

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIANA FERREIRA TREVISAN

**PAINÉIS AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS
DE PINUS E SERINGUEIRA E AGLUTINADOS COM ADESIVO POLIURETANO
DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES
FÍSICAS E MECÂNICAS**

Ano 2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIANA FERREIRA TREVISAN

PAINÉIS AGLOMERADOS HOMOGENEOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE PINUS E SERINGUEIRA E AGLUTINADOS COM ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Especialidade: Estruturas.

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva
Orientador

Ilha Solteira
Ano 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T814p Trevisan, Mariana Ferreira.
Painéis aglomerados homogêneos produzidos com partículas de pinus e seringueira e aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona: avaliação das propriedades físicas e mecânicas / Mariana Ferreira Trevisan. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
121 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2021

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva
Inclui bibliografia

1. Painéis aglomerados. 2. Seringueira. 3. Pinus. 4. Madeira. 5 Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação mecânica e física de painéis aglomerados de madeira produzidos com partículas de pinus e seringueira empregando-se poliuretano derivado de óleo de mamona

AUTORA: MARIANA FERREIRA TREVISAN

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL,
área: Estruturas pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MICHAEL JONES DA SILVA (Participação Virtual)
Curso de Engenharia de Energia / Câmpus Experimental de Rosana - UNESP

Prof.ª Dr.ª CRISTIANE INACIO DE CAMPOS (Participação Virtual)
Curso de Engenharia Industrial Madeireira / UNESP - Campus Experimental de Itapeva

Ilha Solteira, 25 de outubro de 2021

DEDICATÓRIA

A Deus, aos meus queridos pais Albino e Nilcéa, a toda minha família e amigos por todo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Pela presença constante de Deus, por me dar a oportunidade desse trabalho, saúde e força para superar os obstáculos e dificuldades encontradas durante todo caminho realizado.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional durante toda minha trajetória e na vida.

A Universidade Unesp, seu corpo docente, direção e administração que me deram a oportunidade de realizar o curso de pós-graduação em Engenharia Civil. E pela disponibilidade de sua infraestrutura durante a elaboração desse trabalho.

Em especial meu orientador Prof. Dr. Sérgio Augusto de Mello, pelo suporte durante todo o processo desse trabalho, pelas suas correções, incentivos, paciência, apoio e confiança.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, Gilson Campos Correa e Flávio Rogério Porato por darem a disponibilidade em auxiliar durante essa caminhada.

Ao Funcionário Luiz Doniseti Belezze da Marcenaria da UNESP e Alvino da Silva da FEPE, por todos os serviços realizados na preparação dos materiais sempre com muita dedicação.

A todos os meus amigos do mestrado pela amizade, companhia, apoio e troca de experiências durante essa caminhada.

Ao meu namorado Guilherme Kitsandonis por todo incentivo e apoio em todos os momentos.

A empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, pela doação da resina PU-Mamona que possibilitou a confecção dos painéis.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A seringueira é uma espécie nativa reflorestada em várias regiões do Brasil explorada economicamente no setor de borracha, que após o ciclo produtivo para extração do látex, representa uma excelente alternativa para fabricação de móveis e painéis de madeira. Uma alternativa viável visando garantir a sustentabilidade do setor florestal é a utilização de madeira de reflorestamento para produção de painéis de madeira. Considerando-se o “déficit” de espécies do setor florestal, tem sido uma boa alternativa a utilização de outras espécies. Nesse sentido, o presente trabalho visou produzir e avaliar painéis aglomerados com partículas de madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) oriundas do clone RRIM 600 com 15 anos e partículas de *Pinus taeda*, obtido por meio do processamento de tábuas de pinus. Sendo essas partículas aglutinadas com 10% de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona (PUR) em relação a massa seca das partículas. Para avaliação dos painéis foram propostas três variações percentuais entre as partículas de pinus e seringueira. Com base na ABNT NBR 14810-1(2013) e 2(2018) e na ANSI A208-2009 – Particleboard foram avaliadas as propriedades físicas (densidade, teor de umidade, inchamento em espessura após 24h) e das propriedades mecânicas módulo de resistência à flexão estática (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tração perpendicular (TP). Os resultados obtidos evidenciaram que os painéis produzidos com as partículas de seringueira, puderam ser classificados de acordo com norma brasileira em pelo menos uso para tipo P2 (painéis não estruturais para uso interno em condições secas), sendo possível indicar a utilização desse tipo de madeira como uma alternativa na produção de painéis. Verificou-se um melhor desempenho da madeira de pinus nos ensaios de MOR e MOE. Os painéis com maior quantidade de seringueira tiveram melhor desempenho no ensaio de TP. Quanto ao inchamento após 24h, observa-se uma tendência maior de absorção de água conforme a adição de partículas de pinus.

Palavras-chave: Painéis Aglomerados. Seringueira. Pinus. Madeira. Adesivo Poliuretano à base de óleo de mamona.

ABSTRACT

Rubber tree is a native species reforested in several regions of Brazil economically exploited in the rubber sector, which after the production cycle for latex extraction, represents an excellent alternative for the manufacture of furniture and wood panels. A viable alternative to ensure the sustainability of the forestry sector is the use of reforested wood for the production of wood panels. Considering the “deficit” of species in the forest sector, the use of other species has been a good alternative. In this sense, the present work aimed to produce and evaluate particleboard with rubber wood particles (*Hevea brasiliensis*) from the 15-year-old clone RRIM 600 and *Pinus taeda* particles, obtained by processing pine boards. These particles are bonded with 10% polyurethane adhesive based on castor oil (PUR) in relation to the dry mass of the particles. To evaluate the panels, three percentage variations were proposed between pine and rubber particles. Based on ABNT NBR 14810-1(2013) and 2(2018) and ANSI A208-2009 - Particleboard, the physical properties (density, moisture content, swelling in thickness after 24h) and the mechanical properties of the modulus of resistance to static bending (MOR), modulus of elasticity (MOE) and perpendicular tension (TP). The results obtained showed that the panels produced with rubber tree particles could be classified according to the Brazilian standard in at least use for type P2 (non-structural panels for indoor use in dry conditions), being possible to indicate the use of this type of wood as an alternative in the production of panels. It was verified a better performance of the pine wood in the MOR and MOE tests. The panels with the highest amount of rubber tree performed better in the TP test. As for swelling after 24 hours, there is a greater tendency to absorb water according to the addition of pine particles.

Keywords: Particleboards. Rubber tree. Pine. Wood. Castor Oil-based polyurethane adhesive.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Área de florestas plantadas no Brasil.....	19
Figura 2 – Utilização das áreas florestais mundiais (em milhões de há).....	20
Figura 3 - Histórico de volume de madeira transportado pelas concessões florestais federais entre 2010 e 2020 – Produção de m ³ /ano	24
Figura 4 - Comparativo da Demanda (Painéis de Madeira, Cimento, PIB, Construção Civil e Serrado) entre os anos de 1996 e 2012	25
Figura 5 - Comparativo da Demanda (Painéis de Madeira, Cimento, PIB, Construção Civil e Serrado) entre os anos de 1996 e 2013	26
Figura 6 – Histórico de produção e consumo de painéis de madeira industrializada no Brasil, 2002-2012	26
Figura 7– Comparação da produção brasileira de painéis de madeira reconstituídos dos anos de 2015 e 2016.....	27
Figura 8 – Comparação da produção brasileira de painéis de madeira reconstituída dos anos de 2017 e 2018.....	28
Figura 9 – Principais etapas do processo de uma linha de produção de aglomerado	34
Figura 10 - Exemplos de espécies de árvores: Seringueira– Pinus pinaster (da esquerda para a direita)	35
Figura 11 – Singularidade da madeira	36
Figura 12 - As três direções segundo as quais a madeira exhibe diferentes propriedades: Radial, Longitudinal e Tangencial.....	42
Figura 13 – Representação de diferentes modelos de constituição da parede celular	43
Figura 14 – Constituição química da madeira e sequência organizacional da sua estrutura.	43
Figura 15 - LVL, LSL e PSL (da esquerda para a direita).	44
Figura 16 – Aglomerado de Madeira, Aglomerado de Fibra e Contraplacados (da esquerda para a direita)	45
Figura 17 – Área de árvores plantadas no Brasil por estado e por gênero (2019)	51
Figura 18 - Reação de formação do grupo uretano.....	56
Figura 19 - Reação de polimerização do poliuretano	56

Figura 20 – Partículas de seringueira.....	59
Figura 21 – Partículas de pinus.....	60
Figura 23 – Preparação das partículas no moinho de facas	62
Figura 24 – Material exposto ao sol para secagem.....	62
Após secagem e aferição da umidade, o material foi armazenado em tambores de PVC, como ilustra a Figura 25.....	62
Figura 25 – Armazenamento das partículas de madeira	63
Figura 26 – Agitador de peneiras utilizado para a separação das partículas	63
Figura 27– Materiais utilizados para o ensaio de massa específica das partículas ..	65
Figura 28 – Equipamento utilizado para a determinação da composição granulométrica das partículas	68
Figura 29 – Amostras das partículas usadas no ensaio de teor de umidade dentro da estufa	70
Figura 30– Processo de adição e homogeneização da resina às partículas.....	71
Figura 31 – Formação do colchão de partículas e pré-prensagem	72
Figura 32– Prensa hidráulica e painel pós prensagem.	73
Figura 33 – Máquina Universal de ensaios e o dispositivo para ensaio de flexão estática em corpo de prova de painéis aglomerados.	73
Figura 34 – Corpo de prova do ensaio de flexão com diagonais traçadas.....	74
Figura 35 – Aferição das dimensões dos corpos de prova.....	74
Figura 36– Aparato utilizado para o ensaio de resistência a flexão	75
Figura 37 – Colagem dos suportes metálicos nos corpos de prova de madeira	77
Figura 38 – Colagem dos suportes metálicos nos corpos de prova de madeira	78
Figura 39 – Remoção do resíduo de filme de poliéster dos corpos de prova.....	79
Figura 40 – Aferição das dimensões dos corpos de prova.....	79
Figura 41– Etapas de execução do ensaio de umidade.....	80
Figura 42–Ensaio de Inchamento Após 24h	82
Figura 43 - Curva Granulométrica das misturas de partículas realizadas para cada Mistura	88
Figura 44 - Aspectos gerais dos CPs com 70% seringueira e 30% Pinus	92
Figura 45 - Copos de prova 100% Pinus não ensaiado (esquerda) e após ensaiado (direita)	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da madeira seringueira	46
Tabela 2 – Resultados dos painéis obtidos por Iwakiri et al. (2018).....	48
Tabela 3 – Resultados dos painéis obtidos por Müzelet al.(2015).	48
Tabela 4 – Resultados dos painéis obtidos por Gilio (2020)	49
Tabela 5 – Resultados dos painéis obtidos por FARIA et al(2021)	49
Tabela 6 – Resultados dos painéis obtidos por Gava et al. (2015)	50
Tabela 7 – Aplicações da madeira Pinus	52
Tabela 8 – Resultados dos painéis obtidos por Iwakiri et al. (2016).....	52
Tabela 9 – Resultados dos painéis obtidos por Shirosakiet al.(2017)	53
Tabela 10 – Classificação dos adesivos	54
Tabela 11 – Classificação dos adesivos de painéis de madeira conforme o ambiente de uso	55
Tabela 12 – Conjunto de peneiras empregado no peneiramento prévio	64
Tabela 13 – Misturas propostos para a confecção dos painéis.....	64
Tabela 14 – Fatores aferidos e massa específica das partículas.....	84
Tabela 15 – Composição granulométrica das partículas 100% seringueira.....	86
Tabela 16 – Composição granulométrica da mistura com partículas com 70% seringueira e 30% pinus.....	86
Tabela 17 – Composição granulométrica das partículas 100% Pinus.....	87
Tabela 18 – Teor de umidade das partículas	88
Tabela 19 – Densidade dos painéis.	90
Tabela 20 – Razão de compactação.....	91
Tabela 21 – Teor de umidade dos painéis.	92
Tabela 22 – Limite máximo por tipo de uso quanto ao inchamento em espessura ...	93
Tabela 23 – Inchamento e absorção 24h	95
Tabela 24 – Valor de MOR mínimo determinado por tipo de uso para norma brasileira.....	97
Tabela 25 - Módulo de resistência à flexão estática (MOR)	98
Tabela 26 – Valor de MOE mínimo por tipo de uso.....	100
Tabela 27 - Módulo de resistência à flexão estática (MOE)	101
Tabela 28 – Valor de RT mínimo por tipo de uso	103

Tabela 29 - Resistência à tração perpendicular (TP)	103
Tabela 30 - Resultados das propriedades físicas dos painéis em função dos percentuais de partículas de madeira de pinus.	105
Tabela 31 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis em função dos percentuais de partículas de madeira de pinus.	105
Tabela 32 - Resultados do teste de contraste de médias de Tukey para os painéis produzidos com a três misturas propostas que contém os percentuais das partículas.	106
Tabela 33 - Resultados de validação do teste de Tukey.	107
Tabela 34 – Resultados do modelo de regressão do teor de madeira de Pinus como estimador das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1–Curva de Calibração do Picnômetro	66
Gráfico 2–Gráfico das densidades média dos painéis	90
Gráfico 3 – Gráfico de inchamento 24h.....	96
Gráfico 4 - Módulo de resistência à flexão estática (MOR)	99
Gráfico 5 – Comparação dos valores de MOR e Razão de Compactação	99
Gráfico 6 - Módulo de elasticidade (MOE)	101
Gráfico 7 – Comparação entre MOE e MOR.....	102
Gráfico 8 – Tração Perpendicular (TP).....	104

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
Unesp	Universidade Estadual Paulista
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Inc 24h	Inchamento em 24 horas de imersão em água
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de ruptura
PU	Resina Poliuretana à base de mamona
TU	Teor de umidade
UF	Resina ureia formaldeído
ρ	Densidade

LISTA DE SÍMBOLOS

B	Largura do corpo de prova (mm);
CV	Coefficiente de variação (%);
D	Densidade (kg/m ³);
D%	Variação percentual da densidade;
D _{média}	Densidade média das composições (kg/m ³);
E	Espessura do corpo de prova (mm);
E ₀	Espessura do corpo de prova antes da imersão (mm);
E ₁ imersão (mm);	Espessura do corpo de prova após o período de 24 horas de imersão (mm);
I	Inchamento em espessura do corpo de prova (%);
M _p	Massa de partículas (g);
M _{cp}	Massa do corpo de prova (g);
M ₁ submersas) (g);	Massa do conjunto (picnômetro + álcool absoluto + partículas submersas) (g);
M ₂	Massa do conjunto (picnômetro + álcool absoluto) (g);
M _{An} desejado (g);	Massa de água necessária para atingir o teor de umidade desejado (g);
MOE	Módulo de elasticidade (N/mm ²);
MOR	Módulo de resistência à flexão estática (N/mm ²);
M _s	Massa seca das partículas (g);
M _u	Massa úmida das partículas (g);
P	Carga de ruptura (N);
P ₁	Carga no limite proporcional, lida no indicador de cargas (N);
S	Área da superfície do corpo de prova (mm ²);
TP	Resistência à tração perpendicular (N/mm ²);
U	Teor de umidade das partículas (%);

Ud	Teor de umidade desejado das partículas (%);
Ui	Teor de umidade inicial das partículas (%);
Vcp	Volume do corpo de prova (mm ³);
Vp	Volume final do painel (cm ³);
b1eb2	Dimensões das arestas dos corpos de prova (mm);
d	Deflexão correspondente à carga P1 (mm);
e	Espessura do corpo de prova (mm);
ρs	Massa específica das partículas (g/cm ³);
ρw	Massa específica do álcool absoluto (g/cm ³);
±	Mais ou menos;
%	Percentual;
°C	Graus Célsius;
"	Polegadas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO.....	17
2.1	OBJETIVOS GERAIS	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	ASPECTOS SOBRE O SETOR FLORESTAL BRASILEIRO	18
3.2	PANORAMA DA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS	19
3.2.1	Histórico do crescimento do setor industrial de painéis de madeira	24
3.3	PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	29
3.2.2	Definição e características.....	29
3.2.3	Histórico	30
3.2.4	Utilização e Vantagens	31
3.2.5	Classificação do MDP	32
3.2.6	Processo de fabricação.....	33
3.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	34
3.5.1	Densidade da madeira.....	36
3.5.2	Geometria das partículas	37
3.5.3	Teor de umidade	38
3.5.4	Temperatura e tempo de prensagem	39
3.5.5	Pressão	40
3.5	MADEIRAS	41
3.3.1	Seringueira	45
3.3.2	Pinus	50
3.6	ADESIVOS.....	53
3.4.1	Definição, classificação e histórico.....	54
3.4.2	Resina Poliuretano PU-Mamona	55
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1	MATERIAIS.....	58

4.1.1	Seringueira	58
4.1.2	Pinus	59
4.1.3	Adesivo Poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR).....	60
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
4.2.1	Obtenção e preparação das partículas de madeira para produção dos painéis.....	61
4.2.2	Definição das misturas para produção dos painéis.....	64
4.2.3	Determinação das propriedades das partículas sólidas.....	64
4.2.3.1	Massa específica	64
4.2.3.2	Composição granulométrica	67
4.2.3.3	Teor de umidade	69
4.2.4	Massa das partículas utilizada para produção dos painéis	70
4.2.5	Procedimentos para produção dos painéis.....	71
4.2.6	Execução dos ensaios mecânicos.....	73
4.2.6.1	Ensaio de flexão	74
4.2.3.3	Resistência a tração perpendicular	76
4.2.7	Avaliação das propriedades físicas dos painéis.....	78
4.2.7.1	Densidade (D).....	79
4.2.7.2	Teor de umidade (U)	80
4.2.7.3	Inchamento após (24h)	81
4.1.4	Análise Estatística.....	82
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	84
5.1	PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS	84
5.1.1	Massa específica.....	84
5.1.2	Composição granulométrica	84
5.1.3	Teor de umidade	88
5.2	AValiação DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS.....	89
5.2.1	Densidade.....	89
5.2.2	Teor de umidade	92
5.2.3	Inchamento e absorção após 24 horas.	93
5.2.4	Módulo de Flexão Estática (MOR).....	97
5.2.5	Módulo de Elasticidade (MOE).....	100
5.2.6	Tração Perpendicular (RT)	102
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	105

6	CONCLUSÕES	108
7	RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS	109
8	REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem sido crescente a busca pela produção de produtos sustentáveis devido à importância de proteger o meio ambiente. Dentro deste contexto, intensificam-se as pesquisas para desenvolvimento de materiais alternativos, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas reduzindo o custo de produção e minimizando o consumo de energia.

As indústrias do setor madeireiro têm incentivado o desenvolvimento de materiais com qualidade igual ou superior as existentes no mercado de consumo, com menor custo de produção e aquisição. Nesse sentido, destaca-se o uso de resíduos de madeira para a produção de painéis com propriedades mecânicas semelhantes aos materiais disponíveis no mercado.

Segundo Caraschi *et al.* (2009), painéis estruturais de madeira são utilizados frequentemente na área da construção civil, principalmente com larga escala nos Estados Unidos. A tecnologia desse material se desenvolveu logo após a Segunda Guerra Mundial devido à escassez de matéria-prima e com o objetivo de reduzir as perdas da indústria madeireira e na exploração florestal.

No Brasil, via de regra os painéis aglomerados são fabricados com partículas de madeira de pinus e eucalipto e aglutinadas com resina ureia formaldeído (UF). Vale ressaltar, contudo, que o setor de derivados de madeira também utiliza espécies nativas, entretanto, nos últimos anos, a exploração florestal vem crescendo apresentando altos índices de desmatamento.

A exploração excessiva das madeiras de reservas naturais fez com que surgissem leis proibindo ou diminuindo seu uso. Diante desse fato, uma alternativa para proteger as florestas nativas e reduzir suas perdas tem sido a produção de painéis de madeira reconstituída, no qual as espécies menos nobres, que seriam descartadas, possam ser reutilizadas (GILIO, 2020; MUZEL, 2013).

A vantagem dos painéis aglomerados de madeira é a flexibilidade de suas dimensões, já que as madeiras maciças possuem limitações. Ademais, é possível eliminar a anisotropia e os elementos que diminuem a resistência da madeira maciça, como nós e inclinação de grã. Ressalta-se que os painéis podem apresentar características físicas e mecânicas mais flexíveis em relação à madeira maciça, devido ao controle dos fatores de produção, como temperatura e secagem da madeira, densidade dos painéis, razão de compactação, entre outros (GUIMARÃES,

2008).

Devido aos problemas de exploração das florestas e em função de se encontrar soluções racionais mais adequadas para o uso correto da madeira, atualmente são realizados estudos que visem substituir as madeiras nobres por madeira de reflorestamento como a teca, seringueira, acácia, figueira branca, dentre outras e os subprodutos provenientes da produção agroindustrial.

De acordo com Araújo et al (2019) e Aguiar (2014) o eucalipto e o pinus são as principais madeiras de reflorestamento mais utilizadas como matéria-prima para a fabricação de painéis no Brasil, entretanto, também são utilizadas para a produção de outros derivados, como a madeira serrada.

A espécie *Hevea brasiliensis*, conhecida popularmente como seringueira, é direcionada principalmente para a extração de látex na produção de borracha, com o fim de seu ciclo de produção em 30 anos, se torna economicamente inviável, conseqüentemente, é necessário o desbaste de árvores com potencialidades para fabricação de móveis, formas de concreto armado e produção de painéis aglomerados (TEIXEIRA *et al.*, 2001; GONÇALVES, 2002).

As florestas de pinus se apresentam no Brasil com área de 1,64 milhões de hectares, enquanto as florestas de seringueiras totalizaram 9 milhões de hectares em 2019, um acréscimo de 2,4% em relação a 2018 que era de 8,79 milhões de hectares, e segundo IBÁ (2020), seus plantios estão estáveis.

Considerando-se os aspectos referentes às madeiras de florestas plantadas, este trabalho tem por finalidade avaliar painéis aglomerados produzidos com misturas de madeiras de pinus e seringueira aglutinados com adesivo PUR, pois, segundo Iwakiri *et al.* (2018) as madeiras de reflorestamento são excelentes alternativas e essenciais para essa atividade industrial por apresentarem crescimento rápido e custo viável de extração para geração de matéria prima.

A mistura de espécies de madeira na composição de painéis de partículas aglomeradas possibilita a combinação de madeiras com densidades diferentes. As características físico-químicas das diferentes espécies de madeira podem ser combinadas por meio da mistura homogênea das partículas para formação do painel, contribuindo para o aumento na oferta de matéria-prima para as indústrias de painéis de madeira que demandam grande volume do material.

Por meio da combinação de diferentes espécies de madeira é possível aumentar o suprimento de matéria-prima para fabricação de painéis. Sendo que

essa vantagem é advinda das “características físico-químicas das diferentes espécies de madeira que podem ser combinadas na mistura homogênea das partículas para formação do painel” (IWAKIRI et al., 2018, p. 32).

Dentre os principais objetivos dos estudos de painéis com misturas de várias espécies de madeira é o aproveitamento de resíduos, agregando valor ao produto. Assim sendo, o aproveitamento dos resíduos é essencial, tanto pela receita gerada quanto para minimizar os problemas gerados decorrentes do descarte desses materiais, já que esses possuem restrições de descarte em aterros e não podem ser incinerados a céu aberto.

A importância do uso da madeira de seringueira se constitui no seu reaproveitamento para outra atividade fim, pois, se evidencia que não foi previsto, em seu plano de reflorestamento, uma destinação adequada para as árvores com baixa produção de látex, todavia, são encontrados estudos, os quais serão citados durante o trabalho em questão que utilizam a madeira de seringueira para produção de painéis empregando-se PUR como aglutinante, pesquisas estas que motivaram a realização desse estudo.

Estudos realizados por autores como Iwakiri et al. (2018), Müzel et al. (2015), Gilio (2020), e outros que serão citados durante o trabalho em questão sobre as propriedades físicas e mecânicas da seringueira, indicam serem adequadas para a produção de painéis. Em vista disso, após seu ciclo produtivo, ou seja, não sendo mais economicamente viável, poderão ser direcionadas para fabricação de móveis, formas de concreto armado e para produção de painéis aglomerados.

Com relação ao pinus é uma madeira que foi introduzida no Brasil, dentre suas vantagens, possui crescimento rápido em florestas plantadas que é uma excelente alternativa para a fabricação de painéis de madeira.

Tanto o pinus como a seringueira são espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil e ambas com propriedades físicas e mecânicas compatíveis para a produção de painéis e sua utilização propiciam a sustentabilidade de espécies nobres, minimizando a exploração florestal.

Vale ressaltar a importância da produção de painéis aglomerados empregando-se o adesivo PUR. Um produto constituído de derivados do petróleo associados a componentes do óleo de mamona resultando num adesivo bicomponente menos tóxico ao organismo humano e menos poluente ao meio ambiente, por ser livre do componente formaldeído.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliação do desempenho físico-mecânico de painéis produzidos com o aproveitamento da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) de florestas plantadas que se tornam inviáveis economicamente para produção de látex e que posteriormente são descartadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a influência de diferentes porcentagens de madeira de seringueira e madeira de pinus na composição de painéis particulados.
- b) Caracterizar as partículas de madeira para a fabricação dos painéis;
- c) Avaliar o desempenho físico-mecânico das diferentes porcentagens;
- d) Propor usos e aplicações para os painéis a partir de documentos normativos nacionais e internacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS SOBRE O SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

Dentro do tema abordado, é fundamental analisar o cenário do setor florestal brasileiro atual, assim como a sua importância, visto que o Brasil possui uma área de vegetação de 64,3% do seu território e considerando exclusivamente as florestas, a cobertura é de 57,3%, cobrindo uma área de aproximadamente 487 milhões de hectares de florestas em seu território. Sendo que desse total 98% correspondem a florestas naturais e 2% florestas plantadas (Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF, 2020). Além disso, dentro do contexto mundial, o Brasil encontra-se em segundo lugar, depois da Rússia, entre os cinco países com maior área de florestas (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO, 2015).

O setor florestal brasileiro tem grande importância, pois tem influência em diversos setores no país, principalmente na economia, além de gerar valores para educação e pesquisa. Em 2018, o setor empregou 1,25% dos trabalhadores formais, sendo que desses, aproximadamente 30% vinculados a indústria moveleira e 30% à produção de papel e celulose. No setor de educação e pesquisa, no mesmo ano, foram gerados 11 Programas de Pós-Graduação na área de Engenharia Florestal e Recursos Florestais. Isso totalizou na distribuição de 43 cursos em 23 Instituições de Ensino Superior (SNIF, 2019).

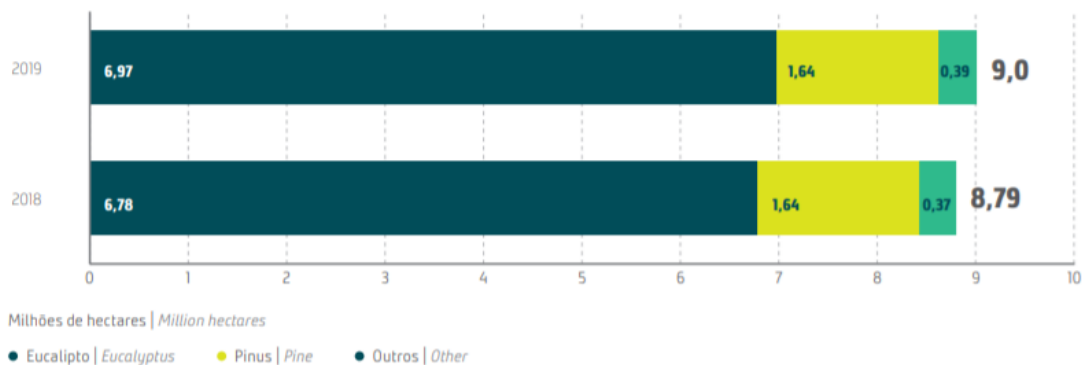
Nesse contexto entende-se que, a atividade florestal e sua cadeia produtiva, associada ao cultivo de árvores para fins industriais impulsionam a economia e outros setores nacionais. Ademais, florestas plantadas podem gerar uma variedade de produtos, como madeira serrada, papel, celulose, painéis de madeira e carvão vegetal. Além de servirem como matéria-prima e serem recicláveis, vale destacar que ainda fornecem energia para as indústrias (IBÁ, 2019).

Dentro da área total de árvores plantadas, os plantios mais representativos são de eucalipto e de pinus, constituindo aproximadamente 76 e 20%, respectivamente (SNIF, 2020). As demais espécies que contribuem em menor escala são: a seringueira, acácia, teca, entre outras (IBÁ, 2019).

A Figura 1 ilustra graficamente a área de florestas plantadas comparando

os anos de 2018 e 2019. Em 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9 milhões de hectares, o que equivale a um aumento de 2,4% em relação a 2018 (8,79 milhões de hectares). Desse total, 77% são representadas pelo cultivo de eucalipto e 18% de pinus. Além desses cultivos em grande parte, existe uma parcela menor, representando 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2020)

Figura 1 – Área de florestas plantadas no Brasil



Fonte: IBÁ, 2020

Desse modo o setor de árvores plantadas tem sido visto com grande relevância e como um indicador de desenvolvimento econômico, social e ambiental no país. Visto a importância que esse setor gera na economia, que é capaz de promover mudanças econômicas locais, apresentando oportunidades de trabalho e gerando renda para a população e as dificuldades que o país enfrenta, destaca-se a relevância de estudar alternativas que favorecem esse setor.

3.2 PANORAMA DA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Atualmente há um estoque florestal de 4,06 bilhões de hectares (ha) no mundo, utilizado para funções de serviços sociais - com a finalidade de turismo ecológico, pesquisa educacional dentre outras, proteção de solo e água, biodiversidade e, principalmente, para a produção de produtos a partir da madeira (GLOBAL FOREST RESOURCES ASSESSMENT, 2020). A Figura 2 ilustra a distribuição mundial dos usos de florestas em hectares.

Figura 2 – Utilização das áreas florestais mundiais (em milhões de há)



Fonte: Adaptado do *Global Forest Resources Assessment (2020)*

Conforme a Figura 2, verifica-se que mais de 30% do estoque florestal do mundo é alocado para a exploração e extração de recursos e produtos, sendo a madeira a principal matéria prima extraída da floresta.

Em 2006, por meio da Lei Federal Nº 11.284, que “dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro – SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF e dá outras providências” à União, através das Unidades de Manejos Florestais, o que possibilita concessões do direito de exploração de áreas florestais para empresas privadas, permitindo um desenvolvimento econômico por meio da exploração florestal, preservando o estoque florestal nacional.

A SFB monitora o cumprimento do contrato das empresas concessionárias, as quais possuem obrigações “normativas e contratuais relacionadas aos ambientais, administrativos, sociais e econômicos.”

No entanto, apesar do sancionamento da Lei de Gestão de Floresta Públicas, o Brasil não explora todo potencial econômico desse mercado, uma vez que, de acordo com o art. 6º da Resolução 2/2007 do Serviço Florestal Brasileiro, a União possui 29,4 milhões de hectares disponíveis para concessão, porém, um pouco mais de 1 milhão de hectares (conforme a Quadro 1) têm seus recursos explorados economicamente.

Quadro 1 - Contratos de concessão florestal federal celebrados entre 2007 e 2020

Nome da Floresta Nacional / UF	Unidade de Manejo Florestal (UMF)	Área Concedida (hectares)	Número / Ano do Contrato	Empresa Concessionária	Data de Assinatura do Contrato	Situação Atual
Jamari / RO	I	17.176	02/2008	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	16/10/2008	Vigente
	II	32.998	03/2008	Sakura Indústria e Comércio de Madeiras Ltda.	21/10/2008	Rescindido
	III	46.184	01/2008	Amata S/A	30/09/2008	Rescindido
	IV	32.295	01/2019	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	19/08/2019	Vigente
Saracá-Taquera / PA	II	29.770	Contrato de Concessão Florestal da Concorrência 01/2009 (UMF II)	Ebata Produtos Florestais Ltda.	12/08/2010	Vigente
	III	18.934	Contrato de Concessão Florestal da Concorrência 01/2009 (UMF III)	GOLF Indústria, Comércio e Exportação de Madeiras Ltda.	12/08/2010	Suspensão
	IA	26.898	01/2014	Ebata Produtos Florestais Ltda.	25/03/2014	Vigente
	IB	59.408	02/2014	Samise Indústria, Comércio e Exportação Ltda.	25/03/2014	Vigente
Jacundá / RO	I	55.014	01/2013	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	05/06/2013	Vigente
	II	32.758	02/2013	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	05/06/2013	Vigente
Crepori / PA	II	134.148	03/2014	Brasad´OCTimber Comércio de Madeiras Ltda.	06/06/2014	Suspensão
	III	59.864	04/2014	Brasad´OCTimber Comércio de Madeiras Ltda.	06/06/2014	Suspensão
Altamira / PA	I	39.073	01/2015	RRX Mineração eServiços Ltda.	28/04/2015	Vigente
	II	112.994	02/2015	RRX Mineração eServiços Ltda.	28/04/2015	Vigente
	III	98.414	03/2015	Pataúá Florestal Ltda.	28/04/2015	Vigente
	IV	111.436	04/2015	Pataúá Florestal Ltda.	28/04/2015	Vigente
Caxiuanã / PA	I	37.365,15	01/2016	Benevides Madeiras Ltda.	30/11/2016	Vigente
	II	87.067,18	02/2016	Benevides Madeiras Ltda.	30/11/2016	Vigente
	III	52.168,08	03/2016	Cemal Comércio Ecológico de Madeiras Ltda.	30/11/2016	Vigente

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2020)

De acordo com o SFB (2020) dos 19 contratos de concessões firmados, dois contratos se encontram rescindidos (Contratos nº 3 e nº 1 de 2008) e outros dois estão suspensos por decisão judicial (Contratos nº 3 e nº 4 de 2014).

A Quadro 2 apresenta o valor da arrecadação da concessão, no entanto, esse valor foi influenciado pela rescisão dos contratos.

Quadro 2 - Valores arrecadados nas concessões florestais federais em 2020

Nome da Floresta / UF	UM F	Empresa Concessionária	Nº/Ano do Contrato	Valor Mínimo Anual (VMA) (R\$)	Demais Valores (DV) (R\$)	Safra 2020	Parcelamentos períodos anteriores	Participação em relação ao valor arrecadado Safra 2020 (%)
Jamari / RO	I	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	2/2008	255.505,47	13.783,88	269.289,35	-	1,11%
	III	Amata S.A.	1/2008	0,00	848.537,70	848.537,70	-	3,48%
	IV	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	1/2019	95.124,32	1.458.791,51	1.553.915,83	-	6,38%
Saracátaquera / PA	II	Ebata Produtos Florestais Ltda.	1/2009 (UMF II)	1.190.425,75	3.546.410,71	4.736.836,46	1.225.765,75	19,44%
	IA	Ebata Produtos Florestais Ltda.	1/2014	364.980,71	61.227,97	426.208,68	1.171.565,25	1,75%
	IB	Samise Indústria, Comércio e Exportação Ltda.	2/2014	1.237.744,06	885.259,82	2.123.003,88	1.023.160,76	8,71%
Jacundá / RO	I	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	1/2013	601.027,81	1.037.103,19	1.638.131,00	-	6,72%
	II	Madeflona Industrial Madeireira Ltda.	2/2013	367.292,04	766.917,99	1.134.210,03	-	4,66%

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2020)

Quadro 3 – Valores arrecadados nas concessões florestais federais em 2020

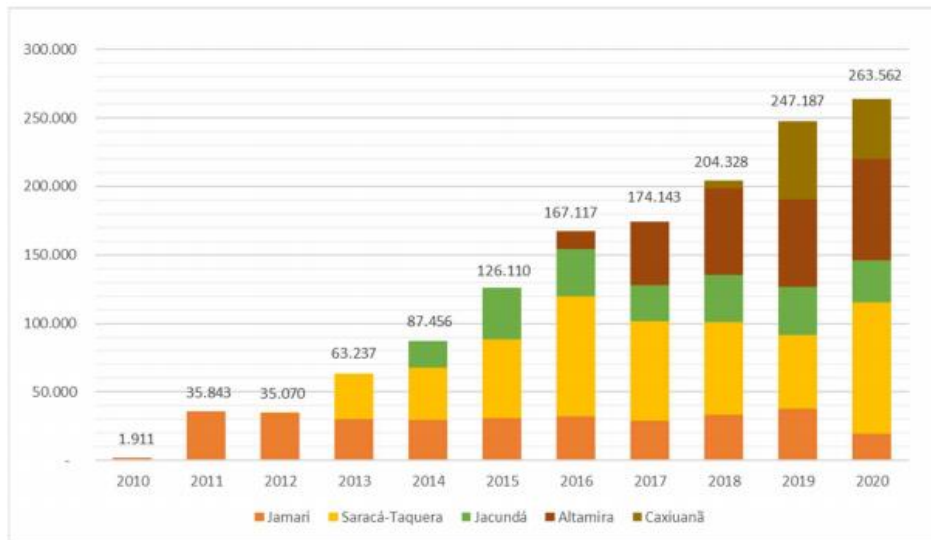
Nome da Floresta / UF	UM F	Empresa Concessionária	Nº/Ano do Contrato	Valor Mínimo Anual (VMA) (R\$)	Demais Valores (DV) (R\$)	Safra 2020	Parcelamentos períodos anteriores	Participação em relação ao valor arrecadado Safra 2020 (%)
Altamira / PA	I	RRX Mineração e Serviços Ltda.	1/2015	82.574,20	238.391,07	320.965,27	-	1,32%
	II	RRX Mineração e Serviços Ltda.	2/2015	48.582,35	330.138,82	378.721,17	109.733,48	1,55%
	III	Patauá Florestal Ltda.	3/2015	948.585,83	936.245,37	1.884.831,20	-	7,74%
	IV	Patauá Florestal Ltda.	4/2015	148.042,19	0,00	148.042,19	-	0,61%
Caxiuanã / PA	I	Benevides Madeiras Ltda.	1/2016	598.423,36	136.866,53	735.289,89	99.824,76	3,02%
	II	Benevides Madeiras Ltda.	2/2016	1.242.867,64	1.341.004,48	2.583.872,12	-	10,60%
	III	Cemal Comércio Ecológico de Madeiras Ltda.	3/2016	2.431.628,01	3.151.340,97	5.582.968,98	-	22,91%
Total Arrecado – Parcelas Trimestrais do ano de 2020				9.612.803,74	14.752.020,01	24.364.823,75	3.630,049,15	100%

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2020)

No ano de 2020 foi arrecadado, entre Safra e o parcelamento de períodos anteriores, aproximadamente 28 milhões de reais, porém, esse mercado tem a capacidade de arrecadar um valor muito superior, uma vez que estão sendo exploradas menos de 4% de toda Unidade de Manejo Florestal. Por isso é necessário que haja mais concessões para potencializar a arrecadação desse mercado e permitir maior desenvolvimento socioeconômico nas regiões que sediam as Unidades de Manejos Florestais.

Por outro lado, nota-se uma evolução na produção de madeiras entre os anos de 2010 e 2020, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Histórico de volume de madeira transportado pelas concessões florestais federais entre 2010 e 2020 – Produção de m³/ano



Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2020)

A partir do final de 2010, iniciou a extração da madeira das florestas nacional, desde então, há um constante crescimento no volume de produção de madeiras. Que saltou dos 35,8 mil metros cúbicos por ano em 2011, para os 26,5 mil metros cúbicos em 2020. Essa evolução também é percebida ao analisar a produção de 2019 com a de 2020, quando houve um aumento de 6,6% nas extrações de madeiras nas Unidades de Manejos Florestais. (Serviço Florestal Brasileiro, 2020)

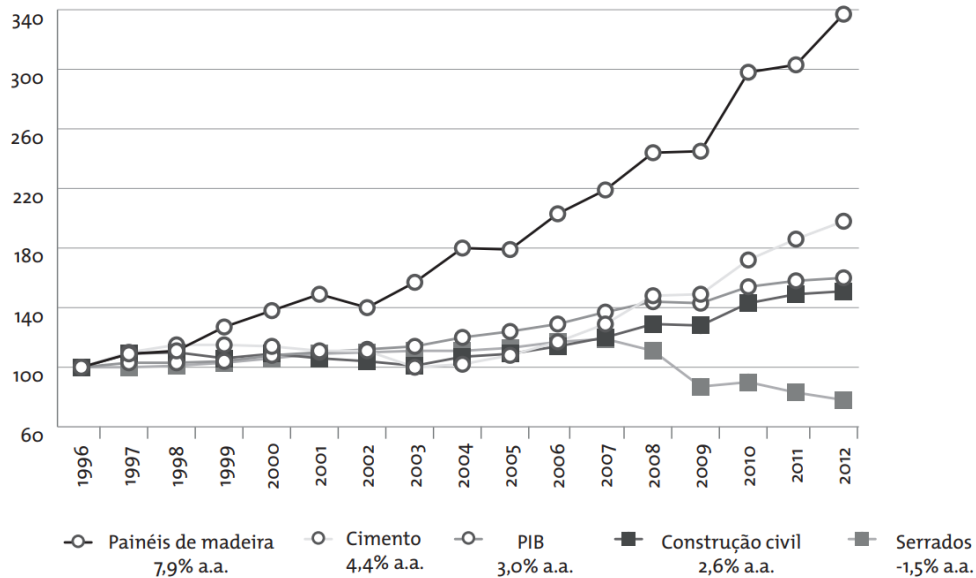
3.2.1 Histórico do crescimento do setor industrial de painéis de madeira

O mercado de painéis de madeira no Brasil retrata um grande movimento e encontra-se em expansão nos últimos anos. As indústrias produtoras dos painéis são importantes fornecedoras de material para as indústrias de móveis, construção civil, entre outras áreas. O setor vem experimentando mudanças devido a diversos fatores, principalmente com objetivo de buscar alternativas à madeira maciça. Painéis de madeira são ótimos substitutos e proporcionam a mesma ou até maior qualidade. Entre suas principais opções têm-se o aglomerado MDP, MDF, OSB, chapa de fibra e compensado (MATTOS, R. *et al.*, 2008; ABRAF, 2013).

Durante o período de 1996 a 2012, o mercado nacional de painéis apresentou um crescimento na demanda de 7,9% aa, enquanto o cimento registrou 4,4%, o PIB 3%, a construção civil 2,6% e o serrado -1,5%, conforme ilustrado na Figura 4. Esse

crescimento na demanda por painéis de madeira teve como principal fator de impacto o aumento do poder aquisitivo da população (VIDAL; HORA, 2014).

Figura 4 – Comparativo da Demanda (Painéis de Madeira, Cimento, PIB, Construção Civil e Serrado) entre os anos de 1996 e 2012



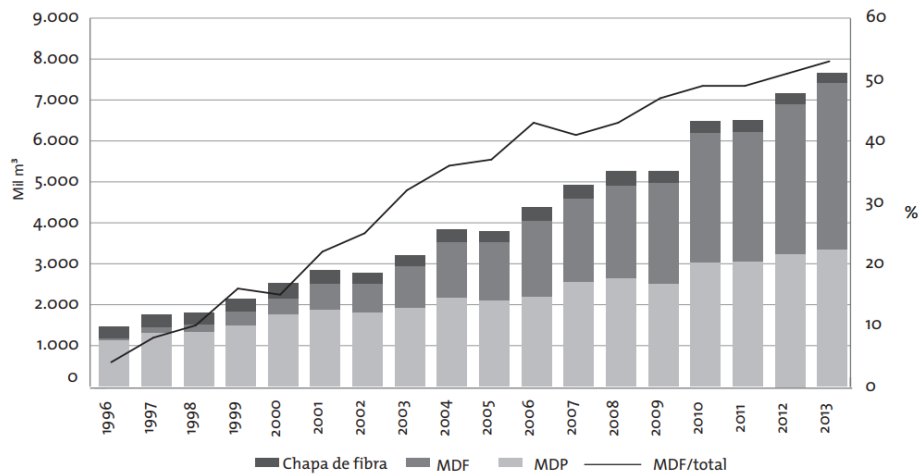
Fonte: Vidal e Hora (2014).

Quanto ao consumo de painéis de madeira reconstituída durante o período de 1996 a 2013, houve um crescimento médio de 10,2% ao ano, assim, no ano de 2012, os painéis de madeira reconstituída representavam 82% das vendas de todos os painéis de madeira consumidos no Brasil, conforme ilustrado na Figura 5. Analisando três produtos disponibilizados pela Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA, o MDF apresentou um maior crescimento de consumo durante o período analisado (VIDAL; HORA, 2014).

Analisando essas informações, Vidal et al. (2014) apresentam algumas explicações para o aumento do consumo de MDF e diminuição do consumo de MDP.

Algumas das explicações para o avanço do MDF, ante o MDP, são: (i) maior leque de aplicações, como pisos; (ii) utilização em substituição a serrados e chapa de fibra; (iii) maior capacidade de usinagem e maior facilidade para se trabalhar, o que leva marceneiros a preferir esse tipo de madeira; e (iv) sucesso em uma estratégia de marketing que posicionou o MDF como “superior” ao MDP em todas as aplicações, a despeito de a principal vantagem do primeiro ser sua capacidade de usinagem.

Figura 5 – Comparativo da Demanda (Painéis de Madeira, Cimento, PIB, Construção Civil e Serrado) entre os anos de 1996 e 2013



Fonte: Vital e Hora (2014).

Conforme relata a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF, em seu anuário estatístico de 2013, nos 10 anos entre 2002-2012, a produção anual de painéis de madeira ampliou de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões, exibindo um crescimento médio de 8,9% anual. Como consequência, o consumo anual de painéis de madeira também cresceu. No ano de 2012, por exemplo, a produção de painéis cresceu 12,3% e o consumo, 10,8%, conforme mostra a Figura 6.

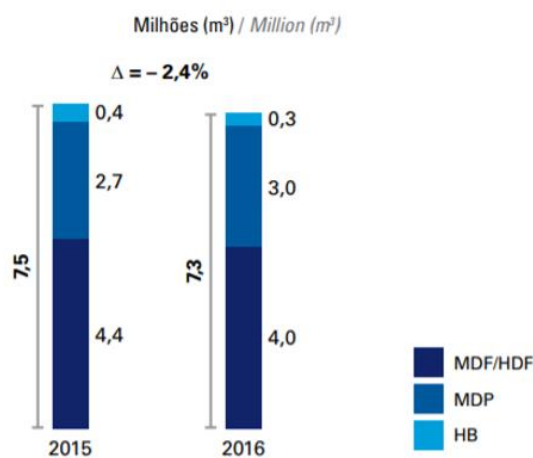
Figura 6 – Histórico de produção e consumo de painéis de madeira industrializada no Brasil, 2002-2012



Fonte: Anuário Estatístico ABRAF (2013).

Em 2016, segundo a Indústria Brasileira das Árvores – IBA ocorreu uma queda de produção de painéis de madeira reconstituída de 2,4% em relação ao ano de 2015, finalizando o ano com 7,3 milhões de m³ produzidos. Conforme a Figura 7, observa-se uma redução da produção de painéis tipo MDF/HDF e HB, por outro lado, a produção de MDP aumentou 8,9%.

Figura 7 – Comparação da produção brasileira de painéis de madeira reconstituídos dos anos de 2015 e 2016



Fonte: Relatório anual IBÁ (2017).

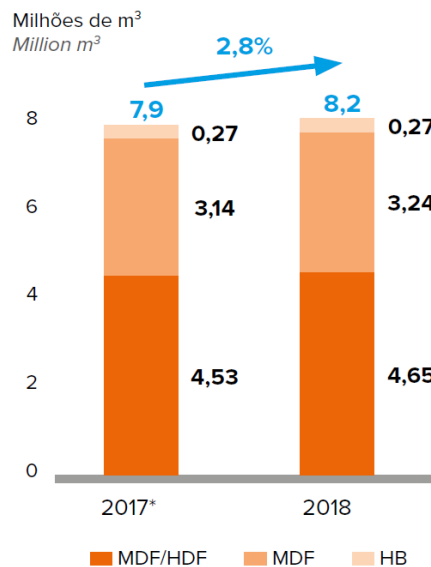
Em geral, essa queda deve-se a diversos motivos, possivelmente, a redução de consumo das famílias levando a redução de compra desses produtos. Fato explicado devido à deterioração da confiança na economia brasileira somada a alterações nos programas do governo para incentivo ao consumo no período em questão (IBÁ, 2017).

Além disso, ainda no ano de 2016, o Brasil ocupou o 8^o lugar no ranking mundial dos maiores produtores de painéis de madeira reconstituída. Sendo que as unidades produtoras de painéis do país encontram-se concentradas nas regiões Sul e Sudeste (IBÁ, 2017).

Em 2018, a IBA relata que a produção brasileira de painéis de madeira reconstituída produziu 8,2 milhões de m³, mantendo seu 8^o lugar no ranking, nesse ano observou-se um aumento de 2,8% em relação a 2017. Conforme a Figura 8, as produções de painéis aumentaram inclusive, a do tipo MDP cresceu 3,4%. Os sinais de evolução e melhora durante os últimos anos, pode ser uma influência positiva a

economia brasileira, pois, incentiva o consumo no mercado interno (IBÁ, 2019).

Figura 8 – Comparação da produção brasileira de painéis de madeira reconstituída dos anos de 2017 e 2018



Fonte: Relatório anual IBÁ (2017).

Um dos fatores competitivos que contribuiu no desenvolvimento da indústria brasileira de painéis de madeira são os constantes investimentos em modernização na produção tanto de MDP quanto de MDF. Esse investimento permitiu que a indústria reduzisse o custo de produção na década de 1990 quando foi investido em prensas contínuas. Outro investimento que permitiu o desenvolvimento do setor é o Parque Industrial Brasileiro, o qual é um dos mais avançados do mundo (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

No entanto, mesmo com o crescimento desse mercado e com a facilidade de acesso, há um fator que impediu que o crescimento histórico fosse mais ascendente: a dificuldade de integralizar o processo de produtos, seja pela indisponibilidade de terras, pela falta de tecnologia ou a dificuldade de realizar a logística de suprimento e fornecimento de matérias primas para alimentar o processo (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

3.3 PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

3.2.2 Definição e características

Painéis de madeira aglomerada podem ser definidos como chapas formadas de partículas provenientes de madeiras secas que são aglutinadas por um adesivo sintético termofixo (Molesmi, 1974; Tsoumis 1991 apud GUIMARÃES, 2008). Uma vez que as propriedades, mecânicas e físicas, desses materiais são avaliadas, podem ser aplicados em diversos setores da construção civil como forros e componentes estruturais (CRAVO *et al.*, 2017).

No geral, há uma grande variedade de tipos de chapas quando tratamos de painéis de madeira. Originalmente, podem ser produzidos pela própria madeira maciça ou pela madeira processada. Quanto ao último caso, o seu grau de processamento pode ser variado, de modo que os painéis podem ser produzidos com as lâminas da madeira, com suas partículas ou suas fibras. A título de exemplo temos como mais conhecidos, respectivamente, painel laminado (LVL); painel de tiras orientadas (OSB) e painel de partículas de média densidade (MDP) e painel de fibras de médias densidade (MDF) (THOEMEN *et al.*, 2010).

A princípio, painéis aglomerados podem ser produzidos a partir de qualquer material lignocelulósico, visto que a composição desses materiais é semelhante à madeira (FIORELLI *et al.* 2012). Recursos alternativos têm sido utilizados em painéis aglomerados como substituição da madeira. Substitutos potenciais incluem resíduos de colheita, cascas de arroz, papel reciclado, palha de trigo, cascas de coco, entre outros. Essa substituição ocorre devido ao esgotamento dos recursos florestais trazendo vantagens econômicas e ambientais (CIANNAMEA, 2010).

Além disso, painéis aglomerados de madeira, podem ser produzidos com uma ou mais espécies, entre elas destaca-se resíduos industriais de madeira, de exploração florestal, madeira de qualidade inferior, madeiras provenientes de florestas plantadas ou reciclagem de madeira sem serventia (MATTOS, R. *et al.*, 2008).

No Brasil, a indústria de painéis de madeira aglomerado utiliza-se, principalmente, de madeiras de reflorestamento como o pinus e algumas espécies de eucalipto de modo que resulte em uma chapa de melhor qualidade visto que há

controle na homogeneidade da matéria-prima (FIORELLI *et al.*, 2012).

Outro insumo também utilizado é a seringueira, fonte de renda importante na área de comercialização do látex, pois, após sua vida útil para extração de látex, há necessidade de descarte da árvore, entretanto, uma alternativa é o aproveitamento de sua madeira para fabricação de móveis, bem como para produção de painéis (GONÇALVES, 2002).

O aglomerado, também conhecido internacionalmente como Medium Density Particleboard - MDP. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT 14810-1 (2018a), esse painel se caracteriza por ser produzido na faixa de densidade entre 551 kg/m³ a 750 kg/m³, consolidado empregando-se calor e pressão, sendo suas partículas aglutinadas com resina sintética termofixa por meio de calor e pressão.

A conformação das partículas do painel é realizada por meio de uma prensa que aplica pressão e temperatura contínua. A resina é um dos principais componentes e faz o principal trabalho de aglutinação das partículas estabelecendo resistência ao painel (ARAUJO *et al.*, 2019).

Os adesivos à base de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído são muito comuns nas indústrias de painéis aglomerados e exibem homogeneidade evidente. Entretanto, cresce cada vez mais o cuidado em utilizar produtos biodegradáveis, não poluentes e que não prejudicam o meio ambiente e o ser humano. O que propicia novas alternativas de pesquisas como o adesivo PUR (FIORELLI *et al.*, 2012).

3.2.3 Histórico

O desenvolvimento dos painéis aglomerados iniciou-se no período da Segunda Guerra Mundial, em 1940, na Alemanha, devido à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade. Na época, via-se como uma solução a utilização de resíduos de madeira para a produção de painéis compensados em consequência da escassez de material em decorrência da guerra (GUIMARÃES, 2008; IWALKIRI, 2005; CARASCHI, 2009).

No Brasil, os painéis de madeira aglomerada vieram a se desenvolver no início nos anos 60 (CARASCHI, 2009). O material, inicialmente, passou por dificuldades no mercado, devido suas limitações técnicas como sua alta absorção de água, inchamento de espessura, entre outras. Com o avanço da tecnologia, esses

problemas foram minimizando e o aglomerado foi se tornando um produto importante para o setor moveleiro do país (MELO, 2009).

A partir dos anos 90, o investimento na tecnologia de produção dos painéis no Brasil começou a aumentar. As fábricas foram se modernizando e ampliando sua capacidade, estimulando assim o consumo brasileiro de MDP. A evolução dos painéis aglomerados no mercado no país se deu principalmente pela consciência do consumidor em relação à qualidade do material. Principalmente por se mostrar um material qualificado para utilização em móveis e na indústria da construção (MATTOS, R. *et al.*, 2008).

3.2.4 Utilização e Vantagens

A principal aplicação dos painéis de madeira está no setor de móveis e da construção civil, sendo suas limitações associadas às propriedades físicas e mecânicas que apresentam características como estabilidade dimensional, uniformidade da superfície, resistência mecânica, entre outros que podem ser restrições para o uso desse material (ABIMCI, 2009 apud WEBER & IWAKIRI, 2015).

Segundo Mattos *et al.* (2008), a utilização do MDP é recomendada principalmente em móveis retilíneos, como tampos de mesas, laterais de armários, estantes e divisórias e, de forma secundária na construção civil. No caso de confecções de móveis que levam maior versatilidade, utiliza-se o MDF, que são chapas fabricadas com um processo similar ao aglomerado MDP, porém utilizando as fibras da madeira, um material com maior grau de desagregação.

A utilização do aglomerado apresenta diversas vantagens quando comparadas a madeira maciça. Dentre elas, a principal é a eliminação do efeito da anisotropia (MELO, 2009; DIAS, 2005). Portanto, painéis de madeira aglomerada apresentam as mesmas características em relação às suas propriedades físicas e mecânicas independentes da direção analisada.

Além disso, outros benefícios da utilização dos aglomerados são: eliminação de fatores redutores da resistência como nós, inclinação de grã e lenho juvenil; controle das propriedades físico-mecânicas através das variáveis de utilização na produção dos painéis como resina e geometria das partículas; menor custo de produção de mão de obra (MELO, 2009; Bodig&Jayne, 1982 apud DIAS, 2005).

A madeira maciça também apresenta limitações no seu diâmetro e comprimento das toras, portando não é possível a obtenção de peças com dimensões muito grandes. Já os painéis aglomerados permitem a produção de peças com maiores dimensões, eliminando também essa restrição permitindo um aproveitamento mais eficiente do material lenhoso de uma árvore (ESPÓSITO, 2007 apud MUZEL, 2013).

Desta forma, a utilização de painéis aglomerados ocasiona repercussão positivas nos âmbitos técnico, econômico e social e ambiente, pois possibilita, nas palavras de Macedo (2008, p. 2), uma alternativa de reciclagem, agregação de valor e adequada destinação dos resíduos, mitigando riscos à saúde da população e ao ambiente.

Em outras palavras, os painéis aglomerados são apresentados com uma finalidade sustentável para os resíduos de madeiras e derivados, colaborando com o desenvolvimento técnico, socioeconômico, socioambiental e com o desenvolvimento sustentável.

3.2.5 Classificação do MDP

De acordo com os parâmetros físicos e mecânicos analisados dos painéis, estes podem ser classificados para certos tipos de usos. Os principais fatores físicos analisados são: espessura, largura, comprimento, densidade, teor de umidade e inchamento após 24h.

E os principais parâmetros relacionados às características mecânicas dos painéis analisados são: módulo de resistência à flexão estática (MOR), módulo de elasticidade (MOE), resistência à tração perpendicular ou adesão interna (TP) e arrancamento de parafuso.

Segundo a NBR 14810-2 da ABNT (2018b) e de acordo com a análise desses parâmetros citados, os painéis de média densidade (MDP) podem ser classificados em seis tipos de acordo com seu uso estrutural ou não em certos ambientes. Seriam eles:

- a. P2 – painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- b. P3 – painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- c. P4 – painéis estruturais para uso em condições secas;
- d. P5 – painéis estruturais para uso em condições úmidas;

- e. P6 – painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos;
- f. P7 – painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

A norma americana (ANSI-A208) exhibe a classificação dos painéis de partículas em três categorias principais, são elas: High Density (H), MediumDensity (M) e LowDensity (LD). As letras que indicam essas categorias são acompanhadas de um segundo dígito, são eles 1, 2 ou 3. Esse dígito indica o grau de identificação, sendo o dígito 3 o mais exigente, que se refere à características especiais de durabilidade.

3.2.6 Processo de fabricação

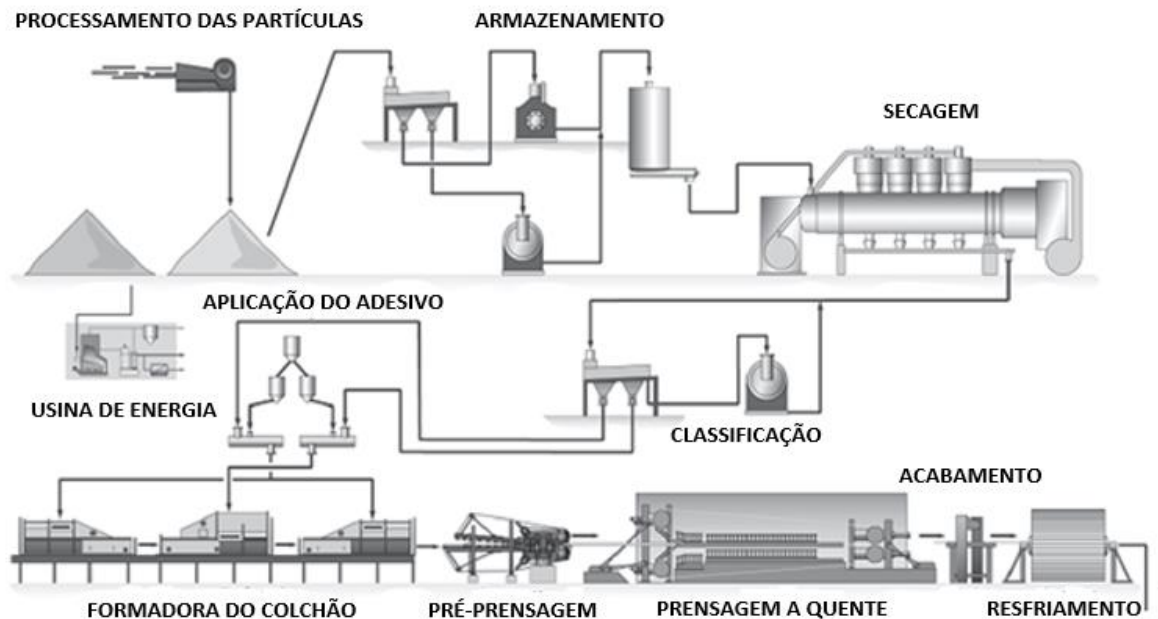
A fabricação de um painel de madeira aglomerada consiste inicialmente na produção e preparação das partículas por meio do processamento da madeira. Para essa etapa, existem fontes variadas para obtê-las, entre elas podemos citar as florestas plantadas e resíduos de indústrias madeireiras (IWAKIRI, 2005).

Posteriormente, realiza-se a secagem e classificação da dimensão das partículas, assim como remoção das impurezas e “finos”. Em seguida, aplica-se o adesivo sobre a superfície das partículas e sucessivamente, ocorre a formação do colchão de partículas com o adesivo (IWAKIRI, 2005).

Então o colchão de partículas deve ser pré-prensado a fim de reduzir sua altura e o tempo necessário para a prensagem a quente (THOEMEN *et al.*, 2010).

Por fim, executa-se a prensagem a quente do colchão de partículas por meio da aplicação de pressão e temperatura contínua com prensa hidráulica. Após seu resfriamento em período mínimo de 72h, e as chapas recebem lixamento final para ajustes nas dimensões, podendo o painel ser pintado e revestido (IWAKIRI, 2005). A Figura 9 ilustra as principais etapas da produção dos painéis aglomerados durante o processo de fabricação industrial.

Figura 9 – Principais etapas do processo de uma linha de produção de aglomerado



Fonte: Adaptado de THOEMEN *et al.*, 2010.

Em todas as etapas do processo de produção do aglomerado, há diversos fatores importantes que influenciam nas propriedades do painel. Os fatores condicionantes e como eles controlam as características do painel final serão detalhados no item 3.4.

3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

Um dos primeiros fatores que influenciam na produção dos painéis é a qualidade da matéria-prima, ou seja, segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (2020), o Brasil possui uma diversidade de 7880 espécies. Entretanto, é importante destacar que existem vários aspectos relacionados ao aproveitamento das árvores, pois, algumas centenas de espécies possuem interesses específicos para fins comerciais, para extração da madeira ou fornecimento de matéria prima para fins estruturais.

Consequentemente, alguns dos motivos para não se utilizar todas as espécies de árvore para a extração de matéria-prima estão relacionadas nas questões regionais, questões financeiras (pois algumas espécies são inviáveis economicamente de serem exploradas), pela singularidade de cada espécie de

árvores (que podem apresentar alguns “defeitos”), e a questão da racionalidade limitada, ou seja, a falta de conhecimento de como tirar o melhor proveito das espécies de árvores (PEREIRA, 2009).

Figura 10 – Exemplos de espécies de árvores: Seringueira– *Pinus pinaster* (da esquerda para a direita)



Fonte: EMBRAPA

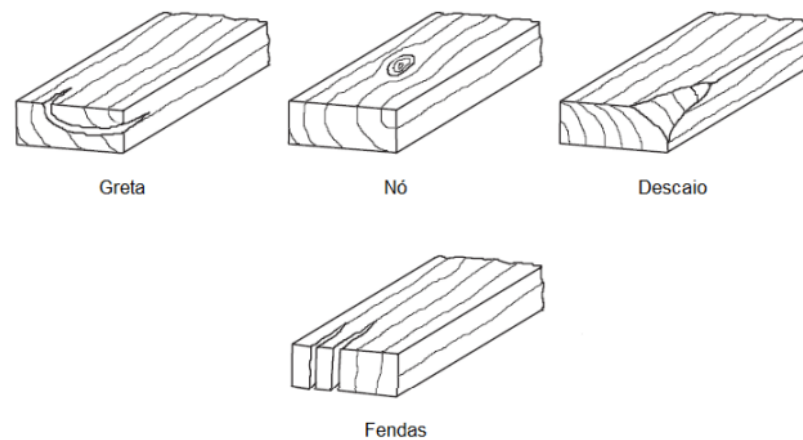
Assim, para melhor entender os fatores que influenciam na escolha de espécies arbóreas, é necessário entender, a priori, as singularidades das árvores, visto que “a estrutura e as propriedades físicas da madeira são influenciadas pela grande variabilidade de espécies existente, pela idade e pelas condições de crescimento da árvore” (PEREIRA, 2009, p. 10).

Sendo a madeira um material natural, resultante do crescimento de um ser vivo – planta, traz consigo as características associadas à hereditariedade e apresenta particularidades que derivam das necessidades de evolução da planta que lhe deu origem. Neste sentido designam-se por singularidades as características próprias que individualizam a madeira (SANTOS, 2007, p. 15).

Assim, algumas dessas singularidades são indesejáveis, pois dificultam a comercialização da madeira extraída desta árvore, prejudica a estética da madeira e reduz a valor do material. Destacam-se algumas das singularidades das árvores, sendo elas: a) greta, que é gerada durante a fase de crescimento da planta, onde há uma separação entre os anéis de crescimento; b) Nós, consiste no crescimento de

ramos a partir do tronco das árvores, essa singularidade também acontece durante a fase de crescimento das árvores; c) Descaio, é uma deformação na madeira, deixando-a com as extremidades arredondadas, reduzindo a área de secção transversal da madeira; e d) Fendas, são aberturas que ocorre nas extremidades dos elementos, isto ocorre devido a secagem mais rápida da superfície (KOGA, 2018; ALMEIDA, 2012).

Figura 11 – Defeitos naturais encontrados na madeira sólida.



Fonte: Porteus (2007) *apud* Almeida (2012)

As singularidades, representadas na Figura 11, não são os únicos fatores que influenciam na escolha da matéria-prima para a extração da madeira ou na fabricação dos produtos derivados da madeira, conforme Pereira (2009) há outros fatores que precisam ser analisados. Por isso, além da singularidade, essa seção irá abordar outros fatores que influencia na escolha da madeira.

3.5.1 Densidade da madeira

Uma variável importante na fabricação do painel aglomerado é a escolha da espécie arbórea de preferência com madeiras de baixa densidade, pois, este aspecto influencia na razão de compactação dos painéis, que é a relação entre a densidade do painel e da madeira escolhida. Essa razão representa o grau de densificação do material e seu valor recomendado encontra-se na faixa entre 1,3 e 1,6 (IWAKIRI, 2005; ARAUJO *et al.*, 2019).

Segundo Trianoski *et al.* 2013, elevados valores de razão de

compactação apontam geralmente uma resistência mecânica maior, visto que apresentam uma quantidade de partículas maior em um determinado volume, as quais são mais comprimidas e atingem a mesma espessura final. No entanto, a maior compressão das partículas aumenta as tensões internas que são liberadas após a prensagem.

Madeiras de alta densidade limitam a permeabilidade do adesivo, pois, apresentam menor porosidade, paredes celulares mais espessas e lumes reduzidos. Essas características levam a limitação de mobilidade do adesivo na estrutura lenhosa, tornando a sua ligação mais superficial e mais fraca (MARRA, 1992 apud TRIANOSKI *et al.*, 2015).

Maloney (1993) apud GUIMARÃES (2008) descrevem que quando se utiliza espécies de baixa densidade em painéis, os resultados são melhores em relação as suas propriedades mecânicas, pois, madeiras de baixa densidade são mais porosas, portanto, ocorre maior penetração do adesivo.

3.5.2 Geometria das partículas

A geometria das partículas consiste nas suas dimensões como comprimento, largura e espessura. As propriedades mecânicas resultantes de ensaios de flexão estática e tração são influenciadas por essas dimensões. A variação desses valores influencia na qualidade das chapas, no acabamento da superfície, borda e aplicação de materiais de revestimentos (ARAUJO *et al.*, 2019; IWAKIRI, 2005).

Conforme a variação das dimensões das partículas, essas podem ser classificadas principalmente em cavacos e serragem. Os cavacos são obtidos no corte da madeira, são longos e espessos, variando de 5 a 50 mm. A serragem é constituída por partículas menores, com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, curtas e finas, obtidas das toras e retiradas de costaneiras (GONÇALVES *et al.* 2000 apud ARAUJO *et al.*, 2019).

Além disso, o comprimento e espessura das partículas podem influenciar no consumo de resina. Visto que o valor dessas dimensões varia, a área superficial das partículas também, sendo assim, a disponibilidade de resina entre as partículas pode ser alterar (IWAKIRI, 2005).

As partículas de madeira podem variar conforme seu comprimento e

espessura. Quando as partículas possuem maior comprimento e menor a espessura, há uma tendência de aumento da resistência à flexão estática do painel, garantindo maior estabilidade dimensional. Por outro lado, partículas com menor comprimento e maior espessura, asseguram maior resistência à tração perpendicular (ligação interna), visto que se reduz a área superficial específica, aumenta-se o adesivo consumido, conseqüentemente aumenta-se a ligação interna dos painéis (VITAL *et al.*, 1992 apud MÜZEL, 2013).

Segundo Iwakiri (2005), existe uma relação entre essas dimensões que possui grande influência na qualidade do painel, denominada razão de esbeltez, essa se dá entre o comprimento e a espessura das partículas. Essa razão pode influenciar em suas propriedades finais como absorção de água, inchamento em espessura e menor expansão linear (ARAUJO *et al.*, 2019). Em painéis produzidos em camadas, o valor da razão de esbeltez deve variar entre 120 e 200 para camadas externas e de 60 para partículas da camada interna.

De acordo com Moslemi (1974), por meio de estudos realizados para verificação da relação entre a razão de esbeltez e as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados, na qual se observou que a menor razão de esbeltez resultou em menores valores do módulo de resistência na flexão estática, maior inchamento em espessura e maior absorção de água, tornando o material menos resistente e mais instável. No entanto, segundo o mesmo autor, para valores de razão de esbeltez superiores a 300 os resultados tenderam a ser desfavoráveis.

3.5.3 Teor de umidade

O teor de umidade das partículas representa grande influência não só nas propriedades finais do painel, mas sobre a cura da resina, tempo de prensagem e pressão necessária para a formação dos painéis na prensa (IWAKIRI, 2005).

Esse é um fator responsável por transferir calor entre as partículas de madeira da superfície para o centro do painel. Essa ação influencia na reação de cura da resina, importante na consolidação do painel.

Partículas com teor de umidade mais alto demandam menos tempo para atingir, sob pressão uma determinada espessura. Além disso, a transferência de calor é mais fácil de ocorrer da superfície ao miolo. E a umidade excessiva interfere na reação química de polimerização da resina, principalmente nas camadas

internas, podendo dificultar o processo de cura do adesivo (MATOS, 1988).

O teor de umidade das partículas após secagem pode variar entre 2 e 8% e esse deve ser um valor que permita uma boa penetração do adesivo entre as partículas para se obter uma boa colagem (Kollman *et al.* (1975) apud Müzel (2013).

É importante ressaltar que durante a prensagem é necessário um baixo teor de umidade das partículas, visto que o excesso de umidade se converte em vapor. Esse ao ser liberado na abertura da prensa pode causar formação de bolhas no painel, o que interfere posteriormente nas suas propriedades físico-mecânicas (IRLE *et al.*, 2012 apud FERREIRA, 2013).

Dias (2005) optou por utilizar teor de umidade de 6% das partículas secas em estufa para a produção dos painéis aglomerados compostos por espécies de *Pinus elliotti* e do gênero *Eucalyptus* com adesivo PUR. O trabalho exibiu resultados promissores considerando a resina PUR, como uma boa alternativa na manufatura de aglomerados.

Müzel (2013) também produziu painéis aglomerados de *Hevea brasiliensis* com adesivo PUR, entretanto utilizou teor de umidade das partículas de aproximadamente 9%. O trabalho mostrou resultados que possibilitam a confecção dos painéis de aglomerado utilizando a madeira de *Hevea brasiliensis* com o adesivo PUR.

Iwakiri *et al.* (2018) realizou a secagem das partículas até um teor de umidade de 3% para a produção de painéis de aglomerado com *Hevea brasiliensis* (Clone RRIM 600) em diferentes proporções com outras três espécies de *Eucalyptus* empregando a resina ureia-formaldeído para colagem das partículas. Os resultados indicaram a viabilidade do uso da madeira *Hevea brasiliensis* (Clone RRIM 600) tanto pura como em mistura com as outras espécies para painéis para uso interior em ambiente seco.

3.5.4 Temperatura e tempo de prensagem

A temperatura da prensa tem como objetivo transmitir calor entre as chapas de modo que ocorra a evaporação da umidade das camadas superficiais e o vapor penetre nas camadas internas. Esse processo faz com que ocorra a aceleração da polimerização da resina, portanto sua cura, consolidando o colchão até a sua espessura final (MATOS, 1988; IWAKIRI, 2005).

Além disso, o fato de aquecer as partículas possibilita a redução na viscosidade da cola, o que diminui a tensão superficial e permite o seu escoamento e maior recobrimento da superfície das partículas (MATOS, 1988).

A temperatura de prensagem pode variar de 140 a 180°C em função da resina utilizada para a produção do painel. Para a resina uréia-formaldeído, por exemplo, recomenda-se de 140 a 160° e fenol-formaldeído de 160 a 180° (IWAKIRI, 2005).

O tempo de prensagem corresponde ao tempo de permanência do painel na prensa, esse pode variar de 4 a 8 minutos, segundo Dias (2005). Além disso, durante esse período ocorre a difusão do vapor d'água do interior do painel para as bordas, provocando liberação da umidade sob forma de vapor e permitindo a cura da resina (MATOS, 1988).

O tempo de prensagem e a temperatura são dois parâmetros relacionados, pois quanto maior a temperatura utilizada para a produção dos painéis, menor será o tempo necessário de prensagem, portanto maior a produtividade (IWAKIRI, 2005).

Müzel (2013) utilizou uma temperatura de prensagem de 140°C para a produção dos painéis da madeira de *Hevea brasiliensis* empregando a resina poliuretana derivada do óleo de mamona e tempo de prensagem de 12 minutos.

3.5.5 Pressão

A pressão aplicada sobre as partículas tem grande importância devido à influência exercida na área de contato do material a qual interfere na espessura final desejada (MATOS, 1988).

A pressão colocada durante a prensagem tem função de densificação e consolidação do material. O nível de pressão pode se relacionar com as seguintes variáveis: área de contato entre as partículas, densidade e controle de espessura da chapa, transferência do adesivo entre a superfície das partículas e tempo de fechamento da prensa (IWAKIRI, 2005).

Quanto maior a área de contato entre as partículas, maior será a pressão requerida. Quanto maior a densidade da chapa, maior será a pressão necessária para chegar à espessura desejada. O valor pode variar na faixa de 12 a 40 kgf/cm²,

dependendo do grau de densificação do material (IWAKIRI, 2005).

Paes (2011) avaliou a qualidade de chapas de partículas de *Pinus eliotti* empregando a resina PUR sob diferentes combinações de pressão e temperatura. O emprego da pressão de 3 MPa e temperatura 90°C proporcionou melhor qualidade às chapas produzidas, apresentando maiores valores de resistência. Além disso, concluiu-se que em função da qualidade das chapas produzidas o emprego da resina PUR é tecnicamente viável na produção de painéis aglomerados.

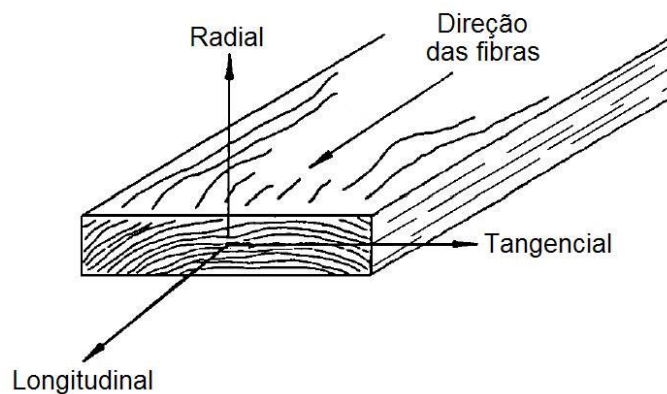
3.5 MADEIRAS

A madeira é a principal matéria prima oriunda de várias espécies arbóreas proveniente de um organismo vivo. Resumidamente, a madeira é um material natural de origem biológica que tem na sua constituição uma matéria heterogênea e anisotrópica. Sua heterogeneidade é decorrente da natureza lenho-celulosa da matéria e a execução das funções específicas dentro do organismo mencionado. Quanto à anisotropia, está relacionada a seus três eixos direcionais (longitudinal, radial e tangencial), assim o comportamento da madeira, paralela às fibras, são iguais em todas as direções, porém, diferem das propriedades apresentadas quando são perpendiculares às fibras (PEREIRA, 2009). A Figura 12 ilustra as três direções nos eixos citados.

Para compreender melhor a madeira, é necessário compreender primeiramente a árvore que fornece a madeira. As árvores podem ser classificadas em dois grupos, com dois subgrupos, gimnospérmicas (resinosas) como pinus, sequoia, cedro, cipreste e araucária; e as angiospérmicas (folhosas) como nogueira, carvalho, angico, aroeira, ipê, jacarandá, e peroba rosa.

A principal diferença entre esses dois grupos está em suas anatomias, onde no grupo das gimnospermas as células são formadas basicamente por traqueídes e parênquimas, os quais têm a função de condução de seiva bruta e suporte, e de armazenamento de substâncias elaboradas no processo de fotossíntese.

Figura 12 – As três direções segundo as quais a madeira exibe diferentes propriedades: Radial, Longitudinal e Tangencial.



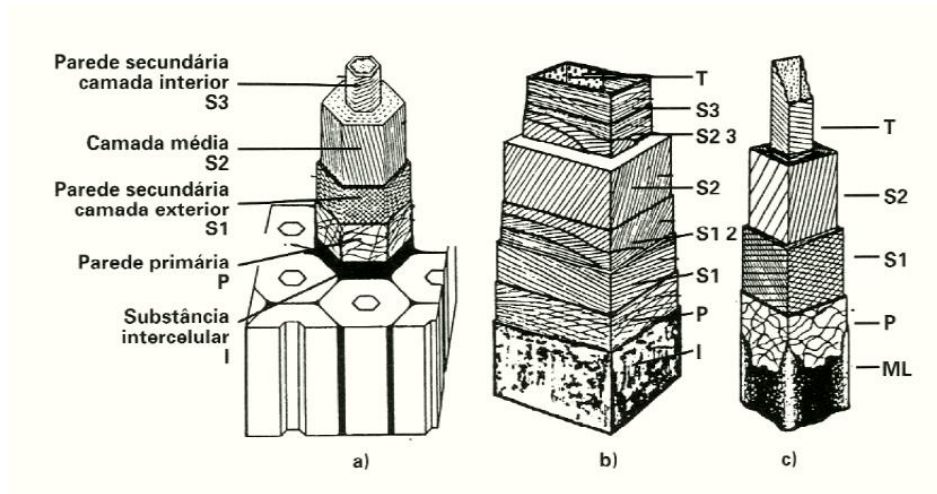
Fonte: Pereira (2009).

Por outro lado, o grupo das angiospermas possui uma maior quantidade de células responsáveis pelas funções orgânicas da árvore, onde há células responsáveis pela condução da seiva, fibras com a função de suporte, células parênquima, células que estabelecem transição entre dois tipos prosenquimatosos, traqueídes vasculares e fibrotraqueídes. Assim, o lenho é definido como um conjunto de numerosas células, que é caracterizado por uma parede celular quimicamente formada, sobretudo por celulose, hemicelulose e lenhina, as quais constituem um agregado tubular fundamental, pela majoritária proporção de fibras ou traqueídes, elementos longitudinais orientados axialmente e com ligações transversais (ALMEIDA, 2012; PEREIRA, 2009; SANTOS, 2007). A Figura 13 exibe a representação de diferentes modelos de constituição da parede celular.

Desta forma, a principal diferença entre esses dois grupos consiste nos elementos lenhosos que exercem a função de suporte da árvore, com os traqueídes fornecendo suporte para as resinosas e as fibras para as folhosas.

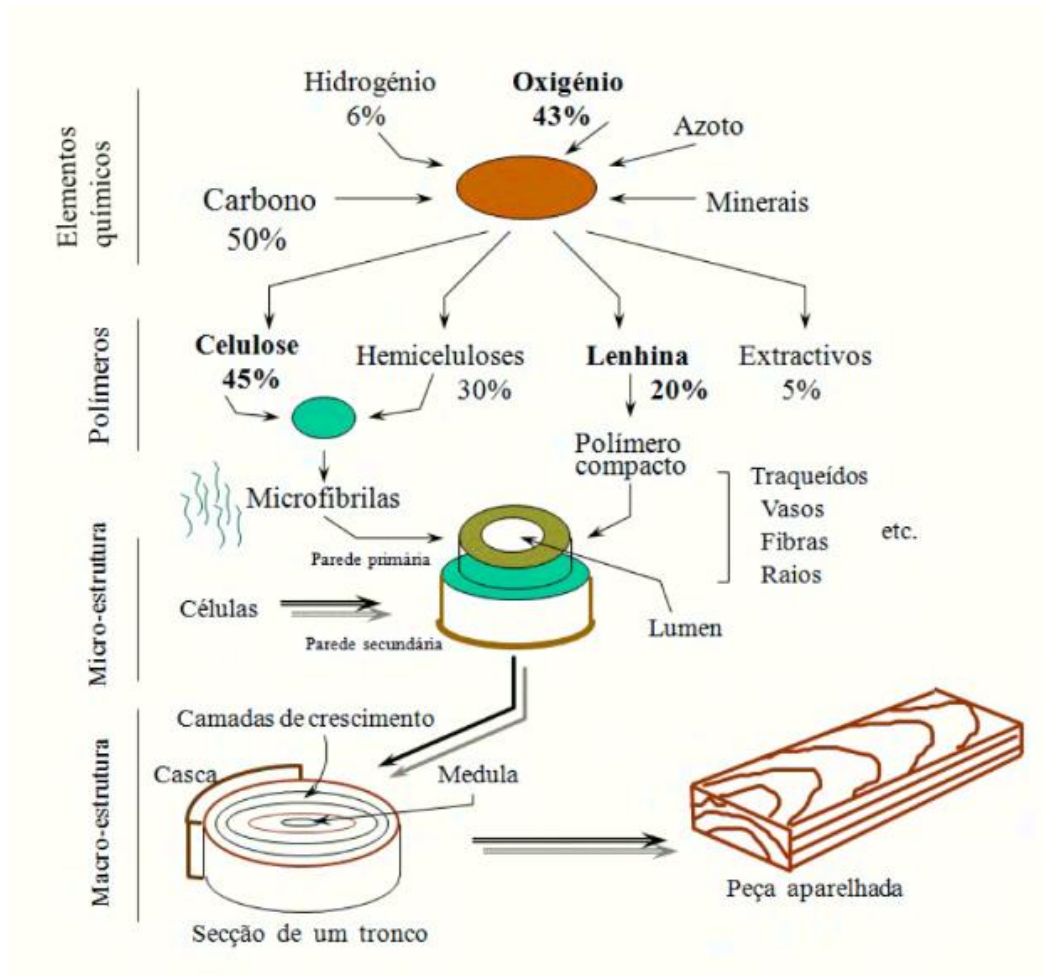
Com isso, nas árvores resinosas, 90% de seus lenhos são constituídos por traqueídes longitudinais, enquanto o lenho das árvores folhosas é constituído por 50% de fibras. Por isso as folhosas são capazes de produzir madeiras com melhores estruturas lenhosas. A Figura 14 ilustra de maneira esquematizada a estrutura da madeira.

Figura 13 – Representação de diferentes modelos de constituição da parede celular



Fonte: Carvalho (1996) *apud* Santos (2007)

Figura 14 – Constituição química da madeira e seqüência organizacional da sua estrutura.



Fonte: Santos, 2007

A madeira pode ser obtida por meio do cerne ou alburno da árvore, regiões de onde se extrai a madeira maciça, ou por meio de processos que trabalham com a madeira para se obter um derivado dela. Esses produtos derivados podem ser tanto madeira laminada colada, madeira micro laminada, *parallel strand lumber* (PSL), *laminated strand lumber* (LSL), quanto as placas ou painéis de aglomerados de madeiras.

O primeiro grupo de derivado de madeira passa por processos de laminagem e colagem, como a madeira laminada e colada, a qual passa por um processo complexo de secagem das lâminas, ligação dos topos, colagem sob pressão, design das peças e acabamento. O processo de elaboração do PSL, LVL e LSL também é complexo, seguindo o mesmo processo da madeira laminada e colada, mas com o refinamento de algumas particularidades de cada material, os três se derivam do aproveitamento da madeira, onde a LVL aproveita as folhas de madeira obtidas por desenrolamento, a LSL realiza o aproveitamento das lascas de madeira bastante finas, com comprimento e largura também reduzidos (ALMEIDA, 2012).

Figura 15 – LVL, LSL e PSL (da esquerda para a direita).



Fonte: Almeida, 2012.

O segundo grupo de produtos derivados das madeiras são as placas, as quais, segundo Almeida (2012), podem ser: contraplacados, que resulta da colagem de várias folhas de madeiras sobrepostas uma à outra com o fio cruzado; placas de aglomerados de madeira, a qual pode resultar de partículas ou fibras de madeira

podendo estes ser aglomerados de partículas ou de fibras de madeira. As placas de aglomerados de fibras de madeira são desenvolvidas por meio de fibras lenhoclulósicas, as quais passam pelo processo de colagem, pressão e/ou calor. Quanto às placas de aglomerados de partículas de madeira, possuem um processo de elaboração semelhante às placas de aglomerado de partículas de fibras, diferenciando-se entre si tanto pela dimensão das suas partículas, pela sua orientação, quanto pela forma como estão ligadas. A Figura 16 representa os exemplos dos derivados de madeira supracitados.

Figura 16 – Aglomerado de Madeira, Aglomerado de Fibra e Contraplacados (da esquerda para a direita)



Fonte: Almeida, 2012

As vantagens do uso de derivados da madeira consistem na falta de limitação das peças de madeira maciça quanto ao comprimento, largura e até mesmo ao design, visto que é possível fabricar peças curvas. Ademais, as placas de aglomerados possibilitam a reutilização dos subprodutos (resíduos), que seriam descartados por falta de utilidade (ALMEIDA, 2012; SANTOS, 2007).

3.3.1 Seringueira

Seringueira é o nome popular para diversas espécies, ou seja, são 11 gêneros com características arbóreas de até 50 metros de altura de 1,5 de diâmetro, cujo nome científico é *Hevea brasiliensis*, é uma das espécies mais conhecidas, nativa da região amazônica e apresenta como propriedade principal a maior produção de látex por árvore, atingindo até 3 litros em um único dia (GONÇALVE *Set al.*, 2013).

Essa espécie é conhecida tradicionalmente no eixo econômico na qual se

extrai látex para a produção de borracha natural e seu ciclo de produção se esgota entre 25 e 30 anos (TEIXEIRA *et al.*, 2001). A partir do momento em que a produção do látex não é mais economicamente viável, executa-se a derrubada das árvores de seringueira, surgindo novas alternativas de renda na economia. Cita-se, como exemplo sua utilização na fabricação de móveis, formas de concreto armado e produção de painéis aglomerados (GONÇALVES, 2002).

No final do ciclo produtivo de látex, como tradição no Brasil, a seringueira também pode ser utilizada como lenha e apresenta boas características de trabalhabilidade. Essas podem ser citadas como colagem, pregação, furação, entre outras. É uma espécie de madeira que pode ser curvada com uso de vapor e tingida sem dificuldades (SERVOLO, 2013).

Um lado negativo da utilização da seringueira é sua susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos. Isso ocorre por conta da ausência de cerne na madeira e a alta quantidade de açúcares nesta espécie. Na Tabela 1 encontra-se a sua composição, na qual cerca de metade de suas constituições se aproxima de celulose, carboidrato principal constituinte da madeira. A sua vulnerabilidade ao ataque de predadores se dá em razão a isso e essa desvantagem pode ser minimizada ou solucionada via misturas profiláticos após o corte, utilização de aditivos aceleradores da cura, injeção de gás carbônico ou mistura de suas partículas (TEIXEIRA *et al.*, 2001; GONÇALVES, 2002).

Tabela 1 – Composição da madeira seringueira

Constituintes	Porcentagem (%)
Celulose	43,9
Lignina	23,9
Pentoses	18,0
Resinas	3,9
Outros	10,9

Fonte: Gonçalves (2002).

Dentro da espécie *Hevea brasiliensis*, existem os clones, que consistem em grupos de plantas geneticamente obtidas por meio da propagação vegetativa da planta matriz. Como vantagem, os clones possuem a mesma composição genética, levando à consistência de suas características e propriedades, como espessura das cascas, produção e propriedades do látex, tolerância de pragas e doenças (IAC,

2020).

Existem diversas classificações de clones conforme sua obtenção parental ao longo do cruzamento, podendo ser: primários, secundários e terciários. O clone mais plantado, na região do Planalto do Estado de São Paulo e apresentando bom desempenho de produção de latex e vigor é o Clone RRIM 600. Esse é um clone secundário da *Hevea brasiliensis*, obtido por cruzamentos controlados entre dois clones primários (GONÇALVES *et al.*, 2013; IAC, 2020).

Um dos parâmetros mais útil para se medir a qualidade da madeira é sua densidade, essa propriedade está correlacionada com a resistência mecânica e o encolhimento da madeira. No caso da seringueira, sua densidade pode variar de 0,480 a 0,650 g/cm³ conforme sua identidade e variação clonal. Geralmente a densidade da madeira tende a aumentar com o acréscimo de idade (LIM *et al.*, 2003).

Estudos sobre a seringueira tem focado ultimamente no seu uso para a indústria de móveis e painéis derivados de madeira. Essas pesquisas têm como foco apresentar novas opções de renda para os produtores de látex a fim de agregar o valor de mercado e contribuir para a diversificação das matérias-primas utilizadas nas indústrias de aglomerado no Brasil (MÜZEL *et al.*, 2015).

Iwakiri *et al.* (2018) estudaram a qualidade de painéis aglomerados empregando a resina ureia-formaldeído produzidos com *Hevea brasiliensis* (Clone RRIM 600) em diferentes proporções e misturas com outras espécies de *Eucalyptus* utilizadas pelas indústrias de São Paulo. De acordo com os autores, os resultados das propriedades mecânicas indicaram a viabilidade do uso o Clone RRIM 600 de *Hevea brasiliensis*, tanto pura quando em mistura em painéis para uso interior e em ambiente seco.

Os resultados mecânicos dos painéis de seringueira resultaram em valores maiores do que os painéis com eucalipto, visto que a massa específica da Seringueira é maior, assim tem-se menor área superficial das partículas e aumento na distribuição da resina. Os resultados encontrados de densidade do painel, absorção de água após 2 e 24 horas, inchamento em espessura após 2 e 24 horas, tração perpendicular, MOR e MOE estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos painéis obtidos por Iwakiri et al. (2018).

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Massa Específica da <i>Hevea brasiliensis</i>	0,572 g/cm ³	23,89
Densidade (100H)	0,751 g/cm ³	5,7
Inchamento após 24 horas (100H)	35,55 %	-
Tração Perpendicular (TP)	0,78 MPa	-
Flexão Estática (MOR)	14,5 MPa	-
Módulo de Elasticidade (MOE)	2205 MPa	-

H: *Hevea brasiliensis*; 100H: Painéis com 100% composição de seringueira

Fonte: Iwakiri et al. (2018).

Müzel *et al.*(2015) estudaram a viabilidade da fabricação de painéis de MDP com folhas de bambu da espécie *Phyllostachys edulise* madeira da espécie *Hevea brasiliensis*, tendo as folhas como objetivo de reforço estrutural do painel. O adesivo utilizado foi resina uréia-formaldeído na proporção de 12%, sendo os painéis pressionados a uma temperatura de 140°C e pressão específica de 40kgf/cm² por 12 minutos.

Na Tabela 3, encontram-se os valores dos resultados obtidos pelos autores, para os ensaios de inchamento após 24 horas, MOR e MOE. Os autores puderam concluir que os painéis com reforço de bambu, tiveram melhoras nas propriedades físico-mecânicas, reduzindo em 47,08% o inchamento e aumentando em 431 % o MOR e em 143% o MOE.

Tabela 3 – Resultados dos painéis obtidos por Müzelet *al.*(2015).

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Inchamento após 24 horas (100H)	29,35 %	4,98
Flexão Estática (MOR)	10,52 MPa	24,72
Módulo de Elasticidade (MOE)	1746,83 MPa	22,07

H: *Hevea brasiliensis*; 100H: Painéis com 100% composição de seringueira e sem reforço

Fonte: Müzelet *al.*(2015)

Gilio (2020) produziu e avaliou painéis aglomerados de partículas homogêneas empregando as espécies *Hevea brasiliensis* e *Tectona grandis* aglutinadas com 10 e 5% do adesivo PUR. Os painéis produzidos com 10% de PUR apresentaram resultados mais significativos em comparação aos painéis com 5% de PU-Mamona. Na Tabela 4, encontram-se os valores dos resultados obtidos pela autora, para os ensaios de: inchamento após 24 horas, MOR e MOE na flexão e

para os painéis de composição 100% seringueira e 10% de PUR.

Tabela 4 – Resultados dos painéis obtidos por Gilio (2020)

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Densidade (100H)	0,851 g/cm ³	1,43
Inchamento após 24 horas (100H)	10,09%	9,71
Tração Perpendicular (TP)	1,06 MPa	10,16
Flexão Estática (MOR)	15,23 MPa	8,88
Módulo de Elasticidade (MOE)	2375,36 MPa	3,57

H: *Hevea brasiliensis*; 100H: Painéis com 100% composição de seringueira

Fonte: Gilio (2020)

FARIA *et al* (2021) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados produzidos com *Hevea brasiliensis* e *Pinus oocarpa* em diferentes proporções de cada espécie. O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído na quantidade em 8% em massa das partículas. Os painéis fabricados com maior quantidade de seringueira resultaram em melhor estabilidade dimensional, e aumento de 75% do MOR e 300% na aderência interna quando comparados aos painéis com 100% de partículas de pinus.

Na Tabela 5, encontram-se os valores dos resultados obtidos pelos autores, para os ensaios de densidade, inchamento após 24 horas, MOR e MOE na flexão e para os painéis de composição 100% seringueira e 10% de PUR.

Tabela 5 – Resultados dos painéis obtidos por FARIA *et al*(2021)

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Densidade (100H)	0,525 g/cm ³	-
Inchamento após 24 horas (100H)	12,75 %	-
Tração Perpendicular (TP)	0,56 MPa	-
Flexão Estática (MOR)	9,87 MPa	-
Módulo de Elasticidade (MOE)	1054,35 MPa	-

H: *Hevea brasiliensis*; 100H: Painéis com 100% composição de seringueira

Fonte: FARIA *et al* (2021)

Gava *et al.* (2015) estudaram a viabilidade do uso de madeiras de *Hevea brasiliensis* (clones GT1 e RRIM600) que são descartadas após ciclo de produção de látex, para a produção de painéis aglomerados aglutinados com 12% em relação a massa seca das partículas, de adesivo PUR. Os resultados obtidos indicaram que o uso dessa madeira apresenta grande potencial em painéis aglomerados. Na

Tabela 6, encontram-se os valores dos resultados obtidos pelos autores, para os ensaios de inchamento após 24 horas, MOR e MOE na flexão estática e para os painéis de composição 100% seringueira e 10% de PUR.

Tabela 6 – Resultados dos painéis obtidos por Gava *et al.* (2015)

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Densidade (100H)	0,842 g/cm ³	6,79
Inchamento após 24 horas (100H)	17,09 %	6,18
Tração Perpendicular (TP)	2,68 MPa	11,61
Flexão Estática (MOR)	13,21 MPa	20,88
Módulo de Elasticidade (MOE)	1893,55 MPa	18,79

H: *Hevea brasiliensis*; 100H: Painéis com 100% composição de seringueira

Fonte: FARIA *et al.*(2021)

3.3.2 Pinus

As espécies de pinus são valorizadas por ser um tipo de madeira de cor clara, apropriada para a fabricação de papel de alta resistência devido suas fibras longas, algumas espécies possibilitam a extração de resina em escala comercial, além da sua rusticidade que possibilita seu plantio em solos marginais à agricultura agregando valor ao agronegócio (AGUIAR, 2014).

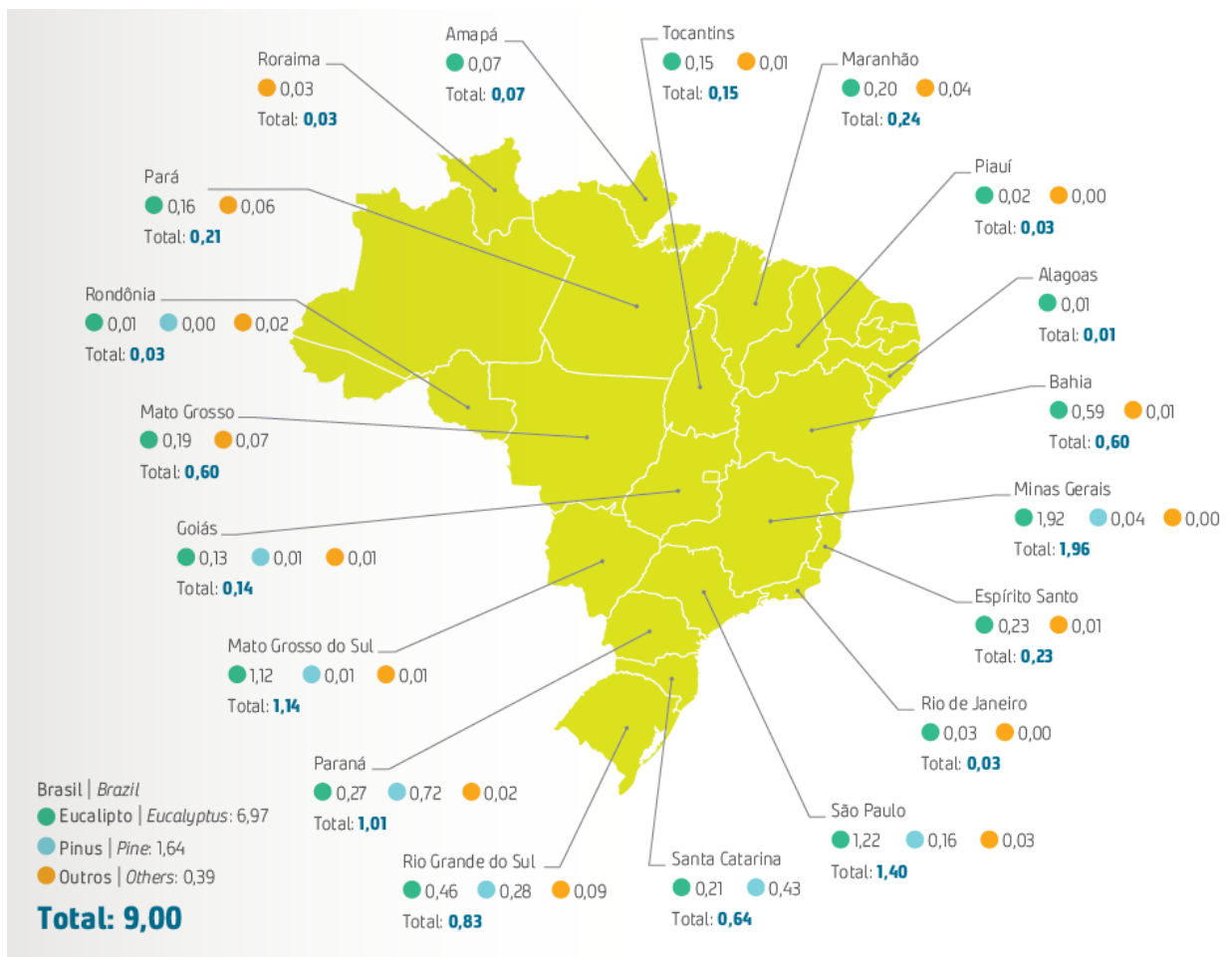
Introduzida no estado do Rio Grande do Sul por imigrantes europeus para fins ornamentais e para a produção de madeira, espécies de pinus vêm sendo plantadas no Brasil há mais de um século. Na década de 60, as espécies que ficaram mais conhecidas e plantadas atualmente são os *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, cada uma tem suas particularidades quanto a qualidade da madeira, quantidade e qualidade de resina, mas ambas proporcionam altos rendimentos em madeira e são resistentes a geadas (SHIMIZU, 2008).

Assim como na seringueira, a densidade é uma das propriedades físicas mais comuns analisadas do pinus, principalmente quando relacionada à resistência mecânica. A densidade varia conforme a espécie, no caso do *Pinus taeda*, encontra-se na literatura o valor para densidade aparente de 0,645 g/cm³ (NBR 7190; BORTOLETTO, 2008).

Entre todas as espécies de pinus, o *Pinus taeda* é a espécie mais plantada no Brasil. Os plantios de pinus no geral concentram-se na região Sul, com

87% do total, sendo o estado do Paraná o principal produtor, como pode ser observado na Figura 17. Seu uso no país é muito comum para a fabricação de chapas, lápis, serrados em geral, molduras e madeira reconstituída. Inclusive as cascas de pinus podem ser reaproveitadas em alguns casos como substrato para compostagem (AGUIAR, 2014; MAGALHÃES, 2014).

Figura 17 – Área de árvores plantadas no Brasil por estado e por gênero (2019)



Unidade em Milhões de hectares Fonte: IBÁ, 2020

Na Tabela 7 verificam-se algumas aplicações comuns da madeira pinus no Brasil. As madeiras mais utilizadas como matéria-prima para a fabricação de painéis de madeira no Brasil é o pinus e o eucalipto. Empresas brasileiras utilizam essas espécies, pois são madeiras de reflorestamento e apresentam crescimento rápido, em comparação com madeiras de espécies nativas (ARAUJO *et al.*, 2019).

Tabela 7 – Aplicações da madeira Pinus

Setores	Aplicações
Construção Civil	Mourões, andaimes, porteiras, calhas, tabuado em geral, forros, estrutural (vigas, caibros, ripas)
Chapas compensadas e tipo OSB	Móveis, divisórias, formas para concretos
Chapas aglomeradas e MDF	Painéis de fechamento, móveis, divisórias
Papel e celulose	Polpa de celulose, polpa de fibra longa

Fonte: Bortoleto Junior (2008), Magalhães (2002) modificado.

Iwakiri *et al.* (2016) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados produzidos com misturas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia e *Pinus taeda*. As espécies estudadas foram: *Eschweilera odora*, *Byrsonima crispera*, *Swartzia recurva*, *Eschweilera coriacea*, *Manilkara amazonica* e *Pouteria guianensis*. Utilizou-se como adesivo para aglutinação das partículas: ureia formaldeído. De maneira geral, os resultados de todas as propriedades mecânicas obtidos atenderam às normas requisitadas afirmando que as seis espécies supracitadas de madeiras tropicais estudadas apresentam potencial para produção de painéis aglomerados.

Na Tabela 8, encontram-se os valores dos resultados obtidos pelos autores, para os ensaios de densidade, MOR e MOE na flexão e para os painéis de composição 100% pinus e 8% de ureia formaldeído.

Tabela 8 – Resultados dos painéis obtidos por Iwakiri *et al.* (2016)

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Densidade (100P)	0,695 g/cm ³	-
Inchamento após 24 horas (100P)	34,97 %	-
Tração Perpendicular (TP)	0,68 MPa	11,61
Flexão Estática (MOR)	16 MPa	20,88
Módulo de Elasticidade (MOE)	2124 MPa	18,79

P: *Pinus taeda*; 100P: Painéis com 100% composição de pinus

Fonte: Iwakiri *et al.* (2016)

Shirosaki *et al.* (2017) avaliaram que há um melhor desempenho no painel de aglomerado fabricado a partir de uma nova resina mono componente à base de mamona do que outros mencionados na literatura e pela norma. Onde

percebe-se um melhor desempenho ao utilizar partículas com preservante CCB, o que conseqüentemente ocasiona uma redução no teor de adesivo.

Os resultados obtidos com os ensaios estão apresentados na Tabela 9, para as propriedades de inchamento em espessura, MOE, MOR na flexão estática.

Tabela 9 – Resultados dos painéis obtidos por Shirosaki *et al.* (2017)

Propriedades	Média	Coefficiente de Variação (%)
Inchamento após 24 horas (100P)	8,49 %	-
Flexão Estática (MOR)	37,43 MPa	20,88
Módulo de Elasticidade (MOE)	3464 MPa	18,79

Fonte: Shirosaki *et al.* (2017)

A análise dessa tabela torna mais claro o melhor desempenho dos painéis produzidos nas pesquisas de Shirosaki *et al.*, sendo possível comparar com resultados de painéis encontrados na literatura. Segundo os autores, o estudo desenvolvido representa “um comportamento promissor para a elaboração de materiais feitos com a resina monocomponente onde a solicitação mecânica é elevada” (p. 6).

Trianoski *et al.* (2013) estudou a viabilidade do uso da madeira de *Cryptomeria japonica* pura e em mistura com a espécie *Pinus spp* para a produção de painéis aglomerados utilizando como adesivo ureia formaldeído. Também foi verificada a viabilidade da utilização do pinus para a produção de painéis e foram obtidos resultados satisfatórios com as misturas, sendo alcançados os requisitos mínimos estabelecidos pela norma.

Sanches *et al.* (2016), avaliou a resistência de painéis aglomerados produzidos com misturas de madeira com partículas de espécies de *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*. O adesivo empregado foi à base de ureia formaldeído e a análise dos resultados possibilitou concluir que as espécies que mais apresentaram os melhores desempenho foram os painéis com misturas de *Pinus taeda* (pinus) e a *Hovenia dulcis* (uva-do-japão).

3.6 ADESIVOS

Com o objetivo de propiciar boa adesão entre às partículas de madeira aderir por meio de reações químicas, o adesivo é um produto fundamental para o desenvolvimento de produtos derivados da madeira.

A utilização do adesivo na produção de produtos derivados da madeira proporciona diversas vantagens, já que possibilita unir materiais diferentes, possibilita dar mais resistência ao produto frente às agressões ambientais o que ocasiona a mitigação dos custos. Essas vantagens só são possíveis devido à reação química que exerce uma força interfacial, a qual pode ser mecânica, eletromagnéticas, molecular, termodinâmica e por difusão (MANO, 1991).

3.4.1 Definição, classificação e histórico

Segundo a ABNT 14810-1 (2018a), adesivo ou resina pode ser definido como qualquer substância empregada com a finalidade de aderir partículas de madeira em um painel, podendo ser orgânica ou inorgânica. Iwakiri (2005) define adesivo como um material com propriedades características aderentes e capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies.

Na Tabela 10 encontra-se a classificação de Iwakiri (2005) para os adesivos de colagem de madeiras e alguns exemplos, já na Tabela 11 (PRATA, 2010) é demonstrado a classificação, o ambiente de uso do adesivo e os seus respectivos tipos.

Tabela 10 – Classificação dos adesivos

Classificação	Exemplos
Naturais	Derivados de origem animal (couro, pele, ossos, leite, albumina do sangue); derivados proteicos de origem vegetal (soja); borracha natural
Sintéticos Termoplásticos	Polivinil/acetato; polietileno; poliestireno; borracha sintética
Sintéticos Termoendurecedores/termofixos	Uréia-formaldeído; Melamina-formaldeído; Fenol-formaldeído

Fonte: Iwakiri (2005) adaptado.

A utilização de adesivos é uma prática comum desde tempos remotos. A principal evolução ocorreu durante a primeira guerra mundial, quando prevaleciam o uso de adesivos derivados de proteínas animais. Novas alternativas surgiram com características para serem utilizadas à temperatura ambiente e resistentes à água. Na década de 30, as primeiras resinas à base de formaldeído foram introduzidas no

mercado para a produção de móveis e madeira compensada para interiores (DIAS, 2005).

Tabela 11 – Classificação dos adesivos de painéis de madeira conforme o ambiente de uso

Classificação dos adesivos	Ambiente de uso	Tipos de Adesivos
ESTRUTURAL	Exterior	Fenol-formaldeído (FF) Resorcinol-formaldeído (RF) Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF) Emulsão polímero/isocianato
	Exterior Limitado	Melamina-formaldeído (MF) Melamina-ureia-formaldeído (MUF) Isocianato
	Interior	Epóxi Ureia-formaldeído (UF) Caseína
SEMIESTRUTURAL	Exterior Limitado	Polivinil acetato “crosslinking” Poliuretano Polivinil acetato (PVAc)
NÃO ESTRUTURAL	Interior	Animal Soybean “Hot-melt” Amido

Fonte: Prata (2010) *apud* Molleken (2017)

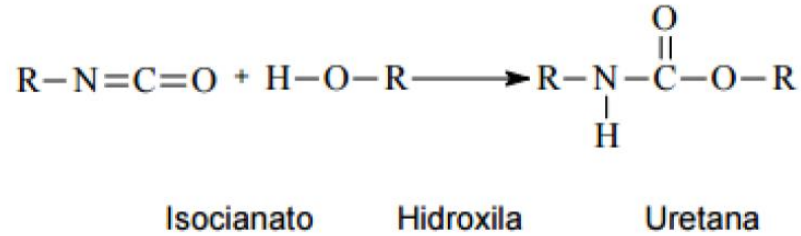
Novas tecnologias possibilitaram, após a segunda guerra mundial, a criação dos primeiros adesivos poliuretanos, por Bayer, na Alemanha. Na década de 80, houve uma contribuição nacional pelo Departamento de Química e Física Molecular, do Instituto Química de São Carlos da USP para a expansão dessa tecnologia. Essa colaboração possibilitou o desenvolvimento da resina PUR, contando com diversas vantagens como manipulação em temperatura ambiente, resistência à água, resistência mecânica e o fato ser proveniente de um recurso natural e renovável (JESUS, 2000).

3.4.2 Resina Poliuretano PU-Mamona

O polímero poliuretano é formado pela polimerização por condensação no qual grupo hidroxilas reagem com isocianatos. O poliuretano pode ser definido como

um grupo de uretano na cadeia principal.

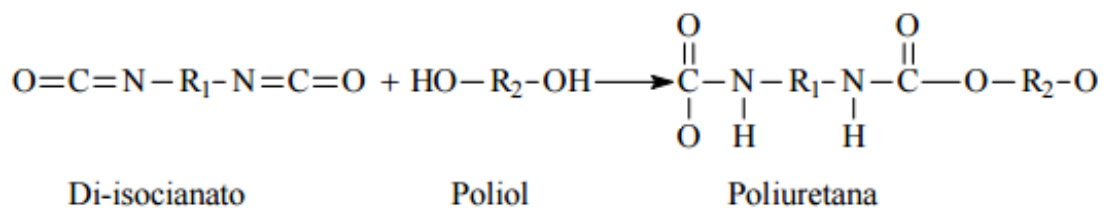
Figura 18 - Reação de formação do grupo uretano



Fonte: Vilar (2010) *apud* Molleken (2017)

Quanto à resina PUR, essa é obtida por meio da reação química entre um poli-ol e um isocianato, assim, a partir dessa reação gera-se o adesivo poliuretano (MOLLEKEN, 2017), conforme a Figura 19.

Figura 19 - Reação de polimerização do poliuretano à base de óleo de mamona



Fonte: Vilar (2010) *apud* Molleken (2017)

O adesivo mais utilizado como componente aglutinante nas indústrias de painéis é a resina sintética ureia formaldeído, seguida do fenol formaldeído e melanina formaldeído. Alguns desses adesivos apresentam desvantagens com relação à baixa resistência à umidade, período de estabilidade e tempo de armazenagem reduzido. Além disso, quando aquecidas ocorre emissão de formaldeído e podem ser prejudiciais ao meio ambiente (ARAUJO *et al.*, 2019; ZAU *et al.*, 2014).

Devido aos problemas relacionados ao formaldeído contido nos adesivos tradicionais, busca-se desenvolver alternativas que causam menos danos ao ser humano e ao meio ambiente. A resina PUR é uma opção potencial de substituição e aponta inúmeras vantagens em relação aos adesivos sintéticos à base de formaldeído. Além de ser proveniente de biomassa, apresenta diversos outros

benefícios como utilização de menores temperaturas de prensagem e reduzindo custos de energia. Apresentam a vantagem de não emanar formaldeído e proporcionam um produto com alta resistência à umidade (BERTOLINI, 2014; DIAS, 2005).

O óleo de mamona é um líquido viscoso obtido por meio da compressão das sementes da planta "*Ricinus communis*", pertencente à família das euforbiáceas, a mamona. Também conhecida no Brasil por caturra e no exterior como "*Castor Oil*". Essa se desenvolve em regiões tropicais e subtropicais e encontra-se em grande quantidade no Brasil (DIAS, 2005).

Os polióis são produzidos a partir do óleo de mamona e o pré-polímero de derivados do petróleo a partir de produtos químicos menos agressivos e a combinação desses componentes originam o poliuretano. A mistura dos dois constituintes a frio, leva a uma reação de polimerização, o que conduz a formação da resina poliuretana. É possível realizar a variação da porcentagem de poliól acrescentado, o que definirá maior ou menor dureza à resina. Além disso, a quantidade de adesivo é um fator importante para a confecção dos aglomerados, essa deve ser determinada conforme o peso seco das partículas e pode variar entre 5 e 10% (DIAS, 2005).

Jesus (2000) avaliou o comportamento do adesivo PUR em madeira laminada colada (MLC) com duas espécies de madeira: *Pinus caribea hondurensis* e o *Eucaliptus grandis*. Avaliou-se sua eficiência por meio de ensaios mecânicos e determinou-se parâmetros de colagem como viscosidade, tempo de pressão de colagem, pressão de colagem e tempo de cura. O trabalho apresentou resultados satisfatórios, sendo o adesivo PUR uma boa alternativa para a utilização em madeira laminada colada com espécies de reflorestamento.

Azambuja *et al.* (2006) também investigaram a viabilidade do uso do adesivo PUR na produção de madeira laminada em elementos estruturais utilizando espécies de *Pinus caribea hondurensis* e o *Eucaliptus grandis*. O desempenho foi avaliado por meio de ensaios de flexão estática e permitiram concluir também uma boa eficiência do adesivo, sendo viável na fabricação de madeira laminada colada do ponto de vista de desempenho estrutural.

Dias (2005) estudou a utilização dessa resina na manufatura de painéis compensados e aglomerados também utilizando as espécies de reflorestamento: *Pinus elliotti*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophilla*. A quantidade de resina

utilizada pelo autor foi de 10% da massa seca e analisou-se o desempenho dos painéis por meio de ensaios físicos e mecânicos e comparados à ABNT. Os resultados apontaram que a resina PUR pode ser considerada uma alternativa promissora na produção de painéis aglomerados.

Müzel (2013) empregou as resinas à base de ureia formaldeído e poliuretana derivada do óleo de mamona, sendo a última na proporção de 12% (em relação à massa seca) na produção dos painéis aglomerados de *Hevea brasiliensis*. Além da viabilidade da utilização de partículas de seringueira como matéria-prima de painéis aglomerados, o adesivo poliuretano apresentou-se mais adequado para a produção das chapas em camadas proporcionando melhores características físico-mecânicas.

Gilio (2020) utilizou a resina PUR na proporção 5 e 10% na produção de painéis aglomerados com espécies *Hevea brasiliensis* e *Tectona grandis*. Os resultados que apresentaram melhor desempenho foram nos painéis produzidos com 10% de PUR, segundo a autora os bons resultados foram decorrentes do maior recobrimento das partículas pela resina.

Varanda (2018) produziu painéis de partículas homogêneas de alta densidade com resíduos de *Pinus elliottii* e casca de *Avena sativa* (aveia), prensados com dois tipos de adesivo, PUR e melamina formaldeído. Na produção dos painéis empregou-se uma variação de 11 e 13% na proporção do adesivo em relação às partículas secas. Conclui-se que os painéis produzidos com o adesivo PUR apresentaram melhor desempenho físico quando comparados aos painéis produzidos com o adesivo melamina formaldeído.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Neste capítulo serão descritos os materiais e os equipamentos utilizados para a produção e ensaios dos painéis de partículas de madeira aglomerada. Para a produção dos painéis utilizou-se misturas de partículas de seringueira e pinus, aglutinadas com adesivo PUR.

4.1.1 Seringueira

Na Figura 20 ilustram-se as partículas da espécie *Hevea brasiliensis*,

conhecida popularmente como seringueira. Esse material foi obtido do processamento de toras da madeira de seringueira referentes ao clone RRIM 600 com 15 anos de idade. Ressalta-se a importância da idade da madeira, pois, quanto maior a idade da árvore, suas propriedades mudam e nesse caso foi utilizada uma espécie com o tempo hábil para a produção de painéis. As toras foram coletadas em uma fazenda de produção de látex localizada na Região Noroeste do Estado de São Paulo, especificamente região da cidade de São José do Rio Preto.

Figura 20 – Partículas de seringueira.



Fonte: acervo da autora

4.1.2 Pinus

Na Figura 21 ilustram-se as partículas da madeira da espécie *Pinus taeda*, conhecida popularmente como pinus. Material obtido por meio do processamento de tábuas de pinus, comercializadas em serrarias da cidade de Ilha Solteira, Estado de São Paulo.

Figura 21 – Partículas de pinus.



Fonte: acervo da autora

4.1.3 Adesivo Poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR)

Para a aglutinação das partículas na produção dos painéis foi empregado o PUR, doado pela Empresa IMPERVEG® Polímeros Indústria e Comércio Ltda, com sede em Aguaí-SP e nome comercial de AGT 1315. De acordo com a descrição da empresa, o adesivo se constitui de um poliuretano bicomponente (um polioli e um pré-polímero) que devem ser misturados ao substrato no momento da produção dos painéis. No presente trabalho a mistura dos dois componentes se fez na proporção 1:1.

A ficha técnica, apresentada pela empresa responsável pela doação do material, descreve que a mistura dos dois componentes tem tempo de vida útil em torno de 15 minutos. Posteriormente a esse tempo, a resina entra no ponto de gel e dificulta o manuseio do material, podendo gerar perdas.

A resina apresenta-se na cor âmbar após cura, consistência fluída, é isenta de solventes, ou seja, não libera vapores tóxicos. Além disso, possui resistência ao calor até 210°C, demora de 60 a 90 minutos para secagem (variando com a temperatura ambiente) e tem tempo de cura de 24 horas.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Obtenção e preparação das partículas de madeira para produção dos painéis

O processo para produção dos painéis se inicia com a preparação das partículas, posteriormente a determinação de suas propriedades e definição das misturas.

Para obtenção das partículas de seringueira e pinus foi realizado inicialmente o processamento das tábuas para produção dos cavacos. Esse procedimento foi realizado com o auxílio de uma plaina desengrossadeira, ilustrada na Figura 22a, localizada na marcenaria da Unesp, campus de Ilha Solteira. Os cavacos, material do processamento das tábuas estão ilustrados na Figura 22b.

Figura 22 - Equipamento utilizado no processamento e material final.



(a)



(b)

(a) Plaina desempenadeira utilizada para produção dos cavacos; (b) Cavacos, material resultante do processamento das tábuas.

Fonte: acervo da autora (2019).

Em seguida os cavacos foram moídos em um moinho de facas, localizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da FEIS-UNESP (Figura 23). Nesse procedimento, utilizou-se uma peneira metálica com abertura de 10 mm no interior do moinho, que teve como objetivo selecionar material com dimensões adequadas para produção dos painéis.

Figura 23 – Preparação das partículas no moinho de facas



Fonte: acervo da autora

Na Figura 24, ilustra-se as partículas processadas no moinho de facas, exposta à luz solar sobre uma lona plástica no pátio do laboratório central de engenharia civil da FEIS. Esse procedimento objetivou propiciar secagem natural às partículas para posterior homogeneização com o adesivo PUR.

Figura 24 – Material exposto ao sol para secagem.



Fonte: acervo da autora

Após secagem e aferição da umidade, o material foi armazenado em tambores de PVC, como ilustra a Figura 25.

Figura 25 – Armazenamento das partículas de madeira



Fonte: acervo da autora

Em seguida, realizou-se o peneiramento das partículas objetivando uma seleção prévia na faixa de 2 a 10mm. Que são as dimensões de partículas para propiciar qualidade e resistência apropriada aos painéis.

A Figura 26 ilustra o agitador de peneiras utilizado para seleção e posterior classificação das partículas.

Figura 26 – Agitador de peneiras utilizado para a separação das partículas



Fonte: acervo da autora

No peneiramento foram utilizadas as peneiras 1/2", 3/8", 1/4", N°4 e N°8, sendo suas aberturas, respectivamente, 12,50; 9,52; 6,30; 4,76 e 2,36 mm. O processo de peneiramento foi realizado a partir da deposição de um volume de

material no peneirador e agitado por 7 minutos.

Tabela 12 – Conjunto de peneiras empregado no peneiramento prévio

Sequência das peneiras utilizadas	ABNT/ASTM	(mm)
1	1"	25,4
2	¾"	19,05
3	½"	12,5
4	3/8"	9,52
5	¼"	6,36
6	Nº 4	4,36
7	Nº 8	2,36
Fundo	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Definição das misturas para produção dos painéis

Foram definidas 3 (três) misturas, apresentadas na Tabela 13. O objetivo foi a avaliação da variável tipo de madeira, portanto as porcentagens entre as misturas das partículas foram fixadas em valores de 100% de cada espécie de madeira e uma variação com 30 e 70%. Sendo a porcentagem de adesivo definida de 10% em relação as partículas secas para todos os painéis.

Tabela 13 – Misturas propostos para a confecção dos painéis

Misturas	Seringueira (%)	Pinus (%)	PUR (%)
M _{100%S}	100	0	10
M _{70%S30%P}	70	30	10
M _{100%P}	0	100	10

Fonte: acervo da autora (2020).

4.2.3 Determinação das propriedades das partículas sólidas

4.2.3.1 Massa específica

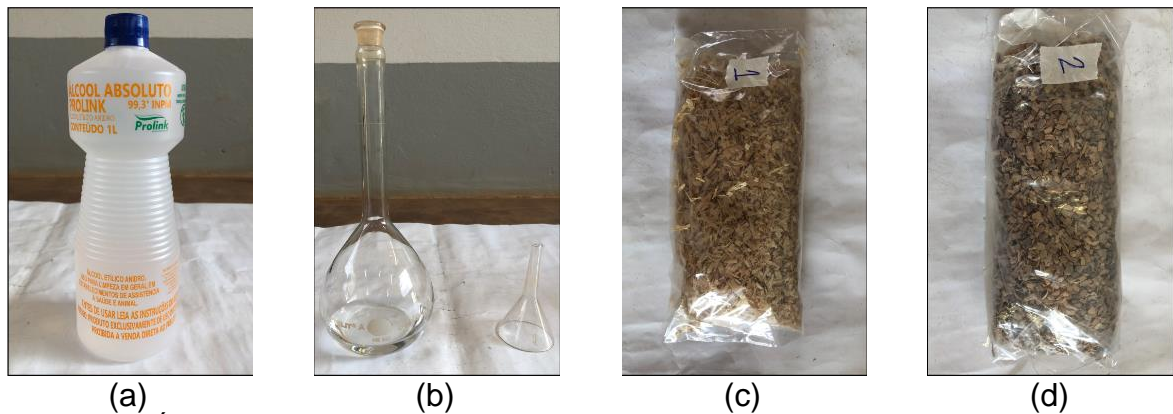
A massa específica das partículas é uma propriedade importante para definir parâmetros para produção dos painéis, como por exemplo, o índice de compactação, que segundo Iwakiri (2005) é a relação entre a densidade do painel e

a densidade aparente da madeira, determinada a partir das partículas que constituem as misturas utilizadas para produção dos painéis.

Para isso, foi necessária uma adaptação do ensaio de densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, com base na NBR 6458, assim como na NBR 6457 que indica o método de preparação das amostras.

Para determinação da massa específica utilizou-se álcool etílico anidro 99,3º INPM da marca Prolink, um picnômetro calibrado de 500 ml, um termômetro graduado em 0,1°C de -10 a 100 °C, uma balança de precisão com resolução de 0,01g e um funil de vidro. O álcool etílico anidro foi utilizado devido sua densidade possibilitar a imersão das partículas, já que a água não proporciona o mergulho integral das partículas de madeira para a realização do ensaio. A Figura 27 ilustra os equipamentos e materiais utilizados.

Figura 27 – Materiais utilizados para o ensaio de massa específica das partículas



(a) Álcool etílico anidro 99,3º INPM Prolink, (b) Picnômetro 500 ml e funil de vidro,

(c) Amostra seca de Pinus, (d) Amostra seca de seringueira.

Fonte: acervo da autora (2019).

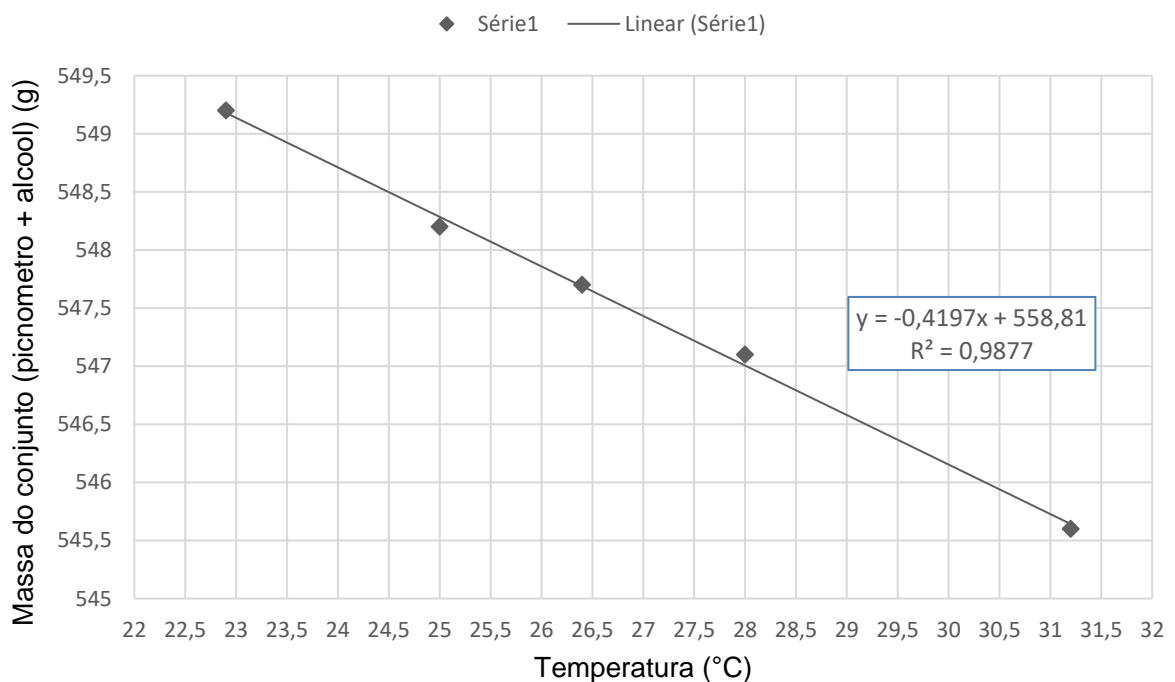
As amostras de pinus e seringueira foram inicialmente secas em estufa a 105 °C por um período de 24h. A quantidade de material ensaiada foi modificada conforme a exigida na NBR 6457 para aproximadamente 10g de material de cada amostra em razão da baixa densidade das partículas de madeira, o que difere quando se usa amostras de solo. Caso contrário, seria necessária uma quantidade muito alta de material, o que tornaria o ensaio inviável. Portanto, o volume de material utilizado foi determinado em função da capacidade do picnômetro para realização do ensaio.

a) Calibração do picnômetro

Em razão da utilização do álcool etílico como líquido para a determinação da massa específica, foi necessária a realização da calibração do picnômetro utilizado no ensaio, picnômetro nº 2 de volume 500ml. Salienta-se que para o método de calibração do picnômetro não foi utilizado o aparelho de dispersão. Visto que a aplicação do vácuo poderia causar uma redução da pressão do líquido em questão podendo gerar complicações no ensaio. O Gráfico 1 ilustra a curva de calibração obtida para o picnômetro.

A equação gerada originou uma tabela com os fatores temperatura nos intervalos de 0,5 °C e a soma da massa do picnômetro com álcool (M_2). Dessa maneira, foi possível utilizar esses dados para o posterior cálculo da sua massa específica.

Gráfico 1 – Curva de Calibração do Picnômetro



Fonte: acervo da autora (2019).

b) Determinação da massa específica

Primeiro distribuiu-se a amostra de partículas dentro do picnômetro com o auxílio de um funil e, posteriormente, adicionou-se em seu interior o álcool etílico.

Assim, foi definido os fatores massa total (M_1) e a temperatura do sistema.

Com o auxílio da Equação 1 e os fatores aferidos, foi possível calcular a massa específica das partículas.

$$\rho_s = \frac{M_s * \rho_a}{M_2 - M_1 + M_s} \quad (1)$$

Sendo,

ρ_s é a massa específica das partículas expressa em g/cm³;

M_s a massa seca das partículas;

M_2 a massa picnômetro + álcool, à temperatura T de ensaio obtida pela curva de calibração do picnômetro;

M_1 a massa picnômetro + álcool + partículas madeira, à temperatura T de ensaio;

ρ_a a massa específica do álcool.

4.2.3.2 Composição granulométrica

Para determinação da composição granulométrica das misturas, utilizou-se a NBR NM 248 (ABNT, 2003) com adaptações necessárias nos procedimentos de ensaios. A análise da composição granulométrica das partículas é importante para definição das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

A Figura 28 ilustra o agitador mecânico de peneiras, equipamento utilizado para o ensaio de determinação da composição granulométrica das partículas. Além disso, utilizou-se uma balança digital para aferição das massas amostras retidas nas peneiras e pincéis de cerdas para a remoção do material retido em cada peneira.

Figura 28 – Equipamento utilizado para a determinação da composição granulométrica das partículas



Fonte: acervo da autora

Para esse ensaio é necessário um conjunto de peneiras, sendo a primeira da série intermediária e as seguintes da série normal 1/4", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 e N°100. As aberturas das são de 6,30; 4,75; 2,36; 1,19; 0,59; 0,297; 0,149 mm, respectivamente.

De acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), a massa mínima da amostra de solo para o ensaio é de 300 g, entretanto, considerando-se a densidade e a geometria das partículas de madeira houve necessidade de diminuição da massa de partículas de madeira para realização do ensaio.

Dessa maneira, a massa de partículas de madeira utilizada para realização do ensaio de composição granulométrica foi definida em função dos volumes das peneiras e, segundo a metodologia desenvolvida por GILIO (2020), foi utilizada 35g para cada amostra, no qual verificou-se que não ocorreu excesso de material sobre as malhas das peneiras, facilitando o peneiramento, bem como não ocorreu deformação das malhas.

Além disso, a NBR NM 248 (ABNT, 2003) recomenda a realização do ensaio de duas amostras. Contudo, devido às adaptações realizadas e a redução da massa em comparação à quantidade mínima exigida pela norma, foram realizados ensaios de três amostras.

A execução do ensaio consistiu em encaixar as peneiras e o fundo, previamente limpos, em ordem crescente da base para o topo; colocar uma amostra

de 35g da mistura definida na peneira superior; iniciar a agitação mecânica do conjunto por 15 minutos.

Após a agitação mecânica, destacou-se e agitou-se manualmente a peneira superior do conjunto durante 1 minuto até que a massa do material passante pela peneira fosse inferior a 1% da massa do material retido. O material desprendido na parte inferior é considerado como passante, portanto foi contado na massa do material retido da peneira abaixo. Então foi removido todo o material retido na peneira em questão com auxílio de um pincel de cerdas e aferiu-se massa desse material.

4.2.3.3 Teor de umidade

O teor de umidade das partículas é outro fator importante para produção dos painéis, pois, esse parâmetro influencia diretamente na cura da resina. As partículas das misturas passaram pelo cálculo da umidade que foi realizado com base na NBR 9939 (ABTN, 1987). De acordo com a norma, aferiu-se a massa de três amostras, correspondentes à massa inicial (massa úmida). Essas foram secas em estufa (Figura 29) a (105 ± 5) °C até que a massa final permanecesse constante.

A Equação 2 foi utilizada para calcular a umidade das partículas de cada mistura.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Sendo,

U o teor de umidade das partículas (%);

M_u a massa úmida das partículas (g); e

M_s a massa seca das partículas (g);

Figura 29 – Amostras das partículas usadas no ensaio de teor de umidade dentro da estufa



Fonte: acervo da autora

4.2.4 Massa das partículas utilizada para produção dos painéis

O cálculo da massa para produção dos painéis foi realizado por meio da Equação 3.

$$D = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Onde,

D a densidade nominal do painel (g/cm^3);

M a massa seca das partículas utilizada no painel (g);

V o volume do painel (cm^3).

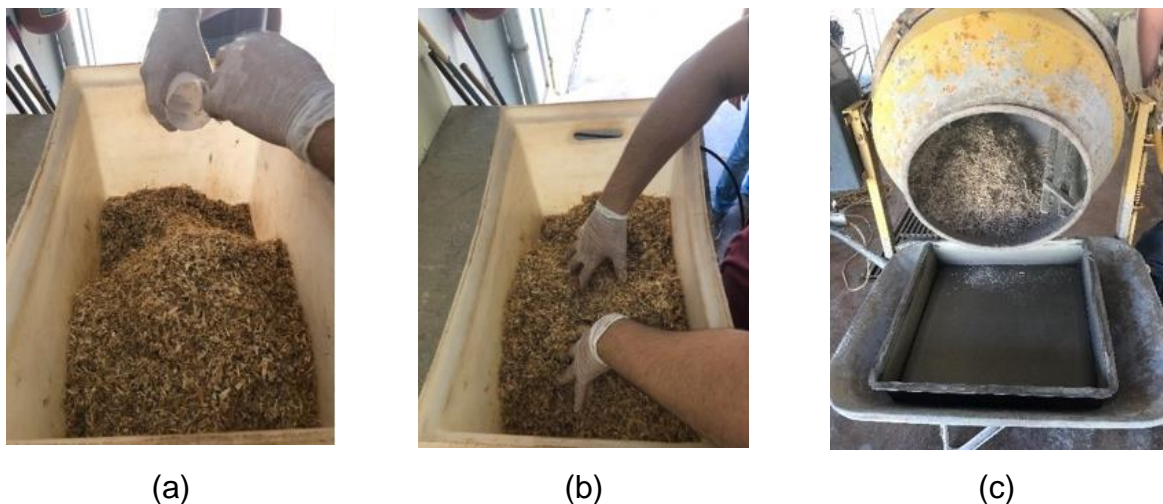
Visto que painéis de média densidade são classificados entre 0,551 e 0,750 g/cm^3 , foi adotado um valor de densidade nominal das partículas de madeira de 0,551 g/cm^3 . É importante considerar que, posteriormente, haverá a adição da massa de resina e de água, pois, esse incremento causará um aumento na densidade aparente do painel.

Considerando-se que os painéis propostos possuem dimensões de 35x35cm e espessura de 1,5 cm, portanto o volume do painel é de 1837,5 cm^3 (35x35x1,5cm). Dessa maneira, de acordo com a Equação 3, a massa seca total das partículas a ser utilizada para cada painel foi de 1012,46 g.

4.2.5 Procedimentos para produção dos painéis

Os procedimentos para produção dos painéis têm início com a aferição das massas das partículas de madeira e da resina PUR. A adição da resina às partículas se deu primeiramente pelo componente polioli e após homogeneização, adicionou-se pré-polímero. O processo inicial constituiu-se em misturar manualmente o adesivo às partículas, em seguida a mistura foi homogeneizada por 5 minutos na betoneira. Após esse período, retirou-se a mistura da betoneira e repetiu-se o mesmo processo adicionando o componente pré-polímero. A Figura 30 ilustra a sequência para homogeneização da resina.

Figura 30 – Processo de adição e homogeneização da resina às partículas.



(a)

(b)

(c)

(a) Adição do Polioli; (b) Mistura manual; (c) Mistura na betoneira.

Fonte: acervo da autora (2020).

O material homogeneizado foi levado para uma formadora de colchão e aplicado uma pré-prensagem para acomodação das partículas no seu interior, conforme pode ser observado na sequência apresentada na

Figura 31.

Para produção dos painéis, utilizou-se um dispositivo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Civil instalado numa prensa universal de ensaios. O referido dispositivo se constitui de duas chapas metálicas com resistências elétricas que aquecem as chapas metálicas durante o processo de prensagem com controle de temperatura e pressão.

Figura 31 – Formação do colchão de partículas e pré-prensagem



(a) Formadora de colchão com filme poliéster para evitar a adesão do painel na prensa após prensagem; (b) Partículas sendo acomodadas no interior da Formadora de Colchão, (c) Colchão de partículas depositado na prensa com a base de madeira formadora do colchão (d) colchão de partícula pronto para a prensagem

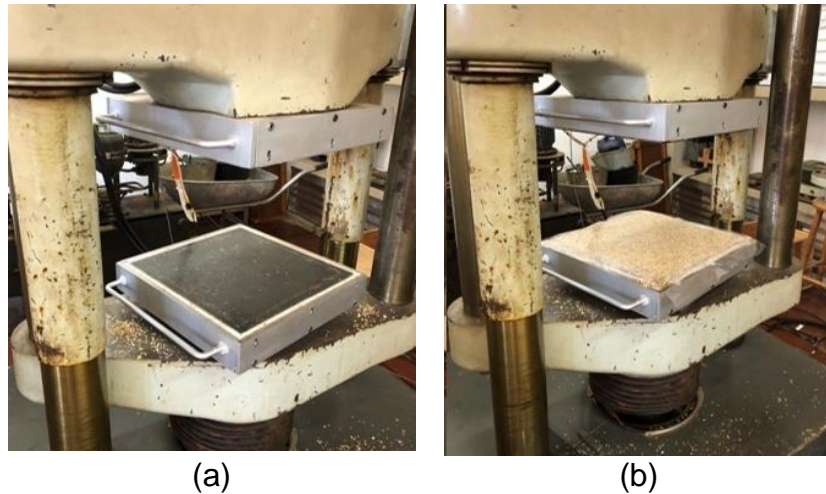
Fonte: acervo da autora (2020).

A força aplicada na prensagem foi de 70 tf realizados em um período total de 10 minutos com temperatura de 100°C. Considerando-se a área de prensagem dos painéis a pressão aplicado na superfície do colchão de partículas foi de 5,6 Mpa.

A Figura 32 ilustra as chapas metálicas com as resistências elétricas embutidas, instaladas na prensa hidráulica e, um painel aglomerado após prensagem com controle de temperatura e pressão.

O processo de produção dos painéis consistiu em prensagem inicial por 5 minutos, em seguida aliviou-se a pressão por 30 segundos e então prensou-se por mais 5 minutos. Os 30 segundos de alívio de pressão têm por objetivo evitar a concentração de gases no interior do painel evitando-se a formação de bolhas e conseqüente ruptura interna e má formação, o que reduziria a sua resistência.

Figura 32 – Prensa hidráulica e painel pós prensagem.



(a) Prensa hidráulica com chapas adaptadas; (b) Painel após prensagem.

Fonte: acervo da autora (2019).

4.2.6 Execução dos ensaios mecânicos

Para a avaliação das propriedades mecânicas dos painéis, foram realizados os ensaios para determinação do MOR, MOE e resistência a tração perpendicular com base na NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

A máquina universal de ensaios EMIC GR048 com capacidade máxima de 300kN foi utilizada para a execução dos ensaios mecânicos. A Figura 33 exhibe aspectos gerais da referida prensa hidráulica utilizada para realização dos ensaios.

Figura 33 – Máquina Universal de ensaios e o dispositivo para ensaio de flexão estática em corpo de prova de painéis aglomerados.



Fonte: acervo da autora (2019).

4.2.6.1 Ensaio de flexão

Para o ensaio de resistência a flexão foram utilizados 10 corpos de prova retangulares de cada mistura. Após a prensagem e cura dos painéis por 72h, esses foram levados à marcenaria para o corte dos corpos de prova retangulares nas dimensões exigidas pela norma para o ensaio de flexão. Em cada um dos corpos de prova foram traçadas suas diagonais, conforme ilustra a Figura 34.

Figura 34 – Corpo de prova do ensaio de flexão com diagonais traçadas.



Fonte: acervo da autora (2020).

Para aferição das medidas dos corpos de prova utilizou-se um micrômetro e um paquímetro com precisão de 0,1 mm e os procedimentos utilizados foram conforme orientações da NBR 14810-2 (ABNT, 2018). A Figura 35 ilustra os procedimentos adotados para aferições das dimensões.

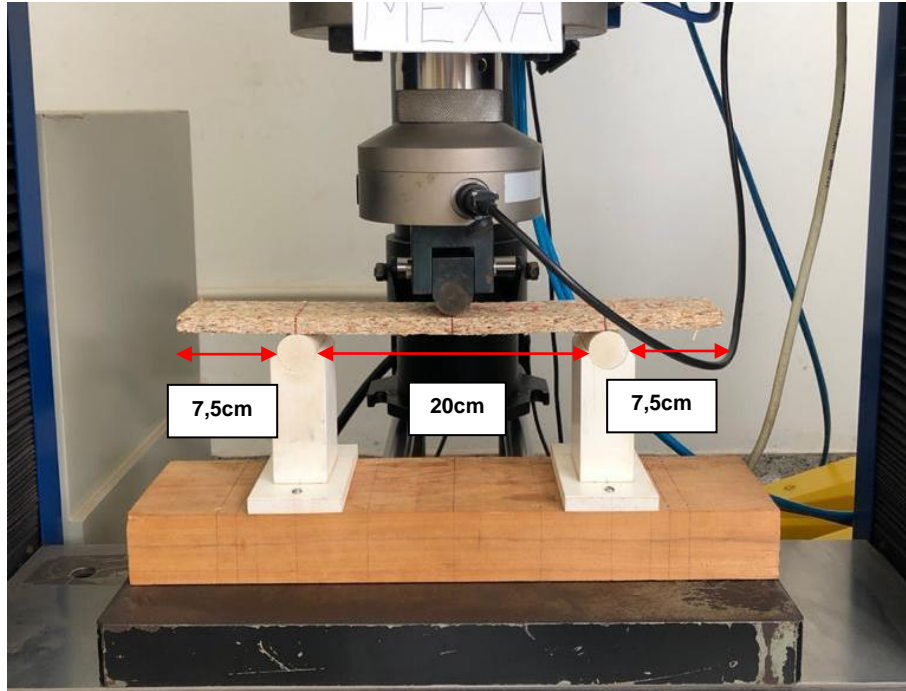
Figura 35 – Aferição das dimensões dos corpos de prova



Fonte: acervo da autora (2020).

A Figura 36 ilustra o momento da realização do ensaio de flexão estática e o aparato experimental utilizado.

Figura 36 – Aparato utilizado para o ensaio de resistência a flexão



Fonte: acervo da autora (2020).

a) *Cálculo da Resistência à flexão estática (MOR)*

O cálculo da resistência à flexão estática (MOR) foi realizado de acordo com a Equação 4.

$$MOR = \frac{1,5x(PxD)}{Bx(E)^2} \quad (4)$$

Sendo,

- MOR* o módulo de resistência à flexão elástica (N/mm²);
- P* a carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);
- D* a distância entre apoios do aparelho (mm);
- B* a largura do corpo de prova (mm); e
- E* a espessura do corpo de prova (mm).

b) Cálculo do Módulo de Elasticidade (MOE)

O cálculo do Módulo de Elasticidade (MOE) foi realizado de acordo com a Equação 5.

$$MOE = \frac{P1x(D)^3}{dx4xBx(E)^3} \quad (5)$$

Sendo,

- MOE* o módulo de elasticidade (N/mm²);
- P1* a carga no limite proporcional, lida no indicador de cargas (N);
- D* a distância entre apoios do aparelho (mm);
- d* a deflexão, correspondente a carga P1 (mm);
- B* a largura do corpo de prova (mm); e
- E* a espessura do corpo de prova (mm).

4.2.3.3 Resistência a tração perpendicular

A resistência a tração perpendicular se trata da propriedade mecânica que calcula a resistência a tração entre, no caso dos painéis, a madeira e o adesivo utilizado para aglutinar as partículas.

Para o ensaio de resistência a tração perpendicular foram utilizados 10 corpos de prova medindo (50x50) mm que foram extraídos dos painéis de madeira de cada mistura. Os procedimentos utilizados foram conforme orientações da NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Os materiais utilizados foram: um adesivo para colagem dos blocos de tração aos corpos de prova, uma lixa de grana 80, uma máquina universal de ensaios, dez pares de blocos metálicos de tração, duas garras para prender os blocos de tração e um paquímetro com resolução de 0,1 mm.

A preparação dos corpos de prova foi realizada por meio da homogeneização das faces, lixando-as para que essas ficassem regulares e não ocorresse problemas na colagem das placas de metais com os corpos de prova. Ressalta-se que o lixamento para a homogeneização das faces foi feito com cuidado apenas para a limpeza da superfície de modo que não fosse retirada massa e

espessura significativa do corpo de prova.

Foi realizada a preparação dos suportes metálicos para a colagem por meio da limpeza desses com tinner para garantir a remoção de resíduos que poderiam atrapalhar na colagem.

A Figura 37 exibe o momento da fixação dos corpos de prova, para isso foi utilizado o adesivo instantâneo Loctite 496 e aplicada uma pressão moderada formando o conjunto bloco de tração – corpo de prova – bloco de tração. O adesivo possui secagem inicial em 35 segundos e cura completa em 24h, dessa maneira, os corpos de prova ficaram em descanso por pelo menos 24h para a realização do ensaio de tração.

Figura 37 – Colagem dos suportes metálicos nos corpos de prova de madeira



Fonte: acervo da autora (2020).

Para o ensaio de tração, preparou-se a máquina universal de ensaios para o próximo passo, a fixação das garras na máquina universal de ensaios e assim o encaixe do conjunto bloco de tração – corpo de prova – bloco de tração nas garras para poder iniciar o ensaio, conforme ilustra a Figura 38.

Figura 38 – Colagem dos suportes metálicos nos corpos de prova de madeira



Fonte: acervo da autora (2020).

Com base na carga de ruptura obtida no ensaio e as dimensões dos corpos de prova, foi possível calcular a resistência de tração perpendicular utilizando as equações 6 e 7.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

$$S = b1 \times b2 \quad (7)$$

Sendo,

TP é a resistência à tração perpendicular (N/mm²) (N/mm²);

P é a carga na ruptura (N);

S é a área da superfície do corpo de prova (mm²); e

$b1$ e $b2$ são as dimensões do corpo de prova (mm).

4.2.7 Avaliação das propriedades físicas dos painéis

Foram avaliadas as densidades (D), teor de umidade (U) e inchamento após 24h (I) e os procedimentos de ensaios foram realizados com base nas orientações da NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

É importante ressaltar que para realização dos ensaios físicos, assim

como nos ensaios mecânicos, também se fez necessário remover o filme de poliéster que fica colado nas superfícies dos corpos de prova, pois, poderia influenciar nos resultados dos ensaios. A Figura 39 ilustra a lixadeira utilizada para remoção do resíduo de poliéster.

Figura 39 – Remoção do resíduo de filme de poliéster dos corpos de prova.



Fonte: acervo da autora (2020).

4.2.7.1 Densidade (D)

O ensaio de densidade foi realizado em 10 corpos de prova de cada mistura com as dimensões de 50x50x10mm conforme especificado pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018). A Figura 40 ilustra os procedimentos utilizados para aferição das dimensões dos corpos de prova.

Figura 40 – Aferição das dimensões dos corpos de prova



- (a) Determinação das diagonais; (b) Aferição da espessura;
(c) Aferição da largura e comprimento ($b_1 \times b_2$).

Fonte: acervo da autora (2020)

Posteriormente, determinou-se a massa de cada CP individualmente utilizando uma balança de precisão de 0,01g. Com base nas dimensões aferidas, calculou-se o volume de cada CP e, em seguida suas densidades utilizando as Equações 8, 9 e 10.

$$V = b_1 \times b_2 \times e \quad (8)$$

$$D = \frac{M}{V} \times 1\,000\,000 \quad (9)$$

$$D\% = \frac{(D - D_m)}{D_m} \times 100 \quad (10)$$

Sendo,

- V volume do corpo de prova (mm^3);
- $b_1 \times b_2$ as dimensões do corpo de prova (mm);
- e a espessura do corpo de prova (mm);
- D a densidade do corpo de prova (kg/m^3);
- M a massa do corpo de prova (g);
- $D\%$ a variação percentual da densidade (%); e
- D_m a densidade média dos corpos de prova de uma mistura (kg/m^3).

4.2.7.2 Teor de umidade (U)

Para avaliação da umidade foram utilizados 10 corpos de prova, de dimensões de 50x50x10mm conforme definido no documento normativo brasileiro. A Figura 41 ilustra os procedimentos para aferição da massa e secagem em estufa dos corpos de prova.

Figura 41 – Etapas de execução do ensaio de umidade



(a)



(b)

(b) Determinação da massa; (b) Secagem em estufa.

Fonte: acervo da autora (2020).

De modo geral os procedimentos para determinação da umidade dos corpos de prova se constituíram na aferição da massa antes e depois da secagem em estufa, mantida à temperatura de $(103^{\circ} \pm 2^{\circ})$ °C, até obtenção de massa constante. A pesagem dos corpos de prova era realizada em intervalos de 6h até que suas massas não obtivessem diferença superior a 0,1%.

Baseado nos valores das massas aferidas calculou-se o teor de umidade utilizando a Equação 11.

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (11)$$

Sendo,

- U teor umidade dos corpos de prova (%);
- M_u massa úmida dos corpos de prova (g); e
- M_s massa seca dos corpos de prova(g).

4.2.7.3 Inchamento após (24h)

Para avaliação dessa propriedade foram ensaiados 10 corpos de prova de cada painel, com dimensões 50x50x10mm e com auxílio de um micrômetro digital, aferiu-se a espessura inicial (E_0), semelhante aos procedimentos descritos anteriormente.

Em seguida as amostras foram submersas em um recipiente com água deionizada de modo que o nível de água estivesse cerca de 25 mm acima da superfície superior do corpo de prova. Para garantir que os corpos de prova permanecessem submersos utilizou-se uma tela metálica e pesos, conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 42 – Ensaio de Inchamento Após 24h



Fonte: acervo da autora (2019)

Após 24h, os corpos de prova foram retirados do recipiente, o excesso de água foi removido e aferiu-se novamente a espessura (E_1). Com base nos valores de inchamento aferidos e com auxílio da Equação 12, foram calculados os resultados de inchamento após 24h.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \quad (12)$$

Sendo,

- I inchamento em espessura do corpo de prova (%);
- E_1 espessura do corpo de prova após o período de imersão (mm); e
- E_0 espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

4.1.4 Análise Estatística

A partir dos resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos obtidos dos painéis, foi realizada uma análise estatística, ou seja, levando-se em conta a densidade, teor de umidade, inchamento, MOR, MOE e tração perpendicular. O delineamento experimental foi realizado em blocos, sendo o fator: a madeira.

Foi utilizado o teste de contraste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância para verificar a influência das madeiras de Pinus nos painéis fabricados. A análise foi realizada nas misturas com as seguintes proporções de madeira Pinus utilizada: 0% de partículas de pinus (100% de madeira de

seringueira), 30% de partículas de pinus (30% de madeira de pinus e 70% de madeira de seringueira) e 100% de partículas de pinus.

Do teste de Tukey, A denota o grupo associado ao maior valor médio da propriedade investigada, B o grupo com o segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em misturas distintas com médias estatisticamente equivalentes.

Para a verificação da normalidade e igualdade de variâncias, utilizou-se o teste de Anderson-Darling assim como o teste de Comparações Múltiplas, ambos também avaliados ao nível de 5% de significância. Sendo essas premissas a serem testadas para validação dos resultados obtidos do teste de Tukey.

Pela formulação de ambos os testes, valor-p (probabilidade p) maior ou igual ao nível de significância implica na normalidade e na equivalência das variâncias, e na não normalidade e na não equivalência das variâncias em caso contrário.

Ademais, foram adicionados modelos de regressão linear (Equação 13) avaliados pela análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância, com o propósito de se considerar o teor de madeira de Pinus (%P) como estimador das propriedades físicas e mecânicas investigadas.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \%P + \varepsilon \quad (13)$$

Da Equação 13, Y denota a variável dependente (U, I, MOR, MOE, TP), β_i consistem nos parâmetros ajustados pelo método dos mínimos quadrados e ε é o erro aleatório, cabendo destacar que a qualidade dos ajustes é avaliada por meio do coeficiente de determinação R².

Tais modelos possibilitam estimar, com base no nível de precisão conhecida (R²), propriedades avaliadas para outros teores da madeira de Pinus nos painéis, e pela ANOVA, é possível saber se os modelos obtidos, independente dos valores dos coeficientes de determinação, são significativos ou não. Tal informação é relevante, pois no estudo foram contemplados três níveis da inclusão de frações de madeira de Pinus. Considerado o modelo significativo (valor-p < 0,05), isso implica que variações nos valores do teor de madeira de Pinus explicam efetivamente as variações ocorridas nas variáveis dependentes.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos no preparo das partículas utilizadas nos painéis de madeira e dos ensaios físicos e mecânicos realizados nos painéis das três misturas propostas. A análise dos resultados foi realizada com base nos valores mínimos exigidos pela NBR14810-8 e de acordo com a literatura de referência.

5.1 PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS

5.1.1 Massa específica

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos das massas específicas (ρ_s) calculadas a partir da Equação 1 para as misturas M_{100S}, M_{70S30P} e M_{100P}. Para a realização do ensaio foi considerada a massa específica do álcool etílico de 0,789g/cm³.

As massas específicas obtidas foram comparados com valores encontradas na literatura. Lim *et al* (2003) determinaram valores de massa específica para *Pinus taeda* igual a 0,645 g/cm³ e para *Hevea brasiliensis* clone RRIM 600 variando entre 0,480 a 0,650 g/cm³ e, os valores determinados neste estudos forem de 0,635 e 0,696 g/cm³, respectivamente, ou seja, próximo dos valores encontrados na literatura.

Tabela 14 – Fatores aferidos e massa específica das partículas

Misturas	M ₁ (g)	T (°C)	M ₂ (g)	M _s (g)	ρ_s (g.cm ⁻³)
M _{100S}	544,9	31,5	546,1	9,0	0,696
M _{70S30P}	545,7	28,1	547	7,3	0,669
M _{100P}	545,0	31,0	545,8	3,3	0,635

Fonte: acervo da autora (2020).

5.1.2 Composição granulométrica

As misturas de partículas de cada mistura foram analisadas quanto a sua composição granulométrica. As Tabelas de 15 a 17 apresentam a composição

granulométrica de cada mistura proposto pela metodologia. Em cada uma dessas tabelas é possível observar a média do percentual retido e passante em cada peneira das amostras utilizadas no ensaio. No final, foi possível realizar o cálculo das perdas, assim como o módulo de finura de cada mistura, esse com aproximação de 0,01.

Ao analisar os dados das composições granulométricas de todas as misturas, notou-se uma característica semelhante entre as dimensões das partículas. Verificou-se que as porcentagens retidas nas peneiras de nº ¼", 50 e 100, assim como no fundo foram nulas, ou praticamente nulas. Dessa maneira, não influenciam na composição granulométrica da mistura de cada mistura.

Com os resultados obtidos foi possível verificar que para todas as misturas, ficaram retidas principalmente nas peneiras e nº 8 e 16, sendo essas dimensões as que apresentam maior rendimento no processo de moagem adotado nos moinhos laboratoriais.

Na Tabela 15 observa-se que as maiores concentrações de partículas foram nas peneiras de número 8 com 60,38% de partículas com comprimento na faixa de 4,75 a 2,36 mm e, na peneira de número 16 com 36% de partículas na faixa de 2,36 a 1,18 mm, conseqüentemente, essas concentrações define que o mistura com 100% de seringueira, se apresentou com maior quantidade de partículas menores, contudo, mais apropriadas para conferirem boas resistências à tração perpendicular aos painéis, entretanto, quanto menor a partícula maior deve ser a quantidade de adesivo para propiciar boa coesão aos painéis.

Com relação às partículas que conferem boas resistências à flexão, verifica-se que ficaram retidas na peneira de número 4, ou seja, são partículas com comprimento entre 6 e 10mm, contudo, o teor retido foi de 2,10% evidenciando a necessidade de aumentar a quantidade de partículas com essa dimensão para obter resultados melhores no ensaio de flexão.

Tabela 15 – Composição granulométrica das partículas 100% seringueira

Peneira		Massa Retida (g)	Massa Ret. Acumulada (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	Massa Passante (g)	% Massa Passante
Nº	D (mm)						
¼"	6,3	0,07	0,00	0,19	0,00	35,00	100,00
4	4,75	0,73	0,80	2,10	2,29	34,20	97,71
8	2,36	21,13	21,93	60,38	62,67	13,07	37,33
16	1,18	12,60	34,53	36,00	98,67	0,47	1,33
30	0,59	0,37	34,90	1,05	99,71	0,10	0,29
50	0,297	0,03	34,93	0,10	99,81	0,07	0,19
100	0,149	0,00	34,93	0,00	99,81	0,07	0,19
Fundo	0	0,00	34,93	0,00	99,81	0,07	0,19
Massa Inicial(g) 35		Perdas (g) 0,07		% de Perdas 0,19		Módulo de Finura 4,63	

Fonte: acervo da autora (2019).

Na Tabela 16, que se refere às partículas da mistura com 70% de seringueira e 30% de Pinus, observa-se maior concentração de partículas nas peneiras de número 8 e 16, ou seja, 60 e 35%, respectivamente.

Tabela 16 – Composição granulométrica da mistura com partículas com 70% seringueira e 30% pinus

Peneira		Massa Retida (g)	Massa Ret. Acumulada (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	Massa Passante (g)	% Massa Passante
Nº	D (mm)						
¼"	6,3	0,00	0,0	0,0	0,0	35,00	100,00
4	4,75	0,70	0,7	2,0	2,0	34,30	98,00
8	2,36	20,73	21,4	59,2	61,2	13,57	38,76
16	1,18	12,13	33,6	34,7	95,9	1,43	4,10
30	0,59	1,20	34,8	3,4	99,3	0,23	0,67
50	0,297	0,10	34,9	0,3	99,6	0,13	0,38
100	0,149	0,00	34,9	0,0	99,6	0,13	0,38
fundo	0	0,00	34,9	0,0	99,6	0,13	0,38
Massa Inicial (g) 35		Perdas (g) 0,13		% de Perdas 0,38		Módulo de Finura 4,58	

Fonte: acervo da autora (2019).

Para todas as misturas foi observado concentrações nas peneiras de número 8 e 16 que possibilitam evidenciar retenção de partículas com dimensão que

são mais adequadas para propiciar resistências à tração perpendicular aos painéis, bem como foi possível verificar baixas concentrações de partículas na faixa de 4 a 10mm, em torno de 2%.

A Tabela 17 evidencia as mesmas características analisadas anteriormente com relação à concentração de partículas. Inclusive no valor dos módulos de finura, que consiste na soma das porcentagens retidas acumuladas em massa das partículas, nas peneiras da série normal, sendo esse valor dividido por 100.

O módulo de finura é uma grandeza adimensional que é maior quanto maior forem as partículas da mistura. De todos as misturas avaliadas, os valores obtidos foram próximos, ou seja, em torno de 4.

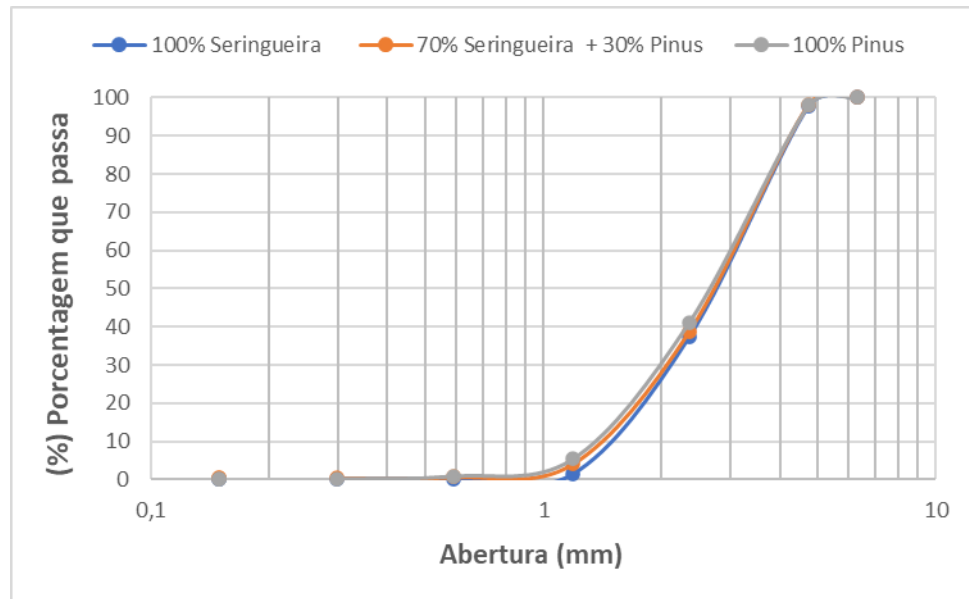
Tabela 17 – Composição granulométrica das partículas 100% Pinus

Peneira		Massa Retida (g)	Massa Ret. Acumulada (g)	% Retida	% Ret. Acumulada	Massa Passante (g)	% Massa Passante
Nº	D (mm)						
¼"	6,3	0,10	0,00	0,3	0,00	35,00	100,00
4	4,75	0,60	0,70	1,70	2,0	34,30	98,00
8	2,36	19,87	20,60	56,8	58,80	14,43	41,24
16	1,18	12,53	33,10	35,8	94,60	1,90	5,43
30	0,59	1,57	34,70	4,50	99,00	0,33	0,95
50	0,297	0,23	34,90	0,7	99,70	0,10	0,29
100	0,149	0,00	34,90	0,00	99,70	0,10	0,29
fundo	0	0,00	34,90	0,00	99,70	0,10	0,29
Massa Inicial (g) 35		Perdas (g) 0,10		% de Perdas 0,29		Módulo de Finura 4,54	

Fonte: acervo da autora (2019).

Por meio da correlação entre o percentual acumulado e a abertura das malhas das peneiras foram traçadas as curvas granulométricas. Na Figura 43, ilustram-se as curvas granulométricas das misturas.

Figura 43 - Curva Granulométrica das misturas de partículas



Fonte: acervo da autora (2019).

Analisando as curvas granulométricas, observa-se que as misturas seguiram um comportamento semelhante, apresentando valores próximos dos módulos de finuras e das porcentagens passantes nas peneiras.

5.1.3 Teor de umidade

Os resultados dos teores de umidade das partículas utilizadas em cada amostra estão na Tabela 18, assim como seus coeficientes de variação (CV).

Tabela 18 – Teor de umidade das partículas

Mistura	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média (%)	CV (%)
M _{100S}	2,69	2,97	2,57	2,74	6,131
M _{70S30P}	2,19	2,22	2,01	2,14	4,285
M _{100P}	2,36	2,02	2,08	2,15	6,771

Fonte: acervo da autora (2019).

Durante a produção dos painéis é mais interessante um baixo teor de umidade das partículas, visto que o excesso de umidade pode se converter em vapor, devido à ação do calor no momento da prensagem, podendo causar formação de bolhas no interior do painel, interferindo nas propriedades físico-mecânicas (IRLE *et al.*, 2012 apud FERREIRA, 2013).

O teor de umidade das partículas após secagem pode variar entre 2 e 8% e esse deve ser um valor que permita uma boa penetração do adesivo entre as partículas para se obter uma boa colagem (Kollman *et al.* (1975) apud Müzel (2013).

Os teores de umidade das partículas das 3 misturas deste trabalho, apresentaram-se entre 2 e 3%, conforme o que foi proposto pela metodologia aplicada na produção dos painéis. Vale ressaltar que as umidades das partículas foram obtidas com a exposição das partículas ao sol, evitando-se assim o gasto de energia com estufas.

5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

5.2.1 Densidade

Para a produção dos painéis foi necessário considerar uma densidade nominal de $0,551 \text{ g/cm}^3$ e, com base no ensaio para determinação da densidade, foi possível realizar os cálculos da densidade média e do módulo máximo de variação da densidade (D%) dos painéis de cada mistura.

As densidades foram determinadas utilizando-se 10 CPs do conjunto de três painéis de cada mistura, os resultados apresentados na Tabela 19 representam os valores de densidade média e a variação percentual (D%), com precisão de 1%, como orientado pela ABNT (2018).

Ressalta-se que para a norma americana (ANSI A208.1), painéis de média densidade são definidos no intervalo de $0,640$ a $0,800 \text{ g/cm}^3$, ou seja, com valores maiores que o intervalo da norma brasileira ($0,551$ a $0,750 \text{ g/cm}^3$). Conseqüentemente foi possível observar que todos os painéis das misturas propostas neste trabalho foram superiores aos valores de densidade proposto pela norma americana.

As discrepâncias nos valores das densidades dos painéis quando comparadas à densidade nominal definida inicialmente ($0,551 \text{ g/cm}^3$), podem ser explicadas devido a característica do PUR utilizado e das características de cada mistura utilizada para produção dos painéis.

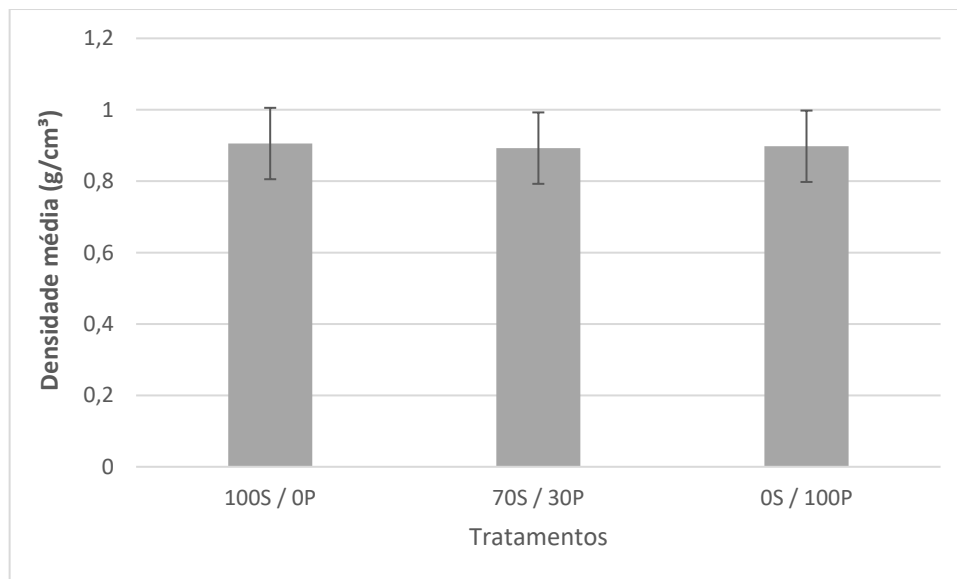
Tabela 19 – Densidade dos painéis.

Misturas	M _{100S}		M _{70S30P}		M _{100P}	
	D Média (g/cm ³)	D (%)	D Média (g/cm ³)	D (%)	D Média (g/cm ³)	D (%)
Valor Mínimo	0,894	1	0,861	4	0,860	4
Valor Máximo	0,923	2	0,918	3	0,939	5
Média	0,905	-	0,894	-	0,893	-
Desvio Padrão	0,0095	-	0,017	-	0,0269	-
CV (%)	1,10	-	2,00	-	3,13	-

Fonte: acervo da autora (2020).

No Gráfico 2, verificam-se os valores médios de densidades dos painéis em função de cada amostra proposta.

Gráfico 2 – Gráfico das densidades média dos painéis



Fonte: acervo da autora (2020).

Com base nos resultados, verifica-se que as densidades médias dos painéis de cada mistura obtiveram valores próximos, entretanto sendo esses superiores à classificação considerada para painéis de média densidade, conforme descrito pelos documentos normativos. Todavia, o valor de densidade dos painéis das misturas com 100% seringueira, referente a média de 0,905 g/cm³ estão de acordo com o valor encontrado por Gava *et al.* (2015), que estudaram painéis produzidos com

100% seringueira e 12% PUR. No trabalho, os autores obtiveram densidades médias de 0,842 g/cm³, ou seja, valores compatíveis aos obtido no presente trabalho.

Outro fator importante a ser analisado é a razão de compactação, que consiste na relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada para produção dos painéis que corresponde ao grau de densificação do material.

Na Tabela 20 estão apresentados os valores de razão de compactação dos painéis elaborados nesse trabalho e é possível verificar que esses valores estão de acordo com os encontrados na literatura sobre painéis aglomerados, como os resultados obtidos por Iwakiri (2005) e Araujo *et al.*, 2019, na faixa de 1,3 e 1,6. Ressalta-se, entretanto, que as misturas com 100% de partículas de seringueira, observou uma razão de compactação de 1,29, ou seja, um pouco abaixo do encontrado na literatura.

Tabela 20 – Razão de compactação

Misturas	D_m(g.cm⁻³)	ρ_s (g.cm⁻³)	Razão de Compactação
M _{100S}	0,896	0,696	1,29
M _{70S30P}	0,884	0,669	1,32
M _{100P}	0,914	0,635	1,44

Fonte: acervo da autora (2020).

Elevados valores de razão geralmente podem representar maior resistência mecânica, segundo Trianoski *et al.*(2013), o que será verificado nos resultados dos ensaios mecânicos.

Na Figura 44 ilustram-se alguns aspectos gerais dos CPs dos painéis produzidos com 70% seringueira e 30% pinus. Nestes painéis verificou-se que ocorreu excelente compactação do material e não ocorreu formação de bolhas ou defeitos que poderiam interferir nos ensaios de densidade e conseqüentemente influenciado no teor de umidade dos painéis.

Figura 44 - Aspectos gerais dos CPs com 70% seringueira e 30% Pinus



Fonte: acervo da autora (2020).

5.2.2 Teor de umidade

Conforme apresentado nos tópicos de materiais e métodos, foram realizados ensaios para determinação do teor de umidade. Na Tabela 21 estão apresentados os valores médios determinados para os teores de umidade dos painéis de cada mistura, assim como o valor mínimo e máximo obtido, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 21 – Teor de umidade dos painéis.

Misturas	M_{100S}	M_{70S30P}	M_{100P}
	Umidade (%)	Umidade (%)	Umidade (%)
Valor Mínimo	7,06	7,29	7,64
Valor Máximo	7,58	7,58	8,22
Média	7,27	7,44	7,97
Desvio Padrão	0,17	0,10	0,18
CV (%)	2,33	1,33	2,29

Fonte: acervo da autora (2020).

Os valores do teor de umidade determinados encontram-se dentro do intervalo previsto pela norma brasileira NBR14810:2 (2018) que é de 5 a 13%. Além disso, verificou-se um aumento da umidade conforme a redução da quantidade das partículas de seringueira, pois, este fato pode ser decorrente das diferenças de densidades entre as partículas de seringueira e pinus.

5.2.3 Inchamento e absorção após 24 horas.

A Tabela 22 apresenta os requisitos máximos de valores de inchamentos para usos dos painéis com baseado na NBR14810:2 (2018). Ressalta-se que a ANSI – A208 não indica limite de valores para o inchamento após 24h em espessura, por isso não se apresentam na tabela.

Tabela 22 – Limite máximo por tipo de uso quanto ao inchamento em espessura

NBR 14810:2(2018)					
Espessura > 6 a 13 mm		Espessura > 6 a 10 mm		Espessura > 10 a 13 mm	
Requisito máximo (%)		Requisito máximo (%)		Requisito máximo (%)	
P2	22	P4	19	P4	16
P3	17	P5	13	P5	11
-	-	P6	16	P6	16
-	-	P7	10	P7	10

Fonte: Adaptado ABTN (2018b)

Os valores médios obtidos com os ensaios de inchamento após 24h estão apresentados na

Tabela 23, bem como suas classificações conforme as condições de uso de acordo com a norma brasileira.

Analisando os resultados de inchamento obtidos, os painéis com 100% seringueira podem ser empregados para vários usos (P2, P3, P4 e P6), conforme a norma brasileira. Entretanto, ao adicionar nas misturas as partículas de pinus, observa-se um aumento nos valores de inchamento, classificando os painéis com 30 e 100% de pinus para o uso P2, ou seja, painéis não estruturais para uso interno em condições secas.

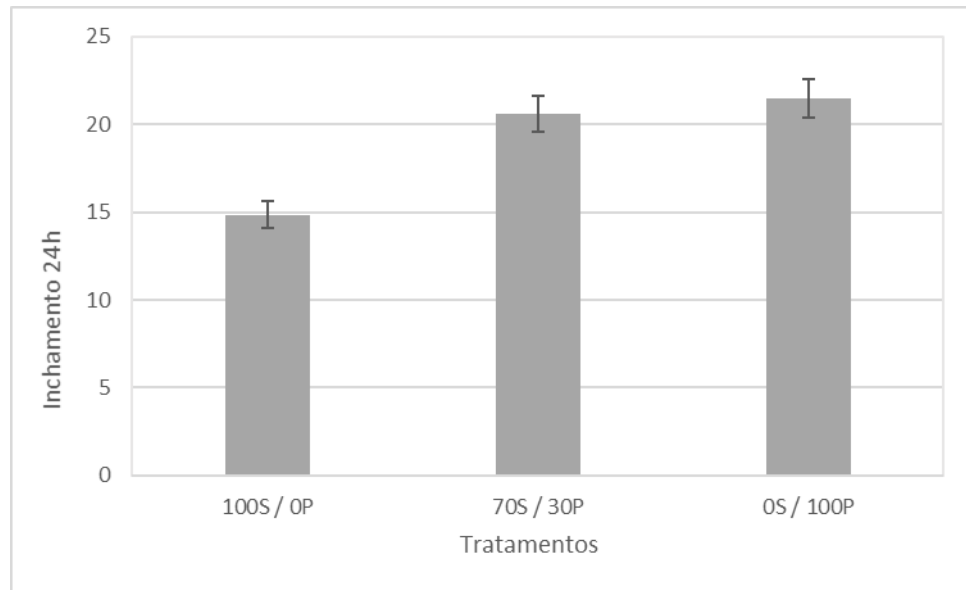
Tabela 23 – Inchamento e absorção 24h

Misturas	M _{100S}	M _{70S30P}	M _{100P}
	Inchamento (%)		
Valor Mínimo	13,55	17,94	18,55
Valor Máximo	16,29	24,25	24,36
Média	14,86	20,60	21,47
Desvio Padrão	1,00	1,94	1,92
CV (%)	6,74	9,44	8,96
	Absorção (%)		
Valor Mínimo	36,29	49,35	53,20
Valor Máximo	55,12	58,55	63,08
Média	48,73	54,39	56,32
Desvio Padrão	5,18	2,99	3,75
CV (%)	10,62	5,49	6,66
	Espessura (mm)		
Valor Mínimo	10,12	9,34	9,99
Valor Máximo	10,83	10,30	10,79
Média	10,59	9,87	10,33
Desvio Padrão	0,21	0,30	0,23
CV (%)	1,89	2,89	2,13
Classificação NBR	P2, P3, P4, P6	P2	P2

Fonte: acervo da autora (2020).

No Gráfico 3 é possível verificar as diferenças entre os valores de inchamento após 24h dos painéis produzidos conforme a quantidade de cada tipo de madeira. Ressalta-se que a madeira de pinus demonstrou uma influência no grau do inchamento nas 24h analisadas, aumentando os valores das espessuras finais, ou seja, a porcentagem de inchamento do painel.

Gráfico 3 – Gráfico de inchamento 24h



Fonte: acervo da autora (2020).

A Figura 45 exibe os corpos de prova com 100% pinus, ao lado esquerdo, antes de ser ensaiado e ao lado direito, após ser ensaiado, ou seja, depois da imersão em água e com sua espessura alterada.

Figura 45 - Copos de prova 100% Pinus não ensaiado (esquerda) e após ensaiado (direita)



Fonte: acervo da autora (2020).

O valor do inchamento após 24h da mistura com 100% de seringueira, referente à média de 14% pode ser comparado com os valores encontrados na literatura. *Gava et al.* (2015), que estudaram painéis produzidos com 100% seringueira e 12% PUR. Nesse trabalho, os autores determinaram uma porcentagem de inchamento em espessura de 17%. Já no trabalho de *Iwakiri et al.* (2018), foi determinado valor igual a 35% para inchamento em espessura após 24h nos painéis

com 100% seringueira e, 76% em absorção de água após 24h, ressalta-se, entretanto, que se utilizou 8% de resina ureia-formaldeído, o que explica a diferença de resultados, pois, verificou-se que a resina interfere nos resultados dos ensaios de inchamento.

5.2.4 Módulo de Flexão Estática (MOR)

Na Tabela 24, apresentam-se os valores mínimos de resistência à flexão estática (MOR), propostos pela NBR 14810:2(2018), com base na espessura (mm) dos painéis e resistência (MPa) mínimas a serem alcançadas e pela norma ANSI A208.1, com base nas resistências (MPa) mínimas a serem alcançadas nos painéis. Ressalta-se que os valores propostos pelas normas serviram para nortear a eficiência do processo de produção dos painéis.

Tabela 24 – Valor de MOR mínimo determinado por tipo de uso para norma brasileira

NBR > 6 a 13 mm (MPa)		ANSI A208.1 MPa	
P2	11	M-0	7,6
P3	15	M-1	10
P4	16	M-S	11
P5	18	M-2	13
P6	20	M-3	16,5
P7	22	H-1	14,9
-	-	H-2	18,5
-	-	H-3	21,1

Fonte: Adaptado ABTN (2018b) e ANSI A208.1

A Tabela 25 resume os resultados obtidos com os ensaios, sendo esses os valores de MOR dos corpos de prova e o desvio padrão junto ao coeficiente de variação, assim como suas respectivas classificações conforme a norma brasileira e americana.

Tabela 25 - Módulo de resistência à flexão estática (MOR)

Misturas	M_{100S}	M_{70S30P}	M_{100P}
	MOR (MPa)	MOR (MPa)	MOR (MPa)
Valor Mínimo	11,66	12,86	14,09
Valor Máximo	16,39	17,05	20,51
Média	13,53	14,44	16,89
Desvio Padrão	1,24	1,29	2,16
CV (%)	9,18	8,91	12,82
Classificação NBR	P2	P2	P2, P3, P4
Classificação ANSI	M-0, M-1, M-S, M-2	M-0, M-1, M-S, M-2	M-0, M-1, M-S, M-2, M-3, H-1

Fonte: acervo da autora (2020).

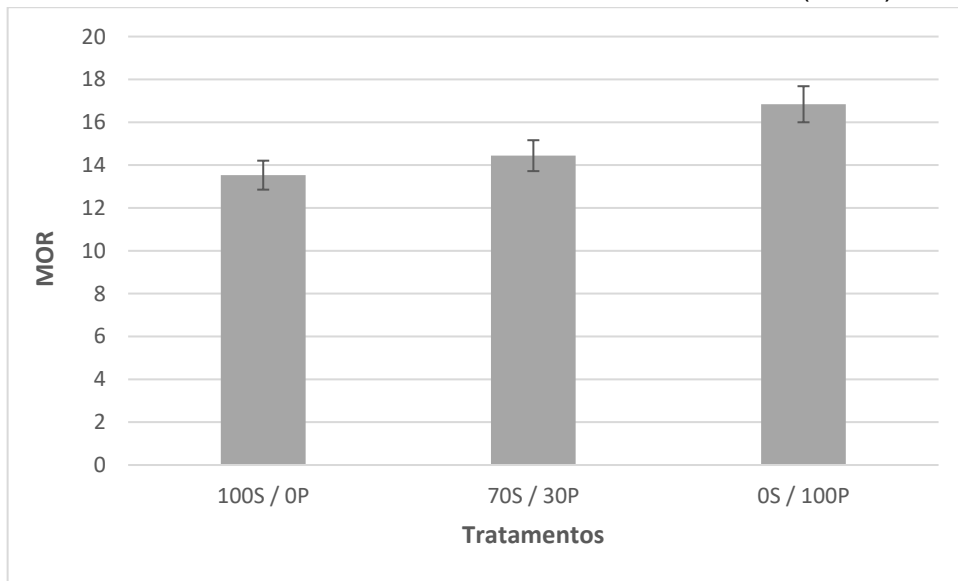
Verifica-se a influência da madeira de pinus, conforme o aumento da quantidade pinus na mistura aumente o MOR. De acordo com a norma brasileira, os painéis com 100% pinus se enquadram em mais classificações de uso.

Contudo, os painéis com 100% de seringueira se classificaram na classificação de uso P2, de acordo com a norma brasileira, ou seja, adequados para uso não estruturais em condições secas dentro de edificações. Ressalta-se o valor da resistência do painel composto por 70% de seringueira de 14,44 MPa, valor próximo à classificação de painel do tipo P3 (15 MPa), ou seja, painéis não estruturais para uso em condições úmidas.

É importante destacar que a norma brasileira divide os painéis de partículas de média densidade conforme a finalidade e ambiente de uso. Segundo a NBR 14810-2 da ABNT (2018b), os painéis de média densidade (MDP) podem ser classificados em seis tipos de acordo com seu uso estrutural ou não em certos ambientes. As classificações e seus tipos apresentam-se no item 3.2.5.

A norma americana (ANSI A208.1) classifica com base na densidade dos painéis, alta, média e baixa densidade, sendo os painéis de média densidade designado pela letra M. Sendo esses M-0, M-1 e M-S indicado para uso comercial e M-2, M-3 e H-1, para uso industrial.

Gráfico 4 - Módulo de resistência à flexão estática (MOR)

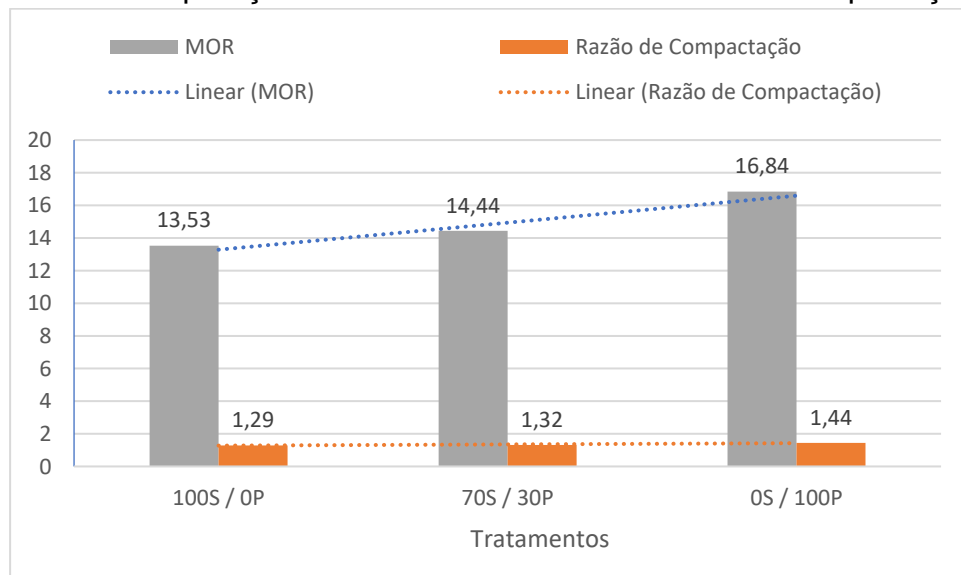


Fonte: acervo da autora (2020).

De acordo com Trianoski *et al.* (2013), elevados valores de razão de compactação propiciam densidades altas e maior resistência mecânica, consequentemente, foi possível comprovar essa afirmação de Trianoski.

No Gráfico 5, é possível observar, com maior clareza, que a tendência dos valores de MOR é crescer conforme a adição da madeira do pinus. Assim como nos valores de razão de compactação, observou-se um crescimento conforme a adição da madeira pinus nas misturas.

Gráfico 5 – Comparação dos valores de MOR e Razão de Compactação



Fonte: acervo da autora (2020).

O valor médio do MOR (13,53 MPa) para os painéis com 100% seringueira, pode ser comparado com os valores encontrados na literatura. *Gava et al.* (2015), que estudaram painéis produzidos com 100% seringueira e 12% PUR determinaram valores médios de MOR de 13,21 MPa. Nos estudos desenvolvidos por *Gilio* (2020) foi determinado valor médio de MOR de 15,23 MPa, para painéis produzidos com 100% seringueira.

Os valores dos trabalhos supracitados encontram-se bem próximos aos obtidos nesse trabalho. O que possibilita inferir que a madeira de seringueira é uma boa alternativa para a produção de painéis aglomerados.

5.2.5 Módulo de Elasticidade (MOE)

Na Tabela 26 estão apresentados os valores mínimos de MOE em relação as classificações da NBR 14810 para painéis de 6 a 13 mm de espessura, considerando-se que os painéis desse estudo, obtiveram espessura média entre 9 e 10 mm e a classificação da norma americana ANSI 208.1, com base nas densidades dos painéis.

Tabela 26 – Valor de MOE mínimo por tipo de uso

NBR > 6 a 13 mm (MPa)		ANSI A208.1 MPa	
P2	1800	M-0	1380
P3	2050	M-1	1550
P4	2300	M-S	1700
P5	2550	M-2	2000
P6	3150	M-3	2750
P7	3350	H-1	2160
-	-	H-2	2160
-	-	H-3	2475

Fonte: Adaptado ABTN (2018b) e ANSI 208.1.

Os resultados médios obtidos com o ensaio para determinação do MOE, estão apresentados na Tabela 27, com suas respectivas classificações.

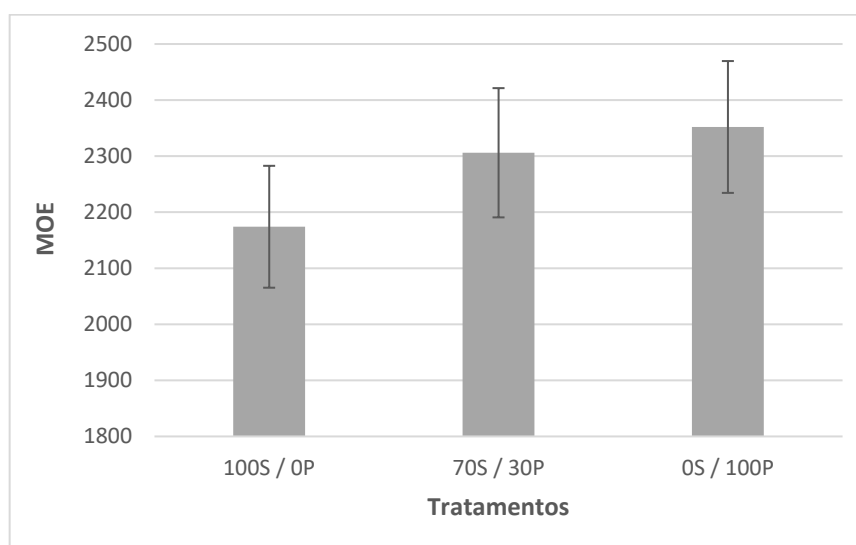
Tabela 27 - Módulo de resistência à flexão estática (MOE)

Misturas	M _{100S}	M _{70S30P}	M _{100P}
	MOE (MPa)	MOE (MPa)	MOE (MPa)
Valor Mínimo	1969	2061	2201
Valor Máximo	2322	2495	2558
Média	2174	2306	2352
Desvio Padrão	106,94	156,57	99,47
CV (%)	4.92	6.79	4.23
Classificação NBR	P2, P3	P2, P3, P4	P2, P3, P4, P5
Classificação ANSI	M-0, M-1, M-S, M-2, H-1, H-2	M-0, M-1, M-S, M-2, H-1, H-2	M-0, M-1, M-S, M-2, H-1, H-2

Fonte: acervo da autora (2020).

Verifica-se que os painéis da mistura com 100% de pinus apresentaram valor médio de MOE de 2352 MPa e, conseqüentemente, alcançaram maior abrangência de classificação, tanto de acordo com a norma brasileira como na americana. Além disso, os painéis das misturas com 100% de seringueira, apresentaram os menores resultados, quando comparados com os valores dos painéis das demais misturas, entretanto, puderam ser classificados de acordo com norma brasileira em P2 e P3 e com relação a norma americana em M-0, M-1, M-2, M-S, H-1, H-2. O Gráfico 6 ilustra as variações dos MOE dos painéis.

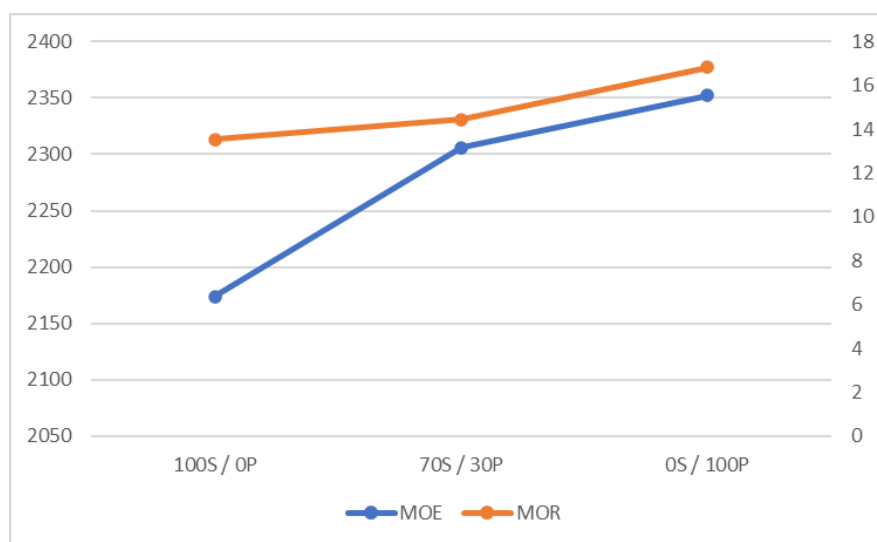
Gráfico 6 - Módulo de elasticidade (MOE)



Fonte: acervo da autora (2020).

O Gráfico 7 apresenta uma comparação dos valores obtidos entre MOR e MOE. Observa-se que os valores obtidos se apresentam com resistências compatíveis entre si, sendo possível inferir que o processo de produção dos painéis não apresentou discrepâncias.

Gráfico 7 – Comparação entre MOE e MOR



Fonte: acervo da autora (2020).

O valor médio do MOE (2174MP) dos painéis com 100% de seringueira estão compatíveis com os valores médios de MOE (1893,55 MPa) obtidos por Gava *et al.* (2015) e com os valores médios do MOE (2375,36 MPa) obtidos por Gilio (2020).

Os trabalhos supracitados foram desenvolvidos com 100% de seringueira e PUR. Esses resultados indicam que a madeira de seringueira é uma boa alternativa para produção de painéis aglomerados.

5.2.6 Tração Perpendicular (RT)

A Tabela 28 exhibe os valores mínimos de resistência à tração perpendicular para classificação por tipo de uso conforme a NBR 14810 para painéis de 6 a 13 mm de espessura, já que os painéis tiveram uma espessura média entre 9 e 10 mm e a classificação da norma americana ANSI 208.1, com base nas densidades dos painéis.

Tabela 28 – Valor de RT mínimo por tipo de uso

NBR	> 6 a 13 mm (MPa)	ANSI A208.1	MPa
P2	0,40	M-0	0,31
P3	0,45	M-1	0,36
P4	0,40	M-S	0,36
P5	0,45	M-2	0,40
P6	0,60	M-3	0,55
P7	0,75	H-1	0,81
-	-	H-2	0,81
-	-	H-3	0,90

Fonte: Adaptado ABTN (2018b) e ANSI 208.1.

A Tabela 29 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibe os resultados médios obtidos nos ensaios para determinação da TP, bem como os valores máximos, mínimo, o desvio padrão junto e o coeficiente de variação.

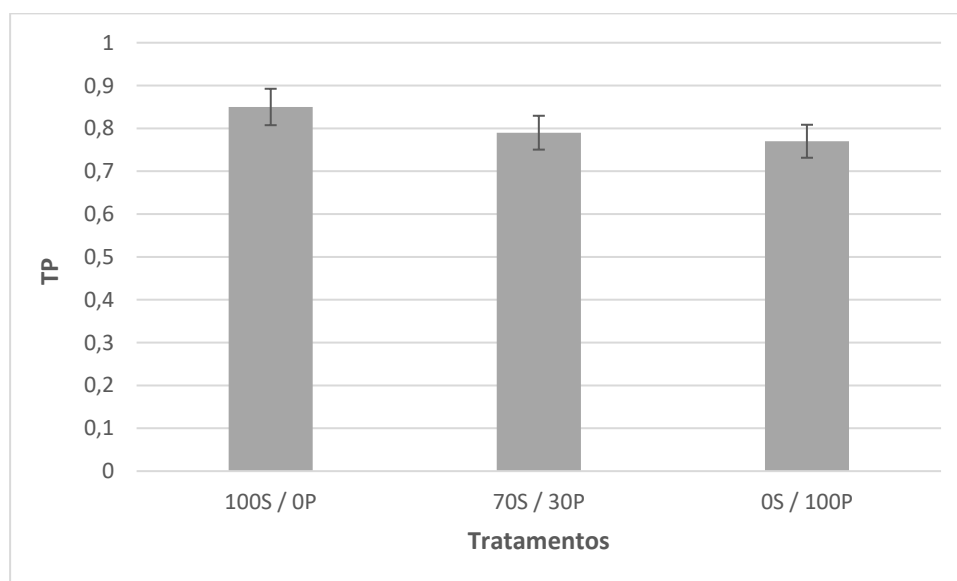
Diferente do MOR e do MOE, a RT se apresentou com melhores devido a maior quantidade de madeira de seringueira, como pode ser observado no Gráfico 8.

Tabela 29 - Resistência à tração perpendicular (TP)

Misturas	M _{100S}	M _{70S30P}	M _{100P}
	TP (MPa)	TP (MPa)	TP (MPa)
Valor Mínimo	0,76	0,73	0,68
Valor Máximo	0,97	0,87	0,86
Média	0,85	0,79	0,77
Desvio Padrão	0,07	0,05	0,05
CV (%)	8,37	6,36	7,00
Classificação NBR	Todos os tipos	Todos os tipos	Todos os tipos
Classificação ANSI	M-0, M-1, M-S, M-2, M-3, H-1, H-2	M-0, M-1, M-S, M-2, M-3	M-0, M-1, M-S, M-2, M-3

Fonte: acervo da autora (2020).

Gráfico 8 – Tração Perpendicular (TP)



Fonte: acervo da autora (2020).

Os resultados de TP se apresentaram com valores superiores aos propostos pela norma brasileira e para a norma americana, compatíveis com os valores mínimos propostos pela referida norma que se baseia nas densidades dos painéis. Os bons resultados obtidos de TP estão relacionados às dimensões das partículas e a eficiência do PUR, pois, conforme descrito anteriormente verificou-se no ensaio para determinação da composição granulométrica das partículas que ocorreu maior concentração de partículas nas peneiras 8 e 16, a maior quantidade dessas partículas influenciaram na composição das misturas e conseqüentemente nas propriedades dos painéis.

O valor da resistência à tração perpendicular (TP) para o painel com 100% seringueira, referente a média de 0,85 MPa pode ser comparado com os valores encontrados na literatura. Pois, no trabalho desenvolvido por Gava *et al.* (2015), foi determinado valor médio de RT, para painéis 100% seringueira, de 2,68 MPa. Também pode ser comparado com o estudo desenvolvido por Gilio (2020) que determinou valor médio de RT, para painéis com 100% seringueira, de 1,06 MPa.

Analisando os resultados de RT determinados por Gava *et al.* É importante destacar que foram superiores aos determinados com os painéis produzidos neste trabalho, contudo, vale descrever que, nos painéis produzidos por Gava foram empregados 12% de PUR, enquanto, os painéis deste trabalho utilizaram-se 10% de PUR.

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De acordo com a análise estatística realizada, nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.**; 31 e 32 são apresentados os valores médios (Méd.), os coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança da média (95% de confiabilidade) das propriedades físicas e mecânicas obtidas com os ensaios nos painéis produzidos com as três misturas de partículas propostas.

Tabela 30 - Resultados das propriedades físicas dos painéis em função dos percentuais de partículas de madeira de pinus.

Pinus (%)	Estat.	D (kg/m³)	U (%)	I (%)
0	Méd.	905.46	7.27	14.86
	CV (%)	1.10	2.33	6.74
	IC (95%)	(893.67; 917.25)	(7.1830; 7.3649)	(13.874; 15.849)
30	Méd.	892.59	7.44	20.60
	CV (%)	2.00	1.33	9.44
	IC (95%)	(880.80; 904.38)	(7.3541; 7.5360)	(19.615; 21.591)
100	Méd.	897.77	7.97	21.47
	CV (%)	3.13	2.29	8.96
	IC (95%)	(885.97; 909.56)	(7.8782; 8.0601)	(20.485; 22.461)

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 31 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis em função dos percentuais de partículas de madeira de pinus.

Pinus (%)	Estat.	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
0	Méd.	13.53	2174	0.85
	CV (%)	9.18	4.92	8.37
	IC (95%)	(12.58; 14.48)	(2101.9; 2247.1)	(0.81; 0.88)
30	Méd.	14.44	2306	0.79
	CV (%)	8.91	6.79	6.36
	IC (95%)	(13.48; 15.38)	(2233.9; 2379.1)	(0.75; 0.82)
100	Méd.	16.84	2352	0.77
	CV (%)	12.82	4.23	7.00
	IC (95%)	(15.89; 17.79)	(2280.3; 2425.5)	(0.73; 0.80)

Fonte: elaborado pela autora

Destaca-se que o valor-p do teste de normalidade de worAnderson-Darling sobre cada propriedade e para os percentuais de madeira de pinus, variou

entre 0,086 e 0,771, o que valida os resultados dos intervalos de confiança gerados.

Analisando os valores obtidos nos ensaios físicos e mecânicos das três misturas propostas neste trabalho, a Tabela 32/Tabela 28 exibe resultados do teste de Tukey, sendo possível deferir a composição mais assertiva dentre as estudadas.

Tabela 32 - Resultados do teste de contraste de médias de Tukey para os painéis produzidos com a três misturas propostas que contém os percentuais das partículas.

Misturas	D	U	I	MOR	MOE	TP
M _{100S}	A	C	B	B	B	A
M _{70S30P}	A	B	A	B	A	B
M _{100P}	A	A	A	A	A	B

Letras iguais nas colunas implicam em composições distintas com médias estatisticamente equivalentes (5% de significância).

Observa-se que o percentual de madeira de pinus não afetou de forma significativa os valores de densidade, pois, para os três percentuais de madeira de pinus (0, 30 e 100%), o teste acusou equivalência das médias (A,A,A), entretanto, para as demais propriedades, foram significativos.

Com relação ao teor de umidade dos painéis, foram verificados os menores valores, identificado no teste de Tukey pela letra (C), provenientes da mistura com 100% seringueira, ou seja, conforme pode ser observado nos demais resultados do teste de Tukey, a presença da madeira pinus influenciou para diminuir a resistência a umidade dos painéis, certamente decorrente das características das partículas de pinus.

Para a propriedade de inchamento após 24h observa-se que os menores valores obtidos foram com 100% seringueira, conforme pode ser identificado pela letra (B) no teste de Tukey, podendo ser possível afirmar que a presença de pinus interferiu aumentando o valor dessa propriedade. Encontrando-se valores equivalentes para as duas misturas constituídas com madeira de pinus, ou seja, com 30% de pinus (A) e 100% de pinus (A).

Na análise do MOR e MOE, verificou-se que a madeira de pinus influenciou na melhoria dos resultados. A mistura com 100% de pinus obteve os melhores resultados (A) quando comparados com os resultados com 100% de madeira seringueira (B). Entretanto, para a RT verificou-se que a madeira de seringueira influenciou na melhoria dos resultados, como pode ser observado na

mistura com 100% de seringueira (A).

A validade dos resultados do teste de Tukey é constada pelos valores-p, apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³ acerca da normalidade e da igualdade de variâncias.

Tabela 33 - Resultados de validação do teste de Tukey.

Propriedade	Valor-p (normalidade)	Valor-p (igualdade de variâncias)
D	0,949	0,073
U	0,249	0,085
I	0,522	0,069
MOR	0,448	0,179
MOE	0,109	0,178
TP	0,615	0,353

Teste de normalidade de Anderson-Darling (5% de significância); Teste de Comparações Múltiplas para análise da igualdade de variâncias (5% de significância).

Fonte: elaboradopela autora.

Na Tabela 34 são apresentados os modelos de regressão linear que envolvem os teores de madeira de pinus (%P) como estimadores das propriedades físicas e mecânicas investigadas. Observa-se que apenas dois dentre os seis modelos gerados foram considerados significativos pela ANOVA (valor-p < 0,05), implicando que nos quatro demais, independentemente do valor do coeficiente de determinação obtidos, as variações no percentual de madeira de pinus, não explicam variações nas variáveis dependentes.

Tabela 34 – Resultados do modelo de regressão do teor de madeira de Pinus como estimador das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Modelos	R ² (%)	Valor-p
D = 900,8 – 0,0502·%P	15,80	0,740
U = 7,252 + 0,007101·%P	99,62	0,039
I = 16.52 + 0.05659·%P	65,37	0,401
MOR = 13,49 + 0,03331·%P	99,93	0,017
MOE = 2209 + 1.581·%P	77,10	0,318
TP = 0.8341 – 0.000709·%P	76,34	0,323

Da ANOVA (5% de significância) do modelo de regressão, valor-p menor do que o nível de significância adotado implica na significância do mesmo, e na não significância em caso contrário.

Fonte: acervo da autora (2020).

Os modelos considerados significativos consistiram no teor de umidade,

que exibiu R^2 igual a 99,62%, e no MOR, que também se apresentou com bom ajuste, em virtude do coeficiente de determinação encontrado ($R^2 = 99,93\%$).

Do modelo para a estimativa do teor de umidade, aumentos nos valores do teor de madeira de pinus promoveram, efetivamente, variação proporcional nessa propriedade, o que implica que os painéis feitos com 100% de partículas de madeira de seringueira conduziram aos menores valores da umidade, assim como constatado com o teste de Tukey, comportamento semelhante ao teor de umidade também foi encontrado com o modelo para a estimativa do MOR.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e conforme as análises realizadas para caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, foi possível concluir que a madeira seringueira propicia propriedades físicas e mecânicas de acordo com as exigências da norma brasileira NBR14810-2:2018 e da norma americana ANSI A208.1. Sendo possível indicar a utilização desse tipo de madeira como uma alternativa na produção de painéis.

Com relação às análises dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos, verifica-se um melhor desempenho da madeira de pinus com PUR nos ensaios de MOR e MOE. No que se refere a presença da madeira seringueira, verificou-se menores valores, todavia, foi possível classificar, conforme os requisitos da norma brasileira, como pelo menos painel tipo P2.

Já nos ensaios de tração perpendicular, no geral tiveram as melhores classificações quanto às normas, o que se deve às dimensões das partículas presente nas misturas associadas e a eficiência do PUR. O ensaio de classificação granulométrica das partículas possibilitou selecionar e concentrar as partículas mais apropriadas para produção dos painéis nas peneiras de número 8 e 16, as dimensões dessas partículas propiciaram melhores propriedades de RT

Quanto ao inchamento após 24h, observa-se uma tendência maior de absorção de água, conseqüentemente maior inchamento, nos painéis produzidos com partículas de pinus. Os painéis das três misturas obtiveram classificações mínimas de acordo com a norma brasileira e a mistura com 100% de seringueira se destacou com relação às demais misturas, sendo possível classificar os painéis par uso P2, P3, P4 e P6.

Conclui-se que a seringueira por ser uma madeira de reflorestamento é uma boa alternativa para a produção de painéis, uma opção viável na produção de painéis aglomerados.

7 RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

Com o intuito de contribuir com o desenvolvimento de outros estudos científicos, esse trabalho sugere-se estudos com a variação do parâmetro adesivo, ou seja, propor novas misturas variando os teores de PUR, com o objetivo de economizar o consumo desse aglutinante ou atingir resistências mecânicas maiores.

Outra sugestão é variar, em maiores quantidades, as partículas de seringueira, para estudar novos percentuais possíveis de serem aplicados em painéis aglomerados de madeira afim de alcançarmos maiores classificações em tipos de uso.

8 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1:** Painéis de partículas de média densidade - Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:** Projeto de Estruturas de Madeira.

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico Abraf 2013.** Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil. Cultivo de Pinus. **Embrapa Florestas.** Sistema de Produção. 2 ed. Jun 2014. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>> Acesso em: 08set. 2020.

ALMEIDA, Filipe André Leitão de. A madeira como material estrutural: projeto da estrutura da cobertura de um edifício. **Tese de Mestrado Integrado. Engenharia Civil (Materiais e Processos de Construção).** Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/72613>. Acessado em: 16 de jun. de 2021.

AMERICAN NATIONAL STANDARD – ANSI. A208.1 : Particleboards. Gaithersburg, MD, 2009.

ARAUJO, C. K. C.; CAMPOS, C. I. de; CAMARGO, S. K. de C. A.; CAMARGO, B. S. Caracterização mecânica de painéis aglomerados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 197-211, jan./mar.2019.

AZAMBUJA, M. A.; DIAS, A. A. Use of castor oil-based polyurethane adhesive in the production of glued laminated timber beams. **MaterialsResearch**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 287-29, set 2006.

BERTOLINI, M. S. *et al.* Painéis de partículas provenientes de rejeitos de Pinus sp. Tratado com preservantecca e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.38, n.2, p.339-346, 2014.

BIAZUS, André; HORA, André Barros da; LEITE, Bruno Gomes Pereira. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.32 , p. 49-90, set. 2010.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de Pinusmerkusii. **ScientiaForestalis**, v. 36, n. 79, p. 165-243, set. 2008.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, p.47-53, 2009.

CIANNAMEA, E. M.; STEFANI, P.M.; RUSECKAITE, R. A. Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives. **Bioresource Technology**. v.101, p. 818-825, Jan 2010.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. I.; FIORELLI, J. Agro-industrial waste composites as components for rural buildings. **Lignocellulosic Fibre and Biomass-based Composite Materials**, [s. l.], p. 13-25, 2017.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FARIA, D. L. et al . **Particleboards produced with different proportions of Hevea brasiliensis: Residual wood valorization in higher value added products**. Ciênc. agrotec., Lavras , v. 45, e021420, 2021 . Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542021000100201&lng=en&nrm=iso>. accesson 12 May 2021. Epub Mar 12, 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145021420>.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Global Forest Resources Assessment 2015: how are the world's forests changing**.2015.2nd ed. Rome. 17 p. Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/publicacoes/458-relatorios-internacionais>>. Acesso em: 28 mar. 2020

FAO. 2020. **Global Forest Resources Assessment 2020: Main report**. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de Eucalyptussaligna e casca de noz macadâmia**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FIORELLI, J. *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**. v.40, p.69-75, 2012.

GAVA, M. *et al.* **Production of Particleboards from Hevea brasiliensis Clones and Castor Oil-based Polyurethane Resin**. *Bioresources*, Raleigh, v. 10, n. 4, p. 6896-6905, 2015.

GILIO, G. C. Avaliação de painéis de partículas homogêneas empregando-se madeira de hevea brasiliensis e tectona grandis, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona. 2020. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNESP**.

GUIMARÃES, J. B. J. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências** / LAVRAS – MINAS GERAIS – BRASIL – 2008

GONÇALVES, P. de S. Sub-produtos complementares da renda de um seringal. 2002. Disponível em: <<http://www.apabor.org.br/sitio/artigos/html/20020808-1.htm#1>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

GONÇALVES, R. C. *et al.* Manual de Heveicultura para a Região Sudeste do Estado do Acre. Rio Brando, AC: **Embrapa Acre**, 2013. p.21-30. Documentos 128.

GONZÁLEZ-GARCIA, S. *et al.* Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.445-453. 2011.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual Ibá 2017**. 2017. Disponível em: <<https://www.iba.org/publicacoes>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual Ibá 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.iba.org/publicacoes>>. Acesso em: 28 mar. 2020.

IAC, Instituto Agrônomo. Centros de Pesquisa. Centro de Seringueira e Sistemas Agroflorestais. Clones. Disponível em <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/clones.php>>. Acesso em: 07 ago 2020

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. 1. ed. Curitiba: **Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná**, 2005.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis aglomerados de Hevea brasiliensis (Clone RRIM 600) em mistura com três espécies de Eucalyptus utilizadas pelas indústrias de São Paulo. **ScientiaForestalis**, v. 46, n. 117, p.1-10, mar. 2018.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis aglomerados com misturas de seis espécies de madeiras da Amazônia. **Floresta**, v. 46, n. 2, p.259-267, jun. 2016.

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

KOGA, Flávio Hiroshi Pecoraro. Gestão da qualidade aplicada no processo de poda de árvores em uma distribuidora de energia. 2018. 133f. **Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/CCET)** - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

LIM, S. C., GAN, K. S.; CHOO, K. T. The characteristics, properties and uses of plantationtimbers rubberwood and Acacia mangium. **Timber Technology Bulletin**, Kuala Lumpur, n. 26, 2003.

MACEDO, Denízia Gonçalves. Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu. 2008. 159 f. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais)** - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: Panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar 2008.

MATOS, J. L. M. Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards. 1988. 164f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MAGALHÃES, W. L. E. Tecnologia da Madeira. Cultivo de Pinus. **Embrapa Florestas**. Sistema de Produção. 2 ed. Jun 2014. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/temas-publicados>> Acesso em: 08set. 2020

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1991.

MELO, R. R. Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz. 2009. 77 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MOSLEMI, A. A. Particleboard. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. v. 2, 245 p.

MÖLLEKEN, R. E. **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente**. 2017.

Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MUZEL, S. D. *et al.* **MDP Panels Manufactured with Hevea Brasiliensis Overlaid with Bamboo Foil of Phyllostachys Edulis.** *Advanced Materials Research*, Amsterdam, v. 1088, p. 686-689, 2015.

MÜZEL, S. D. Madeira de Hevea brasiliensis como matéria prima para a produção de chapa de partículas aglomeradas. **Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira)** – Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2013.

PAES, J. B.; NUNES, S. T.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. de F.; LACERDA, R. M. de A. Qualidade de chapas de partículas de Pinuselliottii coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p.551-558, 30 set. 2011.

PEREIRA, Samuel Soares Camarinha. Avaliação experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira antiga. **Tese de mestrado integrado. Engenharia Civil (Especialização em Construções Civis).** Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/59599>. Acessado em: 16 de jun. de 2021.

SANCHES, F. L. *et al.* Resistência De Painéis Aglomerados Produzidos Com Mistura De Madeira De Espécies Florestais Tradicionais E Não Tradicionais. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 559-569, Jun 2016.

SANTOS, José António. Estudos de Modelos e Caracterização do Comportamento Mecânico da Madeira. **Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica**, Universidade do Minho, 2007. 273p. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.9/357>. Acessado em: 16 de jun. de 2021.

SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. 2003. **Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais)**–São Carlos.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Relatório de Gestão de Florestas Públicas.** Relatório 2020.

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Espécies Florestais.** 2020. Disponível em: < <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/especies-florestais> >. Acesso em: 14 out. 2021

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Boletim 2020 Ed. 1.** 2020. Disponível em: < <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/ultimas-noticias/748-sfb-lanca-o-boletim-snif-2020> >. Acesso em: 18 jun. 2021

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Boletim 2018 Ed. 1.** 2018. Disponível em: < <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/publicacoes/456-publicacoes> >. Acesso em: 28 mar. 2020

SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Boletim 2019 Ed. 1.** 2019. Disponível em: < <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/publicacoes/456-publicacoes> >. Acesso em: 28 mar. 2020

SERVOLO FILHO, Henrique José. Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*-RRIM600 E GT1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual. 2013. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/T.11.2013.tde-14052013-170717. Acesso em: 2020-09-07.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Embrapa Florestas.** 2008. 223 p.

SHIROSAKI, Rodrigo Kiyoshi et al . Caracterização de painéis de partículas de média densidade feitos com resina poliuretana monocomponente à base de mamona. *Ambient. constr.*, Porto Alegre , v. 19, n. 1, p. 37-43, mar. 2019 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000100037&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 20 maio 2021. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100291>.

TEIXEIRA, D. E.; ALVES, M. V. da S.; COSTA, A. F. da; SOUSA, N. G. de. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea Brasiliensis* Müell. arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p. 18-26, jan./dez. 2001.

THOEMEN, H; IRLE, M; SERNEK, M. **Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists.** London: Coast, 2010. Cap. 1, p. 1-94.

TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 4, p. 759-768, 2015.

TRIANOSKI, R. *et al.* Utilização da madeira de *Cryptomeria* japônica para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p.057-064, mar. 2013.

VARANDA, L. D. *et al.* Physical performance of particleboards using Castor oil-based adhesive. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 22, n. 10, p. 707-712, Out 2018.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. **Panorama de mercado: painéis de madeira.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.40 , p. 323-384, set. 2014.

WEBER, C.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p.405-413, 16 jun. 2015.

ZAU, M. D. L. *et al.* 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**, São Carlos, v. 24, n. 6, p.101-108, dez. 2014.