UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ISABELLA IMAKAWA DE ARAUJO

**Caracterização físico-mecânica de OSB com resíduos de espécies de madeira
provenientes da região Norte do Brasil**

São Carlos
2020

ISABELLA IMAKAWA DE ARAUJO

**Caracterização físico-mecânica de OSB com resíduos de espécies de madeira
provenientes da região Norte do Brasil**

Versão Corrigida
Original na Unidade

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

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

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

**São Carlos
2020**

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

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

I658c Imakawa de Araujo, Isabella
Caracterização físico mecânica de OSB com
resíduos de espécies de madeira provenientes da região
Norte do Brasil / Isabella Imakawa de Araujo;
orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos,
2020.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais e Área de
Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e
Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.

1. painéis. 2. aproveitamento de resíduo. 3.
propriedades físicas. 4. propriedades mecânicas. 5.
sustentabilidade. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **ISABELLA IMAKAWA DE ARAUJO**.

Título da tese: "Desenvolvimento e caracterização físico-mecânica de OSB com resíduos de espécies de madeira provenientes da região Norte do Brasil".

Data da defesa: 27/11/2020.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Titular **Francisco Antonio Rocco Lahr**
(Orientador)

(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

APROVADA

Prof. Associado **José Ricardo Tarpani**

(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

APROVADA

Profa. Dra. **Cristiane Inacio de Campos**

(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP- Itapeva)

APROVADA

Profa. Dra. **Rosane Aparecida Gomes Battistelle**

(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP - Bauru)

APROVADA

Prof. Dr. **José Manuel Cardoso Xavier**

(Universidade NOVA de Lisboa/UNL)

APROVADA

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

Prof. Associado **Marcelo Falcão de Oliveira**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

Aos meus irmãos, Caio, Vitor e Pedro, pelo incentivo, paciência e apoio
incondicional, com todo amor

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e por colocar essas pessoas no meu caminho.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, por todo ensinamento, conversas, conselhos que me incentivam a ser uma pessoa melhor e por mostrar tanto amor por sua profissão, pois me inspira a querer seguir o mesmo caminho.

Ao professor Dr. Xavier pela orientação de parte deste trabalho e pela receptividade na FEUP, no Porto.

Ao professor Dr. André Luis Christoforo pela amizade e grande auxílio na análise estatística.

Aos professores Dra. Cristiane Inácio de Campos e Dr. Bruno Santos Ferreira pela ajuda na segunda leva de produção de painéis.

A minha mãe, Glória, meus tios, Valmir, Valter, Nádia e Beto, primos, Lucas, Thiago e Rafael, irmãos postigos, Caio e Pedro, cunhadas, Julia e Mari e ao meu amor, Edgar, por todo o apoio. Amo vocês.

Aos meus amigos de São Carlos: Ana Clara, Amanda, Thaysa, Naiara, Joseane, Jakeline, Laurenn, Fabiane, Ricardo, José, Taissa e Lucas, que me proporcionaram momentos inesquecíveis nessa cidade que tanto amo.

Aos funcionários do LaMEM e SET, Arnaldo, Jaime, Roberto, Bragatto, Samuel, Vareda e Romeu, pela contribuição para que este trabalho fosse desenvolvido. Em especial ao Cido (*in memorian*) e ao Sílvio, por me ajudarem na execução deste trabalho.

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

Enfim, a todos que de uma forma ou outra estiveram envolvidos na realização deste trabalho e na participação desta etapa da minha vida, os meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigada a todos!

“Eu sonho com um país onde a educação prevalecerá.”

Malala Yousafzai

RESUMO

ARAUJO, I. I. **Caracterização físico-mecânica de OSB com resíduos de espécies de madeira provenientes da região Norte do Brasil.** 136 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

A região norte do Brasil é grande produtora de madeira serrada, com alta geração de resíduos, que ainda carecem de utilização que lhes agregue valor e evitem impactos ambientais negativos. Entre as alternativas com maior potencial de emprego, citam-se os painéis OSB (*Oriented Strand Boards*), produtos com ampla gama de aplicações como na construção civil, indústria moveleira e de embalagens. Neste trabalho, buscou-se avaliar algumas das espécies mais frequentemente utilizadas e com maior volume de rejeitos nas serrarias locais: Cambará (*Erismia* sp.), Caixeta (*Simarouba* sp.), Tatajuba (*Bagassa guianensis*), Tauari (*Couratari oblongifolia*) e Cedroarana (*Cedrelinga catenaeformis*), objetivando confirmar a viabilidade de produção de OSB com os citados resíduos. Na sequência, foram fabricados painéis com a mistura dessas espécies, tendo como adesivo a resina poliuretana à base de mamona. Os painéis foram produzidos com três camadas, nas proporções de 20:60:20 (face:miolo:face) e 12% de adesivo em relação ao peso seco das partículas, de acordo com pesquisas anteriores. A caracterização foi realizada baseando-se nas especificações da NBR 14810:2013, ASTM D2719:2013 e EN 300:2006. Foram realizados os seguintes ensaios mecânicos: flexão estática para cálculo de MOR e MOE nas direções paralela e perpendicular ao sentido das partículas; arrancamento de parafuso de face e topo; adesão interna e cisalhamento. As propriedades físicas determinadas foram: densidade aparente, absorção e inchamento em espessura após imersão em água, pelos períodos de 2h e 24h. Os resultados comprovaram que painéis OSB confeccionados com resíduos de espécies de madeira da região Norte podem ser fabricados e comercializados para aplicações usuais do produto, pois todos os traços atenderam aos requisitos mínimos requeridos pelos mencionados documentos normativos, sendo que alguns dos painéis foram classificados como OSB/4, painéis mais resistentes para uso em condições úmidas. Demonstrando assim, a viabilidade da mistura das espécies.

Palavras-chave: painéis, aproveitamento de resíduo, propriedades físicas, propriedades mecânicas, sustentabilidade.

ABSTRACT

ARAUJO, I. I. **Physical-mechanical characterization of OSB made with residues of wood species from Northern Brazil.** 136 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Northern region of Brazil is a major producer of sawn timber, with a large amount of waste that still needs to be used to add value and avoid negative environmental impacts. Among the alternatives with the greatest potential for employment are the Oriented Strand Boards (OSB), products with a wide range of applications as in civil construction, furniture and packaging industry. In this work, we tried to evaluate some of the most frequent species used and with the highest volume of tailings in the local sawmills: Cambará (*Erismia* sp.), Caixeta (*Simarouba* sp.), Tatajuba (*Bagassa guianensis*), Tauari (*Couratari oblongifolia*) and Cedroarana (*Cedrelinga catenaeformis*), aiming to confirm viability of OSB production with the aforementioned residues. In sequence, panels were manufactured with the mixture of these species, having as adhesive the Castor Oil based polyurethane resin. Panels were produced with three layers, in the proportions of 20:60:20 (face:core:face) and 12% of adhesive related to particles dry weight, according to previous research. Characterization was performed based on specifications of NBR 14810:2013, ASTM D2719:2013 and EN 300:2006. The following mechanical tests were performed: static bending for MOR and MOE estimation, in directions parallel and perpendicular; face and top screw pullout; internal bond and shear modulus. Physical properties determined were: apparent density, water absorption and swelling in thickness, after immersion in water, for periods of 2h and 24h. Results showed that OSB panels made from wood residues from Brazilian North region can be manufactured and marketed for product's usual applications, once all treatments reach the minimum requirements required by the mentioned Codes, some of the panels were classified as OSB/4, more resistant panels for use in wet conditions. Demonstrating the feasibility of mixing species.

Keywords: panels, residue properties, physical properties, mechanical properties, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Orientação das partículas da face perpendiculares às do miolo.....	26
Figura 2 - Investimentos realizados por associados à IBÁ.....	30
Figura 3 - Distribuição geográfica das unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída no Brasil.....	32
Figura 4 - Principais países produtores de painéis.....	33
Figura 5 - Posicionamento das partículas na camada interna do OSB	34
Figura 6 - Utilização de OSB em diversas aplicações na construção civil. (a) Fechamento e contraventamento; (b) Cobertura; (c) Laje seca; (d) Reforço de drywall; (e) Decoração	35
Figura 7 - Processo de Produção de OSB	38
Figura 8 - Amostra de strands de Cambará.....	43
Figura 9 - Amostra de strands de Caixeta	44
Figura 10 - Amostra de strands de Cedroarana	45
Figura 11 - Amostra de strands de Tatajuba	46
Figura 12 - Amostra de strands de Tauari.....	47
Figura 13 - Tipos de resíduos gerados em serrarias	51
Figura 14 - Destinação dos resíduos de serrarias de MT.....	51
Figura 15 - Picador de disco.....	57
Figura 16 - Adesivo sendo pulverizado na encoladeira	58
Figura 17 - Separador utilizado para orientar as partículas.....	59
Figura 18 - Pré-prensa manual.....	60
Figura 19 - Prensa semiautomática.....	60
Figura 20 - Painéis já esquadrejados	61
Figura 21- Esquema de retirada dos corpos de prova	62
Figura 22 - Corpos de prova com dimensões para ensaio de flexão	63
Figura 23 - Corpo de prova com dimensões para flexão perpendicular	63
Figura 24 - Corpos de prova para ensaio de cisalhamento.....	64
Figura 25 - Dimensões do corpo de prova de cisalhamento	64
Figura 26 - Máquina Universal de Ensaio EMIC DL 300	68
Figura 27 - Máquina Universal de Ensaio AMSLER	68

Figura 28 - Máquina Universal de ensaios Instron.....	69
Figura 29 - Parafuso utilizado no ensaio de arrancamento de parafuso.....	71
Figura 30 - Parte 1 do trilho utilizado na aplicação da força de compressão.....	72
Figura 31 - Parte 2 do trilho utilizado na aplicação da força de compressão.....	73
Figura 32 - Aplicador de força.....	73
Figura 33 - Trilho montado.....	74
Figura 34 - Peça 1	75
Figura 35 - Peça 1 invertida.....	75
Figura 36 - Peça 2	76
Figura 37 - Peça 3	76
Figura 38 - Peças 4 e 5.....	77
Figura 39 - Peças montadas.....	77
Figura 40 - Aparatos confeccionados na oficina mecânica.....	78
Figura 41 - Ensaio para teste de equipamento e corpos de prova.....	79
Figura 42 - Resultados preliminares	79
Figura 43 - Estabilização do strain gage.....	80
Figura 44 - Resultados das propriedades físicas dos painéis OSB - Intervalo de confiança com 95% e confiabilidade e 5% de significância para o teste de Tukey...	83
Figura 45 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis OSB - Intervalo de confiança com 95% e confiabilidade e 5% de significância para o teste de Tukey...	84
Figura 46 - Médias encontradas no ensaio de Densidade, em g/cm ³	88
Figura 47 - Médias encontradas para a propriedade de Inchamento em espessura durante 2h.....	91
Figura 48 - Médias encontradas para a propriedade de Inchamento em espessura durante 24h.....	92
Figura 49 - Médias encontradas para a propriedade de Absorção de água durante 2h	93
Figura 50 - Médias encontradas para a propriedade de Absorção de água durante 24h.....	93
Figura 51 - Valores médios encontrados no ensaio de Teor de Umidade.....	95
Figura 52 - Valores médios de MOR paralelo	99
Figura 53 - Valores médios de MOE paralelo	100
Figura 54 - Valores médios de MOR perpendicular	102
Figura 55 - Valores médios de MOE perpendicular	103

Figura 56 - Valores médios para ensaio de adesão interna	105
Figura 57 - Valores médios dos ensaios de arrancamento de parafuso – topo.....	106
Figura 58 - Valores médios dos ensaios de arrancamento de parafuso – face	107
Figura 59 - Resultados obtidos de tensão de cisalhamento	108
Figura 60 - Resultados obtidos para módulo de rigidez	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/1	36
Tabela 2 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/2).....	37
Tabela 3 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/3).....	37
Tabela 4 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/4).....	37
Tabela 5 - Condições experimentais	55
Tabela 6 - Dados de densidade e porosidade das espécies de madeira	55
Tabela 7 - Ensaio realizados com as normas correspondentes para cada ensaio ..	65
Tabela 8 - Resultados médios e desvios padrão das propriedades físicas dos painéis.....	85
Tabela 9 - Razão de compactação dos painéis	95
Tabela 10 - Resultados médios e desvios padrões das propriedades mecânicas dos painéis.....	97
Tabela 11 - Valores encontrados no ensaio de Cisalhamento	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira de Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AGEFLOR	Associação Gaúcha de Empresas Florestais
AI	Adesão Interna
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
BOPP	Polipropileno biorientado
CRV	Coeficiente de Rendimento Volumétrico
DAP	Diâmetro na altura do peito
EGP	Edge Glued Panel
EN	Norma Europeia
FAO	Food and Agriculture Organization
FF	Fenol Formaldeído
HDF	High Density Fiberboard
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IMF	International Monetary Fund
IPEF	Instituto de Pesquisas Florestais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISSO	International Organization for Standardization
LaMEM	Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeiras
LSL	Laminates Strand Lumber
LVL	Laminated Veneer Lumber
MDF	Medium Density Fiberboard
MDI	Metil Difenil de Isocianato
MDP	Medium Density Particleboard
MLC	Madeira Laminada Colada
MOE	Módulo de Elasticidade

MOR	Módulo de Ruptura
MUF	Melamina-Ureia Formaldeído
OSB	Oriented Strand Board
OSL	Oriented Strand Lumber
PIB	Produto Interno Bruto
SET	Departamento de Engenharia de Estruturas
SBA	Structural Board Association
UF	Ureia Formaldeído
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
USGS	US Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1. Objetivos	27
1.1.1. Objetivo Geral	27
1.1.2. Objetivos específicos	27
2. REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1. Setor florestal e sustentabilidade	29
2.2. Painéis à base de madeira	31
2.3. Oriented Strand Board	34
2.3.1. Processo de fabricação OSB	38
2.3.2. Matérias-primas alternativas	40
2.4. Espécies de madeira	42
2.4.1. Cambará	42
2.4.2. Caixeta	44
2.4.3. Cedroarana	45
2.4.4. Tatajuba	46
2.4.5. Tauari	47
2.5. Adesivos	48
2.6. Resíduos	49
2.7. Considerações finais sobre a revisão bibliográfica	52
3. METODOLOGIA	54
3.1. Materiais e normas utilizadas	54
3.2. Produção do OSB	56
3.2.1. Geração das partículas	56
3.2.2. Aplicação do adesivo	57
3.2.3. Formação do colchão	58
3.2.4. Prensagem	59
3.2.5. Acondicionamento	61

3.2.6. Corpos de prova	61
3.3. Ensaios Físicos	65
3.3.1. Absorção de água	66
3.3.2. Inchamento em espessura	66
3.3.3. Densidade aparente	66
3.3.4. Teor de umidade	67
3.4.1. Flexão estática	69
3.4.2. Arrancamento de parafuso	70
3.4.3. Adesão interna	71
3.4.4. Cisalhamento	72
4. RESULTADOS	82
4.1. Análise estatística	82
4.2. Propriedades físicas	85
4.3. Propriedades mecânicas	96
5. CONCLUSÕES	111
6. REFERÊNCIAS	113

APÊNDICE A – Tabelas com resultados dos ensaios preconizados pelas normas EN 300 e ABNT 14810.	128
---	-----

1. INTRODUÇÃO

A região norte do Brasil possui uma grande riqueza natural de florestas e, por isso, grandes serrarias estão localizadas nessa área, produzindo muitos resíduos durante o processamento dessa matéria prima (METELLO, 2006; MARCHESAN, 2012). Sendo o coeficiente de rendimento volumétrico (CRV) de 35% para desdobro primário (BRASIL, 2016).

Atualmente, há o crescimento da preocupação em se aplicar as matérias primas de uma maneira mais sustentável. No caso da madeira, a utilização de painéis assume esse compromisso em diversos segmentos industriais, como na construção civil, indústria moveleira, de embalagem e decoração (SANTOS et al., 2019; FERRO, 2017).

A produção de painéis a partir de resíduos florestais tornou-se uma alternativa promissora devido às tecnologias do processo de fabricação desses produtos, e a grande quantidade de florestas plantadas no Brasil (BERTOLINI et al., 2013). Além disso, a utilização desses resíduos contribui com o meio ambiente e atende a demanda de produção de painéis, agrega valor a um material que seria subutilizado na queima para geração de energia, além de utilizar os recursos florestais de forma mais sustentável (ARAUJO, 2015).

Os painéis que melhor aproveitam a tora de madeira são os de partículas ou fibras, pois exigem menor diâmetro da árvore. Em painéis desse tipo, mais de 90% do material são aproveitados (FERREIRA, 2013; IWAKIRI, 2005).

O OSB é um painel confeccionado com partículas orientadas, conhecidas como *strands*, unidas por um adesivo e prensadas a quente (SOUZA, 2012). Pode apresentar várias camadas, dispostas perpendicularmente umas das outras (Figura 1), porém, no Brasil, o mais usual é o painel que possui três camadas. De acordo com Benetto et al. (2009), essa disposição das partículas no painel lhe confere propriedades mecânicas adequadas, garantindo seu uso em diversas áreas, como na indústria da construção civil. Grand View Research (2019) diz que está previsto que o mercado de OSB no mundo atinja 32,89 bilhões de dólares até o ano de 2025,

expandindo a taxa de crescimento anual composta em 14,3%.

Figura 1 - Orientação das partículas da face perpendicular às do miolo

Fonte: SBA (2004).

Um fator importante no processo de produção de painéis de partículas é a espécie de madeira utilizada, pois características como densidade e porosidade irão influenciar e interagir com outras variáveis do processo, além de contribuir de modo significativo para determinação da densidade final do painel (MENDES et al., 2002).

Várias pesquisas têm sido feitas sobre o desenvolvimento e viabilidade de produção de painéis OSB variando as espécies de madeira utilizada: Ferro (2013), com madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*); Nascimento et al. (2015) com espécies de Marmeleiro (*Croton* sp.), Catanduva (*Acacia monoliformis*) e Jurema Branca (*Pithecoelobium dumosum*); Surdi (2012) com híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* e com *Pinus taeda*; e Freitas et al (2017) produzindo painéis com madeira de Cajueiro (*Anacardium* sp.) e Amescla (*Trattinikia* sp.).

A utilização da resina poliuretana à base de mamona é vista como uma alternativa mais sustentável na produção de painéis. De acordo com Araujo (2015) e Dias et al. (2005), este tipo de adesivo é oriundo de uma matéria-prima renovável e com preços competitivos aos adesivos di-isocianatos disponíveis no Brasil.

Este trabalho tem o objetivo de unir os interesses decorrentes das

preocupações relacionadas à sustentabilidade juntamente com o desenvolvimento de novos produtos, utilizando-se matérias-primas alternativas, que proporcionem a diminuição de impactos ambientais em sua produção. Vale destacar que até o momento não há estudos sobre OSB confeccionados com as espécies de madeira utilizadas neste trabalho, contendo, portanto, contornos de originalidade. Além disso, é atual pois no cenário em que vivemos, precisa-se aumentar a produtividade das empresas ao mesmo tempo em que deve se preocupar com questões ambientais.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a viabilidade de produção de painéis de partículas OSB confeccionados com resíduos de madeiras da região norte do país, as espécies utilizadas foram *Erisma* sp. (Cambará), *Simarouba* sp. (Caixeta), *Cedrelinga catenaeformis* (Cedroarana), *Bagassa guianensis* (Tatajuba), *Couratari oblongifolia* (Tauari) e de misturas dessas espécies, unidos por resina poliuretana à base de mamona.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Produzir os painéis de partículas com as 5 espécies e mais duas misturas entre elas, todos com três camadas, nas proporções de 20:60:20, a partir de resíduos de espécies de madeira provenientes de serrarias do norte do país.
- Caracterizar os painéis de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas a partir das normas europeias EN 300:2006 para OSB para ensaios de absorção de água, inchamento em espessura, densidade aparente, teor de umidade, flexão estática, adesão interna, brasileira ABNT NBR 14.810-2:2013 para painéis de partícula de média densidade, essa norma foi utilizada para obtenção da

propriedade de arrancamento de parafuso, e a norma americana ASTM D2719:2013 para cisalhamento de painéis estruturais.

- Analisar estatisticamente os resultados obtidos.

- Analisar os resultados obtidos a luz das normas vigentes e de estudos anteriores encontrados na literatura.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção estão apresentadas informações importantes relacionadas ao trabalho, como dados sobre o setor florestal, os tipos de painéis existentes, e em especial, o OSB e seu processo de produção, as espécies de madeira utilizadas, uma breve explicação sobre os adesivos existentes e utilizados na produção de painéis, e sobre a questão ambiental e os resíduos, incluindo os de madeira.

2.1. Setor florestal e sustentabilidade

Fazendo uma retrospectiva dos principais números do setor de base florestal do ano de 2018, temos que o PIB do setor aumentou 13% em relação ao ano anterior, o mesmo investiu R\$ 6,3 bilhões nas áreas florestais e industriais, a exportação de produtos florestais bateu níveis históricos, e a área de florestas plantadas certificadas pelo FSC aumentou em 9,5%. Por esses e outros motivos, o Brasil se fortalece ainda mais no mercado global, incentivando o desenvolvimento sustentável (IBÁ, 2019).

De acordo com ABRAF (2013), o setor florestal contribuiu para geração de 4,4 milhões de empregos e beneficiou mais 1,3 milhão de pessoas através de investimentos na área de educação, meio ambiente e inclusão social, em municípios localizados nas regiões influenciadas pelas empresas deste setor.

Empresas associadas à IBÁ investiram R\$ 6,3 bilhões no ano de 2018, divididos em unidades industriais e florestais (Figura 2), valendo destacar a quantia de R\$ 25,8 milhões em pesquisa e desenvolvimento (IBÁ, 2019).

Figura 2 - Investimentos realizados por associados à IBÁ

Fonte: IBÁ (2019).

No Brasil, os dois maiores gêneros utilizados na produção de produtos derivados da madeira são Pinus e Eucalipto, mas de acordo com Duarte (2017), há em nosso país um número grande de espécies de árvores existentes, e boa parte destas ainda não é caracterizada para se definir qual seu melhor uso, podendo ser madeira serrada, papel, celulose, pisos, painéis reconstituídos, carvão vegetal, entre outros. Utilizando-se assim, os recursos de uma maneira mais sustentável.

ABRAF (2013) diz que: “A sustentabilidade começou como uma moda e hoje é estratégia de negócio”. Este é um assunto muito abordado atualmente, pois as pessoas estão se conscientizando de que é necessário se utilizar os recursos de maneira a atender as necessidades atuais e sem comprometer as gerações futuras. Mais pesquisas estão sendo feitas neste âmbito.

De acordo com Souza (2002) e Ferro (2017), as empresas vêm sendo pressionadas no quesito ambiental não só pelos seus consumidores, mas também pelos seus acionistas, investidores e até concorrentes, com isso, essas questões de sustentabilidade vêm se tornando uma estratégia competitiva de mercado

Portanto, a utilização de recursos florestais contribui ainda mais para uma visão sustentável do mercado devido ao aspecto de que a madeira é uma matéria-prima renovável, em contrapartida a outros materiais que são finitos, os chamados

recursos naturais não renováveis, como o ferro (SANTOS et al., 2019).

2.2. Painéis à base de madeira

Segundo Mattos et al. (2009), os painéis à base de madeira são estruturas produzidas com lâminas, partículas ou fibras de madeira e aglutinadas por pressão e temperatura.

Dentro dessa classificação, alguns exemplos de painéis no grupo dos laminados são os painéis compensados, os sarrafeados e o de lâminas paralelas (LVL – *Laminated Veneer Lumber*). Dentre os de fibras, têm-se o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o *hardboard* (HDF); e no grupo de partículas, encontram-se os aglomerados, o *waferboard* e o OSB.

Um dos motivos da origem dos painéis à base de madeira se deve ao elevado preço das toras e tábuas, levando à necessidade de aplicação mais eficiente da madeira. Na produção de alguns painéis, é possível utilizar espécies de menor custo, com defeitos naturais (nós ou grãos reversas), além de se poder aproveitar resíduos de serrarias, como cavacos e maravalhas, na sua confecção. Esses resíduos, na maioria das vezes, seriam utilizados para produção de energia por meio da queima (IRLE et al., 2012).

Os painéis se apresentam como uma alternativa na substituição da madeira, por possuírem a estrutura mais homogênea, estabilidade dimensional, resistência à biodeterioração, entre outros (ARAUJO, 2015).

Além disso, segundo Machado (2005), os painéis se destacam sobre a madeira maciça em alguns pontos, como a possibilidade de se obter peças com quaisquer tamanhos e formas, independentemente do tamanho da árvore, possuem boa relação resistência/peso, e proporcionam uma redução dos desperdícios da madeira.

De acordo com IBÁ (2019), existem 23 indústrias produtoras de painel de madeira no Brasil, principalmente localizadas nas regiões Sul e Sudeste (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição geográfica das unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída no Brasil

Fonte: IBÁ e POYRY (2014).

De acordo com Vidal e Hora (2014), dados relatados pela FAO (*Food and Agriculture Organization*), UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*), IMF (*International Monetary Fund*) e Minerals USGS (*U.S. Geological Survey*) mostram que os painéis de madeira vêm apresentando, desde 1995, crescimento superior ao PIB proveniente dos produtos obtidos da madeira serrada. No seu uso, os painéis têm forte ligação com a construção civil, podendo ser utilizados na construção direta, acabamentos ou mobiliário.

De acordo com ABRAF (2013), o setor de painéis de madeira industrializada é formado pelas produtoras de MDP, MDF, OSB e painéis de fibra. Sendo estas, importantes fornecedoras de matéria-prima para as indústrias de móveis, construção civil, embalagens etc. O mercado de painéis encontra-se em crescimento no Brasil, onde nos anos de 2002 a 2012, sua produção anual cresceu de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões de toneladas, apresentando um crescimento médio de 8,9% ao ano.

E com toda a capacidade florestal brasileira, de acordo com IBÁ (2019), ainda ocupamos a 8ª posição no ranking mundial de produtores de painéis (Figura 4), indicando que há potencial para crescimento. De todos os painéis produzidos no

Brasil, 16% vai para exportação e 84% para uso no mercado interno.

Figura 4 - Principais países produtores de painéis

Fonte: IBÁ (2019).

Há a expectativa do aumento de utilização do OSB no Brasil, pois recentemente foi aprovado o financiamento pela Caixa Econômica Federal através do programa “Minha casa minha vida” para construção de casas com o sistema construtivo *wood frame*, onde esse sistema utiliza principalmente o OSB em sua estrutura. Já foram construídas mais de 400 casas nos municípios de Sorocaba/SP, Dourados/MS, Maricá/RJ, Sapucaia/RS, Rio Bom/PR, Curitiba/PR e Pelotas/RS. A empresa prevê aumento de 300% da produção para o ano seguinte (TECVERDE, 2016).

Vale lembrar, que no Brasil, existe somente uma fábrica de OSB, a LP Brasil, que é uma subsidiária da LP South America, que é uma subsidiária da LP Corp, uma empresa global, líder em tecnologia OSB, dedicada à fabricação de produtos de construção de moradias (LP BRASIL, 2020).

A LP Brasil está localizada em Ponta Grossa - Paraná desde 2008, promovendo o sistema de construção de moradias mais utilizado em países como

Canadá e Estados Unidos e com o qual são construídos 90% das casas, são chamadas de Frame Building System, ou construção seca, que tem as vantagens de ser um tipo de construção mais rápida, econômica, durável, versátil, resistente a terremotos e com eficiência energética e sustentável. No Brasil, chamamos CES, Construção Energittermica Sustentável (LP BRASIL, 2020).

2.3. Oriented Strand Board

Segundo a EN 300 (2006), o OSB é composto por múltiplas camadas formadas com partículas tipo *strand*, unidas por um adesivo. Onde as partículas das camadas externas estão alinhadas em uma direção, e as partículas das camadas internas podem estar orientadas de forma aleatória ou alinhadas, geralmente perpendicular às partículas das camadas externas (Figura 5).

Essa orientação das partículas diferencia o OSB de outro painel, o *Waferboard*, e confere ao OSB maior estabilidade e resistência na flexão estática.

Figura 5 - Posicionamento das partículas na camada interna do OSB

Fonte: Hizioglu (2017).

Souza (2012) assinala que, segundo tendências mundiais, o OSB substituirá os compensados. Isso se deve ao fato de que o OSB proporciona melhor aproveitamento das toras de madeira e a possível utilização de peças com menores diâmetros. Além disso, o custo para produção dos compensados é mais dispendioso, reduzindo a sua oferta.

A substituição de um painel pelo outro não ocorreu até então, mas vale ressaltar a afirmação do parágrafo anterior para demonstrar a importância e o ganho de espaço do OSB no Brasil em relação ao compensado.

LP Brasil (2013) cita algumas aplicações para esse tipo de painel, tais como: fechamento e contraventamento de paredes, lajes e coberturas, reforço para paredes de *Drywall* e decoração de ambientes (Figura 6). E algumas vantagens na sua utilização na construção civil, como a economia, simplicidade na estrutura, alta resistência a impacto, elevado conforto térmico devido à sua baixa condutividade, adequado conforto acústico, entre outros.

Além destas aplicações, também pode ser utilizado na construção civil em pisos, fôrmas de concreto, batentes de porta, e em usos não estruturais como em barras de cama, tampos de mesa, estruturas de estofados, embalagem industrial, entre outros (PIVA, 2006).

Figura 6 - Utilização de OSB em diversas aplicações na construção civil. (a) Fechamento e contraventamento; (b) Cobertura; (c) Laje seca; (d) Reforço de drywall; (e) Decoração

Fonte: LP Brasil (2013).

De acordo com a EN (2006), os painéis OSB podem ser classificados em:

OSB/1: Painéis para uso geral sem capacidade de carga e componentes interiores utilizados em ambientes secos.

OSB/2: Painéis de fins estruturais para uso em ambientes secos.

OSB/3: Painéis de fins estruturais para uso em ambientes úmidos.

OSB/4: Painéis mais resistentes para uso em condições úmidas.

Os resultados obtidos através das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB são parâmetros importantes para sua classificação e utilização do produto nas diversas aplicações (MENDES et al., 2014).

As Tabelas 1 a 4 apresentam as propriedades indicadas pela norma EN 300: 2006.

Tabela 1 - Parâmetros normativos gerais para painéis OSB/1

OSB/1			
Variação de espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25
Tensão de Flexão (N/mm²)			
eixo paralelo	20	18	16
eixo perpendicular	10	9	8
MOE na flexão (N/mm²)			
eixo paralelo	2500	2500	2500
eixo perpendicular	1200	1200	1200
Adesão interna (N/mm²)	0,3	0,28	0,26
Inchamento em espessura (24h)	25%	25%	25%

Fonte: EN 300 (2006).

Tabela 2 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/2)

OSB/2					
Variação de espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	22	20	18	16	14
eixo perpendicular	11	10	9	8	7
MOE na flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	3500	3500	3500	3500	3500
eixo perpendicular	1400	1400	1400	1400	1400
Adesão interna (N/mm²)	0,34	0,32	0,3	0,29	0,26
Inchamento em espessura (24h)	20%	20%	20%	20%	20%

Fonte: EN 300 (2006).

Tabela 3 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/3)

OSB/3					
Variação de espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	22	20	18	16	14
eixo perpendicular	11	10	9	8	7
MOE na flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	3500	3500	3500	3500	3500
eixo perpendicular	1400	1400	1400	1400	1400
Adesão interna (N/mm²)	0,34	0,32	0,3	0,29	0,26
Inchamento em espessura (24h)	15%	15%	15%	15%	15%

Fonte: EN 300 (2006).

Tabela 4 - Parâmetros normativos gerais para painéis (OSB/4)

OSB/4					
Variação de espessura (mm)	6 a 10	>10 a <18	18 a 25	>25 a 32	>32 a 40
Tensão de Flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	30	28	26	24	22
eixo perpendicular	16	15	14	13	12
MOE na flexão (N/mm²)					
eixo paralelo	4800	4800	4800	4800	4800
eixo perpendicular	1900	1900	1900	1900	1900
Adesão interna (N/mm²)	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Inchamento em espessura (24h)	12%	12%	12%	12%	12%

Fonte: EN 300 (2006).

2.3.1. Processo de fabricação OSB

O processo de produção do OSB passa pelas etapas de carregamento e preparação das toras, descascamento, geração de partículas *strands*, secagem, aplicação do adesivo, formação do colchão, prensagem, acondicionamento e acabamento (Figura 7).

Figura 7 - Processo de Produção de OSB

Fonte: Mendes (2001).

As etapas citadas anteriormente estão descritas com detalhes, a seguir.

Carregamento e preparação das toras

Ao chegar à fábrica, a madeira é encaminhada ao pátio de toras. A primeira etapa consiste no carregamento destas toras até esteiras, onde são separadas e enfileiradas para serem encaminhadas para a próxima etapa.

Descascamento

Nesta etapa, as toras são encaminhadas a um descascador do tipo tambor rotativo, onde o descascamento é feito a partir da fricção das toras com o tambor. A casca representa em média 15% da árvore, sendo este volume aproveitado na geração de energia dentro da própria indústria (IWAKIRI, 2005).

Geração de partículas

As toras já descascadas seguem para picadores que irão transformá-las em *strands*, LP Brasil (2016) diz que as partículas possuem dimensões de 0,75 a 0,85 mm de espessura, 40 a 50 mm de largura e aproximadamente 250 mm de comprimento.

Secagem

São utilizados nesta etapa, secadores de tubos rotativos, de um a três passos, com a finalidade de secar as partículas para que fiquem com aproximadamente 5% de umidade e possam ir para a próxima etapa (IWAKIRI, 2005)

Aplicação do adesivo

Nesta etapa, as partículas já secas são encaminhadas para uma encoladeira, onde são pulverizados o adesivo e qualquer outro aditivo químico, podendo ser, por exemplo, a parafina que controlará a umidade do painel ou um preservante a base de piretroide, que tem como função aumentar a resistência do painel ao ataque de organismos xilófagos (FERRO, 2017).

Formação do colchão

A etapa de formação do colchão consiste em depositar as partículas já encoladas em uma esteira, onde as partículas das camadas externas estão em uma direção e a da camada interna em outra, esta orientação é feita através de

cabeçotes. Com o colchão formado, o mesmo é encaminhado a pré-prensagem (FERRO, 2017).

Pré-prensagem e prensagem

A pré-prensagem do colchão é realizada para que o excesso de ar que existe no entre as partículas seja retirado, fazendo assim com que as partículas sejam melhor acomodadas.

O colchão segue na esteira até a prensa, que tem o objetivo de consolidar o painel, fazendo com que haja a cura do adesivo e sua densificação, através de pressão e temperatura durante um período de tempo específico (IWAKIRI, 2005).

Acondicionamento e acabamento

Nesta etapa, os painéis recém prensados são cortados na direção do comprimento e acondicionadas a fim de reduzir a temperatura do painel.

Com o painel já estabilizado com o meio ambiente, os mesmos são cortados nas dimensões especificadas pelos clientes e lixados para se uniformizar a espessura.

2.3.2. Matérias-primas alternativas

Muitas pesquisas vêm sendo realizadas sobre esse tipo de painel, testando espécies alternativas de madeiras ou novos adesivos. Essa preocupação se dá pelo fato de se utilizar melhor, e de maneira mais sustentável, as espécies de madeiras disponíveis, além da preocupação com o impacto que pode ser causado ao meio ambiente através dos adesivos utilizados na fabricação de painéis.

Alguns pesquisadores estão utilizando resíduos, podendo eles serem de origem lignocelulósica ou não na sua fabricação (BERTOLINI, 2014; ARAUJO, 2015; MACEDO et al. 2016)

Okino et al. (2008) fabricaram painéis de OSB de *Eucalyptus grandis* e de

Cupressus glauca e adesivos ureia e fenol-formaldeído; Iwakiri et al. (2014) avaliaram a utilização das espécies *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata* e sua mistura, com resina fenólica, na produção desse painel, assim como Freitas et al (2017) que produziu OSB de *Anacardium* sp. e *Trattinikia* sp. com resina poliuretana à base de mamona. Nascimento et al. (2015) estudaram espécies de madeira oriundas da caatinga do nordeste brasileiro, Bufalino et al. (2015) produziram OSB com mix de espécies de *Toona ciliata*, *Eucalyptus urophylla/grandis* e *Pinus oocarpa*. E Hellmeister (2017) utilizou resíduos de madeira de *Ochroma pyramidale* na fabricação de OSB. Os autores mencionados obtiveram resultados compatíveis às normas utilizadas.

Adesivos alternativos também vêm sendo estudados, pois o uso de resinas como ureia-formaldeído, fenol-formaldeído, que são comumente utilizadas na indústria de painéis são classificadas como agentes de insalubridade máxima devido a emissão de formol, sendo consideradas cancerígenas (BERTOLINI, 2014).

Dentre as resinas alternativas, temos as poliuretanas sendo destacadas, a MDI já é utilizada na indústria de painéis OSB, e a resina poliuretana à base de mamona que é alvo de vários estudos, tais como: Hussain et al. (2019) que utilizou esta resina em materiais de rejuntamento e verificou suas propriedades físicas e mecânicas; Macedo et al. (2019) produziu painéis híbridos de lâminas e partículas de madeira para uso estrutural com esse adesivo; Chen e Tai (2018) utilizaram a resina poliuretana à base de mamona em compósitos de baixa densidade com carvão de bambu; e Ferro et al. (2018) utilizaram a resina para fazer painéis OSB com madeira de desbaste e espécies alternativas de madeira.

No Brasil, o adesivo poliuretano ainda não é utilizado industrialmente, mas na América do Norte e Europa, seu uso está se consolidando cada vez mais. Um fabricante italiano de equipamentos para fabricação de painéis, IMAL, já produz um sistema de aplicação desta resina há alguns anos.

Outro adesivo utilizado por Carvalho et al. (2015) foi o tânico de barbatimão na produção de OSB, que obteve resultados sem diferenças estatísticas quando comparados aos adesivos de UF e FF.

2.4. Espécies de madeira

A partir da década de 1980, a exploração da madeira no Brasil consiste na divisão entre espécies nativas provenientes da região Norte e exóticas nas regiões Sul e Sudeste (PEREZ e BACHA, 2006). Como mencionado anteriormente, as indústrias de painéis estão concentradas na região mais ao sul do Brasil, o que facilita a utilização de resíduos florestais nessas indústrias. No entanto, na região Norte, os rejeitos das serrarias são subutilizados para este emprego.

Mendes (2001) menciona que a espécie de madeira é uma das variáveis mais importantes na produção de painéis, pois interage com as outras variáveis do processo, como o adesivo e a densidade final do painel.

Nas últimas décadas, houve um crescimento na demanda pelas madeiras de Pinus e Eucalipto, isso motiva as empresas florestais a ampliarem suas áreas de plantio florestal. Assim, algumas espécies alternativas às tradicionais Pinus e Eucalipto vêm sendo avaliadas quanto à qualidade da madeira para seu uso industrial (IWAKIRI et al., 2014).

Diversas espécies de madeira vêm sendo testadas para fabricação de painéis de partículas aglomeradas, MDP ou OSB.

2.4.1. Cambará

O Cambará (Figura 8), *Erismia* sp., também conhecido como Quarubarana, Cedrinho, Jaboti, é uma árvore que atinge de 15 a 25 metros de altura, possui fuste reto, sua presença é registrada em toda região norte (REMADE, 2004).

Figura 8 - Amostra de *strands* de Cambará

Fonte: Araujo (2018).

De acordo com IPT (1989), a madeira de Cambará tem as seguintes propriedades físicas: densidade aparente a 15% de umidade de $0,59 \text{ g/cm}^3$, contração radial de 3,3%, tangencial de 7,7% e volumétrica de 12,5%. Já para as propriedades mecânicas: resistência à flexão de 80,2 MPa, MOE de 10395 MPa, resistência à compressão paralela às fibras de 42,2 MPa e cisalhamento de 7,4 MPa. E dentre as suas utilizações, têm-se: construção civil em esquadrias, uso interno ou temporário, mobiliário e outros usos como embalagens, compensados e lâminas decorativas.

Em estudo feito por Nascimento, Garcia e Diáz (1997), com o objetivo de agrupar madeiras em classes com propriedades equivalentes, a espécie de madeira, *Erismia* sp., da região de Curuá-Uma com densidade média de $0,56 \text{ g/cm}^3$, foi classificada com outras como *Alexa grandiflora*, *Couratari multiflora*, *Clarisia racemosa*, entre outras, para utilização em assoalhamento, construção leve e embarcações.

Quanto à trabalhabilidade, é fácil de aplainar, serrar e lixar, porém, apresenta acabamento superficial irregular. Possui baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos (SOUZA, MAGLIANO e CAMARGOS, 1997).

2.4.2. Caixeta

A Caixeta (Figura 9), pertence a família *Simarouba*, também conhecida como Marupá, sua árvore chega a ter diâmetro de 80 cm e altura de 25 m. Possui cerne e alburno de mesma coloração e grã direita. Sua ocorrência mais frequente é em matas pluviais, podendo ser encontrada da região norte até o Rio de Janeiro (REMADE, 2004).

Figura 9 - Amostra de *strands* de Caixeta

Fonte: Araujo (2018).

Duarte (2017) diz que a caixeta possui baixa densidade, assim como sua resistência mecânica, retratibilidade volumétrica e resistência natural ao ataque de organismos xilófagos.

De acordo com Cavallari Neto (2004), essa espécie apresenta alto índice de diversidade genética quando comparada a outras espécies tropicais, sendo que as populações naturais são as que mais apresentam essa diversidade.

2.4.3. Cedroarana

A Cedroarana (Figura 10), *Cedrelinga cateniformisi*, popularmente conhecida como Cedro-agono, Cedro-branco, Taperibá-açu na região norte do país, podendo ser conhecida também por Paricá, Yacayacá ou Tornulo em outros países (DUARTE, 2017).

Figura 10 - Amostra de *strands* de Cedroarana

Fonte: Araujo (2018).

A árvore de Cedroarana pode atingir 40 m de altura e 2 m de diâmetro, sua densidade pode variar de leve a medianamente pesada, possui o cerne marrom-avermelhado e/ou cinza rosado (GONÇALEZ e GONÇALVEZ, 2001).

De acordo com a Organização Internacional de Madeiras Tropicais (ITTO), sua ocorrência natural acontece em lugares úmidos e até pantanosos, com grandes quantidades de matéria orgânica, possui densidade aparente de 0,52 g/cm³ e sua utilização está na construção civil, móveis e embalagens. Sua secagem é relativamente fácil, assim como a trabalhabilidade. Possui resistência moderada a fungos e insetos (SOUZA, MAGLIANO e CAMARGOS, 1997).

2.4.4. Tatajuba

A Tatajuba (Figura 11), *Bagasse guianensis*, também conhecida popularmente por Bagaceira, Amarelo, Amarelão, Amapá-rana, e Garrote, é encontrada na região norte do Brasil, podendo chegar entre 15 a 25 metros, possui textura média, grã variando de regular a entrecruzada, cerne e alburno distintos, pode exsudar látex (DUARTE, 2017).

Figura 11 - Amostra de *strands* de Tatajuba

Fonte: ARAUJO, 2018.

De acordo com Embrapa (2002), esta árvore pode atingir até 35 m de altura e 1,8 m de diâmetro, se encontra entre as 10 espécies de madeira mais exportadas do Estado do Pará. Sua madeira apresenta certa resistência ao ataque de fungos e muitas rachaduras se exposta ao sol. Pode ser utilizada em carpintaria, construções navais e civis, entre outras.

De acordo com IPT (1989), possui densidade aparente de 0,82 g/cm³, sua madeira é de fácil trabalhabilidade, contração radial de 5,5%, tangencial de 7,1% e volumétrica de 11,4%; com madeira a 15% de umidade, resistência à flexão de 138,2 MPa, MOE de 15857 MPa, resistência à compressão paralela de 79,7 MPa e cisalhamento de 11,5 MPa.

É indicada para usos em partes internas da construção civil, em vigas, caibros, ripas, esquadrias, forros, e partes externas em postes, moirões, dormentes, cruzetas; em móveis e pisos (REMADE, 2004).

2.4.5. Tauari

O Tauari (Figura 12), *Couratari oblongifolia*, também conhecido como Imbirema, Estopeiro, Tauari-Amarelo, Rauari-Morrão, possui altura comercial variando entre 9 e 16 metros, diâmetros de 50 a 75 cm, tronco reto e cilíndrico. Sua massa específica aparente $0,66 \text{ g/cm}^3$, é utilizada na fabricação de painéis compensados, embalagens, peças encurvadas e torneadas, artigos esportivos e brinquedos, bobinas e carretéis (REMADE, 2004).

Figura 12 - Amostra de *strands* de Tauari

Fonte: Araujo (2018).

De acordo com IPT (1989), possui densidade média, grã direita e textura média, é macia ao corte, apresenta baixa resistência ao ataque de fungos e cupins. É utilizada na construção civil em leves esquadrias e parte interna, em móveis e

outros.

Sua distribuição está localizada em Costa Rica, Panamá, sul das Guianas e Amazônia. Cerne e alburno são indistintos pela cor e pequena quantidade de sílica foi relatada na madeira (CHUDNOFF, 1984).

2.5. Adesivos

Os adesivos possuem a função de distribuir as cargas nos componentes que estão sendo colados, aumentando assim a resistência e rigidez dos produtos derivados de madeira (FRIHART; HUNT, 2010).

Na produção de painéis, o adesivo é o componente de maior custo, por isso, seu uso deve ser feito de maneira racional e otimizada.

Frihart e Hunt (2010) citam alguns fatores que influenciam no processo de colagem, tais como: a superfície da madeira, que deve estar lisa e livre de irregularidades ou defeitos; a densidade da madeira, pois quanto maior a densidade, maior a espessura da parede celular e menor o lúmen da célula, dificultando a penetração do adesivo; assim como a porosidade da madeira e sua umidade.

Iwakiri (2005) cita algumas resinas utilizadas na produção de OSB:

- Ureia-formaldeído: apresenta baixo custo em relação a outras resinas, possui a taxa de cura rápida, cor clara, porém, não é resistente à água (STARK; CAI e CARLL, 2010; FRIHART, 2013).
- Melamina-formaldeído: Possui maior resistência a umidade quando comparada a ureia-formaldeído, por isso, algumas vezes as duas são utilizadas em conjunto.
- Isocianatos: esses adesivos são baseados em polifenil polimetileno isocianato e difenil metileno di-isocianato, possuem alta resistência na colagem e são livres de formaldeído (BALDWIN, 1995).
- Fenol-formaldeído: Apresenta custo superior quando comparado a ureia-formaldeído, porém possui alta resistência à umidade.

Além disso, é comum se utilizarem aditivos químicos incorporados aos

adesivos, com a função de melhorar características do painel. Alguns dos aditivos têm a função de catalisador, de retardante de fogo ou repelentes à água (parafina), preservante, entre outros (IWAKIRI et al., 2005).

Os adesivos mais utilizados na produção do OSB industrial são o fenol formaldeído (FF), a melamina ureia formaldeído (MUF) e os isocianatos (MDI) (FERRO, 2017), estas resinas conferem uma maior resistência à água.

Outros adesivos vêm sendo testados para utilização em produtos derivados da madeira, um deles é o poliuretano à base de óleo de mamona.

Segundo Dias (2008), o Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, foi o primeiro a desenvolver o adesivo poliuretano à base de mamona bi componente, o poliol e o pré-polímero.

Ferro et al. (2014) testaram quatro proporções de poliol e pré-polímero (0,75:1, 1:1, 1:1,25 e 1:1,5) em painéis de partículas de *Schizolobium amazonicum*. Encontrou-se que quanto mais se aumentava a proporção de pré-polímero, maiores eram os resultados para módulo de elasticidade. Para o módulo de ruptura, os resultados foram estatisticamente equivalentes. Levando em consideração o desempenho mecânico e o menor uso de pré-polímero, pois o mesmo é derivado do petróleo, a melhor solução encontrada foi a utilização da proporção de 1:1.

O número de pesquisas com derivados de madeira utilizando esse adesivo vêm crescendo e os resultados obtidos são satisfatórios (FREITAS et al., 2017; FERRO, 2013; BERTOLINI, 2011).

2.6. Resíduos

Brasil (2010) cita que resíduos sólidos são aqueles materiais ou bens descartados provenientes de atividades humanas, cujo destino final está no estado sólido ou semissólido, assim como gases ou líquidos que são inviáveis de serem lançados na rede pública de esgotos. Rejeitos são “os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Existem diversas classificações de tipos de resíduos, de acordo com sua composição química (orgânicos ou inorgânicos), origem ou periculosidade (SEBRAE, 2015).

Brasil (2010) classifica esses resíduos quanto à origem, podendo ser tipo domiciliar, de limpeza urbana, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transporte e de mineração. Quanto à periculosidade, podem ser perigosos, causando risco à saúde pública ou meio ambiente; e não perigosos, sendo não-inertes ou inertes (ABNT, 2004).

Brasil (2016) cita que o coeficiente de rendimento volumétrico (CRV) de toras para madeira serrada deve ser de 35% e qualquer CRV acima desse valor deve apresentar estudo técnico para ser aprovado, evitando-se assim a utilização de madeira ilegal. Esse CRV foi diminuído de 45 para 35%, pois foram feitas pesquisas que concluíram que esse número era mais indicado e coerente com a produção das serrarias, devido às exigências de qualidade para o mercado externo, tecnologias obsoletas no desdobro e algumas degradações decorrentes do seu processamento.

Estudo feito por Bonissoni (2017) demonstrou através de questionários respondidos por representantes de serrarias que se encontram na região Médio Norte, no estado de Mato Grosso, que há vários tipos de resíduos produzidos por elas (Figura 13), podendo serem divididos em serapilheira, maravalha, cavacos e casca, pó de serra e costaneira, sendo esta última de interesse para o nosso trabalho.

Figura 13 - Tipos de resíduos gerados em serrarias

Fonte: Bonissoni (2017).

Ainda de acordo com Bonissoni (2017), a destinação dada a esses resíduos foi classificada em vendidos para fins energéticos, doados, depositados no pátio ou queimados na própria serraria (Figura 14). E diz que as empresas que possuíam toneladas de resíduos acumulados em seus pátios justificaram esse material “pois não havia comércio” e que mesmo tentando fazer a doação para outras empresas, estas ainda recusavam pois teriam que arcar com as custas do transporte.

Figura 14 - Destinação dos resíduos de serrarias de MT

Fonte: Bonissoni (2017).

Como a produção das toras em serrarias é de baixo rendimento, pode-se utilizar os resíduos provenientes desse processamento em diversas áreas, como exemplo na indústria de painéis, energia, compostagem, entre outros (MARCHESAN, 2012). Pesquisas vêm sendo realizadas nos meios industriais e acadêmicos, buscando-se otimizar a utilização de resíduos de modo a lhes agregar valor e aplicabilidade (BATTISTELLE et al., 2016).

Bertolini (2011), em seu estudo, analisou a viabilidade de produção de painéis de partículas confeccionados com resíduo tratado com CCB de *Pinus* sp. e adesivo poliuretano à base de mamona. Foi feita a caracterização dos painéis física e mecanicamente, sendo os resultados obtidos, em alguns casos, 50% superiores quando comparados aos requisitos da norma brasileira NBR 14810, evidenciando a possibilidade da utilização de resíduos.

Battistelle et al. (2016) produziram painéis de partículas de bambu, bagaço de cana e resina poliuretana à base de óleo de mamona para analisar sua utilização na construção civil e arquitetura. Os painéis mostraram-se satisfatórios na aplicação em produtos sustentáveis relacionados ao Ecodesign.

Macedo et al. (2016) avaliaram a viabilidade de produção de OSB com madeira de *Pinus* sp. e resina poliuretana à base de óleo de mamona, com adição (de 20% ou 30% em fração mássica sobre as partículas de madeira) de partículas de polipropileno biorientado (BOPP). O desempenho dos painéis foi avaliado por intermédio de ensaios físicos e mecânicos. Concluiu-se que, das propriedades investigadas, apenas inchamento em espessura e absorção de água foram influenciadas de forma significativa pelas frações de BOPP.

2.7. Considerações finais sobre a revisão bibliográfica

A partir dos tópicos abordados na revisão bibliográfica, pode-se constatar que o Brasil tem um alto potencial florestal e de produção de painéis à base de madeira, além das perspectivas de crescimento de mercado mundial dos OSB para os próximos anos.

Outro ponto significativo e de grande crescimento mundial é a preocupação com a sustentabilidade. Com a revisão apresentada, pode-se observar que a utilização da árvore se dá em quase toda sua totalidade quando produzidos certos tipos de painéis, evitando-se o desperdício de matéria-prima. Este ponto também se alinha com as pesquisas de materiais alternativos na produção de painéis, de maneira que se busque diminuir impactos ambientais causados pelos insumos usuais, podendo ser cancerígenos, como no caso dos adesivos.

Além destas considerações, é importante salientar que foram feitas pesquisas sobre o tema da tese nos principais portais científicos e nenhum trabalho foi encontrado na literatura com estes termos, utilização de resíduos de madeiras tropicais da região norte do Brasil para utilização em OSB. Vale-se então, destacar a originalidade do trabalho desenvolvido e sua importância no atual cenário, em que as empresas estão buscando cada vez mais a sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

Nesta seção serão demonstrados os materiais e métodos utilizados na produção dos painéis, assim como os métodos utilizados na caracterização físico-mecânica dos mesmos.

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

3.1. Materiais e normas utilizadas

Os materiais utilizados na realização desse trabalho foram resíduos de madeira das espécies de Cambará, Caixeta, Cedroarana, Tatajuba e Tauari, e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. A escolha destas espécies, tem como motivo o seu uso frequente em diversas aplicações construtivas, tornando-as interessantes para realização deste trabalho, já que o OSB é um painel estrutural.

Foram realizadas sete composições diferentes de painéis, variando a porcentagem das espécies de madeiras em cada um deles. Os cinco primeiros traços foram compostos por somente uma das espécies de madeira utilizada (Caixeta, Cedroarana, Cambará, Tatajuba e Tauari). O sexto traço foi composto por uma mistura de 20% de cada espécie e o sétimo e último traço possuía uma composição aleatória das cinco espécies estudadas (Tabela 5). O sétimo traço produzido foi confeccionado a fim de se reproduzir uma situação mais próxima do real nas indústrias, onde nestas, seria mais viável não precisar separar os resíduos por espécie, utilizando-os da maneira que viessem.

Tabela 5 - Condições experimentais

Traço	Composição
1	100% Cambará
2	100% Caixeta
3	100% Cedroarana
4	100% Tatajuba
5	100% Tauari
6	20% Cambará, 20% cedroarana, 20% Caixeta, 20% Tatajuba e 20% Tauari
7	Aleatória

Fonte: Araujo (2020).

As cinco espécies estudadas possuem uma alta variação de densidade, quando comparadas entre si. Revelando assim, mais um motivo para se realizar a produção do painel mix destas espécies, já que características anatômicas da madeira, tais como densidade e porosidade, interferem na permeabilidade da madeira e por conseguinte na sua colagem.

A Tabela 6 demonstra um comparativo das características anatômicas das espécies estudadas neste trabalho.

Tabela 6 - Dados de densidade e porosidade das espécies de madeira

	Densidade (g/cm ³)	Porosidade (%)
Cambará	0,70	46,10
Caixeta	0,41	73,25
Cedroarana	0,57	72,04
Tatajuba	0,95	31,60
Tauari	0,72	61,90

Fonte: Duarte (2017) e IPT (1989).

A fabricação e classificação mecânica dos painéis desenvolvidos foram feitas com base nas normas europeia para painéis OSB, EN 300:2006, brasileira para

painéis de partículas, NBR 14810:2013, somente para o ensaio de arrancamento de parafuso, e ASTM D 2719:2013 para o ensaio de Cisalhamento.

Os painéis foram produzidos baseados nos estudos de Ferro (2017) e nos procedimentos realizados na indústria. A produção foi dividida em geração das partículas *strands*, aplicação do adesivo, formação do colchão, prensagem a quente, acondicionamento e esquadrejamento, e retirada dos corpos de prova. Essas etapas serão melhor descritas no próximo item.

3.2. Produção do OSB

Os painéis foram produzidos com dimensões de 400x400x10 mm e densidade nominal de 0,6 g/cm³, esta densidade foi escolhida se baseando na dos OSB produzidos industrialmente no Brasil.

3.2.1. Geração das partículas

As vigas de madeira recebidas com tamanhos médios próximos a 250 cm foram acondicionadas para que chegassem à umidade de 12%, então foram seccionadas em peças de 90 mm de largura e 45 mm de espessura, essas dimensões definem o comprimento e a largura dos *strands*, respectivamente. E de acordo com estudos anteriores, *strands* com essas dimensões proporcionam melhor desempenho do painel

Em seguida essas peças foram encaminhadas ao picador de disco (Figura 15), cujas facas são ajustadas para gerarem partículas com espessura nominal de aproximadamente 0,7 mm. O tamanho final das partículas obtidas foi baseado em estudos passados para se conseguir placas com melhor desempenho.

Figura 15 - Picador de disco

Fonte: Araujo (2018).

3.2.2. Aplicação do adesivo

Depois de obtidas, as partículas foram secas em estufa, com circulação forçada de ar e em temperatura de 30°C, até atingirem o teor de umidade ideal para a aplicação da resina, assim como feito anteriormente nos trabalhos desenvolvidos por Ferro (2013) e Souza (2012).

As partículas foram pesadas em quantidades pré-estabelecidas de acordo com a densidade final requerida do painel, e então, a quantidade de adesivo utilizado correspondia a 12% do peso dessas partículas. No interior de uma encoladeira adaptada, tipo tambor giratório, o adesivo foi pulverizado através de um compressor de ar e uma pistola de ar comprimido, e misturado de maneira homogênea pelo período de 5 minutos (Figura 16).

Figura 16 - Adesivo sendo pulverizado na encoladeira

Fonte: Araujo (2018).

3.2.3. Formação do colchão

Com base no trabalho de Ferro (2013) e a fim de se conseguir um painel com melhores propriedades no sentido perpendicular, os painéis foram produzidos em três camadas na proporção 20:60:20 em relação à face/miolo/face. As partículas das camadas externas foram dispostas de forma orientada, enquanto as partículas da camada interna foram dispostas perpendicularmente as camadas externas, isso foi possível graças ao auxílio de um separador, equipamento formado por oito lâminas, onde os *strands* eram depositados em uma direção, após o término da primeira camada, virou-se o separador na direção oposta e fez-se o depósito das partículas da camada interna, e por fim, a terceira camada foi feita virando o separador na mesma posição que a inicial (Figura 17).

Figura 17 - Separador utilizado para orientar as partículas

Fonte: Araujo (2018).

3.2.4. Prensagem

Após sua formação, o colchão foi submetido a uma pré-prensagem de 0,01 MPa, realizada em uma prensa manual para sua pré-conformação (Figura 18), essa etapa tem a função de diminuir a espessura inicial do colchão, onde se retira grande quantidade de ar que havia ficado entre as partículas, facilitando a prensagem.

Figura 18 - Pré-prensa manual

Fonte: Araujo (2018).

E em seguida, na próxima etapa, o colchão foi encaminhado à uma prensagem a quente com temperatura de 100 °C (Figura 19), pressão de 4 MPa, por 10 minutos, parâmetros estes, obtidos em Ferro (2013), Souza (2012) e Bertolini (2011).

Figura 19 - Prensa semiautomática

Fonte: Araujo (2018).

3.2.5. Acondicionamento

Para estabilização e cura completa do adesivo, os painéis foram acondicionados à temperatura ambiente por 48 horas. Na sequência, o painel foi esquadrejado nas dimensões de 350x350 mm (Figura 20).

Figura 20 - Painéis já esquadrejados

Fonte: Araujo (2018).

3.2.6. Corpos de prova

Após o esquadrejamento, foram retirados os corpos de prova segundo o esquema apresentado na Figura 21.

Figura 21- Esquema de retirada dos corpos de prova

Fonte: Araujo (2019).

Primeiramente foram cortadas cinco chapas e extraídos os corpos de prova para o ensaio de flexão estática (Figura 22) e em seguida para os outros ensaios, totalizando 15 corpos de prova para o ensaio de flexão e 10 para os demais ensaios e cada tipo de painel desenvolvido. Os cinco corpos de prova a mais de flexão são referentes ao ensaio na direção perpendicular (Figura 23).

Figura 22 - Corpos de prova com dimensões para ensaio de flexão

Fonte: Arauo (2018).

Figura 23 - Corpo de prova com dimensões para flexão perpendicular

Fonte: Araujo (2018).

Além disso, foram confeccionados novos painéis para realização do ensaio de cisalhamento, gerando corpos de prova como os da Figura 24. A norma ASTM D2719:2013 não especificava o tamanho exato do corpo de prova, dizendo apenas que L não deve exceder 20 vezes o tamanho da espessura e que o bloco de madeira deveria ser de uma espécie de alta resistência, com espessura superior a 2,5 e largura superior a 5 vezes a espessura do painel.

Por este motivo, foram necessários ensaios preliminares, para encontrar o melhor tamanho do bloco de madeira e do painel de acordo com as condições das

peças que possuíamos, além disso, como seria feita a ligação entre bloco e painel.

Após ensaios preliminares, ficou decidido que os corpos de prova teriam dimensões de 26 x 26 cm, onde a parte central, media 10 cm, e as extremidades mediam 8 cm, cada uma (Figura 25). E a ligação foi feita por meio de parafusos e cola, sendo o parafuso utilizado o de modelo *Chipboard* 5 x 60 mm, dois em cada bloco de madeira, e a cola Cascophen com seu catalisador na medida de 5:1.

Figura 24 - Corpos de prova para ensaio de cisalhamento

Fonte: Araujo (2019).

Figura 25 - Dimensões do corpo de prova de cisalhamento

Fonte: Araujo (2020).

A Tabela 7 demonstra os ensaios realizados, a sigla utilizada para cada um e as normas utilizadas.

Tabela 7 - Ensaio realizado com as normas correspondentes para cada ensaio

Ensaio	Sigla	Norma
Flexão estática	F	EN 310
Arrancamento de parafuso – face	APf	NBR 14810
Arrancamento de parafuso – topo	APt	NBR 14810
Adesão interna	AI	EN 319
Absorção de água	AA	EN 317
Inchamento em espessura	IE	EN 317
Densidade aparente	D	EN 323
Teor de umidade	TU	EN 322
Cisalhamento	C	ASTM D 2719

Fonte: Araujo (2019).

3.3. Ensaio Físicos

As propriedades físicas estudadas neste trabalho foram: absorção de água e inchamento em espessura para períodos de 2h e 24h, densidade aparente e teor de umidade.

3.3.1. Absorção de água

Para esta propriedade, os corpos de prova foram pesados antes (m_1) e após (m_2) imersão em água a 20 °C pelos períodos de 2h e 24h. A porcentagem de absorção de água (AA) foi encontrada pela Equação 1, como indica a EN 317 (1993).

$$AA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

3.3.2. Inchamento em espessura

Para determinação do Inchamento em espessura (IE), foram medidas as espessuras dos corpos de prova antes (e_1) e após (e_2) a imersão em água, analogamente ao ensaio de absorção de água de acordo com a EN 317 (1993). E então calculado por intermédio da Equação 2.

$$IE = \frac{e_2 - e_1}{e_1} \cdot 100 \quad (2)$$

3.3.3. Densidade aparente

Os corpos de prova foram pesados em uma balança com resolução de 0,01 g para obtenção da massa (M), e posteriormente, com um paquímetro com resolução de 0,01 mm, seus lados foram medidos e seu volume (V) encontrado. Então a densidade aparente pôde ser calculada através da Equação 3, como estabelecido pela norma EN 323 (1993).

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

3.3.4. Teor de umidade

A massa dos corpos de prova foram medidas antes (M_u) e após (M_s) permanecerem na estufa até atingirem massa constante, em uma temperatura de 103 ± 2 °C. Com essas medidas de massa, pode-se calcular o teor de umidade (TU) dos painéis através da Equação 4, estabelecida pela EN 323 (1993).

$$TU = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (4)$$

3.3.5. Razão de compactação

A razão de compactação representa a relação entre a densidade do painel pela densidade da madeira. Essa propriedade define o grau de densificação do painel, influenciando as suas propriedades físicas e mecânicas.

$$RC = \frac{D_p}{D_m} \quad (5)$$

3.4. Ensaio Mecânicos

Os ensaios mecânicos realizados foram: flexão estática para cálculo de MOR e MOE, realizados na máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL 3000, com capacidade máxima de 30 kN (Figura 26); arrancamento de parafuso de face e topo e adesão interna, realizados na máquina universal de ensaios AMSLER (Figura 27) com capacidade de 250 kN, e Cisalhamento na máquina Instron HVL 300 com capacidade de 1500 kN (Figura 28).

Figura 26 - Máquina Universal de Ensaaios EMIC DL 300

Fonte: Araujo (2018).

Figura 27 - Máquina Universal de Ensaaios AMSLER

Fonte: Araujo (2018).

Figura 28 - Máquina Universal de ensaios Instron

Fonte: Araujo (2020).

3.4.1. Flexão estática

Com este ensaio, se determinaram as propriedades: módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) através das Equações 6 e 7. Os corpos de prova possuem dimensões nominais de 250 x 50 mm, de acordo com a EN 310 (1993).

$$MOE = \frac{I_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad (6)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (MPa);

a_1 e a_2 = deflexão na metade do vão (mm);

l_1 = distância entre os suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

$F_2 - F_1$ = incremento de carga ($F_2 \pm 40\%$ da carga máxima) (N).

$$MOR = \frac{3F_{max} \cdot l_1}{2bt^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (MPa);

l_1 = distância entre suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm);

$F_{m\acute{a}x}$ = força na ruptura (N).

3.4.2. Arrancamento de parafuso

Os corpos de prova com dimensões nominais de 50 x 50 mm foram perfurados com parafuso 3,0 x 30 mm (Figura 29). Em seguida foi aplicada uma força crescente até o seu arrancamento. De acordo com a NBR 14810 (2013), o valor encontrado para força máxima corresponde à propriedade arrancamento de parafuso.

Figura 29 - Parafuso utilizado no ensaio de arrancamento de parafuso

Fonte: Araujo (2019).

3.4.3. Adesão interna

Para esta propriedade, os corpos de prova possuíam dimensões nominais de 50 x 50 mm, foram colados em suportes de metal e então tracionados na máquina de ensaios, assim como a EN 319 (1993) descreve. Com o valor da força máxima e as dimensões dos corpos de prova, é calculada esta propriedade por intermédio da Equação 8.

$$AI = \frac{F_{max}}{a.b} \quad (8)$$

Onde:

AI = Adesão interna (MPa);

F_{max} = força máxima (N);

a = comprimento do corpo de prova (mm);

b = largura do corpo de prova (mm).

3.4.4. Cisalhamento

Este é um ensaio pioneiro no Brasil, e por este motivo, para determinação desta propriedade, foi essencial fazer o desenho dos aparatos e depois confeccioná-los, na Oficina Mecânica da EESC, os aparatos necessários já fabricados (Figura 41), segundo a norma ASTM D 2719:2013.

As peças foram desenhadas uma a uma no software SolidWorks, com todos os detalhes necessários para sua confecção, e estão apresentadas nas Figuras 30 a 40.

As Figuras 30, 31, 32 e 33 demonstram todos os detalhes do trilho e aplicador de força.

Figura 30 - Parte 1 do trilho utilizado na aplicação da força de compressão

Fonte: Araujo (2020).

Figura 31 - Parte 2 do trilho utilizado na aplicação da força de compressão

Fonte: Araujo (2020).

Figura 32 - Aplicador de força

Fonte: Araujo (2020).

Figura 33 - Trilho montado

Fonte: Araujo (2020).

As Figuras 34 a 40 apresentam os detalhes da peça que irá afixar o corpo de prova.

Figura 34 - Peça 1

Peça 1
Dimensões em mm
Escala: 1:2
Quantidade: 4 peças

Fonte: Araujo (2020).

Figura 35 - Peça 1 invertida

Peça 1a
Dimensões em mm
Escala: 1:2
Quantidade: 4 peças

Fonte: Araujo (2020).

Figura 36 - Peça 2

Fonte: Araujo (2020).

Figura 37 - Peça 3

Peça 3
Dimensões em mm
Escala: 2:1
Quantidade: 8 peças

Fonte: Araujo (2020).

Figura 38 - Peças 4 e 5

Fonte: Araujo (2020).

Figura 39 - Peças montadas

Fonte: Araujo (2020).

Figura 40 - Aparatos confeccionados na oficina mecânica

Fonte: Araujo (2020).

Foram efetuados experimentos para teste de equipamento e ajuste de condições de processo (Figura 41), pois pouco foi encontrado sobre este tipo de ensaio e sobre as condições ideais para sua realização. Nestes testes, encontrou-se o tamanho adequado do corpo de prova a ser utilizado, a forma de se fixar o bloco de madeira maciça no painel, e a forma de se estabilizar *strain gage*, já que a norma não especifica nenhum desses parâmetros. Com estes experimentos, foram obtidos resultados preliminares (Figura 42) que indicaram a maneira final a ser realizada.

Figura 41 - Ensaio para teste de equipamento e corpos de prova

Fonte: Araujo (2020).

Figura 42 - Resultados preliminares

Fonte: Araujo (2020).

O tamanho do corpo de prova foi demonstrado na Figura 25, esta dimensão foi escolhida pois demandava uma menor aplicação de força no painel, certificando-se de que todos os componentes envolvidos aguentariam o esforço para que a ruptura ocorresse corretamente no cisalhamento; para escolha do tamanho do bloco, foi levada em consideração as medidas das peças do aparato metálico fabricado, como pode-se ver na Figura 39, o aparato tem uma limitação de tamanho; e sobre a estabilização do *strain gage*, a mesma foi realizada com elásticos, pois este se comportou melhor do que quando feito com cola quente (Figura 43).

Figura 43 - Estabilização do strain gage

Fonte: Araujo (2020).

Feitos os ajustes necessários, através deste ensaio, determinou-se a Tensão máxima de cisalhamento (T) de cada espécie de madeira utilizada, bem como, o Módulo de Rigidez (G), através das Equações 9 e 10, e de acordo com a norma ASTM D2719:2013.

$$T = 0,707 \cdot \frac{P}{L.t} \quad (9)$$

Onde:

T = Tensão máxima de cisalhamento (N/m²);

P = Força (N);

L = Comprimento da área cisalhada (m);

t = Espessura cisalhada (m).

$$G = 0,3536 \cdot \frac{P}{\Delta} \cdot \frac{L1}{L \cdot t} \quad (10)$$

Onde:

G = Módulo de Rigidez (N/m²);

P/Δ = Inclinação da curva força e deformação (N/m);

L1 = Comprimento do gage (m).

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na análise estatística, propriedades físicas para os ensaios de Densidade, Teor de umidade, Absorção de água para 2 h e 24 h, e Inchamento em espessura no período de 2 h e 24 h, assim como as propriedades mecânicas dos OSB para os ensaios de Flexão para cálculo de MOE e MOR, Arrancamento de parafuso de topo e face, Adesão Interna, e Cisalhamento para cálculo de Módulo de Rigidez e Tensão de Cisalhamento.

4.1. Análise estatística

Para análise estatística foi realizado o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância pelo programa Matlab. É importante salientar que, neste teste, letras de “A” a “D” estão classificando os painéis, onde “A” denota o grupo de maior valor médio, “B” o de segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em traços com médias estatisticamente equivalentes.

A análise estatística será melhor abordada nos próximos capítulos, onde cada propriedade será discutida individualmente.

Não foi feita análise estatística para os ensaios de Cisalhamento, pois foi realizado para apenas uma placa de cada traço.

As Figuras 44 e 45 ilustram os resultados com análise estatística das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB fabricados.

Figura 44 - Resultados das propriedades físicas dos painéis OSB - Intervalo de confiança com 95% e confiabilidade e 5% de significância para o teste de Tukey

Fonte: Araujo (2020).

Figura 45 - Resultados das propriedades mecânicas dos painéis OSB - Intervalo de confiança com 95% e confiabilidade e 5% de significância para o teste de Tukey

Fonte: Araujo (2020).

4.2. Propriedades físicas

Os resultados médios obtidos para as propriedades de densidade (D), inchamento em espessura para 2h (IE 2h) e 24h (IE 24h) e absorção de água para 2h (AA 2h) e 24h (AA 24h) em cada Traço estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados médios e desvios padrão das propriedades físicas dos painéis.

Traço	Painel	D (g/cm ³)	TU (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)
1	Cambará	0,685 (0,021)	8,670 (0,470)	5,733 (1,916)	8,780 (2,014)	8,207 (1,896)	21,213 (2,889)
2	Caixeta	0,735 (0,049)	9,337 (0,350)	8,517 (4,044)	22,556 (4,749)	17,461 (5,153)	57,529 (10,793)
3	Cedroarana	0,813 (0,040)	9,941 (0,650)	5,672 (2,633)	9,568 (3,535)	10,960 (5,938)	25,238 (9,600)
4	Tatajuba	0,811 (0,114)	9,060 (1,710)	5,068 (3,549)	13,233 (1,599)	10,214 (2,790)	32,436 (9,474)
5	Tauari	0,743 (0,064)	10,287 (0,479)	6,503 (2,819)	12,752 (5,233)	12,773 (4,409)	38,939 (11,490)
6	Mix	0,775 (0,044)	10,096 (0,414)	7,730 (2,157)	14,691 (3,716)	23,697 (8,540)	46,723 (9,442)
7	Mix aleat.	0,710 (0,057)	9,871 (0,421)	10,599 (3,366)	17,914 (4,444)	35,365 (8,111)	58,226 (9,792)

Fonte: Araujo (2019).

4.2.1. Densidade

De acordo com ANSI/A1-280 (1993) e Iwakiri (2005), são classificados painéis de média densidade, painéis que se enquadram dentro de 0,59 a 0,8 g/cm³. E segundo ABNT NBR 14810-2 (2013), os que estão na faixa de 0,55 a 0,75 g/cm³.

Todos os painéis produzidos alcançaram densidade média dentro de 0,59 a 0,80 g/cm³ (Figura 46), com exceção dos Traços 3 e 4, com painéis de Cedroarana e Tatajuba. E de acordo com ABNT 14810-2 (2013), o traço 6 juntamente com o 3 e 4 se enquadram como painéis de alta densidade.

De acordo com a análise estatística feita, os painéis que obtiveram maior densidade foram os dos Traços 3, 4 e 6, diferindo dos demais estatisticamente, enquanto os painéis dos Traços 1, 2, 5, 7 e novamente o 6 são classificados como indiferentes estatisticamente entre si e menores quando comparados com os anteriormente citados.

As médias das densidades das espécies de madeira, em ordem crescente são: Caixeta, Cedroarana, Cambará, Tauari e Tatajuba. Quando comparadas as densidades dos painéis confeccionados com essas espécies, pode-se perceber que os valores médios de densidade final correspondem com o valor da densidade da espécie de madeira.

Pode-se dizer que as normas utilizadas como referência estão de acordo com a análise estatística, dividindo os painéis em dois grupos, os de média e alta densidade.

Hayashi et al. (2003) e Hidayat (2009) disseram que a propriedade de densidade é muito importante e que em seus estudos, conseguiram perceber que com o aumento da densidade, aumenta-se também outras propriedades mecânicas como MOE, MOR e Adesão Interna.

Zanuttini et al. (2020) fizeram uma análise preliminar de OSB com adesivo MDI, onde utilizaram uma nova espécie de madeira proveniente da árvore da castanha portuguesa, tentando encontrar substitutos para a espécie comumente utilizada, a Poplar. Produziram com três tipos de porcentagens, o primeiro com 50% de cada madeira, o segundo com 60% de madeira de castanha portuguesa e 40% de Poplar, e o terceiro com 100% da madeira de castanha portuguesa. Para o ensaio de densidade, encontraram valores médios que variavam de 0,5 a 0,62 g/cm³.

Kask et al. (2019) estudaram OSB/3 comercial da marca *Swiss Krono*, com o objetivo de analisar o comportamento do painel durante alguns ciclos de secagem e umidificação. Para a propriedade de densidade, encontraram um valor de 0,63g/cm³, e conforme foram feitos os ciclos, o painel foi perdendo densidade.

Silva et al. (2019) produziram OSB de Pinus com e sem tratamento térmico e fenol formaldeído como adesivo, os resultados encontrados para densidade variaram de 0,58 a 0,73 g/cm³.

Barbirato et al. (2020) confeccionaram OSB com madeira de Balsa e resina poliuretana à base de mamona nas proporções de 11 e 15%, e com 10 mm de espessura, a densidade final desses painéis era de 0,3 e 0,4 g/cm³.

Freitas et al. (2017) obtiveram resultados de densidade entre 0,805 e 0,814 g/cm³ para painéis OSB de Amescla e Cajueiro, Chiromito et al. (2016) fabricaram painéis com diferentes tamanhos de lascas, OSB, LSL e OSL, e obtiveram resultados de densidade variando de 0,62 a 0,71 g/cm³.

Macedo et al. (2016) confeccionaram painéis OSB de *Pinus* sp. com adição de 20 e 30% de BOPP. Seus painéis obtiveram valores médios de densidade variando de 0,78 a 0,87 g/cm³.

Em estudo de Hidayat (2009) foram fabricados 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira, *Maesopsis eminii* (M), *Paraserianthes falcataria* (S) e *Acacia mangium* (A). As combinações feitas foram chamadas de MMM, MSM, MAM, SSS, SMS, SAS, AAA, AMA, e ASA. As médias de densidade encontradas variaram de 0,54 a 0,63 g/cm³.

Na Figura 46, pode-se ver duas faixas vermelhas que indicam o intervalo de 0,59 a 0,80 g/cm³, valores esses estimados por ANSI/A1-280 (1993) para painéis de média densidade.

Figura 46 - Médias encontradas no ensaio de Densidade, em g/cm³

Fonte: Araujo (2018).

4.2.2. Inchamento em espessura e Absorção de água

A EN 300 (2006) não especifica valores para as propriedades de inchamento em espessura durante 2h e absorção de água durante 2h e 24h. Para inchamento em espessura durante 24h, o requisito máximo especifica um valor de 25% para OSB/1, 20% para OSB/2, 15% para OSB/3 e 12% para OSB/4. Os painéis dos Traços 1 e 3 atendem a norma para OSB/4, os Traços 4, 5 e 6 se enquadram em painéis tipo OSB/3, o Traço 7 fica como OSB/2 e o Traço 2 como OSB/1.

Barbirato et al. (2020) produziram OSB com madeira de Balsa e resina poliuretana à base de mamona nas proporções de 11 e 15%, e com 10 mm de espessura, conseguiram resultados médios para o ensaio de Inchamento em espessura durante 24 h variando de 18,5 a 33,6%.

Zanuttini et al. (2020) fabricaram OSB de 18mm de espessura com uma nova espécie de madeira proveniente da árvore da castanha portuguesa, com o objetivo de encontrar espécies substitutas para a espécie comumente utilizada, a Poplar. Produziram com três tipos de porcentagens, a primeira com 50% de cada madeira, a

segunda com 60% de madeira de castanha portuguesa e 40% de Poplar, e a terceira com 100% da madeira de castanha portuguesa. Para o ensaio de Inchamento em espessura durante 24h, encontraram os valores médios de 6,6 a 10,9%.

Kask et al. (2019) analisaram o comportamento de OSB/3 comercial da marca *Swiss Krono*, com 12 mm de espessura, antes e depois de alguns ciclos de secagem e umidificação. Encontraram para o ensaio de Inchamento em espessura, um valor de 43,5%, e conforme foram feitos mais ciclos, o painel foi aumentando o seu teor de umidade.

Ferro (2013), em seu estudo com OSB de *Schizolobium amazonicum* (Paricá) e resina poliuretana à base de mamona, encontrou valores médios de densidade variando de 0,64 a 0,69 g/cm³, para inchamento em espessura durante 2h, o valor médio encontrado foi de 8,9% e durante 24h foi de 23,4%. Já para o ensaio de absorção de água durante 2h e 24h, respectivamente, os valores médios foram de 22,4% e 66,2%.

Silva et al. (2019) produziram OSB de *Pinus* com e sem tratamento térmico e adesivo fenol formaldeído, encontraram para a propriedade de Inchamento em espessura durante 24 h, uma média de valores variando de 22,5 a 84,1%.

Souza (2012) confeccionou painéis OSB de *Pinus* sp., encontrou valores médios de 15,2 e 24,7%, respectivamente, para inchamento em espessura durante 2h e 24h, e valores de 38,7 e 56,6% para absorção de água durante 2h e 24h.

Nascimento et al. (2015) encontrou valores de inchamento em espessura e absorção de água durante 2h e 24h, respectivamente, de 5,25; 9,45; 27,58 e 42,46% para OSB produzido com madeira de *Croton sonderianus* Muell. Arg., 5,89; 16,69; 22,45 e 37,47% para OSB com madeira de *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e 14,40; 20,33; 38,66 e 64% para OSB de *Piptadenia moniliformis* Benth.. Todos os painéis foram produzidos com resina poliuretana à base de mamona.

Em estudo com diferentes espécies de madeira na produção de OSB, Iwakiri et al. (2014), utilizaram madeiras de baixa a média densidade *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach*, *Toona ciliata* e o mix dessas espécies unidas por adesivo fenol-formaldeído a 6% com 1% de parafina, obtendo valores de inchamento em espessura durante 2h variando em 2,18 a 4,02%, durante

24h variando em 6,12 a 12,02%. E para absorção de água durante 2h variando de 8,10 a 15,86% e para 24h variando de 27,70 a 39,25%.

Hidayat (2009) fabricou 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira e 7% de adesivo MDI, obteve resultados de Absorção de Água durante 2h e 24h, respectivamente, variando entre 5 e 14%, e 14% e 28%. Para os ensaios de Inchamento em Espessura durante 2h e 24h, os resultados obtidos, respectivamente, foram médias variando entre 2,3% e 7%, e 7% e 15%.

Analisando estatisticamente os resultados obtidos neste trabalho, pode-se dizer que para o ensaio de Inchamento em Espessura durante 2 horas, todos os painéis obtiveram resultados estatisticamente equivalentes, seguidos dos Traços 2 e 6 que obtiveram os resultados mais baixos. Já para o ensaio de IE 24h, ocorreu uma mudança, os painéis não se comportaram de maneira concordante, sendo o Traço 2 considerado como o resultado menos interessante, seguido pelo Traço 7, na próxima classificação se encontram os Traços 4, 5 e 6, e por fim, com os melhores resultados para esta propriedade, encontram-se os Traços 1 e 3.

Com relação ao ensaio de Absorção de Água durante 2h, estatisticamente falando, tem-se os painéis dos Traços 1, 3, 4 e 5 com resultados equivalentes e de melhor desempenho, seguidos dos painéis de Traços 2 e 6, e por último, com a maior média obtida, o Traço 7.

Para o ensaio de Absorção de Água durante 24h, não houve uma mudança grande, quando comparada com os resultados obtidos no ensaio anterior. Estatisticamente, os resultados obtidos pelos painéis de Traços 1 e 3 ainda permanecem sendo os melhores, seguidos dos Traços 4 e 5, seguido do Traço 6, e por fim, dos Traços 2 e 7.

Pode-se perceber que o Traço 2, apesar de estar de acordo com outros trabalhos e norma, teve um desempenho menor nas propriedades de Inchamento em espessura e Absorção de água, vale atentar ao fato de que a porosidade dessa espécie de madeira era maior que as demais.

As Figuras 47 a 50 mostram as médias e os desvios padrões dos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, períodos de 2h e 24h, em %.

Para a Figura 47, nota-se uma faixa vermelha no valor de 8,9%, este valor indicado como referência foi retirado da pesquisa de Ferro (2013), pois a norma não especifica um valor para esta propriedade.

Figura 47 - Médias encontradas para a propriedade de Inchamento em espessura durante 2h

Fonte: Araujo (2018).

Na Figura 48, pode-se perceber a faixa vermelha no valor de 25%, que é o valor especificado pela norma EN 300 (2006) para painéis do tipo OSB1, onde os painéis não devem ultrapassar este valor.

Figura 48 - Médias encontradas para a propriedade de Inchamento em espessura durante 24h

Fonte: Araujo (2018).

Para a Figura 49, há duas faixas vermelhas, que indicam um intervalo entre 8,10% a 15,86%. Este intervalo é proveniente de um estudo de Iwakiri et al (2014), por falta de valores da norma.

E na Figura 50, também por falta de uma especificação da norma, as duas faixas vermelhas são vindas de um estudo de Nascimento et al (2015) e correspondem a faixa de valores entre 37,47% e 64%.

Figura 49 - Médias encontradas para a propriedade de Absorção de água durante 2h

Fonte: Araujo (2018).

Figura 50 - Médias encontradas para a propriedade de Absorção de água durante 24h

Fonte: Araujo (2018).

4.2.3. Teor de umidade

A EN 300 (2006) não especifica valores de teor de umidade. Porém, a EN 312 (2003) recomenda para esta propriedade valores entre 5 e 13%, como pode-se ver nas faixas vermelhas da Figura 51, e segundo a ABNT 14810-2 (2013), a faixa recomendada é de 5 a 11%.

Para os resultados obtidos neste ensaio, os Traços 2, 3, 5, 6 e 7 são iguais estatisticamente e representam o maior resultado de teor de umidade, diferenciados dos Traços 1, 2 e 4. O Traço 2, foi enquadrado nas duas categorias. Todos os resultados estão classificados como dentro dos especificado pelas normas citadas acima.

Silva et al. (2019) confeccionaram 6 tipos de OSB de *Pinus* com e sem tratamento térmico, variando a temperatura deste tratamento, e adesivo fenol formaldeído, os resultados encontrados por eles para o ensaio de teor de umidade variaram de 4,11 a 7,86%.

Ferro (2013) encontrou média de 8,5% para painéis com 12% de adesivo, enquanto Souza (2012) encontrou valor médio 10,3% para painéis com *Pinus* sp. e 12% de resina poliuretana à base de mamona. Surdi (2012) obteve valores médios variando de 9,8 a 10,2%, em seus painéis OSB de madeira de híbrido de *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. E Okino et al. (2008) fabricou OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca* variando a porcentagem de adesivo em 5% e 8% e o tipo de adesivo, uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, obteve resultados médios de teor de umidade variando de 10,53 a 11,3%. Macedo et al. (2016) obteve valores que variam de 4,55 a 9,90% para painéis OSB com *Pinus* sp. e BOPP.

Hidayat (2009), em sua dissertação de mestrado, confeccionou 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira de rápido crescimento e adesivo MDI, obteve resultados médios variando de 6,5% a 9%.

Os valores médios encontrados nos 7 Traços estão apresentados na Figura 51.

Figura 51 - Valores médios encontrados no ensaio de Teor de Umidade

Fonte: Araujo (2018).

4.2.4. Razão de Compactação

A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, na Tabela abaixo está apresentada essa propriedade de acordo com cada Traço de OSB fabricado.

Tabela 9 - Razão de compactação dos painéis

Traço	Painel	Dp (g/cm ³)	Dm (g/cm ³)	RC
1	Cambará	0,685	0,70	0,98
2	Caixeta	0,735	0,41	1,79
3	Cedroarana	0,813	0,57	1,43
4	Tatajuba	0,811	0,95	0,85
5	Tauari	0,743	0,72	1,03
6	Mix	0,775		
7	Mix aleat.	0,710		

Fonte: Araujo (2020).

Maloney (1993) disse que o valor ideal para essa propriedade varia entre 1,3 e 1,6, podendo chegar até a 2,2 como valor aceitável, isso indica um contato satisfatório entre os strands. E como pode-se observar na Tabela 9, a maioria dos resultados obtidos para esta propriedade estão fora desse padrão, os Traços 1 e 4 obtiveram resultados abaixo de 1, o que implica que não houve densificação adequada no painel.

A Razão de compactação influencia as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Com valores inferiores se prejudica a colagem e a resistência do painel e com valores superiores, há um maior contato entre partículas de madeira e adesivo (KELLY, 1977).

De acordo com Iwakiri et al. (2004), a Razão de Compactação é menor se a densidade da espécie de madeira for alta. Isso também foi observado neste trabalho. Em seu estudo, obteve valores de RC variando entre 0,85 a 1,46.

Mendes et al. (2014) obteve valores de RC que variavam de 0,85 a 1,1 para painéis aglomerados confeccionados com 6 clones de *Eucalyptus urophylla* e uma espécie de *Pinus oocarpa*.

Já, Rosa et al. (2017), encontrou valores que variavam entre 1,392 até 1,810 para OSB fabricado com espécies de Eucalipto e Pinus e resina fenol-formaldeído.

Hellmeister (2017) fabricou OSB com madeira de Balsa e alguns tipos de adesivos, fenol, ureia e mamona. Obteve resultados de RC variando de 3,97 a 5,84.

E Barbirato (2018), que também confeccionou OSB de Balsa e resina poliuretana à base de mamona, obteve valores de RC entre 1,691 e 2,58 para seus painéis.

A partir dos valores encontrados neste trabalho para a propriedade de Razão de compactação, pode-se perceber que o Traço 3, com madeira de Cedroarana é o mais adequado, seguido do Traço 2, com madeira de Caixeta. Isso ocorreu pois espécies de madeira com média densidade permitem uma melhor compactação na etapa de prensagem.

4.3. Propriedades mecânicas

Os resultados médios e de desvio padrão obtidos para as propriedades de Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE), Adesão Interna (AI), Arrancamento de Parafuso de Face (APF) e Topo (APT) estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados médios e desvios padrões das propriedades mecânicas dos painéis

Traço	Painel	MOE Par (MPa)	MOR Par (MPa)	MOE Perp (MPa)	MOR Perp (MPa)	AI (MPa)	Apt (N)	Apf (N)
1	Cambará	5463 (899)	30,2 (6,89)	1638 (159)	12,16 (2,13)	0,66 (0,33)	1557 (285,49)	1416 (266,15)
2	Caixeta	6287 (616)	40,96 (5,72)	2073 (195)	26,66 (4,12)	0,93 (0,26)	1166,2 (326,5)	725,2 (234,2)
3	Cedroarana	6741 (1802)	44,04 (14,76)	2485 (336)	31,39 (6,96)	1,17 (0,41)	1607,2 (481,1)	813,4 (310,08)
4	Tatajuba	5837 (1252)	35,92 (10,43)	1633 (512)	16,93 (6,9)	1,16 (0,51)	1112,3 (656,61)	661,5 (455,73)
5	Tauari	4863 (1191)	26,35 (8,95)	2224 (386)	22,75 (4,47)	0,67 (0,22)	857,5 (524,83)	506,33 (242,54)
6	Mix	5828 (1068)	33,85 (7,74)	2561 (239)	28,03 (2,55)	1,08 (0,43)	1264,2 (516,4)	793,8 (291,08)
7	Mix aleat.	4903 (977)	28,18 (5,71)	1989 (477)	22,08 (5,73)	0,79 (0,2)	916,3 (521,67)	553,7 (297,65)

Fonte: Araujo (2020).

4.3.1. Flexão Paralela

A EN (2006) especifica valores de MOR e MOE paralelo de 30 e 4800 MPa, respectivamente, para painéis tipo OSB/4; todos os painéis alcançaram a média para MOE, mas apenas os painéis do Traço 5 e 7 não atenderam essas condições para MOR. Os traços 5 e 7 atendem as condições da norma para MOR paralelo do OSB/3. Pode-se observar melhor estes valores nas Figuras 52 e 53.

Estatisticamente falando, os resultados encontrados para este ensaio, tanto para MOE quanto para MOR, apresentaram resultados iguais, onde os Traços 2 e 3 obtiveram o maior valor, e os Traços 1, 4, 5, 6 e 7 alcançaram valores menores.

Como pode-se observar, os Traços 2 e 3, que obtiveram melhores resultados na Razão de compactação, obtiveram também os melhores resultados nesta propriedade. Isso ocorre porque madeiras de média densidade permitem melhor compactação na etapa de prensagem.

Barbirato et al. (2020) confeccionaram OSB com Balsa, esta espécie de madeira é conhecida por sua densidade muito baixa, os painéis foram produzidos com 10 mm de espessura e resina poliuretana à base de mamona. Os resultados encontrados para MOR paralelo variaram entre 7,9 a 17,1 MPa. Já os de MOE paralelo foram de 1637 a 3669 MPa.

Dumitrascu et al. (2020) realizaram um estudo com OSB de três espécies de madeira coníferas, Birch, Willow e Poplar, com 12 mm de espessura, os resultados médios de MOR e MOE encontrados para os três tipos de painéis variaram de 36 a 43 MPa, 3147 a 5665 MPa, respectivamente.

Zanuttini et al. (2020) fizeram um estudo utilizando uma nova espécie de madeira, a madeira da castanha portuguesa, com o objetivo de encontrar substitutos para a espécie utilizada, a Poplar. Fabricaram três tipos de traços, o primeiro com 50% de cada madeira, o segundo com 60% de madeira de castanha portuguesa e 40% de Poplar, e o terceiro com 100% da madeira de castanha portuguesa. Para os ensaios de MOR e MOE paralelo encontraram valores médios variando de 20,8 a 27,4 MPa e 3940 a 4910 MPa, respectivamente.

Silva et al. (2019) produziram 6 tipos de OSB de Pinus com e sem tratamento térmico e adesivo fenol formaldeído, encontraram para o ensaio de MOE paralelo médias variando de 2206 a 4697 MPa. E para o ensaio de MOR, os valores encontrados foram de 14,5 a 39,3 MPa.

Kask et al. (2019) estudaram OSB/3 de 12 mm de espessura, comercial da marca *Swiss Krono*, com o objetivo de analisar o comportamento do painel após alguns ciclos de secagem e umidificação. Para a propriedade de MOR, encontraram um valor de 22MPa, e conforme foram feitos os ciclos, este valor foi diminuindo.

Ferro et al. (2014), encontrou valores de MOE de 6453,4 MPa e MOR de 51,2 MPa, para painéis OSB confeccionados com *Schizolobium amazonicum* e 12% de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Souza (2012), encontrou valores médios de MOE de 6668 MPa e MOR de 42,9 MPa para OSB de *Pinus* sp.

Iwakiri et al. (2014) encontrou valores de MOR variando de 26,43 a 42,40 MPa e para MOE variam de 4661 a 5845 MPa, em painéis OSB com espécies de madeira de baixa a média densidade. Já Macedo et al. (2016), em sua pesquisa com OSB de *Pinus* sp., BOPP e resina poliuretana à base de mamona, encontrou valores médios de MOR variando entre 18,96 a 39,67 MPa e MOE de 2755 a 3718 MPa.

Febrianto et al. (2010) confeccionaram 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira, em seu estudo conseguiram resultados de MOR e MOE com médias variando de 39 a 56 MPa, e 4921 e 6151 MPa, respectivamente.

Os valores médios de MOR e MOE paralelo, em MPa, estão demonstrados nas Figuras 52 e 53.

Figura 52 - Valores médios de MOR paralelo

Fonte: Araujo (2018).

Figura 53 - Valores médios de MOE paralelo

Fonte: Araujo (2018).

4.3.2. Flexão perpendicular

Para propriedades de MOR e MOE perpendicular, a EN (2006) apresenta valores mínimos de 16 e 1900 MPa para OSB/4, respectivamente; somente o painel do Traço 1 não atende a norma para MOR de OSB/4, se encaixando na classificação OSB/3. Para a propriedade de MOE, apenas os painéis dos traços 1 e 4 não atendem o valor mínimo para OSB/4, ficando classificados como OSB/3. Nas Figuras 54 e 55, consegue se observar estes valores de forma mais simples através das faixas vermelhas.

Estatisticamente falando, para a propriedade de MOE, os Traços que obtiveram os melhores resultados foram o 3 e o 6, seguidos pelos Traços 1, 2, 4, 5 e 7 que obtiveram menores médias. Já para a propriedade de MOR, ocorreram mudanças, onde os Traços 2, 3 e 6 alcançaram os melhores resultados, seguidos dos Traços 5 e 7, e por fim, os Traços 1 e 4 obtiveram as menores médias.

Novamente, fazendo um parêlho entre esta propriedade e a Razão de compactação, podia-se prever que os painéis dos Traços 2 e 3 teriam resultados superiores.

Dumitrascu et al. (2020) realizaram estudo com três tipos de OSB de três espécies de madeira, Birch, Willow e Poplar, confeccionados com MDI e 12 mm de espessura, encontraram valores médios de MOR variando de 18 a 33 MPa, e para MOE variando entre 2131 e 4597 MPa.

Zanuttini et al. (2020) fabricaram OSB com 18mm de espessura, utilizando uma nova espécie de madeira proveniente da árvore da castanha portuguesa, tentando encontrar substitutos para a espécie já utilizada, a Poplar. Produziram com três tipos de porcentagens, o primeiro com 50% de cada madeira, o segundo com 60% de madeira de castanha portuguesa e 40% de Poplar, e o terceiro com 100% da madeira de castanha portuguesa. Para o ensaio de MOR e MOE perpendicular, os valores encontrados, respectivamente, foram de: 11,3 a 13,5 MPa e 2050 a 2140 MPa.

Barbirato et al. (2020) produziram OSB com 10 mm de espessura com madeira de Balsa e resina poliuretana à base de mamona, para a propriedade de MOR, os resultados obtidos variavam de 9,3 a 17 MPa. Para a propriedade de MOE, os resultados variaram de 787 a 1856 MPa.

Silva et al. (2019) confeccionaram 6 tipos de OSB de Pinus com e sem tratamento térmico e adesivo fenol formaldeído, para o ensaio de MOR, encontraram valores médios de 5,3 a 33,1 MPa, e para os ensaios de MOE, os valores encontrados foram de 620 a 3394 MPa.

Nascimento et al. (2015) encontraram valores médios de MOR perpendicular variando de 8,41 a 13,83 MPa, e MOE perpendicular de 809 a 1355 MPa, para três espécies de madeiras da caatinga do nordeste brasileiro. Ferro (2013) obteve valor médio de 1830 MPa para MOE e 22 MPa para MOR, com madeira de *Schizolobium amazonicum* e 12% de adesivo poliuretano à base de mamona. Enquanto Okino et al. (2008) em seu estudo, alcançou valores médios de MOR variando de 14,2 a 33 MPa e MOE variando de 2163 a 3214 MPa para painéis com 5% de adesivo uréia formaldeído e 8% de resina fenol formaldeído.

Febrianto et al. (2010) fabricaram 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira e adesivo MDI, conseguiram resultados médios de MOR e MOE variando entre 23 e 31 MPa, e 1808 e 2225 MPa.

Os valores médios de MOR e MOE paralelo, em MPa, estão demonstrados nas Figuras 54 e 55.

Figura 54 - Valores médios de MOR perpendicular

Fonte: Araujo (2018).

Figura 55 - Valores médios de MOE perpendicular

Fonte: Araujo (2018).

4.3.3. Adesão interna

Para propriedade de adesão interna, a EN 300 (2006) especifica valor de 0,5 MPa para painéis OSB/4 de 6 a 10 mm de espessura. As médias obtidas nesse ensaio ultrapassam o valor especificado.

Os Traços 2, 3, 4 e 6 são iguais estatisticamente e obtiveram as melhores médias, seguidos pelos Traços 1, 5 e 7 com menores valores.

Como já se era esperado, entre os resultados superiores estão os Traços 2 e 3, pois obtiveram melhor classificação na propriedade de Razão de Compactação, pois apresentam maior contato entre partículas de madeira com o adesivo.

Dumitrascu et al. (2020) através de estudo com 3 espécies de madeira, Birch, Willow e Poplar, confeccionaram três tipos de OSB de 12 mm de espessura e encontraram valores médios variando entre 1,05 e 1,33.

Barbirato et al. (2020) produziram OSB com madeira de Balsa e resina poliuretana à base de mamona, para este ensaio, conseguiram resultados médios de 0,17 a 0,46 MPa.

Zanuttini et al. (2020) fizeram uma análise preliminar, utilizando a madeira da árvore da castanha portuguesa, a fim de encontrar substitutos para a espécie comumente utilizada, a Poplar. Fabricaram três tipos de porcentagens, a primeira com 50% de cada madeira, a segunda com 60% de madeira de castanha portuguesa e 40% de Poplar, e a terceira com 100% da madeira de castanha portuguesa. Para o ensaio de adesão interna, encontraram valores médios de 0,2 a 0,4 MPa.

Ferro (2013) encontrou valor médio de 0,56 MPa para painéis de *Schizolobium amazonicum* e 12% de adesivo. Macedo et al. (2016) produziu OSB de *Pinus* sp. e BOPP e encontrou valores médios de adesão interna de 0,18 a 0,61 MPa.

Souza (2012) obteve valor médio de 1,55 MPa, Surdi (2012) encontrou valores médios variando de 0,50 a 0,66 MPa e Iwakiri et al. (2014), valores de 0,55 a 0,87 MPa.

Febrianto et al. (2010) confeccionaram 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira de rápido crescimento e 7% de adesivo MDI, obteve para este ensaio, valores médios variando entre 0,53 e 1,95 MPa.

Os valores médios encontrados no ensaio de adesão interna, em MPa, estão apresentados na Figura 56.

Figura 56 - Valores médios para ensaio de adesão interna

Fonte: Araujo (2018).

4.3.4. Arrancamento de parafuso

Para os ensaios de arrancamento de parafuso, utilizamos as especificações da NBR 14810 (2013), pois a EN (2006) não faz menção a esse ensaio. Não há valores especificados pela norma de versão 2013, porém para a de versão 2006, os valores são de 1020 N e 800 N para as propriedades de arrancamento de parafuso de face e topo, respectivamente.

Estatisticamente falando, para a propriedade de arrancamento de parafuso de face, o Traço 1 obteve a melhor média, seguidos dos Traços 2, 3, 4, e 6, que são considerados iguais, e por fim, os Traços 5 e 7 com as menores médias. Já para a propriedade de arrancamento de parafuso de topo, os Traços 1 e 3 alcançaram as melhores médias, seguidos pelos Traços 2, 4, 5 e 6 com valores intermediários, e por conseguinte, os Traços 5 e 7 com as menores médias. O Traço 5, painel

confeccionado com 100% de partículas de Tauari, se enquadrando nas duas categorias.

Ferro (2013) encontrou valores médios de 1352,5 N para arrancamento de parafuso de face e de 1386,6 N para topo. Enquanto Souza (2012) encontrou 1494,5 e 1365,8 N para arrancamento de parafuso face e topo, respectivamente.

Hidayat (2009) fabricou 9 tipos de OSB feitos através da combinação de três espécies de madeira, utilizando-se da norma chinesa CNS 2215:2006, obteve valores médios de 844 a 1190 N.

As médias encontradas, em N, no ensaio de arrancamento de parafuso estão apresentadas das Figuras 57 e 58.

Figura 57 - Valores médios dos ensaios de arrancamento de parafuso – topo

Fonte: Araujo (2018).

Figura 58 - Valores médios dos ensaios de arrancamento de parafuso – face

Fonte: Araujo (2018).

4.3.5. Cisalhamento

A propriedade de cisalhamento tem grande importância para o painel estudado neste trabalho, pois o OSB é um painel estrutural, utilizado na construção tipo *wood frame*, e com esta propriedade se dimensionam as paredes chamadas de *shear wall* que fazem parte deste método construtivo (MOLINA E CALIL JUNIOR, 2010).

Os resultados encontrados no ensaio de Cisalhamento estão apresentados na Tabela 11 e nas Figuras 49 e 50, para sua melhor visualização.

Tabela 11 - Valores encontrados no ensaio de Cisalhamento

Traço	Painel	Módulo de Rigidez (GPa)	Tensão de Cisalhamento (MPa)
1	Cambará	2,17	7,61
2	Caixeta	3,63	12,78
3	Cedroarana	3,35	15,25
4	Tatajuba	3,86	9,11
5	Tauari	2,7	9,84
6	Mix	2,96	12,68
7	Mix aleatório	4,15	11,39
C1	Comercial 1	4,05	11,63
C2	Comercial 2	3,48	10,88

Fonte: Araujo (2020).

Figura 59 - Resultados obtidos de tensão de cisalhamento

Fonte: Araujo (2020).

Figura 60 - Resultados obtidos para módulo de rigidez

Fonte: Araujo (2020).

Para este ensaio em particular, foram utilizados painéis comerciais, estes foram chamados de C1 e C2, este recurso foi utilizado como outra forma de comparação e análise dos resultados obtidos.

A norma ASTM D 2719:2013 não especifica valores de referência em seu texto, portanto, a análise dos resultados foi feita baseando-se em resultados obtidos em outros estudos.

De antemão, esperava-se que os painéis dos Traços 2 e 3 obteriam os melhores resultados, pois a Razão de Compactação destes painéis estava dentro dos resultados ideais, influenciando assim, as propriedades mecânicas, como o Cisalhamento. E isso se manteve após observação dos resultados obtidos neste ensaio.

Plenzler; Ludwiczak-Niewiadomska e Strzelecki (2017) estudaram propriedades elásticas de painéis comerciais OSB/3 com 18 mm de espessura e encontraram valores de G variando de 1,776 a 2,048 GPa.

Collins; Cosgrove e Mellad (2017) fizeram um estudo de caracterização mecânica de painéis OSB de 8,6 mm de espessura na aplicação estrutural *Gridshell* e encontraram dados de tensão de cisalhamento com média de 8,4 MPa.

Yu e Fan (2017) estudaram quatro tipos de painéis, compensado, aglomerado, OSB e MDF, realizaram nestes painéis alguns ensaios mecânicos, para determinar melhor o uso de cada um, de acordo com suas propriedades. Todos possuíam 18 mm de espessura, o valor médio para OSB encontrados pelos pesquisadores foi de 1572 MPa para o ensaio de cisalhamento de painel, mesmo tipo de ensaio realizado neste trabalho.

Wang et al. (2019) realizaram um estudo que propunha encontrar um novo método de se testar o módulo de cisalhamento em OSB, todos os painéis utilizados no experimento tinham espessura variando em torno de 10 mm, dentre os resultados encontrados em todos os testes a variação foi de 1,08 a 1,48 GPa.

Plenzler, Ludwiczak-Niewiadomka e Mielcarek (2013) calcularam o módulo de cisalhamento de OSB comercial classificado como OSB/3, através de três equações diferentes, os resultados médios obtidos por eles variaram entre 1,8 a 2,2 GPa.

5. CONCLUSÕES

A produção dos painéis foi concluída com sucesso, a princípio, pensou-se ser uma dificuldade a produção dos painéis com mix de cinco espécies diferentes de madeiras, com densidades distintas, porém estes foram confeccionados da mesma maneira que os demais, que continham apenas uma espécie.

A etapa de caracterização dos painéis foi dividida em três partes, ensaios físicos, ensaios mecânicos convencionais e ensaio de cisalhamento. Sendo este último, de difícil execução, pois demandava corpos de prova de maiores dimensões e a confecção de aparatos inéditos para sua execução.

Com a análise estatística dos resultados, conseguimos identificar os painéis com resultados semelhantes e que podem ser considerados iguais perante a estatística, nas condições de 5% de significância do teste de Tukey.

Com os ensaios físicos e mecânicos realizados, obtivemos resultados compatíveis quando comparados a outros trabalhos.

Todos os painéis apresentaram valores satisfatórios quanto a norma EN 300 (2006) para propriedades físicas e mecânicas. A maioria até sendo classificada como OSB/4, painéis indicados para usos que necessitam de maior resistência e com presença de umidade.

Para a propriedade de Módulo de Ruptura Paralelo, os Traços 1, 2, 3, 4 e 6 obtiveram resultados que os enquadravam na classificação OSB/4, enquanto os Traços 5 e 7 se enquadraram em OSB/3. Já para Módulo de Elasticidade Paralelo, todos os Traços se enquadram em OSB/4.

Para Módulo de Ruptura Perpendicular, apenas o Traço 1 se enquadra em OSB/3, todos os outros são classificados como OSB/4. E para MOE Perpendicular, os Traços 1 e 4 são classificados como OSB/3, enquanto todos os outros são OSB/4.

Como já era esperado, os painéis dos Traços 2 e 3 obtiveram os melhores resultados nos ensaios mecânicos, isso ocorreu pois obtiveram uma melhor compactação na etapa de prensagem, fazendo com que as partículas de madeira e

o adesivo tivessem melhor interação.

Com todo o exposto, pode-se concluir que o painel é uma alternativa viável e sustentável para reutilização dos resíduos de grandes dimensões de serrarias não só do Norte, mas como serrarias de todo o país. Pois, isto contribuiria com o meio ambiente, melhoraria a eficiência dessas empresas e geraria novas oportunidades de emprego e crescimento econômico para essa região.

Além disso, vale destacar que os painéis de Traços 6 e 7, que eram formados por misturas de espécies, obtiveram resultados compatíveis com outros trabalhos, indicando assim a sua viabilidade de produção, o que facilitaria a utilização desses resíduos sem ter a necessidade de separá-los antes do uso, simplificando assim o processo de produção.

Para trabalhos futuros, pode-se pensar em aumentar a quantidade de corpos de prova para o ensaio de cisalhamento, por exemplo, utilizando-se painéis com espessuras diferentes, para garantir que haja equivalência estatística entre os resultados obtidos para painéis com diferentes espessuras.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ARAÚJO, I. I. **Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GAVA, M. SAVI, A. F.; MORALES, E. A. M.; ROCCO LAHR, F. A.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. 2017. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 37, n. 90, p. 189-200, 2017.

ASTM D 2719 – Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness. United States. 2013

BALDWIN, R. F. **Plywood and veneer-based products**: Manufacturing Practices. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1995.

BARBIRATO, G. H. A. (2017). **Forro OSB de madeira Balsa residual aplicado em protótipo de aviário**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2018.

BARBIRATO, G. H. A.; LOPES JUNIOR, W. E.; HELLMEISTER, V.; PAVESI, M.; FIORELLI, J. OSB Panels with Balsa Wood Waste and Castor Oil Polyurethane Resin. **Waste and Biomass Valorization**. v. 11:743–751, 2020.

BATTISTELLE, R. A. G.; FUJINO, D. M.; SILVA, A. L. C.; BEZERRA, B. S.; VALARELLI, I. D. Physical and mechanical characterization of sugarcane bagasse

particleboards for civil construction. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**. v. 4, n. 4, p. 408-417, 2016.

BENETTO, E.; BECKER M.; WELFRING, J. 2009. Life Cycle Assessment of Oriented Strand Boards (OSB): from Process. **Innovation to Ecodesign Environmental Science Technology**, v.43, pp. 6003–6009.

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

BERTOLINI, M. S.; NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A.; CHAHUD, E. Emprego de resíduos de *Pinus* sp. tratado com CCB e resina PU de mamona na produção de chapas de partículas. In: Rocco Lahr, F. A and Christoforo, A. L. Painéis de partículas. São Carlos: EESC/USP, 2013. p.57-91.

BONISSONI, Rosimari. **Resíduos Madeireiros em serrarias de dois municípios do Médio Norte de Mato Grosso**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho de Gestão do Patrimônio Genético. Resolução nº 474, de 6 de abril de 2016. Aprova o Regimento Interno do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BRAZ, R. L.; NUTTO, L.; BRUNSMEIER, M.; BECKER, G.; SILVA, D. A. 2014. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia – uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Vol. 5, N.2: pp. 168-181, 2014.

CARVALHO, A. G.; PIRES, M. R.; ZANUNCIO, A. J. V.; MENDES, R. F.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Desempenho de painéis OSB com adesivos comerciais e tânico de barbatimão. **Revista Árvore**. 2015, v. 39, n.6, pp. 1155-1163, 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Embrapa Informação Tecnológica. Colombo, PR. v. 1, 1039 p. 2003.

CASTRO, R. C. F. **Análise econômica do manejo da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC na região do Vale do Ribeira-SP: Um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAVALLARI NETO, M. **Efeito do manejo na diversidade genética de populações naturais de *Tabebuia cassinoides* LAM (DC), por marcadores isoenzimáticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CETERA, P.; NEGRO, F.; CREMONINI, C.; TODARO, L.; ZANUTTINI, R. Physico-Mechanical Properties of Thermally Treated Poplar OSB. **Forests**, v. 9, 345, 2018.

CHEN, Y. C.; TAI, W. Castor oil-based polyurethane resin for low-density composites with bamboo charcoal. **Polymers**. V. 10, 2018.

CHIROMITO, E; CAMPOS, C. I.; FERREIRA, B. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. 2016. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperature. **Scientia Forestalis**, volume 44, n. 109, 2016.

CHRISTOFORO, A. L.; AFTIMUS, B. H. C.; PANZERA, T. H.; MACHADO, G. O.; ROCCO LAHR, F. A. 2017. Physico-mechanical characterization of the *Anadenanthera colubrina* wood specie. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v.37, n.2, p.376-384, 2017.

CHUDNOFF, M. Tropical timbers of the world. Agrie. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, **Forest Service**; 1984. 466 p.

COLLINS, M.; COSGROVE, T.; MELLAD, A. Characterization of OSB properties for application in gridshells. **Materials and Structures**. V. 50, 2017.

CORASSA, J. N.; CASTELO, P. A. R.; STANGERLIN, D. M.; MAGISTRALI, I. C. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies florestais em ensaios de deterioração em campo. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 108-117, 2013.

DIAS, F. M., NASCIMENTO, M. F., ESPINOSA, M. M., LAHR, F. A. R., VALARELLI, I. D. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 8, n. 3, p. 329-333, 2005.

DUARTE, B. B. **Influência de componentes químicos em propriedades mecânicas da madeira**. 119 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

DUMITRASCU, A. E.; LUNGULEASA, A.; SALCA, E.A.; CIOBANU, V. D. 2020. Evaluation of selected properties of oriented strand boards made from fast growing wood species. **BioRes**. 15(1), 199-210.

EMBRAPA. Tatajuba *Bagassa guianensis* Aubl. **Embrapa Amazônia Oriental**. Pará, 2002. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/402658/tatajuba-bagassa-guianensis-aubl-familia-moraceae> > Acesso em: 12 Jan. 2018.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2006). **EN 300**: Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications, Portugal.

_____. **EN 310:** Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Bruxelas, 2006.

_____. **EN 312:** Particleboards Specifications. Bruxelas, 2006.

_____. **EN 317:** Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 2006.

_____. **EN 323:** Wood-based – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 319:** Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas, 1993.

_____. **EN 322:** Wood-based panels - Determination of moisture content, Bruxelas, 1993.

FEBRIANTO, F.; HIDAYAT, W.; SAMOSIR, T.P.; LIN, H.C.; SOONG, H.D. 2010. Effect of Strand Combination on Dimensional Stability and Mechanical Properties of Oriented Strand Board Made from Tropical Fast Growing Tree Species. **Journal of Biological Sciences**, 10: 267-272.

FERDOSIAN, F.; PAN, Z.; GAO, G.; ZHAO, B. 2017. Bio-based adhesives and evaluation for wood composites application. **Polymers**, v. 9, 70, 2017.

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

FERRO, F. S. **Painéis de partículas orientadas (OSB) com insumos alternativos: viabilidade técnica e proposta de melhoria de desempenho ambiental**. 2017.

178 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção.**

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

FERRO, F. S., ICIMOTO, F. H., SOUZA, A. M., ALMEIDA, D. H., CHRISTOFORO, A. L., LAHR, F. A. R. Production of oriented strand board (OSB) with *Schizolobium amazonicum* and castor oil based polyurethane resin. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.43, n.106, p.313-320, jun. 2015.

FERRO, F.S.; ICIMOTO, F. H.; SOUZA, A. M.; ALMEIDA, D. H.; SOUZA, A. M.; VARANDA, L.D.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Mechanical Properties of Particleboards Manufactured with *Schizolobium amazonicum* and Castor oil Based Polyurethane Resin: Influence of Proportion Polyol/Pre-Polymer. **International Journal of Composite Materials**. v. 4, n. 2, p. 52-55. DOI: 10.5923/j.comaterials.20140402.02, 2014.

FERRO, F. S.; SOUZA, A. M.; ARAUJO, I. I.; ALMEIDA, M. M. V. D. N.; CHRISTOFORO, A. L., LAHR, F. A. R. Effect of alternative wood species and first thinning wood on oriented strand board performance. **Advances in Materials Science and Engineering**. 2018

FREITAS, J. F.; SOUZA, A. M.; GRANCO, L. A. M. N.; CHAHUD, E.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Production of structural OSB with Cajueiro (*Anacardium* sp.) and Amescla (*Trattinikia* sp.) – A preliminary study. **International Journal of Materials Engineering**. v. 7, n. 1, p. 17-20, 2017

FRIHART, R. C. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, M. R. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. Cap. 9

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials: Bond Formation and Performance. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 10.

GAVA, M. MÜZEL, S.D.; LIMA, L. R.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GARCIA, J. N.; FERREIRA, B. S.; SERVOLO FILHO, H. J.; BERNARDES, M. S.; ARAUJO, V. A. Productions of particleboards from Hevea brasiliensis clones and castor oil-based polyurethane resin. **BioResources**, 10(4), 6896-6905, 2015.

GONÇALEZ, J.C.; GONÇALVES, D.M. Valorização de duas espécies de madeira *Cedrelinga catenaeformis* e *Enterolobium schomburgkii* para a indústria madeireira. **Brasil Florestal**, Brasília, n.70, p.69-74, 2001

GORSKI, L.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. A.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; LONGO, B. L. 2015. Utilização da madeira de *Eucalyptus benthamii* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 865 - 874, 2015.

GRAND VIEW RESEARCH. **Oriented Strand Board (OSB) Market Worth \$71 Million by 2025**. 2015. Disponível em: <<http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-oriented-strand-board>>. Acesso em 15 fev 2020.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, R.F.; GUIMARÃES, I. R.; LISBOA, F. N.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M. 2016. Qualidade de painéis OSB (Oriented Strand Board) produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 7(3): p.163-169, 2016.

HELLMEISTER, V. (2017). **Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*)**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2017.

HIDAYAT, W. (2009). **Preparation and Properties Enhancement of Oriented Strand Board Made from Tropical Fast Growing Tree Species**. Dissertação (College of Agriculture) National Chiayi University. Chiayi, Taiwan. 2009.

HIZIROGLU, S. **Oriented Strand Board as a Building Material**. 2017. Disponível em: < <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/oriented-strand-board-as-a-building-material.html>>. Acesso em 13 nov 2019.

HUSSAIN, N. I. A. M.; BONNIA, N. N.; HIRZIN, R. S. F. N.; ALI, E. S.; ZAWAWI, E. Z. E. Effect of NCO/OH ratio on physical and mechanical properties of castor-based polyurethane grouting materials. **Journal of Physics: Conference Series**. 1349. 2019.

IBÁ (2019). Anuário Estatístico IBÁ 2019. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>> Acesso em: 13 Mar. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Fichas de Características das Madeiras Brasileiras. 2a ed. São Paulo: IPT, 1989a. 418p. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=9> Acesso em: 20 Out. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). Identificação de espécies florestais. Disponível em: < <http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=49>> Acesso em: 10 Jan. 2018.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). Lesser used species. Disponível em: < <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/cedrorana-cedrelinga-cateniformis/#lower-content>> Acesso em: 15 Jan. 2018.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood**

composites. Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. et al. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. 2005.

IWAKIRI, S.; POTULSKI, D. C.; SANCHES, F. G.; SILVA, J. B.; TRIANOSKI, R.; PRETKO, W. C. Avaliação do potencial de uso da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata* para produção de painéis OSB. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p.277-284, abr./jun. 2014

KASK, R.; LILLE, H.; KIVISTE, M.; TAMM, R.; LÄÄNE, J. 2019. Effect of wetting/drying on the properties of OSB/3 and birch Plywood. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** 660, 2019.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. General Technical Report FPL-10 – Forest Product Laboratory. Madison, U.S., p. 66. 1977.

KIM, J.; KIM, NK.; RIE, DH. 2017. Characteristics of Downward Deep-seated Fire in Radiata Pine Based on Changes in Volumetric Mass Density. **BioResources** 12(4), 7552-7565. 2017.

KUNIYOSHI, Y. S. 1993. **Aspectos morfo-anatômicos do caule, raiz e folha de *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC (Bignoniaceae) em diferentes fases sucessionais no litoral do Paraná**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

LP BRASIL. 2013. **Construção Energética Sustentável**. Disponível em: <
https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.lpbrasil.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F08%2FConstru%C3%A7%C3%A3o-CES_PD.V.pdf> Acesso em: 10 Dez. 2017.

MACEDO, L. B.; SILVA, M. R.; SILVA CÉSAR, A. A.; PANZERA, T. H.;

CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Painéis OSB de madeira *Pinus* sp. e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP). **Scientia Forestalis**, v. 44, pp. 120, 2016.

MACEDO, L. B.; AQUINO, V. B. M.; WOLENSKI, A. R. V.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A. Painéis híbridos de lâminas e partículas de madeira para uso estrutural. **Ambiente Construído**, v. 19, no. 3, Porto Alegre, 2019.

MACHADO, J. S. **Placas de derivados de madeira: tipos de placas e sua especificação**. Lisboa: LNEC Divisão de edições e Artes Gráficas, 2005.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 3. Ed. [S.1.]: São Francisco: M. Freeman, 1993.

MARCHESAN, R. (2012). **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

MELO, M. F. F.; VARELA, V. P. 2006. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, germinação e plântulas de duas espécies florestais da amazônia. I. *Dinizia excelsa* ducke (angelimpedra). II *Cedrelinga catenaeformis* ducke (cedrorana) - leguminosae: mimosoideae. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 28, nº 1, p.54-62, 2006.

MENDES, L. M. (2001). ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

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

MENDES, L. M.; MENDES, S. A.; MENDES, R. F.; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P. Umidade de equilíbrio de painéis OSB de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v.

20, n. 4, p. 519-528, 2014.

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

METELLO, H. S. (2006). **Aproveitamento dos rejeitos de serrarias e das laminadoras: uma proposta de redução do déficit habitacional em Mato Grosso**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2006.

MOLINA, J.; CALIL JUNIOR, C. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**. México, v.3, n. 1, p. 33-52, 1997.

NASCIMENTO, M. F.; BERTOLINI, M. S.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre – RS, v. 15, n. 1, p. 41-48, 2015.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, jun. 2008.

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

PENNER, E.; SILVA, C. A.; MONICH, C. R. 2016. Caracterização mecânica de um

sistema autoportante. **RETEC**, Ourinhos, v. 9, n. 2, p. 62-74, 2016.

PEREZ, P. L.; BACHA, C. J. C. Mercado de madeira serrada. **Agroanalyses**. FGV. p. 21-23, 2006.

PIVA, R. D. Processo de fabricação de móveis sob encomenda. Rio Grande do Sul: **Centro Tecnológico do Mobiliário**, 155p, 2006.

PLENZLER, R; LUDWICZAK-NIEWIADOMKA, L; MIELCAREK, P. Shear and bending properties of structural oriented strand boards OSB/4. **Wood Research**. v. 58, n. 2, p. 285-294. Bratislava, 2013.

PLENZLER, R.; LUDWICZAK-NIEWIADOMSKA, L.; STRZELECKI, P. Elastic and strength properties of OSB layers. **Drvna Industrija**. V. 68, 3-9 p., 2017.

REMADE. Madeiras brasileiras e exóticas. 2004. Disponível em:
<<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/1/madeiras-brasileiras-e-exoticas>>
Acesso em: 14 fev 2017

ROSA, T. S.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M.; SOUZA, H. P. (2017). Utilização de Cinco Espécies de Eucalyptus para a Produção de Painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, 24, e20160049. Epub April 27, 2017

SANTOS, C. V. F. Método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais de madeira de *Pinus* spp. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SANTOS, R. B. G.; COSTA, D. F.; OLIVEIRA, L. S.; ALENCAR, D. B.; BEZERRA, C. M. V. O.; BEZERRA, I. F. O. Constructive Process of using plates OSB (Oriented Strand Board) in sustainable structural systems in a Residential building in the city of Manaus – AM. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**. 2019

Structural Board Association. (2004). **OSB Design Manual – Construction Sheathing and Design Rated Oriented Strand Board**. 2004

SEBRAE. 2015. Gestão de resíduos sólidos. Sebrae, Cuiabá. 2015.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB); INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON), 2010. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados. Belém, PA. 2010.

SHARMA, B.; VEGTE, A. V. D. Engineered bamboo for structural applications. **Nonconventional and Vernacular Construction Materials**, p. 597-623, 2020.

SILVA, J. V. F.; CAMPOS, C. I.; FERREIRA, B. S.; SILVA, M. F. F. Production and characterization of heat treated OSB made of *Pinus taeda*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 41, e39505, 2019.

SOUZA, A. M.; VARANDA, L. D.; FERRO, F. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ICIMOTO, F. H.; ALMEIDA, D. H.; ROCCO LAHR, F. A. 2014. Screw Pullout Strength in Particleboards Manufactured with Waste of *Eucalyptus grandis* Wood Specie and Oat Hulls. **International Journal of Composite Materials**, 4(3): 162-167, 2014.

SOUZA, R. S. Evolução e condicionantes da gestão ambiental na empresa. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 8, n. 6, p. 1-22, 2002.

SOUZA, A. M. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp. com inclusão de telas metálicas**. 116f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. 1997. Madeiras tropicais brasileiras. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-Based Composite Materials: Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 11.

SURDI, P. G. (2012). **Produção de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribea var. hondurensis**. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; CHIES, D. 2016. Utilização da madeira de Cryptomeria japonica para produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Sci. For.**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 487-496, 2016.

VIDAL, A. C. F. e HORA, A. B. **Panorama de mercado: Painéis de madeira**. Produtos florestais. BNDES setorial 40, p. 323-384, 2014.

WANG, Z.; XIE, W.; LU, Y.; LI, H.; WANG, Z.; LI, Z. Dynamic and static testing methods for shear modulus of oriented strand board. **Construction and Building Materials**. V. 216, 542-551 p., 2019.

YANG, X.; ZHAO, Q.; HAO, D.; WANG, J.; FU, S.; MA, L. 2020. FLEXURAL BEHAVIOR OF OSB REINFORCED WOOD TRUSS. **WOOD RESEARCH**, v. 65, n. 2, p. 245-256, 2020

YU, Z.; FAN, M. Short- and long-term performance of wood based panel products subjected to various stress modes. **Construction and Building Materials**. v. 156, 652-660 p., 2017.

ZANUTTINI, R.; BONZANO, E.; NEGRO, F.; OREGLIA, G. L.; CREMONINI, C. Preliminary Assessment of Sweet Chestnut and Mixed Sweet Chestnut-Poplar OSB. **Forests**. V. 11, 2020.

**APÊNDICE A – Tabelas com resultados dos ensaios preconizados
pelas normas EN 300 e ABNT 14810.**

Nas tabelas a seguir estão apresentados os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados na realização desta tese.

As propriedades físicas são:

- Densidade aparente;
- Inchamento em espessura (2h);
- Inchamento em espessura (24h);
- Absorção de água (2h);
- Absorção de água (24h);
- Teor de umidade.

As propriedades mecânicas são:

- Módulo de elasticidade paralelo;
- Módulo de ruptura paralelo;
- Módulo de elasticidade perpendicular;
- Módulo de ruptura perpendicular;
- Arrancamento de parafuso - topo;
- Arrancamento de parafuso - face;
- Adesão interna.

Os resultados são apresentados de acordo com cada traço.

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 1 – Painei
fabricado com 100% de partículas de Cambará.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,68	4,1	12,5	11,4	21,6	9,12
2	0,65	2,8	7,4	5,3	17,9	8,45
3	0,69	5,6	11,9	9,7	24,1	8,76
4	0,68	5,1	8,1	6,2	16,6	9,05
5	0,72	4,2	9,9	8,8	21,4	7,98
6	0,69	3,6	6,9	7,6	22,9	
7	0,67	6,1	10,4	11,3	20,2	
8	0,68	9,3	7,6	10,2	26,3	
9	0,71	6,6	8,8	7,9	21,8	
10	0,72	5,0	8,1	7,2	17,0	
11	0,67	6,3	9,7	7,1	22,8	
12	0,69	4,7	6,9	6,1	19,8	
13	0,65	8,0	10,2	9,7	23,0	
14	0,69	5,4	4,9	6,8	18,2	
15	0,68	9,2	8,4	7,8	24,6	

CP	MOE par MPa	MOR par MPa	MOE perp MPa	MOR perp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	5655	29	1711,00	12,4	1091	1148	0,32
2	5592	34	1878,00	15,6	1541	1001	0,61
3	5867	30	1509,00	10,4	1800	1699	0,69
4	5253	31	1604,00	12	1238	1148	0,29
5	7113	42	1491,00	10,4	1856	1586	0,80
6	6422	44			1620	1463	0,49
7	5204	27			1474	1373	0,82
8	4412	19			1463	1316	0,76
9	5478	32			1946	1699	0,38
10	6938	36			2048	1879	1,23
11	4126	26			1260	1238	0,46
12	4980	24			1530	1586	0,55
13	4030	21			1181	1013	0,39
14	5393	30			1733	1564	1,49
15	5487	28			1575	1530	0,68

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 2 – Painei
fabricado com 100% de partículas de Caixeta.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,82	2,23	19,82	19,23	57,89	9,00
2	0,75	10,18	24,18	12,37	55,30	9,50
3	0,75	3,13	14,86	8,86	34,73	9,40
4	0,79	6,71	21,21	18,40	62,56	9,80
5	0,74	8,52	22,26	14,06	52,12	9,28
6	0,73	11,63	18,70	25,14	70,26	9,64
7	0,75	16,14	23,79	24,59	72,62	8,75
8	0,68	10,34	33,02	14,67	50,18	9,48
9	0,70	7,39	22,75	19,92	57,10	9,62
10	0,65	8,90	24,97	17,37	62,53	8,89

CP	MOE par MPa	MOR par MPa	MOEperp MPa	MOR perp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int MPa
1	6806,10	47,42	1987,15	23,13	1519,00	245,00	0,70
2	5922,25	36,55	1798,02	22,12	1127,00	784,00	0,88
3	6663,34	47,77	2129,09	31,37	882,00	833,00	1,19
4	6888,39	41,50	2324,47	26,46	1470,00	1029,00	1,10
5	6042,29	31,48	2128,71	30,22	539,00	637,00	1,08
6	7291,13	46,43			1372,00	490,00	0,64
7	6077,65	43,53			980,00	686,00	1,44
8	5180,64	33,65			931,00	686,00	0,76
9	6072,63	42,45			1470,00	882,00	0,71
10	5926,55	38,81			1372,00	980,00	0,80

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 3 – Painei
fabricado com 100% de partículas de Cedroarana.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,86	6,77	15,89	6,16	16,77	10,53
2	0,88	4,18	4,87	6,50	20,23	9,89
3	0,81	7,04	11,23	6,86	17,24	9,86
4	0,85	11,29	11,80	6,72	17,61	9,70
5	0,80	8,38	8,88	18,39	32,73	9,53
6	0,74	4,20	4,45	4,89	14,43	10,78
7	0,80	3,27	10,05	8,81	22,63	10,31
8	0,77	3,36	8,46	21,11	38,59	10,77
9	0,81	4,03	7,36	13,33	33,07	8,99
10	0,80	4,19	12,69	16,84	39,07	9,06

CP	MOE par MPa	MOR par MPa	MOE perp MPa	MOR perp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	6806,10	47,42	1987,15	23,13	1519,00	245,00	0,70
2	5922,25	36,55	1798,02	22,12	1127,00	784,00	0,88
3	6663,34	47,77	2129,09	31,37	882,00	833,00	1,19
4	6888,39	41,50	2324,47	26,46	1470,00	1029,00	1,10
5	6042,29	31,48	2128,71	30,22	539,00	637,00	1,08
6	7291,13	46,43			1372,00	490,00	0,64
7	6077,65	43,53			980,00	686,00	1,44
8	5180,64	33,65			931,00	686,00	0,76
9	6072,63	42,45			1470,00	882,00	0,71
10	5926,55	38,81			1372,00	980,00	0,80

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 4 – Painel fabricado com 100% de partículas de Tatajuba.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,89	11,52	15,61	12,25	43,55	9,53
2	0,82	1,88	11,00	5,01	17,50	8,96
3	0,86	4,16	14,20	8,75	28,94	4,37
4	0,84	7,49	14,40	13,28	32,64	9,76
5	0,97	8,76	14,43	6,45	19,68	9,39
6	0,70	4,59	11,97	12,73	32,64	9,77
7	0,93	5,45	14,67	11,94	49,27	9,92
8	0,65	5,65	11,98	9,61	33,40	8,99
9	0,82	0,96	11,51	10,04	33,43	9,42
10	0,63	0,21	12,55	12,07	33,31	10,50

CP	MOEpar MPa	MOR par MPa	MOEperp MPa	MORperp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	5599,79	35,07	979,47	9,53	1029,0	490,0	1,59
2	6732,28	40,60	2364,27	28,08	1764,0	1176,0	1,41
3	4912,25	28,69	1834,48	17,43	490,0	882,0	0,90
4	4770,47	27,24	1561,64	13,73	1029,0	1372,0	1,36
5	6880,40	38,73	1429,36	15,87	980,0	1176,0	0,50
6	7937,71	53,09			2597,0	294,0	1,24
7	5279,61	38,77			539,0	196,0	1,99
8	6299,06	34,86			539,0	294,0	0,73
9	3606,34	15,77			1372,0	147,0	1,43
10	6355,82	46,43			784,0	588,0	0,40

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 5 – Painei
fabricado com 100% de partículas de Tauari.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,82	1,68	12,22	10,28	31,69	10,06
2	0,73	6,64	11,78	6,83	24,39	9,55
3	0,77	6,56	8,71	11,88	35,98	10,51
4	0,75	11,69	15,35	10,90	32,58	10,42
5	0,79	5,98	15,43	9,67	35,12	10,40
6	0,67	5,32	10,40	11,21	37,50	10,90
7	0,70	10,02	24,55	18,94	51,90	10,08
8	0,81	7,59	11,55	16,05	45,32	9,60
9	0,78	4,56	4,46	11,12	31,57	10,34
10	0,62	4,98	13,07	20,87	63,34	11,00

CP	MOE par MPa	MOR par MPa	MOE perp MPa	MOR perp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	4158,22	19,58	1579,12	15,98	294,00	441,00	0,56
2	3588,23	14,47	2163,57	21,82	1176,00	686,00	0,62
3	5682,12	30,80	2407,13	28,08	1470,00	833,00	0,32
4	5836,47	32,27	2541,69	22,90	1029,00	588,00	0,68
5	4892,37	26,91	2432,75	24,95	539,00	196,00	0,46
6	6428,95	36,61			1372,00	294,00	0,98
7	2709,99	12,88			441,00	245,00	0,86
8	5272,33	30,58			1470,00	833,00	0,75
9	4101,55	21,00			784,00	441,00	0,97
10	5962,84	38,39					0,52

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 6 – Painel fabricado com 20% de partículas de Cambará, Caixeta, Cedroarana, Tatajuba e Tauari.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,85	9,32	13,92	29,44	48,36	10,06
2	0,75	6,92	15,36	13,78	34,83	10,49
3	0,81	5,22	11,95	16,77	39,66	10,25
4	0,75	8,40	9,01	17,48	35,96	9,85
5	0,78	8,77	17,19	22,08	46,19	10,55
6	0,75	10,42	14,91	16,01	38,88	9,51
7	0,79	8,82	23,18	27,65	59,44	10,53
8	0,79	3,05	13,90	22,98	47,88	10,46
9	0,79	8,41	12,56	41,99	60,50	9,61
10	0,69	7,96	14,94	28,78	55,54	9,65

CP	MOE par MPa	MORpar MPa	MOEperp MPa	MORperp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	5566,74	27,28	2453,99	27,97	1078,00	1078,00	1,38
2	6692,93	36,35	2327,24	26,36	1519,00	392,00	0,87
3	4189,47	19,93	2920,15	31,97	1764,00	1078,00	0,97
4	6395,16	37,07	2421,54	28,54	980,00	882,00	0,80
5	6606,76	41,15	2685,33	25,31	1862,00	931,00	0,36
6	5830,33	32,25			1911,00	294,00	1,08
7	4111,66	26,46			882,00	980,00	2,04
8	6684,06	38,94			539,00	833,00	1,24
9	5098,99	33,04			588,00	490,00	1,01
10	7106,03	46,06			1519,00	980,00	1,07

Resultados das propriedades físicas e mecânicas do Traço 7 – Painel fabricado com partículas de Cambará, Caixeta, Cedroarana, Tatajuba e Tauari em quantidade aleatória.

CP	Densidade g/cm ³	Inch 2h %	Inch 24h %	Abs 2h %	Abs 24h %	Tu %
1	0,69	13,46	18,95	42,95	66,42	10,09
2	0,77	3,19	17,32	19,60	39,80	10,17
3	0,77	9,54	14,56	28,23	51,76	10,16
4	0,72	7,79	8,93	29,09	49,84	10,24
5	0,80	13,33	17,15	35,88	55,98	10,23
6	0,64	9,32	17,71	41,35	67,74	9,60
7	0,68	10,33	22,96	47,24	73,54	9,38
8	0,72	13,68	20,11	38,74	56,60	10,23
9	0,64	11,52	25,06	33,41	61,50	9,45
10	0,67	13,83	16,37	37,15	59,08	9,17

CP	MOE par MPa	MOR par MPa	MOE perp MPa	MOR perp MPa	Arr.Topo N	Arr.Face N	Ad. Int. MPa
1	5229,16	27,17	2029,72	24,48	1470,00	784,00	1,02
2	5959,40	27,50	2304,81	22,71	1176,00	882,00	0,88
3	5587,49	33,47	2443,48	28,19	245,00	196,00	1,12
4	4997,18	27,19	1213,32	12,72	98,00	245,00	0,56
5	5227,95	34,71	1954,81	22,30	1813,00	784,00	0,92
6	6207,90	37,71			1078,00	98,00	0,54
7	3529,85	20,79			882,00	686,00	0,56
8	4997,82	24,52			735,00	392,00	0,79
9	3482,33	28,40			1029,00	588,00	0,72
10	3814,85	20,33			637,00	882,00	0,78