para realização deste experimento. As embalagens foram transformadas em partículas sem a realização prévia de qualquer lavagem ou higienização. As partículas de dimensão de até 0,5 mm foram produzidas com o auxílio de um moinho de facas (Figura 1) equipado com peneiras de abertura de 0,5 mm (Figura 10).

Figura 10 - Peneira utilizada para produção das partículas de BOPP utilizadas na produção dos painéis finais.

Fonte: Autoria própria.

As partículas de madeira foram produzidas a partir do resíduo gerado pelo processamento por desgrossadeira de peças de *Pinus* sp., doado por uma serraria de São Carlos. O resíduo foi processado por um moinho de facas com peneiras de abertura 2,8 mm, para gerar partículas de madeira com dimensões determinadas (Figura 11).

Figura 11 - Peneira utilizada para produção das partículas de madeira utilizadas na produção dos painéis finais.

Fonte: Autoria própria.

Os resíduos de madeira se encontravam em umidade em torno de 12%, o que dispensou a sua secagem antes do processo produtivo dos painéis. As embalagens de BOPP, material não higroscópico e sem umidade superficial, foram consideradas com umidade 0%.

6.2 Aplicação da resina

Com base na massa total das partículas constituintes do colchão do painel de 640g, determinada com a finalidade de se produzir um painel de maior densidade, foram mensuradas as massas das partículas de madeira e de BOPP e dos componentes da resina poliuretana à base de óleo de mamona (poliol e pré-polímero) a partir dos tratamentos finais estabelecidos, como apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Massa dos componentes utilizados na produção dos painéis.

Tratamentos	BOPP (g)	Madeira (g)	Pré- polímero (g)	Poliol (g)
20% de BOPP e 80% de madeira	128	512	38,4	38,4

Assim, após as massas das partículas de madeira e de BOPP devidamente determinadas, as mesmas foram encaminhadas para uma encoladeira adaptada (Figura 2) para homogeneização com os componentes da resina poliuretana (Figura 12).

Figura 12 - Partículas de madeira e BOPP, já homogeneizadas com a resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Fonte: Autoria própria.

6.3 Processo de prensagem do painel

As partículas encoladas então foram alocadas em um molde, para montagem do painel na forma de monocamada (Figura 13). O mesmo foi encaminhado para a pré-prensagem (Figura 3), com o objetivo de melhor realizar melhor sua conformação.

Figura 13 - Partículas de madeira e BOPP, alocadas no molde antes da pré-prensagem.

Fonte: Autoria própria.

Após a pré-prensagem, o painel foi encaminhado a uma prensa hidráulica munida de controle de temperatura e pressão (Figura 3) onde foi prensado a 150°C, 4 MPa de pressão por 10 minutos para conformação do colchão e cura da resina (Figura 14).

Figura 14 - A) colchão do painel formado após a pré-prensagem, B) encaminhado à prensa munida de temperatura e pressão para cura da resina e conformação do painel

Fonte: Autoria própria.

Retirados da prensa (Figura 15), os painéis permaneceram em processo de cura por 72 horas, antes de serem esquadrejados para confecção dos CP's.

Figura 15 - PAINEL recém retirado da prensa.

Fonte: autora.

6.4 Ensaios realizados

6.4.1 Ensaios físicos

a) Densidade aparente (ρ)

Para a determinação da densidade aparente dos painéis produzidos, foram utilizados CP's com dimensões nominais de 50x50 mm. As massas e volumes dos CP's foram determinados individualmente por meio de uma balança analítica de sensibilidade de 0,1g e um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01mm (Figura 3), respectivamente, (NBR 14810, 2013).

b) Inchamento em espessura (Inc)

Para a determinação das propriedades de inchamento (NBR 14810, 2013) em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis produzidos foram utilizados CP's com dimensões nominais de 50x50 mm. As espessuras dos CP's foram determinadas individualmente com um paquímetro digital (Figura 3B) com sensibilidade de 0,01mm, antes a imersão dos CP's em água a aproximadamente 20°C, e após a imersão por períodos de 2 e 24 horas. Contudo, é importante ressaltar que o documento normativo utilizado para a

realização dos ensaios apresenta apenas valores de referência para inchamento em espessura após 24h de imersão em água, não apresentando para 2h.

c) Absorção de água (Abs)

Para a determinação das propriedades de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis produzidos foram utilizados CP's com dimensões nominais de 50x50 mm. As massas dos CP's foram determinadas individualmente com uma balança analítica de sensibilidade de 0,1g (Figura 3A), antes a imersão dos CP's em água a aproximadamente 20°C, e após a imersão por períodos de 2 e 24 horas. Estes ensaios não são apresentados em nenhum documento normativo, então os valores de referências utilizados foram de trabalhos já realizados: Macedo, 2012; Macedo et al., 2015; Macedo et al., 2016.

d) Porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM)

Para a determinação da densidade aparente, distribuição e o volume dos poros e a área específica dos painéis por porosimetria por intrusão de mercúrio foram utilizados CP's de dimensões nominais de 14x23 mm, os quais foram secos em estufas com circulação de ar a 50°C por um período de 24 horas. Os ensaios foram conduzidos no Instituto de Física de São Carlos (IFSC), USP.

Para a realização do ensaio foi utilizado um Micromeritics Poresizer (Figura 16) e os seguintes parâmetros: mercúrio com tensão superficial de 0,485 g/cm² e densidade de 13,533 g/ ml³, ângulo do contato do avanço e retrocesso de 130°, tempo de equilíbrio entre a baixa e alta pressão de 10 segundos. Este ensaio foi realizado com base em Varanda (2016).

Figura 16 - Equipamento utilizado para ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio, Micromeritics Poresizer

Fonte: VARANDA, 2016.

6.4.2 Ensaios mecânicos

a) Resistência à tração perpendicular (TP)

Para determinar a adesão interna dos painéis produzidos, foram utilizados CP's com dimensões nominais de 50x50 mm, sendo suas dimensões determinadas com o auxílio de um paquímetro com sensibilidade de 0,01mm (Figura 3 B). Assim, os CP's foram colados em suportes de metais que foram encaixados em um acessório específico na máquina universal de ensaios (Figura 14A), para serem tracionados perpendicularmente à sua superfície (Figura 17), até a ruptura (NBR 14810, 2013).

Figura 17- Dispositivo utilizado para ensaio de resistência à tração perpendicular realizado em Máquina de Ensaio Universal Amsler.

Fonte: Autoria própria.

b) Arrancamento de parafuso face e topo (RAP_f/RAP_t)

Para determinação da resistência ao arrancamento de parafuso, foram utilizados CP's com dimensões nominais de 50x50 mm. Para arrancamento de face, um parafuso foi centrado na superfície do CP com profundidade de $15 \pm 0,5$ mm. Então foi acoplado em um dispositivo na máquina universal de ensaios e acionado o sistema de tração (Figura 18). Para o arrancamento de topo, o mesmo procedimento foi aplicado, sendo a única diferença que o parafuso foi centrado no topo do CP (NBR 14810, 2013).

Figura 18 - Dispositivo para ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso, A) face e B) topo, realizados em Máquina de Ensaio Universal Amsler

Fonte: Autoria própria.

6.4.3 Ensaios específicos para materiais empregados como pisos

a) Abrasão (Ab)

Para determinar a resistência à abrasão, foram utilizados CP's com dimensões nominais de 100x100 mm. O equipamento usado para gerar abrasão foi um Taber Rotary Platform Abrasion Tester Model 5135/5155 com 500 gramas em cada braço de sustentação dos rebolos (Figura 19). Os CP's foram pesados e medidos com auxílio de micrômetro em desgaste de espessura a cada 300 ciclos até 2700 ciclos (NBR 14833-1 (2008)).

Figura 19 - Equipamento utilizado para gerar abrasão no CP e testar sua resistência.

Fonte: Autoria própria.

b) Rugosidade superficial (RS)

Para determinação da rugosidade superficial dos painéis foram utilizados CP's com dimensões nominais de 75x175 mm e um rugosímetro da marca Taylor Hobson, modelo surtronic 25 (Figura 20). Os parâmetros de leitura definidos foram: amplitude máxima do apalpador do rugosímetro durante a leitura de 300 microns; comprimento de amostragem de 2,5 mm; comprimento de avaliação de 12 mm e filtro do tipo 2CR (NBR 4287, 2002).

Figura 20 - Rugosímetro utilizado nos ensaios de rugosidade superficial.

Fonte: Autoria própria.

c) Endentação por queda de esfera (QE)

O ensaio consiste em deixar cair, de diferentes alturas, uma esfera de aço com dimensão nominal de 51 mm de diâmetro e massa de 535g, denominada unidade de impacto, sobre os CP's com dimensões nominais de 120X420 mm. O equipamento (Figura 21) onde a esfera é presa por um eletroímã é constituído por uma base plana em ferro liso, doze estratificações de altura, uma a cada 15 cm, sendo a altura mínima de 15 e máxima de 180 cm. Utilizou-se uma folha de carbono sobre os CP's para evidenciar a área de impacto facilitando a medição da depressão (ASTM D 2394-83, 1999).

As leituras das depressões foram realizadas com relógio comparador (0,01 mm), sendo quatro externas e uma internamente à depressão, o valor final foi calculado com base na diferença entre a média das leituras externas subtraída da leitura interna. As endentações avaliadas foram referentes às alturas de 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 e 180 cm.

Figura 21 - Aparato utilizado para ensaio de queda de esfera.

Fonte: Autoria própria.

d) Endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas (Ed)

O ensaio consiste em um movimento mecânico, sobre os CP's de com dimensões nominais de 70x210 mm, com a velocidade 0,06 m/s, de um rolo de 457 mm de comprimento e 97 mm de diâmetro, dotado de 225 dentes cilíndricos com diâmetro de 5 mm uniformemente distribuídos sobre sua superfície (Figura 22). No total foram realizados 100 movimentos de “vai e vem” sobre os CP's, sendo um dos movimentos definido com uma única passagem do rolo sobre o CP's. O equipamento em estrutura de ferro e transfere uma carga para os CP's por meio do rolo de 890 N (ASTM D 2394-83, 1999).

Foram realizadas cinco medições das depressões após 50 e 100 viagens com auxílio de um relógio comparador (0,01 mm), sendo cinco leituras realizadas, quatro na periferia da

endentação e uma no interior. O valor final da depressão foi calculado pela média das leituras externas menos a leitura interna.

Figura 22 - Equipamento utilizado em ensaio de endentação.

Fonte: Autoria própria.

e) Esforço de carga rolante (ER)

O ensaio consiste em determinar o índice de resistência dos pisos por intermédio da medida da profundidade produzida por uma roda de aço (Figura 23), rolada uniformemente (“vai e vem”) várias vezes sobre CP’s com dimensões nominais de 70x210 mm, considerando-se uma força total sobre a roda de 890 N e uma velocidade média de deslocamento de 0,06 m/s. Os CP’s foram posicionados à 45° em relação ao sentido de deslocamento da carga, em uma máquina de base em ferro de 1750x400 mm.

No total foram realizados 50 movimentos completos. A profundidade foi medida com um relógio comparador (0,01 mm) no décimo, vigésimo quinto e quinquagésimo movimentos completos, sendo realizadas três leituras internas e seis externas. Em todos os

ensaios foi considerada a passagem da roda de aço na região central dos CP's para evitar efeitos de instabilidade de aplicação da carga na borda dos mesmos.

Figura 23 - Equipamento utilizado em ensaio de esforço rolante.

Fonte: Autoria própria.

f) Atrito (A_t / A_d)

Este ensaio foi realizado por meio do acoplamento de um artefato específico de aço, com formato aproximado de um cubo, a uma célula de carga com capacidade de 5000 N acoplada a uma máquina de ensaios universal de 30 toneladas por um cabo de aço adaptado (Figura 24). Tal artefato possuía massa de 11,5 kg e era revestido na parte inferior por couro de sola de sapato. Utilizou-se CP's com dimensões nominais de 120x250 mm, e foi determinada a força necessária para mover cada CP (atrito estático) na velocidade de 1,27 mm/min e a força média necessária para manter cada CP em movimento (atrito dinâmico) na velocidade de 51 mm/min. Para cálculo do coeficiente de atrito estático e dinâmico, foram

utilizadas as razões entre a força máxima e média, respectivamente, e a massa do artefato (ASTM D 2394-83, 1999).

Figura 24 - Equipamento utilizado para determinação de atrito estático e dinâmico nos CP's.

Fonte: PADILHA et al., 2006.

6.5 Resumo sobre os ensaios realizados nos painéis finais

Na Tabela 12 estão relacionados os ensaios realizados, os documentos normativos utilizados e o número de CP's por painel. Os ensaios para determinação de densidade aparente, inchamento em espessura, absorção de água, MOR e MOE na flexão estática, resistência à tração perpendicular, arrancamento de parafuso, abrasão e rugosidade superficial foram realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio foi realizado no Instituto de Física de São Carlos (IFSC), Universidade de São Paulo (USP). Os ensaios específicos para pisos, como queda de esfera, endentação, esfera rolante e atrito, foram realizados no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais (DCF), da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Tabela 12 - Ensaaios realizados, normas utilizadas e quantidade de corpos de prova.

Ensaaios	Normas	CP's
Densidade aparente (ρ)	ABNT NBR 14810 (2013)	3/painel
Inchamento em espessura (Inc)	ABNT NBR 14810 (2013)	3/painel
Absorção de água (Abs)	-	3/painel
Porosimetria (PIM)	-	1
Resistência à tração perpendicular (TP)	ABNT NBR 14810 (2013)	2/painel
Arrancamento de parafuso (face) (RAP_f)	ABNT NBR 14810 (2013)	2/painel
Arrancamento de parafuso (topo) (RAP_t)	ABNT NBR 14810 (2013)	2/painel
Abrasão (RAbr)	ABNT NBR 14833-1 (2008)	3/painel
Rugosidade superficial (Rug)	ABNT NBR 4287 (2002)	2/painel
Edentação por queda de esfera (QE)	ASTM D 2394-83 (1999)	1/painel
Edentação por cargas em pequenas áreas (Ed)	ASTM D 2394-83 (1999)	1/painel
Esforço rolante (CRol)	ASTM D 2394-83 (1999)	1/painel
Atrito (Aest/Adin)	ASTM D 2394-83 (1999)	1/painel

6.6 Resultados e discussões

Na Figura 25 está ilustrado os valores médios, os intervalos de confiança (95% de confiabilidade) e os coeficientes de variação (CV) das propriedades físicas de Densidade Aparente (ρ), Inchamento em Espessura 2 (Inc-2h) e 24 horas (Inc-24h) e Absorção de Água 2 (Abs-2h) e 24 horas (Abs-24h).

Figura 25 - Resultados das propriedades físicas dos painéis eleitos: densidade [ρ] (a); inchamentos em espessura após 2 [Inc-2h] (b) e 24 horas [Inc-24h] (c) de imersão em água; absorção após 2 [Abs-2h] (d) e 24 horas [Abs-24h] (e) de imersão em água.

Os painéis deste estudo apresentaram densidade aparente média de 768 kg/m³, com valores variando de 683 a 846 kg/m³, o que os classifica como de alta densidade em acordo com a NBR 14810 (2013). Porém, quando comparado com a ANSI A208.1 (1999), os painéis são classificados como de média densidade por estarem abaixo de 800 kg/m³. Em relação aos painéis aglomerados produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona a partir de

diversos tratamentos delineados por Varanda (2016), a densidade aparente apresentou valores médio de 892 a 1022 kg/m³, e dos painéis homogêneos de partículas confeccionados por Nascimento et al. (2016) a partir de resíduos lignocelulósicos e resina poliuretana à base de óleo de mamona, de aproximadamente 850 kg/m³, a densidade dos painéis deste trabalho encontra-se inferior. Estes resultados encontram-se resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores deste trabalho e da literatura para densidade aparente.

	Densidade (kg/m ³)
Este estudo	768
Varanda (2016)	892 a 1022
Nascimento et al. (2016)	850

Em relação a propriedade de inchamento em espessura devido a imersão em água por 2 horas, os painéis deste trabalho apresentaram média de 1,63%, muito inferiores aos 10% requeridos pela NBR 14810 (2012) para painéis estruturais para uso em condições severas de carga em ambientes úmidos (P7). Para o inchamento em espessura 24 horas, os painéis apresentaram média de 4,03%. Em seu trabalho, Varanda (2016) encontrou para inchamento em espessura 2 e 24 horas, valores médios de 2,6 a 7,8% e de 11,3 a 22,7%, respectivamente, para painéis produzidos a partir de diferentes tratamentos. Quanto a propriedade de absorção de água devido a imersão por 2 e 24 horas em água, os painéis híbridos aqui propostos apresentaram porcentagem médias de 8,30 e 19,95%, respectivamente. Os painéis de Varanda (2016) apresentaram porcentagens médias de absorção de água, para os diversos tratamentos delineados, de 2,9 a 12,5% e de 12,8 a 30,8%, após 2 e 24 horas, respectivamente. Assim, a partir dos valores apresentados para as duas propriedades físicas avaliadas, considera-se o comportamento dos painéis híbridos deste trabalho superior ao dos painéis desenvolvidos por Varanda (2016). Estes resultados encontram-se resumidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores deste trabalho e da literatura para inchamento em espessura e absorção de água

	Este estudo	Varanda (2016)
Inchamento 2h (%)	1,63	2,6 a 7,8
Inchamento 24h (%)	4,03	11,3 a 22,7
Absorção de Água 2h (%)	8,3	2,9 a 12,5
Absorção de Água 24h (%)	19,95	12,8 a 30,8

Baseando-se no trabalho de Albuquerque (2002) os resultados apresentam-se coerente, uma vez que é esperado maior inchamento em espessura em painéis com maior densidade, de acordo com o autor. A superioridade das propriedades físicas de inchamento em espessura e absorção de água dos painéis deste estudo é decorrente, em parte, pelo BOPP presente na matriz constituinte do mesmo ser hidrofóbico devido às características de sua produção, de acordo com Garcia et al. (1989) e Talgatti et al. (2017). E segundo Zau et al. (2014), a outra contribuição é devido a resina poliuretana à base de óleo de mamona ser hidrofóbica.

Os resultados das amostras analisadas por porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM) estão presentes na Tabela 15.

Tabela 15 - Características porosimétricas das amostras analisadas.

Característica Porosimétricas	
Volume total de intrusão (mL/g)	0,517
Área total de poros (m ² /g)	24,439
Diâmetro médio dos poros (µm)	7,270
Densidade (g/mL)	0,793
Densidade aparente (g/mL)	1,344
Porosidade (%)	41,010

O volume total de intrusão encontrado neste trabalho encontra-se superior ao encontrado por Bertolini (2011) e Varanda (2012). Sendo que o primeiro autor encontrou porosidades de 28,59 a 29,20% em painéis de partículas produzidos a partir de *Pinus* tratado, e o segundo de 25,50 a 27,60% em painéis de partículas de *Eucalyptus* sp. e casca de aveia. Varanda (2016) encontrou valores de porosidade variando entre 27,0 e 33,7% para painéis com casca de aveia, madeira e resina poliuretana à base de óleo de mamona, para o Angelim

Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) de 22,6 %, para Cumaru (*Dypterix odorata*) de 32,4% e para Jatobá (*Hymenaea courbaril*) de 34,5%, valores inferiores ao apresentado por este trabalho. Estes resultados encontram se resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores deste trabalho e da literatura para porosidade

	Porosidade (%)
Este estudo	41,01
Bertolini (2011)	28,59 a 29,20
Varanda (2012)	25,50 a 27,60
Varanda (2016): painéis	27,0 a 33,7
Varanda (2016): Angelim Vermelho (<i>Dinizia excelsa Ducke</i>)	22,6
Varanda (2016): Cumaru (<i>Dypterix odorata</i>)	32,4
Varanda (2016): Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	34,5

É possível observar que os painéis deste estudo apresentaram valores de porosidade maiores em 81,46% que a da espécie de Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*), 26,57% maior que a de Cumaru (*Dypterix odorata*) e 18,86% maior que a de Jatobá (*Hymenaea courbaril*).

O fato de o painel deste trabalho ser mais poroso que os da literatura consultada pode ser explicado pela falta de ancoragem do adesivo nas partículas de polímero, como explica Santos et al. (2011) em seu estudo, ou pela falta de compactação durante o processo produtivo do painel, de acordo com Eleutério (2000). Milagres et al. (2006) também ressaltam as altas temperaturas necessárias para a fusão do polipropileno.

Na Figura 26 está ilustrado os valores médios, os intervalos de confiança (95% de confiabilidade) e os coeficientes de variação (CV) das propriedades mecânicas de Resistência à Tração Perpendicular (TP), Resistência ao Arrancamento de Parafuso de Face (RAPf) e de Topo (RAPt).

Figura 26 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis eleitos: resistência à tração perpendicular [TP] (a); resistência ao arrancamento de parafuso de face [RAPf] (b) e de topo [RAPt] (c).

Os painéis híbridos deste estudo apresentaram valor médio para a Resistência à Tração Perpendicular de 0,48 MPa, valor que os classifica como sendo P3 e P5, quanto a ABNT NBR 14810 (2013), e M-2, quanto a ANSI A.208.1 (1999). Varanda (2016) encontrou valores médios de 1,32 a 2,72 MPa quanto a esta propriedade para painéis delineados em seu experimento com resina poliuretana à base de óleo de mamona, valores superiores à média dos painéis deste estudo.

Para as propriedades de Resistência ao Arrancamento de Parafuso Face e Topo, os painéis deste estudo apresentaram valores médios de 716,88 e 950,81 N, respectivamente. De acordo com ANSI A208.1 (1999), quanto à RAPt, os painéis são classificados como M-2, quanto à RAPf os mesmos não alcançaram os valores mínimos para serem classificados. No estudo de Varanda (2016) foram encontrados valores médios para RAPf e RAPt de 850 a 1480 N e 1430 a 2890 N, respectivamente, para os tratamentos com resina poliuretana à base de óleo de mamona, valores superiores aos deste trabalho. Os resultados das destas propriedades encontram-se resumidos na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores deste trabalho e da literatura para tração perpendicular e arrancamento de parafuso face e topo.

	Este estudo	Varanda (2016)
Tração perpendicular (MPa)	0,48	1,32 a 2,72
Arrancamento de parafusos face (N)	716,88	850 a 1480
Arrancamento de parafusos topo (N)	950,81	1430 a 2890

Os menores valores médios para a propriedade de TP dos painéis deste trabalho em comparação com os painéis produzidos por Varanda (2016) podem ser relacionados a presença de BOPP na matriz constituinte do painel. Como Santos et al. (2011) evidenciam em seu trabalho que os resultados de adesão interna de painéis produzidos a partir de resíduo de Candeia decrescem linearmente a partir do aumento da porcentagem de PET (polietileno teraftalado) na matriz constituinte do painel. Os autores afirmam que o decréscimo em propriedades mecânicas dos painéis pode ser explicado pela falta de ancoragem do adesivo ao PET, o que poderia explicar também os menores valores das propriedades de RAP dos painéis deste estudo em comparação com Varanda (2016).

Eleutério (2000) explicita outro fator que explicaria os menores valores destas propriedades: a menor compactação do painel durante o processo produzido, o que afeta o contato entre as partículas do mesmo e sua colagem. Para o autor, materiais com menores densidades produzem painéis com melhores propriedades mecânicas devido a melhor compactação. No caso deste trabalho, o polipropileno adicionado à matriz do painel desenvolvido apresenta alta densidade, segundo Milagres et al. (2006), variando entre 0,90 e 0,91 g/cm³.

Milagres et al. (2006) produziram painéis de madeira em consórcio com polipropileno, polietileno de alta densidade ou polietileno de baixa densidade, prensados a uma temperatura de 190° C. Os painéis produzidos com polietileno apresentaram valores superiores quanto a propriedades de TP quando comparados aos painéis produzidos com polipropileno. Os autores responsabilizam a menor temperatura de fusão do polietileno e a geometria das partículas por gerarem algum enganchamento mecânico resultando na melhoria de tal propriedade. Os mesmos ainda mencionam uma temperatura de fusão para o polipropileno variando de 165 a 175° C e considerando a temperatura de prensagem dos painéis deste estudo ser 150°C, os menores valores encontrados para TP podem ser justificados.

A Figura 27 ilustra o valor médio, o intervalo de confiança (95% de confiabilidade) e o coeficiente de variação (CV) da rugosidade (Rug) dos painéis avaliados.

Figura 27 - Resultado da rugosidade [Rug] dada pelo desvio aritmético médio (b) dos painéis fabricados.

Em relação a rugosidade superficial dos painéis deste trabalho, foi encontrado para o desvio aritmético médio dos perfis valores médios de 2,96 µm. Varanda (2016) encontrou valores mínimos de 6,6 e máximos de 8,9 µm para esta propriedade em painéis produzidos a partir de casca de aveia e madeira e resina poliuretana a base de óleo de mamona. O mesmo autor ainda realizou ensaios em espécies de madeira maciça de Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*), Cumaru (*Dypterix odorata*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e obteve resultados de 6,9, 3,2 e 1,9 µm, respectivamente. Estes resultados encontram-se resumidos na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores deste trabalho e da literatura para rugosidade superficial

	Rugosidade Superficial (µm)
Este estudo	2,96
Varanda (2016): painéis	6,6 a 8,9
Varanda (2016): Angelim Vermelho (<i>Dinizia excelsa Ducke</i>)	6,9
Varanda (2016): Cumaru (<i>Dypterix odorata</i>)	3,2
Varanda (2016): Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	1,9

Assim, nota-se que a rugosidade superficial dos painéis deste estudo apresenta-se 133,10% maior que os valores para a espécie de Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*), 8,10% maior para a espécie de Cumaru (*Dypterix odorata*) e 35,81% menor que a espécie de Jatobá (*Hymenaea courbaril*).

Os painéis deste estudo apresentaram valores inferiores quanto a esta propriedade em relação aos painéis fabricados por Varanda (2016). Isto pode ser explicado pela faixa granulométrica de partículas utilizadas pelo autor, tanto de madeira quanto de casca de aveia, serem de até 2,8 mm, e as partículas deste trabalho serem de até 0,5 mm, para o BOPP, e de até 2,8 mm, para as de madeira. A rugosidade superficial dos painéis deste trabalho também apresentou valor médio inferior às espécies Angelim Vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) e Cumaru (*Dypterix odorata*), e maior que o Jatobá (*Hymenaea courbaril*), em acordo com Varanda (2016).

A rugosidade superficial é propriedade relacionada diretamente ao acabamento final dos pisos e de acordo com a NBR 8404 (1984) os painéis deste trabalho são classificados como N08. De acordo com Souza et al. (2009), a aplicação de produtos de acabamento destaca feições estéticas presentes na madeira, inclusive irregularidades superficiais. Assim, é necessária a preparação da superfície do material, eliminando irregularidades da superfície, o que não é diferente em painéis compósitos. Por este motivo, quanto maior a rugosidade superficial do material, maior a dificuldade de se alcançar um acabamento final adequado do material.

A Figura 28 ilustra os valores médios, o intervalo de confiança (95% de confiabilidade) e o coeficiente de variação (CV) da Resistência à Abrasão (Rabr) dos painéis avaliados.

Figura 28 - Resultado da Resistência à Abrasão (Rabr), dado pela perda em espessura (a) e em massa (b) em função do número de ciclos [Nci].

Por meio do Teste de Tukey, observa-se que não houve influência significativa nos valores de Resistência à Abrasão (nem em massa ou em espessura) em função do número de ciclos aplicados nos CP's. Na Tabela 19 está apresentado os resultados obtidos para perda de massa e espessura dos painéis a cada 300, 500 e 600 ciclos de abrasão:

Tabela 19 - Perda de espessura (mm) por abrasão

Ciclos	CP2	CP3	CP5	CP6	Média	CV (%)
300	0,183	0,138	0,012	0,47	0,20075	83,49276
500	0,231	0,138	0,014	0,0474	0,2145	45,24716
600	0,256	0,138	0,016	0,476	0,2215	76,60423

Após a aplicação dos 500 ciclos, os painéis deste trabalho apresentaram valores médios de redução de espessura, respectivamente, de 0,2145 mm. Martins et al. (2012) apresentaram a perda de espessura em teste de abrasão para *Eucalyptus cloeziana* de 0,055 mm, para *Corymbia maculata* 0,076 mm e *E. microcorys* 0,073 mm, Blanco-Floréz (2015) encontrou a perda de 0,10 mm para espécie de Teca (*Tectona grandis*), ambos estudos com avaliação após 500 ciclos de abrasão. Sendo a perda de espessura dos painéis deste trabalho maior que a apresentada pelos autores anteriores (Tabela 20). De acordo com Padilha et al. (2006), a maior resistência a abrasão em pisos é responsável por uma maior vida útil do piso em serviço.

Tabela 20- Valores deste trabalho e da literatura para resistência à abrasão após 500 ciclos

	Perda de espessura (mm)
Este estudo	0,2145
Martins et al. (2012): <i>E. cloeziana</i>	0,055
Martins et al. (2012): <i>Corymbia maculata</i>	0,076
Martins et al. (2012): <i>E. microcorys</i>	0,073
Blanco-Flórez et al (2015): Teca (<i>Tectona grandis</i>)	0,10

Modelo de regressão polinomial cúbico (Equação 4) foi utilizado na estimativa das depressões (mm) nas amostras de painéis em função das alturas (m) de queda da esfera, expresso pela Equação 1 e ilustrado na Figura 29, sendo R^2 o coeficiente de determinação do ajuste.

$$\text{Dep-QE} = -0.04504 + 0.005734 \cdot \text{Altura} - 0.000062 \cdot \text{Altura}^2 + 0.000000 \cdot \text{Altura}^3 \quad (4)$$

$[R^2 = 73,43\%]$

Figura 29 - Ajuste pelo modelo de regressão polinomial cúbico da estimativa das depressões em função das alturas de queda da esfera.

A madeira é um material de comportamento dúctil, o qual o caracteriza pela sua capacidade de absorver energia gerada por impacto na forma de deformação antes da ruptura (HIBBLER, 2010). O ensaio de queda de esfera cadente de aço exemplifica situações de queda de objetos sobre o piso em uso, neste contexto, os resultados obtidos neste ensaio para os painéis deste trabalho mostram um comportamento de crescimento exponencial da depressão ocasionada nos corpos de provas em função da altura da queda da esfera. Foram encontrados valores médios para a altura padrão para comparação de 180 cm de 0,28 mm de depressão, resultado inferior aos de: Padilha et al. (2006), em pisos de dois clones de *Eucalyptus urophylla* que foram 0,39 e 0,46 mm; Blanco-Flórez et al. (2015) em pisos de Teca (*Tectona grandis*) que foi 0,50mm. Carmo (1996, apud Padilha et al., 2006) encontrou valores médios para queda de esfera em pisos produzidos a partir de Cumaru (*Dypterix odorata*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e Ipê (*Tabebuia* sp.) de 0,33, 0,23 e 0,32 mm, respectivamente, sendo o valor dos painéis deste trabalho inferior aos de Cumaru (*Dypterix odorata*) e Ipê (*Tabebuia* sp.) e muito próximo do valor apresentado pelo piso de Jatobá (*Hymenaea courbaril*). Oliveira (2015) encontrou (*Tabebuia* sp.) valores médios de endentação de 0,129 mm, para Cumaru (*Dypterix odorata*), 0,159 mm, para Ipê (*Tabebuia* sp.), 0,262 mm, para Sucupira (*Pterodon emarginatus*), 0,358 mm, para Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*), sendo os painéis deste trabalho apenas inferiores aos apresentados pela

última espécie. Os resultados referentes à altura de 180 cm encontram-se resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores deste trabalho e da literatura para endentação causada por queda de esfera cadente à 180 cm de altura.

	Endentação por queda de esfera cadente (mm)
Este estudo	0,28
Carmo (1996, apud Padilha et al., 2006): Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>)	0,33
Carmo (1996, apud Padilha et al., 2006): Jatobá (<i>Hymenaea</i> sp.)	0,23
Carmo (1996, apud Padilha et al., 2006): Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	0,32
Padilha et al. (2006): clone 1 de <i>Eucalyptus urophylla</i>	0,39
Padilha et al. (2006): clone 2 de <i>E. urophylla</i>	0,46
Blanco-Flórez et al (2015): Teca (<i>Tectona grandis</i>)	0,5
Oliveira (2015): Cumaru (<i>Dypterix odorata</i>)	0,129
Oliveira (2015): Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	0,159
Oliveira (2015): Sucupira (<i>Pterodon emarginatus</i>)	0,262
Oliveira (2015): Amêndola (<i>Mimosa scabrella Benth.</i>)	0,358

Avaliando o valor médio de endentação para espécies de madeira maciça, observa-se que os painéis deste trabalho apresentaram valor médio de endentação maior em 53,92% em relação à ocorrida na espécie de Cumaru (*Dypterix odorata*), 43,21% maior que o apresentado pelo Ipê (*Tabebuia* sp.) e 6,42% maior que para Sucupira (*Pterodon emarginatus*).

A Figura 30 ilustra os resultados do teste de Tukey do fator número de viagens (Nviagem) nos valores da depressão por endentação causada por cargas em pequenas áreas (Dep-Ed) nas amostras de painel fabricadas. O teste de Tukey foi avaliado ao nível de 5% de significância, cabendo destacar que letras iguais implicam em níveis do fator estatisticamente equivalentes.

Figura 30 - Resultados do teste de Tukey do fator número de viagens nos valores da depressão por endentação nas amostras de painel.

Considerando as depressões nos painéis deste trabalho, ocasionadas por 50 viagens, foi encontrado o valor médio de 0,041 mm. Oliveira (2015), em avaliação de espécies de Sucupira (*Pterodon emarginatus*) e Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*), em uso como piso, encontrou valores para 50 viagens de 0,009 mm para a primeira espécie e 0,019 mm para a segunda espécie, não sendo encontrado valores de endentação para Cumaru (*Dypterix odorata*) e Ipê (*Tabebuia* sp.) apenas ranhuras na película de verniz dos CP's. Neste trabalho, quando avaliadas as endentações dos painéis após 100 viagens foi encontrado um valor médio de 0,057 mm, valor inferior ao encontrado por Padilha et al. (2006) para clones de *Eucalyptus urophylla* que foi de 0,059 mm. O valor deste estudo ainda foi superior ao encontrado por Martins et al. (2012) para *Eucalyptus cloeziana*, *Corymbia maculata* e *E. microcorys* que foram, respectivamente, 0,023 mm, 0,043 mm e 0,050 mm. Oliveira (2015) encontrou valores inferiores para as mesmas espécies citadas anteriormente, sendo a endentação de 0,016 mm para Sucupira (*Pterodon emarginatus*) e 0,024 mm para Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*). Blanco-Floréz et al. (2015) encontraram valores de endentação para madeira de Teca (*Tectona grandis*) após 100 viagens de 0,10 mm, valor superior ao apresentado pelos painéis deste trabalho. Os resultados referentes a 100 viagens encontram-se resumidos na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores deste trabalho e da literatura para endentação por carga em pequena área após 100 viagens.

	Endentação por carga em pequena área (mm)
Este estudo	0,057
Padilha et al. (2006): clone 1 de <i>Eucalyptus urophylla</i>	0,059
Padilha et al. (2006): clone 2 de <i>E. urophylla</i>	0,46
Martins et al. (2012): <i>E. cloeziana</i>	0,023
Martins et al. (2012): <i>Corymbia maculata</i>	0,043
Martins et al. (2012): <i>E. microcorys</i>	0,05
Blanco-Flórez et al (2015): Teca (<i>Tectona grandis</i>)	0,1
Oliveira (2015): Cumaru (<i>Dypterix odorata</i>)	0
Oliveira (2015): Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	0
Oliveira (2015): Sucupira (<i>Pterodon emarginatus</i>)	0,016
Oliveira (2015): Amêndola (<i>Mimosa scabrella Benth.</i>)	0,024

Assim, observa-se que o valor de deformação residual média destes painéis foi 71,92% maior que para espécie de Sucupira (*Pterodon emarginatus*), já que nos estudos de Oliveira (2015), espécies de Cumaru (*Dypterix odorata*) e Ipê (*Tabebuia* sp.) não apresentaram endentação após o ensaio, o que caracterizou as espécies como pisos indicados para ambientes onde existe grande trânsito de pessoas.

Oliveira (2015) e Blanco-Floréz et al. (2015) correlacionam esta propriedade a densidade da madeira e a sua dureza, ou seja, quanto maior os valores destas propriedades, menores os valores de endentação gerados pelo ensaio.

A Figura 31 ilustra os resultados do teste de Tukey do fator número de viagens (Nviagem) nos valores da depressão por carga rolante (Dep-CRol) nas amostras de painel fabricadas. O teste de Tukey foi avaliado ao nível de 5% de significância, cabendo destacar que letras iguais implicam em níveis do fator estatisticamente equivalentes.

Figura 31 - Resultados do teste de Tukey do fator número de viagens nos valores da depressão por carga rolante nas amostras de painel.

A depressão média ocasionada por 10, 25 e 50 viagens de carga rolantes nos painéis deste trabalho foi de 0,220, 0,290 e 0,319 mm, respectivamente. Blanco-Floréz et al. (2015) encontraram para madeira de Teca (*Tectona grandis*) os valores de 0,30, 0,37 e 0,44 mm para 10, 25 e 50 viagens, respectivamente, valores superiores aos deste trabalho para todas viagens. Martins et al. (2012) encontrou para as espécies de *Eucalyptus cloeziana* os valores para 10, 25 e 50 viagens de 0,128, 0,157 e 0,190 mm, respectivamente, para *Corymbia maculata* os valores foram de 0,085, 0,112 e 0,128 mm de depressão para, 10, 25 e 50 viagens, respectivamente e para *E. microcorys* os valores foram de 0,080, 0,112 e 0,154 para 10, 25 e 50 viagens, respectivamente. Valores inferiores aos apresentados por este estudo. Em comparação ao estudo de Oliveira (2015), os resultados deste trabalho foram inferiores apenas aos da madeira de Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*), que apresentou valores para 10, 25 e 50 viagens de 0,271, 0,383 e 0,458 mm. Na avaliação de Padilha et al. (2006), o valor médio encontrado de endentação para clones de *Eucalyptus urophylla* após 50 viagens foram bastante superiores aos valores encontrados para este trabalho e em relação a literatura citada anteriormente, 1,86 mm. Os resultados referentes a 50 viagens encontram-se resumidos na Tabela 23.

Tabela 23- Valores deste trabalho e da literatura para endentação por carga rolante após 50

	Endentação por carga rolante (mm)
Este estudo	0,319
Padilha et al. (2006): clones de <i>Eucalyptus urophylla</i>	1,86
Martins et al. (2012): <i>E. cloeziana</i>	0,190
Martins et al. (2012): <i>Corymbia maculata</i>	0,128
Martins et al. (2012): <i>E. microcorys</i>	0,154
Blanco-Flórez et al (2015): Teca (<i>Tectona grandis</i>)	0,44
Oliveira (2015): Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	0,105
Oliveira (2015): Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>)	0,110
Oliveira (2015): Sucupira (<i>Pterodon emarginatus</i>)	0,205
Oliveira (2015): Amêndola (<i>Mimosa scabrella Benth.</i>)	0,458

Observa-se que os painéis deste trabalho apresentaram valor médio maior em 67,08% em relação a depressão em espécie de Ipê (*Tabebuia* sp.), 65,51% maior em Cumaru (*Dypterix odorata*) e 35,73% em Sucupira (*Pterodon emarginatus*). Martins et al. (2012) e Oliveira (2015) ressaltam que quanto maior a endentação ocasionada pela carga rolante, menor a resistência mecânica da madeira.

Na Figura 32 está ilustrado os valores médios, os intervalos de confiança (95% de confiabilidade) e os coeficientes de variação (CV) dos coeficientes de atrito estático (CAest) e dinâmico (CA_{din}) dos painéis avaliados.

Figura 32 - Coeficientes de atrito estático [CAest] (a) e dinâmico [CA_{din}] (b) dos painéis fabricados.

Os painéis deste trabalho apresentaram um coeficiente de atrito estático médio no valor de 0,372, muito semelhante ao encontrado por Padilha et al. (2006) para clones de *Eucalyptus urophylla* de 0,376 e Blanco-Floréz (2012) para madeira de Teca (*Tectona grandis*) sem acabamento de 0,37. Porém, superior aos valores encontrados por Martins et al. (2012) para *Eucalyptus cloeziana*, *Corymbia maculata* e *E. microcorys* de 0,25, 0,34, 0,28, respectivamente, e para Oliveira (2015) para Ipê (*Tabebuia* sp.), Cumaru (*Dypterix odorata*), Sucupira (*Pterodon emarginatus*) e Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*) de 0,269, 0,253, 0,254 e 0,265, respectivamente. Já para o coeficiente de atrito dinâmico, o valor médio encontrado neste trabalho foi de 0,231, valor muito semelhante ao encontrado por Padilha et al. (2006) que foi de 0,230, contudo muito superior aos valores encontrados por Blanco-Floréz (2012) que foi 0,18, Martins et al. (2012) que foram de 0,15, 0,19 e 0,13 para *E. cloeziana*, *Corymbia maculata* e *E. microcorys*, respectivamente, e Oliveira (2015) de 0,198 para Ipê (*Tabebuia* sp.), 0,175 para Cumaru (*Dypterix odorata*), 0,173 para Sucupira (*Pterodon emarginatus*) e 0,154 para Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*). Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores deste trabalho e da literatura para coeficientes de atrito estático e dinâmico.

Coeficiente	Atrito Estático	Atrito Dinâmico
Este estudo	0,372	0,231
Padilha et al. (2006): clones de <i>Eucalyptus urophylla</i>	0,376	0,230
Martins et al. (2012): <i>E. cloeziana</i>	0,25	0,15
Martins et al. (2012): <i>Corymbia maculata</i>	0,34	0,19
Martins et al. (2012): <i>E. microcorys</i>	0,28	0,13
Blanco-Flórez et al (2015): Teca (<i>Tectona grandis</i>)	0,37	0,18
Oliveira (2015): Ipê (<i>Tabebuia</i> sp.)	0,269	0,198
Oliveira (2015): Cumaru (<i>Dypterix odorata</i>)	0,253	0,175
Oliveira (2015): Sucupira (<i>Pterodon emarginatus</i>)	0,254	0,173
Oliveira (2015): Amêndola (<i>Mimosa scabrella Benth.</i>)	0,265	0,154

Assim, os painéis deste trabalho apresentaram valor médio 27,68% maior que para espécie de Ipê (*Tabebuia* sp.), 31,98% maior que Cumaru (*Dypterix odorata*) e 31,72% maior que para Sucupira (*Pterodon emarginatus*). De acordo com Martins et al. (2012) não existe valores padronizados para mínimo e máximo aceitáveis quanto aos coeficientes de atrito.

Padilha et al (2006) afirma que materiais que apresentem maior coeficiente atrito são considerados mais seguros e mais confortáveis no trânsito de pessoas, em acordo com Oliveira (2015), quanto menos escorregadio o piso mais seguro. O que confirma o desempenho superior dos painéis deste quanto a esta propriedade em comparação com as madeiras mais utilizadas na confecção de pisos: Ipê (*Tabebuia* sp.), Cumaru (*Dypterix odorata*) e Sucupira (*Pterodon emarginatus*).

6.7 Classificação dos painéis deste trabalho em uso como piso

Oliveira (2015) em seu trabalho, realizou avaliação da qualidade madeira de Amêndola (*Mimosa scabrella Benth.*) para uso como piso por meio do comparativo desta com espécies usuais na produção de pisos maciços. Por meio do estudo de ensaios de simulação de piso em uso, a autora delineou classes de qualidade que serão utilizadas para classificar os painéis deste trabalho. Ressalta-se a falta de valores de referência para as propriedades de piso em serviço em documentos normativos vigentes, o que dificulta a indicação de novos materiais para tão empregabilidade. A classificação proposta por Oliveira (2015) encontra-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Classe de qualidade de pisos proposta por Oliveira (2015)

Ensaio	Classe de qualidade de pisos (Oliveira, 2015)*		
	Alta	Intermediária	Baixa
Atrito dinâmico	maior que 0,181	de 0,161 a 0,180	menor que 0,181
Carga em pequenas áreas (50 viagens)	menor que 0,005	de 0,006 a 0,030	maior que 0,031
Carga rolante (50 viagens)	menor que 0,120	de 0,121 a 0,300	maior que 0,301
Queda de esfera (180 cm)	menor que 0,180	de 0,181 a 0,300	maior que 0,301

*Tabela adaptada de Oliveira (2015).

Assim, os painéis desenvolvidos neste trabalho podem ser classificados quanto ao uso como piso de acordo com a Tabela 24 em:

- Qualidade alta quanto ao atrito dinâmico;
- Qualidade baixa quanto a endentação devida a cargas aplicadas em pequenas áreas;
- Qualidade baixa quanto a endentação devida a carga rolante;
- Qualidade intermediária quanto a queda de esfera.

7. Conclusões

Através dos ensaios realizados chegou-se aos seguintes resultados:

- Densidade: 768 kg/m³;
- Inchamento em espessura: 1,63% para 2h e 4,03% para 24h;
- Absorção de água: 8,3% para 2h e 19,95% para 24h;
- Porosidade: 41,01%;
- Resistência à tração perpendicular: 0,48 MPa;
- Resistência ao arranchamento de parafuso: 716,88 N para face e 950,81 N para topo;
- Rugosidade superficial: 2,96 µm;
- Resistência à abrasão: 0,2145 mm em perda de espessura;
- Endentação por queda de esfera: 0,28 mm, para altura de 180 cm;
- Endentação por carga em pequena área: 0,057 mm, após 100 viagens;
- Endentação por carga rolante: 0,319 mm, após 50 viagens;
- Coeficiente de atrito: 0,372 para estático e 0,231 para dinâmico.

Assim, é possível concluir que os resultados dos ensaios para piso em serviço realizados e comentados ao longo do texto demonstram a alta potencialidade dos painéis de partículas híbridos de madeira e BOPP desenvolvidos neste trabalho. São necessários ajustes pertinentes para cada tipo de aplicação específica, para acertar a resistência superficial necessária.

8. Sugestão de estudos futuros

A partir das conclusões deste trabalho, deixa-se como proposta para estudos futuros:

-A avaliação da Dureza superficial destes painéis em relação a uma maior densificação do mesmo e o uso de resinas alternativas.

-Melhor avaliação do comportamento do BOPP na matriz constituinte de painel híbrido, por meio de ensaios como MEV, TGA, dentre outros.

-Possibilidade da criação de documento normativos com valores referência para propriedades de piso em uso.

9. Referências bibliográficas

ADHIKARY, K. B.; PANG, S.; STAIGER, M. P. Dimensional stability and mechanical behavior of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). **Composites**, Part B 39: Engineering, p.807–815, 2008.

ALBUQUERQUE, C. E. C. (2002) **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANDRADE, A. Análise tecnológica e econômica do setor brasileiro de pisos de madeira. Piracicaba: ANPM, 69f, 2011.

ANDRADE, A. Guia básico para instalação de pisos de madeira. Piracicaba: ANPM. e. 2, p. 104, 2015.

ANDRADE et al. Auditoria em certificação da qualidade para pisos de madeira – curso técnico. ANPM. 137f, 2013.

ANDRADE, A. Pisos de madeira: características de espécies brasileiras. Piracicaba: ANPM, 184p., 2015.

ARAÚJO, H. J. B. Aproveitamento de resíduos das indústrias de serraria do Acre para fins energéticos. 41f, EMBRAPA, Rio Branco, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Estudo Setorial 2007: ano base 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Estudo Setorial 2009: ano base 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PISO LAMINADO DE ALTA RESISTÊNCIA – ABIPLAR. Programa setorial da qualidade de pisos laminados melamínicos, texto de referência. São Paulo, abr, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas de produtos (GPS) – Rugosidade: método do perfil. Termos, definições e parâmetros de rugosidade. Rio de Janeiro, 2002. 18p.

_____. **NBR 8404**: Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos. Rio de Janeiro, 1984, 10f.

_____. **NBR 14535**: Móveis de madeira – Requisitos e ensaios para superfície pintada. Rio de Janeiro, 2008, 32p.

_____. **NBR 14810**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14833-1**: Revestimento de pisos laminados melamínicos de alta resistência. Parte I: Requisitos, características, classificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA – ANPM. **Informações estatísticas do setor**. 2015. Disponível em < <http://www.anpm.org.br> > Acesso em: 16 mar. 2018.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **D 2394-83**. Philadelphia: Annual book of ASTM standards, 1994. 608p.

BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; BARRERO, N. G.; PALLONE, E. M. J. A.; ROCCO LAHR, F. A.; CRISTOFORO, A. L.; SAVASTANO JUNIOR, H. Paineis aglomerados híbridos de casca de amendoim reforçados com partículas de madeira Itaúba. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685-697, 2014.

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.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida* ssp.) **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BLANCO-FLÓREZ, J.; SILVA, J. R. M.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de *Tectona grandis*. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p. 1048-1060, 2015.

BOREINSTAIN, M. B. **Compósito plástico-madeira produzidos com partículas de *Pinus*, *Eucalyptus* e polietileno de alta densidade (PEAD).** 36 F. Dissertação (Monografia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política nacional de resíduos sólidos. Câmara dos Deputados Brasília, e. 2, 73f, 2012.

COLETTI, J.; BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S. Avaliação de defeitos no processo de fabricação de lamelas para pisos de madeira engenheirados com uso de ferramentas de controle de qualidade. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 135-140, 2010.

CORREDORI, P. C. **Aplicação de Polipropileno com 35% de Fibra de Vidro (PPGF35) em substituição à Poliamida com 35% de Fibra de Vidro (PA6GF35) na fabricação de Coletores de Admissão em Motores de 03 Cilindros Bicombustível.** 122f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Paineis aglomerados de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.

DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, p. 73-92, 2008.

ELEOTÉRIO, J. R. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resinas. 121f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2003). **EN 312**: Particleboards specifications. 24f. Bruxelas.

FERNANDES, M. M.; LELIS, R. C. C.; TOSTES, A. S.; BRITO, E. O.; LIMA, A. M. Avaliação da qualidade de chapas de partículas manufaturadas com resina tanino-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, V. 10, n.2, p.100 - 104, 2003.

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia**. 86f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2013.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; ALMEIDA, D. H.; SOUZA, A. M.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Mechanical properties of particleboards manufactured with *Schizolobium amazonicum* and castor oil based polyurethane resin: influence of proportion polyol/pre-polymer. *International Journal of Composite Materials* (Online), v. 4, p. 52-55, 2014.

FERRO, F. S. **Painéis de partículas orientadas (OSB) com insumos alternativos: viabilidade técnica e proposta de melhoria de desempenho ambiental**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

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

FIGURELLI, J.; ROCCO LAHR, F. A.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FREITAS, J. F.; SOUZA, A. M.; BRANCO, L. A. M. N.; CHAHUD, E.; CHRISTOFORO, ANDRÉ LUIS; ROCCO LAHR, FRANCISCO ANTONIO. A Preliminary Study about the Utilization of Cajueiro and Amescla for MDP Panels Production. **International Journal of Materials Engineering**, v. 7, p. 21-24, 2017.

GALINA, I. C. M. et al. **Instalação de pisos de madeira**. Projeto Piso de Madeira Sustentável. São Paulo: Piracicaba, 2013. Disponível em: < <http://www.pimads.org/>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

GARCIA, E. E. C.; FIGURELLI, J.; MEDINA, J. C.; ARGUELLO, R.; RUIZ, A.; NASCIMENTO, M. F. SAVASTANO JR, H. et al. Embalagens plásticas: propriedades de barreira. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos/ITAL, 1989.

GATANI et al. Viabilidade técnica de produção e propriedade de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, v 18, n. 2, p. 1286-1293, 2013.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-ureia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.715-722, 2008.

GUIMARÃES, B. M. R. **Tratamento químico de partículas de pseudocaule da bananeira visando à produção de painéis aglomerados**. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

HIBBLER, R. C. Resistência dos materiais. São Paulo: Pearson Prentice Hall, e. 7, 2010.

HILLING, E.; IWAKIRI, S.; ANDRADE, M. Z.; ZATTERA, A. J. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.299-310, 2008.

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

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUISANTE, F. P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v.11, n.4, p.323-328, 2005.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J. C.; SILVA, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.883-887, 2004.

JESUS, J. M. H. **Estudos do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 106f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. The use of an optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Forest Product Journal**, v. 46, n.11/12, p.73-80, 1996.

LOPES, C. S. Desenho de Pequenos Objetos de Madeira com Resíduo da Indústria de Processamento Mecânico da Madeira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – INTERFACEHS**. 4, n. 3, artigo 1, 28 p., 2009.

MACEDO, L. B.; FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; CAVALHEIRO, R. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira produzidos com adição de película de polipropileno biorientado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 19, p. 674-679, 2015.

MACEDO, L. B.; SANTOS, N. A.; BALANCO, G. G.; Christoforo, A. L.; LAHR, F. A. R. Hybrid OSB Manufactured with Bioriented Polypropylene Particles. **INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPOSITE MATERIALS** (ONLINE), v. 5, p. 143, 2015.

MACEDO, L. B.; SILVA, M. R.; CÉSAR, A. A. S.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Painéis OSB de madeira *Pinus* sp. e adição de partícula de polipropileno biorientado (BOPP). **Scentia florestalis**, v. 44, n112, p. 887-894, 2016.

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

MACIEL, A. S.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. 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, 2004.

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

MARTINS, M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; GONÇALVES, M. T. T.; FILIPE, A. P. Simulação do uso em pisos de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia maculata*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 151-156, jan./mar. 2013.

MARTINS, S. A. Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL). 114f. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, 2011.

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

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de

Cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, 2010.

MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, J. R. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* ssp. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, 2007.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MESQUITA, R. G. A. Determinação do módulo de Elasticidade de Painéis Aglomerados por Stress Wave Timer. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 117-122, 2012.

MILAGRES, E. G. et al. 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, 2006.

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

NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTÓFORO, A. L.; BERTOLINI, M. S.; FIORELLI, J.; SILVA, M. R. Painéis de partículas homogêneas fabricados com resíduos lignocelulósicos e resina alternativa para aplicação em pisos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, 2016.

NASCIMENTO, M. F. **CPH – Chapas de partículas homogêneas – Madeiras do Nordeste**. 153f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira. Piracicaba: ANPM, 39f, 2014.

OLIVEIRA, M. B. **Avaliação da qualidade de pisos comerciais confeccionados com madeira de *Bowdichia nitida* Benth (Spr.), *Dipteryx odorata* (aubl.) Willd, *mimosa scabrella* Benth e *Tabebuia impetiginosa***. 57f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

OLMOS, M. A. C. (1992). **Equipamento e Processo de Fabricação de Chapas de Madeira Aglomeradas a partir de Resíduos de Madeira**. Dissertação de Mestrado. São Carlos. 110p.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**, n71, p. 141-147, 2006.

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

PAINEL FLORESTAL. **Notícia:** Exportação de painéis de madeira é destaque no resultado da balança comercial do agronegócio 2017. Janeiro de 2018. Disponível em < <http://www.painelflorestal.com.br/exportacao-de-paineis-de-madeira-e-destaque-no-resultado-da-balanca-comercial-do-agronegocio-de-2017> > Acesso em: 18 de fev. 2018.

PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; SCATOLINO, M. V.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e madeira de *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.

POLETO, S. F. S. **Protótipo arquitetônico utilizando painéis com inovação tecnológica fabricados com partículas homogêneas de resíduos de madeira**. 141f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

REMADE. Adesivos para Pisos Engenheirados: da fabricação à instalação. Revista da Madeira. Curitiba, n. 94, 2006. Disponível em: < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=853&subject=Pisos&title=Adesivos%20para%20Pisos%20Engenheirados:%20aa%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20instala%C3%A7%C3%A3o > Acesso em: 23 nov. 2017.

REMADE. Pisos de compensado e madeira maciça. Revista da Madeira. Piracicaba, n. 89, 2005. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=730&subject=Pisos&title=Pisos> Acesso em: 12 out. 2017.

REMADE. Processo produtivo de pisos engenheirados de madeira. Curitiba, n. 133, 2012. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1636&subject=Pisos&title=Processo%20produtivo%20de%20pisos%20engenheirados%20de%20madeira> Acesso em: 12 out. 2017.

REMADE. Setor de pisos de madeira: oportunidades e ameaças. Revista da Madeira. Piracicaba, n. 139, 2014. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1748&subject=Pisos&title=Setor%20brasileiro%20de%20Pisos%20de%20Madeira:%20Oportunidades%20e%20Ameaças> Acesso em: 12 out. 2017.

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

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus* sp. com pequeno diâmetro. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 473-478, 2010.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O.; MORI, F. A.; CASTRO, R. V. O.; MENDES, R. F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (dc.) macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciências Florestais**, Santa Maria, v.21, n.1, p.149-158, 2011.

SARTORI, D. L.; CRAVO, J. C. M.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; SALVASTANO JR., H. Painel em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n.2, p. 171-178, 2012.

SILVA, A. J. P. Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB. 143f. Tese (Doutorado) - – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; SEGANTINI, ROCCO LAHR, F. A. Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.8, p.1399-1404, 2013.

SIMAL, L. A.; SILVA, S. A. M.; AZAMBUJA, M. A.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFÓRO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. (2014). Particleboard Produced with Sawmill Waste of Different Wood Species. **Advanced Materials Research** (Online), v. 884-885, p. 689-693, 2014.

SOARES, P. R. C.; MILAN, M.; JANKOWSKY, I. P.; MACIEL, A. J. S.; KANIESKI, M. R. Pontos críticos do processo de produção de pisos de maciços de madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 353-363, 2012.

SOUZA, A. M. **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.

SOUZA M. M.; **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus Taeda* L.** 77f. Dissertação (Mestrado) --- Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

SOUZA, M. O. A. de; SILVA, J. de C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Revista Árvore**, v. 33, p. 751 – 758, (2009).

TALGATTI, M.; BALDIN, T.; SILVEIRA, A. G.; SANTINI, E. J.; VIDRANO, B. R. A. Compósito madeira-plástico a partir de resíduos de três espécies florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 91, p.277-283, 2017.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 057-064, 2013.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Acrocarpus fraxinifolius*, compostos com diferentes percentuais de casca. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 761-769, 2013.

VARANDA, L. D.; GONÇALVES, D.; ALMEIDA, D. H; MACEDO, L. B.; MOLINA, J. C.; CHRISTOFORO, A. L. Análise de porosimetria por intrusão de mercúrio em painéis de partículas. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 13, n. 32, 2012.

VARANDA, L. D. **Painéis de alta densidade para aplicação em piso: produção e avaliação de desempenho**. 170f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

VARANDA, L. D. **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.

YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira**. 183f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ZAU, M. D. L.; VASCONCELOS, R. P.; GIACON, V. M.; ROCCO LAHR, F. A. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia – Cumaru (*Dipteryx odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.