

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
MATERIAIS**

WANLEY EDUARDO LOPES JUNIOR

**Estudo da durabilidade de painéis OSB de madeira Balsa residual com
revestimento químico e natural.**

Pirassununga - SP

2020

WANLEY EDUARDO LOPES JUNIOR

**Estudo da durabilidade de painéis OSB de madeira Balsa residual tratados
com revestimento químico e natural.**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:

Desenvolvimento, Caracterização e
Aplicação de Materiais Voltados à
Agroindústria.

Orientador:

Prof^o. Dr. Juliano Fiorelli

Pirassununga – SP

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L864e Lopes Junior, Wanley Eduardo
 Estudo da durabilidade de painéis OSB de madeira
 Balsa residual com revestimento químico e natural /
 Wanley Eduardo Lopes Junior ; orientador Juliano
 Fiorelli. -- Pirassununga, 2020.
 101 f.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
 em Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade
 de Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
 Universidade de São Paulo.

 1. Pannel de partículas orientadas. 2. Madeira
 residual. 3. Resina orgânica. 4. Revestimento. 5.
 Cera de abelha. I. Fiorelli, Juliano, orient. II.
 Título.



ATA DE DEFESA

Aluno: 74133 - 4211191 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa de Dissertação do(a) Senhor(a) Wanley Eduardo Lopes Júnior no Programa: Engenharia e Ciência de Materiais, do(a) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo.

Aos 27 dias do mês de janeiro de 2020, no(a) realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Wanley Eduardo Lopes Júnior, apresentada para a obtenção do título de Mestre intitulada:


"Estudo da durabilidade de painéis OSB de madeira Balsa residual com revestimento químico e natural"

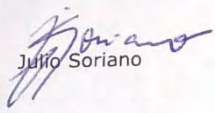
Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Juliano Fiorelli	Presidente	FZEA - USP	<u>APROVADO</u>
Julio Soriano	Titular	UNICAMP - Externo	<u>APROVADO</u>
Cristiane Inacio de Campos	Titular	UNESP - Externo	<u>APROVADO</u>

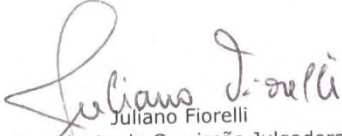
Resultado Final: APROVADO

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Erica Cristina Mello Ferraz , lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). Pirassununga, aos 27 dias do mês de janeiro de 2020.

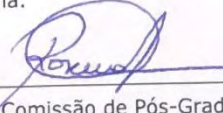

Julio Soriano


Cristiane Inacio de Campos


Juliano Fiorelli
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 31.01.2020 e, portanto, o(a) aluno(a) fan jus ao título de Mestre em Ciências obtido no Programa Engenharia e Ciência de Materiais - Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria.


Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Profª. Drª. Rosemary Ap. de Carvalho
Presidente da Comissão de
Pós-Graduação
FZEA/USP

“Dedico este trabalho a todos os alunos, professores e técnicos envolvidos com o Grupo de Construções e Ambiência – CONSTRAMBI, com os quais aprendi muito, e àqueles que possuem grande paixão pela área de materiais.”

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, que nos anos de convivência, muito me ensinou, contribuindo para o meu crescimento científico e intelectual.

À minha família, em especial à Wanley Eduardo Lopes e Rosangela Aparecida Vidal Lopes que sempre me aconselharam e incentivaram meus estudos.

À minha noiva Camila Ribas Sposito por me apoiar, acreditar em mim e sempre estar presente em todos os momentos.

Aos Técnicos Mariana Pavesi, Zaqueu Dias de Freitas e Diego Ferrari, que contribuíram para que os processos fossem realizados no laboratório.

Aos meus amigos, em especial ao Guilherme Henrique Ament Barbirato pela amizade e por toda a ajuda dada durante o período, e professores do Laboratório de Construções e Ambiência (CONSTRAMBI), por todo apoio dado e pelo carinho de todos.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela a oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro e a concessão da bolsa.

Sou eternamente grato!

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá.

De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

LOPES JUNIOR, W. E. **Estudo da durabilidade de painéis OSB de madeira Balsa residual com revestimento químico e natural.** 2020. 99f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

O OSB pode ser definido como um painel de partículas de madeira orientada, finas e longas (*strands*), consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão, madeiras com baixa qualidade e até mesmo resíduos não aproveitáveis, sendo a madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) um desses resíduos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico e mecânico antes e após ensaio de envelhecimento natural e acelerado de painéis de partículas orientadas (OSB – *Oriented Strand Board*) com resíduo de madeira Balsa, proveniente de reflorestamento, aglomerado com resinas poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona), fenol-formaldeído (FF) e ureia-formaldeído (UF) e revestimento natural à base de cera de abelha e químico com resina PU-Mamona. Inicialmente foram determinadas as propriedades físicas, químicas e as características microestruturais das partículas de madeira Balsa com o intuito de analisar o seu potencial como matéria-prima para a confecção dos painéis OSB. Em seguida, os painéis OSB foram produzidos com a madeira Balsa residual, em escala laboratorial, com média densidade (650 kg/m^3), teores adesivos (13%, 15% e 18%) em massa de partículas e caracterizados por meio da determinação das propriedades físicas e mecânicas. Os painéis 13% de resina PU-Mamona apresentaram o melhor desempenho físico-mecânico, sendo classificados como painéis OSB tipo 1 pela EN 300:2002. Os resultados obtidos foram comparados com as recomendações normativas a fim de selecionar a formulação que atendesse os requisitos exigidos. Para analisar a durabilidade, os painéis foram revestidos com cera de abelha e resina PU-Mamona e submetidos a ensaios de envelhecimento natural e acelerado. Os resultados obtidos mostraram que após os ensaios de envelhecimento natural e acelerado os painéis OSB de madeira Balsa residual revestidos com cera de abelha e com resina PU-Mamona apresentaram menor redução das propriedades mecânicas e alterações nas propriedades colorimétricas comparado aos não tratados, o que indica perda de massa, degradação da resina e descolamento das partículas. Portanto, esse trabalho permite concluir que painéis OSB de madeira Balsa residual com densidade 650 kg/m^3 e 13% de resina PU-

Mamona apresentaram a melhor formulação para as normas EN 300:2002 e devem ser aplicados em ambientes secos, distantes de fontes de umidade e radiação. Os 2 tipos de revestimentos (Cera de abelha e PU-Mamona) apresentaram desempenho similar em relação ao potencial de revestimento do material, sendo a cera de abelha uma opção natural para uso como impermeabilizante.

Palavras-chave: Pannel de partículas orientadas. Madeira residual. Resina orgânica. Revestimento. Cera de abelha.

ABSTRACT

LOPES JUNIOR, W. E. **Durability study of residual balsa wood OSB panels with chemical and natural coatings.** 2020. 99f. M. Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

The OSB can be defined as a panel of wood-oriented, thin and long particles (*strands*), consolidated by the use of resins, heat and pressure, low quality woods and even non-usable waste, with Balsa wood (*Ochroma Pyramidale*) a of these waste. This work aimed to evaluate the physical and mechanical performance before and after natural and accelerated aging testing of oriented particle panels (OSB) with Balsa wood residue, from reforestation, agglomerate with polymeric resins based on castor oil (PU-Castor, phenol-formaldehyde (FF) and urea-formaldehyde (UF) and natural coating based on beeswax and chemical with PU-Castor resin. Initially, the physical, chemical and microstructural characteristics of Balsa wood particles were determined in order to analyze their potential as raw material for the manufacture of OSB panels. Then, OSB panels were produced with residual balsa wood, on a laboratory scale, with medium density (650 kg/m³), adhesive contents (13%, 15% and 18%) characterized by determining the physical and mechanical properties. Panels with density 650 kg/m³ and 13% PU-Castor resin presented the best physical-mechanical performance, being classified as OSB type 1 panels by EN 300:2002. The results obtained were compared with the normative recommendations in order to select the formulation that met the required requirements. To analyze the durability these panels were coated with beeswax and PU-Castor resin and submitted to natural and accelerated aging tests. The results obtained showed that after natural aging and accelerated the residual Balsa wood OSB panels coated with beeswax and PU-Castor resin showed a reduction in mechanical properties and changes in colorimetric properties, which indicates mass loss, resin degradation and particle detachment. Therefore, this work allows us to conclude that RESIDUAL Balsa wood OSB panels with density 650 kg/m³ and 13% PU-Castor resin presented the best formulation for EN 300:2002 standards and should be applied in dry environments, distant from sources of moisture and radiation. The 2 types of coatings (Beeswax and PU-Mamona) presented similar performance in relation to the coating potential of the material, and beeswax is a natural option for use as waterproofing.

Key words: Particleboards. Residual Wood. Organic Resin. Coating. Beeswax.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Artigos publicados com o termo “OSB panel”	22
Figura 2: Artigos publicados com o termo “ <i>Balsa wood</i> ”	23
Figura 3: Artigos publicados com o termo “ <i>OSB panel; preservative</i> ”	24
Figura 4: Artigos publicados com o termo “ <i>OSB panel; durability</i> ”	25
Figura 5: Árvores de madeira Balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>).	27
Figura 6: Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura das partículas de madeira <i>Ochroma Pyramidale</i> . (a) Corte longitudinal. (b) Corte transversal: Poros e vasos das partículas.	27
Figura 7: Tipos de painéis de madeira reconstituída	29
Figura 8: Orientação das lascas na produção dos painéis.....	31
Figura 9: Métodos de avaliação de durabilidade.....	43
Figura 10: Envelhecimento natural. a) bancada inclinada. b) ângulo de exposição de materiais ao ar livre	45
Figura 11: Madeira Balsa residual.....	47
Figura 12: Fluxograma das rotas experimentais.....	48
Figura 13: Processo de obtenção de <i>strands</i> de madeira Balsa. (a) Moinho de discos. (b) Preparação das lascas para serem inseridas na estufa. (c) Estufa utilizada para o processo de secagem.....	50
Figura 14: Processo de produção dos painéis OSB. (a) Colchão de partículas orientadas. (b) Colchão de partículas orientadas na prensa termo-hidráulica. (c) Painel de partícula OSB de madeira Balsa com 10 mm de espessura.....	54
Figura 15: Revestimento dos corpos de prova. (a) Bordas laterais com massa acrílica para madeira. (b) Aplicação do TC. (c) Aplicação do TPU	61
Figura 16: Corte transversal de partícula de madeira Balsa residual. (a) Diâmetro dos poros (imagem ampliada 1.500x). (b) Espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 1.500x).	67
Figura 16: Corte transversal de partícula de madeira Balsa residual. (c) Diâmetro dos vasos (imagem ampliada 200x)	68
Figura 17: Seção transversal do painel OSB. a) T1-M. b) T4-FF com aumento de 50x.	73
Figura 18: Corpos de prova resultantes do ensaio de envelhecimento acelerado e natural	76

Figura 19: Valores médios do parâmetro colorimétrico de luminosidade (L^*)	79
Figura 20: Valores médios do parâmetro matiz do eixo vermelho-verde (a^*).....	80
Figura 21:Valores médios do parâmetro matiz do eixo amarelo-azul (b^*).....	81
Figura 22: Seção transversal do painel OSB. a) T1-M. b) T4-FF c) T2-M. d) T5-FF e) T3-M. f) T6-FF com aumento de 50x.....	100
Figura 22: Seção transversal do painel OSB. g) T7-UF. h) T8-UF i) T9-UF com aumento de 50x.	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência mecânica da madeira Balsa para diferentes densidades	28
Tabela 2: Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel	36
Tabela 3: Tratamentos constituintes do estudo preliminar e da produção otimizada.....	49
Tabela 4: Plano experimental	55
Tabela 5: Plano experimental otimizado	60
Tabela 6: Valores médios das propriedades físicas e química da madeira Balsa residual e outras madeiras	65
Tabela 7: Valores médios obtidos das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina PU de mamona	69
Tabela 8: Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina FF	71
Tabela 9: Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina UF	72
Tabela 10: Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis envelhecidos de forma acelerada e natural.....	74
Tabela 11: Valores médios dos parâmetros colorimétricos dos painéis envelhecidos de forma acelerada e natural.....	78
Tabela 12: Painéis para usos gerais, incluindo mobiliário, interiores, utilizados em ambiente seco	97
Tabela 13: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.....	97
Tabela 14: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento	98
Tabela 15: Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento	98
Tabela 16: Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AI: Adesão interna

ACQ: cobre alcalino quaternário

APA: Standard Accelerating Tests

ASTM: American Society for Testing and Materials

BFP: biomassa florestal primária

BFS: biomassa florestal secundária

CBA: azol de cobre

CCA: arseniato de cobre cromatado

CCB: borato de cobre cromatado

CP: Corpo de prova

CV: Coeficiente de variação

DAP: Diâmetro à altura do peito

EMIC: Fabricante de máquinas universais de ensaios.

et al: "entre outros", tradução livre do latim usada para citar artigos escritos por mais de três autores.

EN: Norma européia

FF: Fenol-formaldeído

GPa: Giga Pascal – unidade de medida utilizada para Tensão

MDP: Medium Density Particleboard.

MEV: Microscopia Eletrônica por Varredura.

MOR: Módulo de ruptura

MOE: Módulo de elasticidade

MPa: Mega Pascal - unidade de medida utilizada para Tensão.

NBR: Norma Brasileira de Regulamentação

OSB: Oriented Strand Board.

pH: "Potencial Hidrogeniônico", uma escala logarítmica que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução.

PU-Mamona: Resina Poliuretana a base de óleo de mamona.

UF: Uréia-formaldeído

T1-M: Tratamento com resina PU-Mamona (13%)

T2-M: Tratamento com resina PU-Mamona (15%)

T3-M: Tratamento com resina PU-Mamona (18%)

T4-FF: Tratamento com resina FF (13%)

T5-FF: Tratamento com resina FF (15%)

T6-FF: Tratamento com resina FF (18%)

T7-FF: Tratamento com resina UF (13%)

T8-FF: Tratamento com resina UF (15%)

T9-FF: Tratamento com resina UF (18%)

TR: Tratamento referência

TR-A: Tratamento referência com envelhecimento acelerado

TR-N: Tratamento referência com envelhecimento natural

TC-A: Tratamento revestido com cera de abelha com envelhecimento acelerado

TC-N: Tratamento revestido com cera de abelha com envelhecimento natural

TPU-A: Tratamento revestido com PU-Mamona com envelhecimento acelerado

TPU-N: Tratamento revestido com PU-Mamona com envelhecimento natural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
2 OBJETIVOS	20
3 REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1 Madeira Balsa	25
3.2 Painéis de madeira reconstituída	27
3.3 Painéis de madeira aglomerada	30
3.4 Painel OSB	31
3.5 Resinas para produção de painéis OSB	34
3.6 Parâmetros de produção para painéis OSB.....	35
3.6.1 Razão de compactação.....	35
3.6.2 Geometria das partículas	37
3.6.3 Densidade da matéria-prima e densidade do painel.	38
3.6.4 Teor de Resina.	39
3.7 Parâmetros normativos para painéis OSB.	39
3.8 Revestimentos para painéis.	40
3.8.1 Resina Poliuretana a Base de Óleo de Mamona (PU de mamona).....	41
3.8.2 Cera de abelha	42
3.9 Métodos de avaliação de durabilidade.....	42
3.9.1 Envelhecimento acelerado	44
3.9.2 Envelhecimento natural	44
3.10 Conclusões da revisão	46
4 METODOLOGIA.....	47
4.1 Material.....	47
4.2 Métodos	48
4.2.1 Obtenção e caracterização dos strands de madeira Balsa.....	50
4.2.1.1 Composição química.	51
4.2.1.2 pH.	51
4.2.1.3 Densidade aparente.....	51
4.2.1.4 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).....	52
4.2.2 Estudo preliminar para otimizar o teor de resina nos painéis.....	52
4.2.2.1 Produção dos painéis OSB.	52
4.2.2.2 Caracterização dos painéis OSB.....	54

4.2.3 Caracterização física.....	55
4.2.3.1 Inchamento em espessura 24 horas	55
4.2.4 Caracterização mecânica	56
4.2.4.1 Flexão estática	56
4.2.4.2 Tração perpendicular	58
4.2.5 Análise estatística do estudo preliminar e seleção do teor de resina	59
4.2.6 Caracterização microestrutural	59
4.2.7 Produção dos painéis OSB otimizados	59
4.2.8 Análise de durabilidade dos painéis otimizados.....	60
4.2.8.1 Envelhecimento natural	61
4.2.8.2 Envelhecimento acelerado	62
4.2.9 Caracterização dos painéis OSB otimizados	62
4.2.9.1 Caracterização mecânica	62
4.2.9.2 Ensaio de cor e brilho	63
4.2.10 Análise estatística das propriedades mecânicas e colorimétricas dos painéis submetidos ao envelhecimento.....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1 Propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira Balsa residual.....	65
5.2 Propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual.....	69
5.3 Características anatômicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual.....	73
5.4 Propriedades mecânicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual submetidos ao envelhecimento acelerado e natural.....	74
5.5 Propriedades colorimétricas após envelhecimento natural e acelerado.....	77
6 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	84
ANEXO 1 – TABELAS DA EN 300/2002	97
ANEXO 2 – TABELAS DA NBR 7190/1997	99
ANEXO 3 – CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DOS TRATAMENTOS NO ESTUDO PRELIMINAR.....	100

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O termo biomassa florestal primária (BFP) pode ser definido como a parcela biodegradável no processo de geração de novos produtos com fins energéticos. Em alguns casos, como reflorestamento, a BFP tem sua origem nos materiais vegetais em operações de manejo, dentre elas: podas, desbastes, seleção de brotos, plantas pequenas, e controle da vegetação. Já a biomassa florestal secundária (BFS) é formada por matéria orgânica residual, como: cavacos, pedaços, serragem, entre outros, podendo ser encontrada em processos da indústria de transformação da madeira. Entretanto, constata-se a presença de BFS os restos de madeira em resíduos urbanos geralmente da construção civil, outras atividades industriais (pallets e embalagens) e das podas (CIBIO, 2018).

Há vários trabalhos científicos que discutem o destino desse material e propõem alternativas em substituição à queima da biomassa florestal utilizada para a produção de energia (MENDES et al., 2010; CRAVO et al., 2015; CHRISTOFORO et al., 2015).

Entretanto, diversas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, em diferentes regiões do mundo, têm explorado o uso de matéria-prima fibrosa oriunda de subprodutos agroindustriais ou da biomassa florestal, para a produção de painéis de partículas aglomerados com resina orgânica ou inorgânica, as quais apresentam resultados que permitem sua aplicação em diferentes áreas, como o setor imobiliário, transporte, embalagens e entre outros.

Na década de 1970 houve o processo de desenvolvimento de painéis planos estruturais, onde o tipo "*oriented strand board*" ou OSB foi rotulado como sucessor dos painéis "*waferboard*", substituindo-os comercialmente por apresentar melhores características e ter melhor qualidade de agregados para sua produção (IWAKIRI, 2005). Nesses painéis são utilizados praticamente todas as partes das toras, pois no seu processo de produção podem ser usadas toras finas, tortas, galhadas e em alguns casos, a casca. No entanto, as únicas partes que não são agregadas das árvores, são raiz e folhas. Além de possuir limitação quanto as dimensões da matéria-prima (strands) utilizada, outros fatores que também limitam a dimensão dos painéis OSB são os tamanhos das prensas e equipamentos utilizados na produção (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Uma outra vantagem dos painéis OSB é a utilização de partículas de madeira com baixa qualidade, visto que os painéis de madeira compensada, antecessor ao OSB, utilizam madeira de boa qualidade e toras íntegras, fator que afeta conseqüentemente o valor comercial do produto final (IWAKIRI et al., 2004) .

A madeira Balsa representa um desses resíduos não aproveitáveis, foi adotada para o estudo em questão pelo fato de possuir baixa densidade, acelerado ritmo de crescimento e alta propriedade mecânica, sendo superada apenas pela espécie chinesa de bambu (*Bambusa vulgaris Schrad*). Barbirato et al. (2018) apresentaram um estudo de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir de resíduos de madeira Balsa aglomeradas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os painéis foram avaliados pelos autores com diferentes densidades (300 kg/m³ e 400 kg/m³) em diferentes teores de resina (11% e 15%). Os resultados obtidos indicaram que os painéis de 400 kg/m³ de densidade e 15% de resina atingiram valores que os classificaram como OSB tipo 1, segundo recomendações da EN 300:2002 - *Oriented Strand Board (OSB) – Definitions, classification and specifications*.

Hellmeister (2017) apresentou um estudo de painéis OSB (*Oriented Strand Board*) utilizando resíduos de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) provenientes de reflorestamento, aglomerados com resinas ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e poliuretana à base de óleo mamona (PU-Mamona). O autor avaliou painéis de baixa e média densidade, utilizando 8% para as resinas UF e FF e, 12% para a resina PU-Mamona, de acordo com as recomendações da EN 300:2002. Os resultados obtidos indicam pela necessidade de novos estudos visando otimizar o teor de resina.

No entanto, um desafio ainda precisa ser estudado quando o tema é painéis constituídos de biomassa florestal residual, é a durabilidade desse produto quando exposto a variação de temperatura, umidade e radiação.

Portanto, esse trabalho teve como hipótese a afirmação de que é viável a produção de painéis OSB de média densidade com partículas de madeira Balsa residual aglomeradas com resinas fenol-formaldeído (FF), uréia-formaldeído (UF) e poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona) para uso em ambientes internos.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi otimizar o teor de resina FF, UF e PU-Mamona na produção de painéis de partículas orientadas (OSB – *Oriented Strand Board*) de baixa densidade de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) residual e avaliar a durabilidade do painel OSB com o melhor teor de resina revestido com cera de abelha e PU-Mamona.

2. OBJETIVOS

- Objetivo geral:

Determinar o teor ótimo de resina para produção de painéis OSB de média densidade com partículas de madeira Balsa residual e avaliar a durabilidade desses painéis revestidos com cera de abelha e resina poliuretana à base de óleo de mamona.

- Objetivos específicos:

- Determinar o melhor teor de resina uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona para produção de painéis OSB de madeira Balsa residual de média densidade.

- Avaliar a durabilidade de painéis OSB de biomassa florestal residual de madeira Balsa com melhor teor de resina, revestidos com cera de abelha e com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O capítulo a seguir apresenta informações retiradas da literatura no que se refere à madeira Balsa, painéis de madeira reconstituída, painéis de partículas orientadas (OSB), durabilidade de painéis de partículas, preservantes para madeiras e busca contextualizar o estado da arte referente a essa área do conhecimento.

Para embasar o tema proposto nessa pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de dados Scopus e Web of Science, com o intuito de unir informações referentes ao desenvolvimento científico sobre os painéis de partículas orientadas (*OSB panel*); identificar a evolução das pesquisas com madeira Balsa (*Balsa wood*) como matéria-prima na produção de painéis; buscar o conceito de preservativos como meio de proteção para os painéis (*preservative*); como também estimar a quantidade de pesquisas relacionadas com a durabilidade desses painéis, na intenção de apurar os resultados e comprovar o ineditismo do tema tratado nesta pesquisa.

Dessa forma, essa busca dividiu-se em quatro etapas, utilizou-se as seguintes palavras respectivamente:

1. *OSB panel* (isoladamente)
2. *Balsa wood* (isoladamente)
3. *OSB panel; preservative* (combinadamente)
4. *OSB panel; durability* (combinadamente)

Sendo que as palavras utilizadas na busca deveriam estar presentes no título, resumo ou palavras-chave dos trabalhos científicos.

Na primeira etapa (Figura 1) foi possível observar que as pesquisas acerca de painéis OSB começaram a ter notoriedade a partir de 1980, foram 6 artigos publicados neste período (1980-1989). Entretanto, até o ano de 2010, as publicações se mantiveram crescente e no período atual houve uma pequena redução. Yong et al. (1992) analisaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis de OSB com duas espessuras diferentes, produzidos com lascas (*strands*) de madeira Bétula medindo aproximadamente 7 cm e resina à base de formaldeído, com duas espessuras diferentes. Os autores concluíram que os painéis de menor espessura apresentaram melhores resultados físico-mecânicos devido a maior compactação do material com a resina durante a produção.

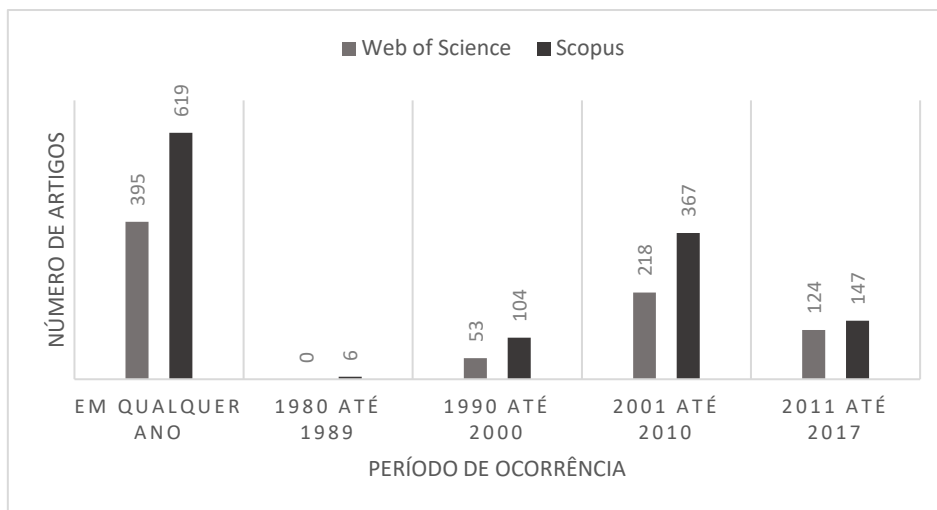


Figura 1 - Artigos publicados com o termo “OSB panel”, bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE

Fonte: Próprio autor

Para a segunda etapa da pesquisa bibliográfica (Figura 2) foi utilizada a palavra-chave Balsa wood isoladamente, devido ao fato de não haver artigos científicos relacionando a madeira Balsa com painéis OSB. Em 1967, a primeira pesquisa científica utilizava Balsa para avaliar as características dissipadoras de calor pelos efeitos físicos e ambientais, proposto por Knoell (1967). Desde o final da década de 1960 até os dias atuais, diversas publicações abordaram as propriedades físico-mecânicas da madeira Balsa, suas características morfológicas e utilização nos setores aeronáutico e náutico (LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979; LORENZI, 1992; FERNÁNDEZ, 2010).

No portal de teses e dissertações da USP está publicada a tese de Hellmeister (2017) que apresenta um estudo de painéis OSB (Oriented Strand Board) com resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) proveniente de reflorestamento, aglomerados com resinas ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e poliuretana à base de óleo mamona (PU-Mamona). O autor avaliou painéis de baixa e média densidade, utilizando 8% para as resinas UF e FF e 12% para a resina PU-Mamona. Os resultados obtidos indicam pela necessidade de novos estudos visando otimizar o teor de resina.

Mais recentemente, Barbirato et al. (2018) apresentaram um estudo de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir de resíduos de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) aglomeradas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os autores avaliaram painéis com diferentes densidades (300 kg/m^3 e 400 kg/m^3) em diferentes teores de resina (11% e 15%). Os resultados obtidos classificaram os painéis OSB tipo 1, segundo recomendações da norma europeia EN 300:2002.

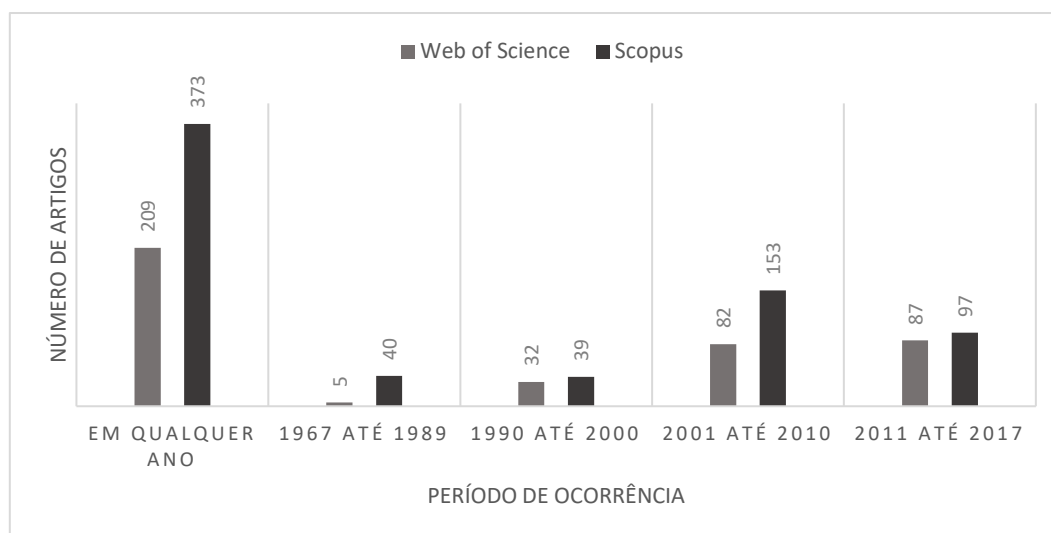


Figura 2 - Artigos publicados com o termo “*Balsa wood*”, bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE

Fonte: Próprio autor

Na terceira etapa (Figura 3) foi possível observar que as pesquisas acerca de painéis OSB preservados remontam a década de 1990. A primeira publicação localizada é de Felton (1996) que avaliou a durabilidade de painéis de madeira preservados com arseniato de cobre cromatado (CCA) expostos à ambientes externos. A partir dos anos 2000 até 2016 foram identificados mais 7 artigos publicados. Ferro et al. (2014) avaliaram a influência de preservantes CCA e CCB nas propriedades mecânicas de painéis OSB de madeira Paricá aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os resultados das propriedades mecânicas atingiram o mínimo exigido pelo documento normativo EN 300:2002 para aplicações em diversas áreas da construção.

Jin et al. (2016) avaliaram o uso de preservantes à base de cobre, como o cobre alcalino quaternário (ACQ) e o azol de cobre (CBA) com o intuito de substituir o CCA para melhorar a durabilidade dos painéis OSB de bambu aglomerado com resina fenol-formaldeído. Os resultados encontrados pelos autores sugerem que o pré-tratamento com ACQ e CBA representam uma maneira promissora de proteção para o painel OSB de bambu. Esses dados mostram que a utilização de preservantes, tanto à base de cobre como naturais representam um campo de pesquisa com potencial para ser explorado.

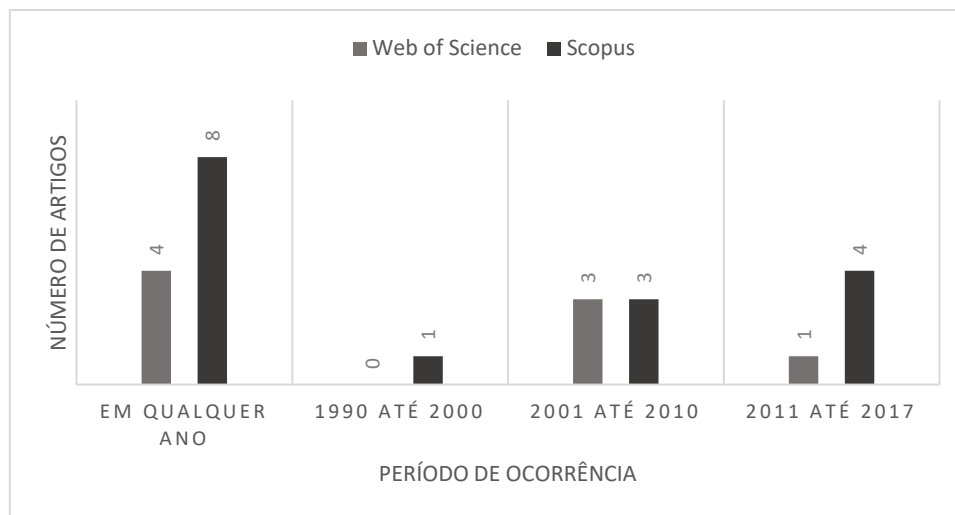


Figura 3 - Artigos publicados com o termo “*OSB panel; preservative*”, bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE
 Fonte: Próprio autor

Na quarta etapa (Figura 4), assim como na etapa anterior, foi possível observar que as pesquisas acerca de painéis OSB e durabilidade são encontradas no meio científico a menos de três décadas. No período mais recente, de 2011 até 2016, foram encontrados na literatura 17 artigos publicados, dentre eles o estudo de Glass et al. (2015) que avaliaram a durabilidade de painéis OSB à base de madeira aplicado na construção civil como revestimento e identificou o efeito da temperatura e umidade relativa nesses materiais. Os autores concluíram que durante o inverno, a umidade do ambiente e o vapor de água de ambientes internos provocaram um aumento na umidade relativa dos painéis quando não era utilizado como revestimento superficial com material retardador de umidade (papel Kraft). Já para os expostos em área externa, como havia um isolamento de poliestireno extrudado protegendo os painéis, a ação da umidade não foi significativa. Entretanto, apesar de haver publicações recentes sobre durabilidade e painéis OSB, não foi encontrado nada na base de dados a respeito desse material oriundo de madeira Balsa.

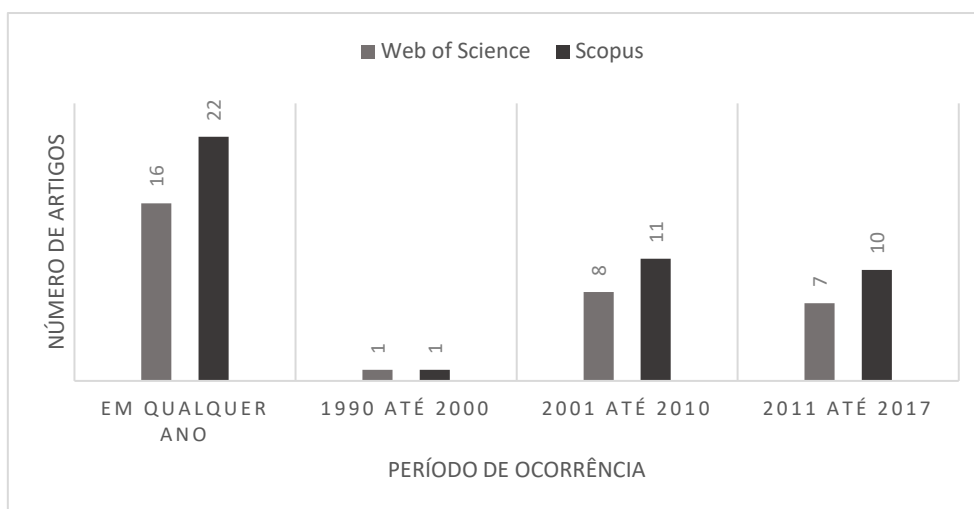


Figura 4 - Artigos publicados com o termo “OSB panel; durability”, bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE

Fonte: Próprio autor

Visto que na literatura nacional e internacional não foram encontradas pesquisas referentes à durabilidade de painéis OSB com o uso de resíduos do processamento de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) aplicados na indústria moveleira e de construção civil indica o ineditismo desta pesquisa. Sendo assim, o desafio desse trabalho consistiu em avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis OSB com resíduos não aproveitáveis do processamento da madeira Balsa e diferentes teores (13%, 15% e 18%) de resinas fenol-formaldeído (FF), ureia-formaldeído (UF), poliuretana bi-componente à base de óleo mamona (PU-Mamona) e estudar a durabilidade desses painéis revestidos com resina PU-Mamona ou com cera de abelha antes e após ensaios de envelhecimento natural e acelerado.

3.1. Madeira Balsa

A madeira Balsa ou Pau-de-Balsa, também conhecida como *Ochroma pyramidale* (Carv. ex Lam) Urb., pertence cientificamente à família Malvaceae, tendo como região de ocorrência natural áreas ao longo da América Central e América do Sul dentre as espécies pioneiras da Amazônia Oriental (SEDER, 2011).

No Brasil (Amazônia Ocidental), a região de ocorrência natural para a madeira Balsa se dá nos estados do Amazonas, Acre e Pará. No estado de Mato Grosso, a espécie foi utilizada de forma significativa na primeira década do século XXI para áreas de reflorestamento. Em aproximadamente sete anos, o pé de madeira Balsa pode alcançar uma altura de 18 a 25 m e DAP (diâmetro à altura do peito) de 50 cm. Além do mais, tem como característica o fuste reto, cilíndrico e livre de ramas até 15m de altura

ou mais, sendo a sua copa aberta, casca lisa e acinzentada, mosqueada de branco a pardo, como mostrado na Figura 5 (FINGER, LOGSDON e ROCHA, 2012).



Figura 5 - Árvores de madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*)
Fonte: Próprio autor

Por ser macia, homogênea e de boa trabalhabilidade, costuma ser utilizada em aeromodelismo, trabalhos manuais, brinquedos e embalagens. Apresenta alta flutuabilidade, o que a qualifica como um bom material para a construção de barcos, bóias e coletes salva-vidas em substituição à cortiça (LOUREIRO, SILVA e ALENCAR, 1979).

Segundo Fernández (2010) a velocidade de crescimento da madeira Balsa é alta, sendo superada apenas pela espécie chinesa de bambu (*Bambusa vulgaris Schrad*). Além do mais, a densidade da madeira Balsa é considerada baixa, extremamente leve e tem sido utilizada na recomposição de áreas degradadas de florestas naturais graças ao seu acelerado ritmo de crescimento e boa tolerância à luz solar direta (LORENZI, 1992).

De acordo com Seder (2011), a oferta de água disponível para as árvores e pelo clima do local são fatores que influenciam a densidade da madeira Balsa. Árvores que crescem em locais mais frios e com menos água disponível demoram mais para atingir a maturidade e tendem a apresentar densidades acima da média para essa espécie, fator que prejudica a característica de leveza do material, em contrapartida, pode ser um fator positivo para produção de painéis.

Finger et al. (2012) indicam que a densidade da madeira Balsa varia de 146 kg/m^3 a 172 kg/m^3 . Para efeito de uma prévia comparação, o *Pinus taeda* apresenta densidade média variando de 311 kg/m^3 a 366 kg/m^3 (HIGA; KAGEYAMA; FERREIRA, 1973).

O solo e clima do local de onde a árvore é originada, a classificação botânica, sua fisiologia, a anatomia do tecido lenhoso e a variação química, são fatores preponderantes que influenciam nas características físicas da madeira (HELLMEISTER, 1982).

A constituição anatômica da madeira influencia diretamente seu comportamento à compressão, tração, flexão, cisalhamento, fendilhamento, retração, inchamento, e no tratamento com preservativo (HELLMEISTER, 1982).

A Balsa, por fazer parte da família da *Bombacaceae* (SEDER, 2011) ou *Malvaceae* (FINGER, LOGSDON e ROCHA, 2012), apresenta grande retenção de água no tronco, podendo apresentar deformações na madeira (SEDER, 2011). Por conta disso, quando seca, esses reservatórios de água ficam vazios, dando lugar ao ar. A Figura 6(a) e 6(b) são imagens em corte radial à grã, respectivamente, mostrando os grandes vasos que fazem parte do tecido do xilema responsável pelo transporte de água e sais minerais em volta da árvore. Em torno deles há fibras grandes com câmaras de ar formadas a partir de células de esclerênquima. Tais câmaras de ar proporcionam à madeira Balsa uma baixa densidade, em comparação com outras madeiras.

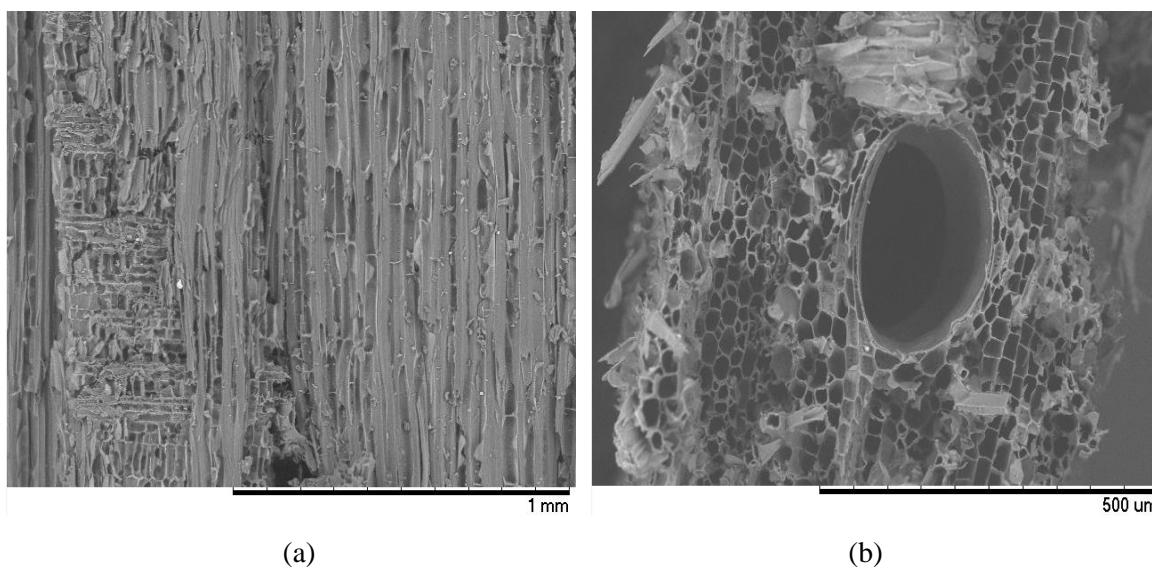


Figura 6 - Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) da estrutura das partículas de madeira *Ochroma Pyramidale*. (a) Corte longitudinal. (b) Corte transversal: Poros e vasos das partículas.

Fonte: Próprio autor

A Balsa tem como desvantagem uma grande variação de densidade, de 60 kg/m³ nos exemplares mais leves atingindo até 350kg/m³ nos mais densos (SEDER, 2011), aproximando-se nesses casos da densidade do *Pinus taeda*. Daniels (2017) defende que a densidade da Balsa pode variar de 100 kg/m³ até 380 kg/m³, sendo mais comum variar de 120 kg/m³ a 200 kg/m³.

Na Tabela 1, Pacheco (2013) apresenta informações de propriedades mecânicas da madeira Balsa, para diferentes densidades.

Tabela 1 - Resistência mecânica da madeira Balsa para diferentes densidades

		Direção das Fibras	Massa Específica (kg/m ³)			
			100	150	200	250
Compressão	σ_u	Paralela	5	12	13	20
	E	Paralela	2300	4100	5300	8000
		Perpendicular	75	95	175	260
Tração	σ_u	Paralela	10	14	21	31
	E	Perpendicular	0,65	0,80	0,95	1,30
		Paralela	1930	3300	4310	6380
Cisalhamento	τ_u	Paralela	1,00	2,00	2,50	3,25
	G	Paralela	96	166	200	250

Fonte: (PACHECO, 2013). Adaptado pelo Autor.

Sendo: σ_u = Tensão Máxima em MPa, E = Módulo de Elasticidade em MPa, τ_u = Tensão última de Cisalhamento e G = Módulo de Cisalhamento em MPa

A Balsa também é utilizada para obtenção de celulose, a atividade se torna atrativa devido as características da madeira, pois suas fibras são longas e possuem rendimento celulósico entre 45 e 50%. Além do mais, apresenta fácil branqueamento devido à cor clara da madeira e baixos teores de lignina (LAMPRECHT, 1990). As propriedades mecânicas da Balsa foram modeladas, particularmente na compressão, considerando que sua estrutura é semelhante a um favo de mel (EASTERLING et al., 1982, GIBSON & ASHBY, 1997; VURAL; RAVICHANDRAN, 2003; DA SILVA; KYRIAKIDES, 2007).

De acordo com Borrega, Ahvenainen e Gibson (2015), as propriedades mecânicas da madeira Balsa podem atingir valores até 8 GPa para módulo de elasticidade e 70 MPa para o módulo de ruptura nas maiores densidades. Estas propriedades mecânicas

relativamente altas da madeira Balsa em relação a outros materiais compósitos a torna atraente para utilização como partículas constituintes de painéis OSB.

3.2. Painéis de madeira reconstituída

Segundo Iwakiri (2005), os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos oriundos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, reconstituídos por meio de ligação adesiva. A Figura 7 apresenta de forma simplificada um organograma representando os principais tipos de painéis de madeira.

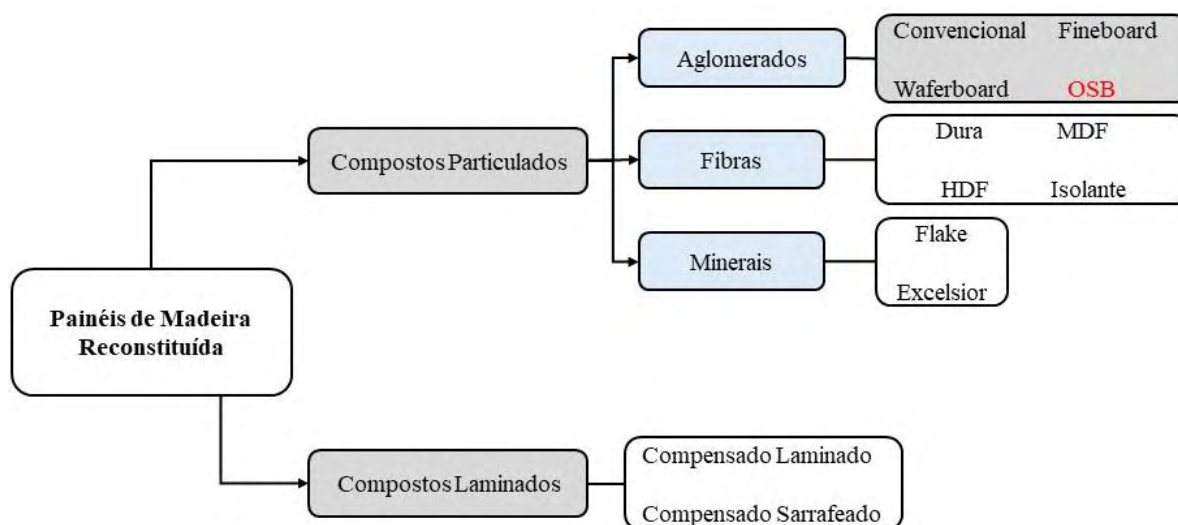


Figura 7 - Tipos de painéis de madeira reconstituída
Fonte: Adaptado de Iwakiri (2005).

A evolução da indústria madeireira trouxe vários benefícios, podendo-se destacar a possibilidade de processamento da madeira e transformação de toras em vigas e tábuas de grandes dimensões. Entretanto, com o passar dos anos ocorreu uma diminuição da disponibilidade de árvores de grande porte e o aumento do custo da madeira bruta. A partir desse cenário, o desenvolvimento dos painéis à base de madeira reconstituída, produzidos a partir de árvores de menores diâmetros, até mesmo a utilização de resíduos de madeira já processada, mostraram-se viáveis e promissores (IRLE et al., 2012; BARBOSA et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2016).

3.3.Painéis de madeira aglomerada

Os painéis de partículas de madeira surgiram na Alemanha no início da década de 1940, com o intuito de viabilizar a utilização de subprodutos da madeira face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para a produção de painéis compensados, devido ao isolamento comercial imposto pela Segunda Guerra Mundial. No decorrer da grande guerra, a produção alemã de painéis cessou devido à escassez de petróleo, matéria-prima das resinas, em razão dos esforços de guerra. A produção de painéis de partículas foi retomada nos EUA após o término da Segunda Guerra Mundial, onde equipamentos e processos produtivos foram aperfeiçoados, tendo grande expansão industrial nos anos de 1960 (IWAKIRI, 2005).

Bonduelle e Iwakiri (2006) mostraram em sua pesquisa que para os painéis compensados apenas 48% da tora em média é aproveitada nas operações de laminação durante a fabricação. Antes da etapa de laminação, os autores afirmam que é necessário o arredondamento das toras para possibilitar a delaminação e posterior fabricação de compensados. Aproximadamente, 50% de toda a madeira utilizada na fabricação de compensados e no processamento de madeira maciça é descartada na forma de resíduos (BONDUELLE e IWAKIRI, 2006).

Oliveira (2012) mostra que os roletes, sobras de guilhotina, resíduos de esquadrejamento, lâminas de desbaste, casca e sobras de destopo de toras, são resíduos gerados na indústria madeireira e não utilizados na fabricação de compensados.

O reaproveitamento de resíduos oriundos do processamento de madeira maciça e da laminação de madeira para fabricação de compensados resultou no desenvolvimento de painéis particulados que, ao contrário dos painéis compensados, não dependem de troncos retos ou de grandes diâmetros para sua fabricação (HELLMEISTER, 2017).

Neste contexto, a utilização de painel OSB tem crescido e ocupado espaços antes exclusivos dos compensados, em virtude de fatores como redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação, uso de toras de qualidade inferior provenientes de espécies de baixo valor comercial e a largura e o comprimento dos painéis OSB são determinados pela tecnologia de produção e não em função do comprimento da madeira de desdobro, como no caso dos painéis compensados (CLOUTIER, 1998).

3.4.Painel OSB

Na década de 1970, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos "waferboard" e "oriented-strand-board" ou OSB (IWAKIRI, 2005). A partir da década de 1980, o uso de painéis OSB foi largamente difundido, resultando no aumento expressivo de novas unidades produtoras em todas as regiões do mundo. No Brasil, a primeira fábrica de painéis OSB, instalada no estado do Paraná, iniciou a sua produção em 2002 com capacidade de 350.000 m³/ano (IWAKIRI, 2004).

O OSB pode ser definido como um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas (*strands*), consolidadas pelo uso de resinas, calor e pressão (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). O painel OSB é tipicamente formado por três camadas de partículas, sendo que na camada interna o alinhamento é perpendicular à direção de formação do painel, enquanto que nas camadas externas o alinhamento é paralelo (TSOUMIS, 1991).

A geometria das partículas "*strand*" possui relação direta entre comprimento/largura, sem contar que a sua orientação e formação em três camadas cruzadas (face-centro-face) (Figura 8), conferem aos painéis OSB maior resistência à flexão estática e melhor estabilidade dimensional (MALONEY, 1993).

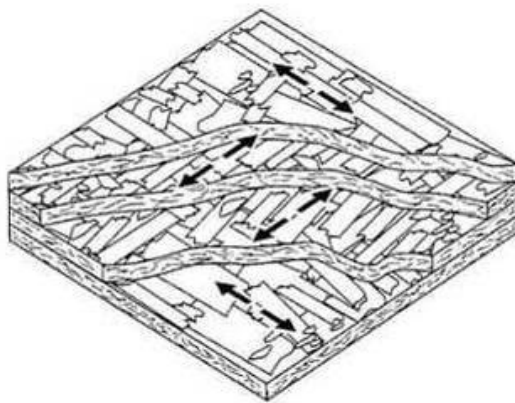


Figura 8 - Orientação das lascas na produção dos painéis
Fonte: Portal da madeira, 2008.

A maior vantagem da produção de OSB está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem na forma de finos nas fases de geração e secagem das partículas (IWAKIRI, 2004).

Os painéis OSB desde que entraram no mercado tiveram como concorrente os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). A

possibilidade do painel OSB ser produzidos com toras de qualidade inferior, bem como apresentar menor custo de produção e possuir propriedades suficientes para diversos usos, são fatores que fizeram que esse tipo de painel ocupe nichos de mercado antes exclusivos aos compensados, como material de construção, mobiliário, fechamentos, entre outros (JANSSENS, 1998).

Estudos sobre propriedades, produção e a influência de variáveis de processamento de painéis OSB, a partir de espécies do gênero *Pinus* plantadas no país, foram realizados por vários autores, dentre eles: Iwakiri (1989); Brito (1995); Mendes et al. (2002); Bortoletto Júnior e Garcia (2004); Saldanha (2004); Iwakiri et al. (2009).

Em seu estudo Silva (2006) enumera diversas vantagens do OSB em relação aos painéis compensados, enquanto Garay (2009) cita algumas desvantagens da utilização dos painéis OSB, dentre elas:

Vantagens:

- Maior aproveitamento das toras de madeira (OSB utiliza aproximadamente 96% do total da tora contra 56% do compensado), isso reflete no baixo custo do material e proporciona um produto ecologicamente mais eficiente.
- Possibilita a utilização de toras mais finas (6 anos para o OSB contra 14 anos para o compensado) e de espécies com menor valor comercial.
- Maior produtividade pelo fato de que é possível automatizar todo processo de fabricação dos painéis OSB, de forma contínua e em grande escala.

Desvantagens:

- É um material fundamentalmente heterogêneo e anisotrópico. Mesmo depois de transformada, quando já empregue na construção, a madeira é muito sensível ao ambiente, aumentando ou diminuindo de dimensões com as variações de umidade.
- Bastante vulnerável aos agentes externos, e a sua durabilidade é limitada, quando não são tomadas medidas preventivas.

Souza (2012) produziu e avaliou o desempenho de painéis OSB confeccionados com *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas para um acréscimo nas propriedades de resistência e rigidez na flexão estática. Foi utilizado um teor de resina poliuretana à base de óleo de mamona de 12% e a proporção de massa para as camadas face/ miolo/ face foi de 20:60:20. Os resultados apontaram a eficiência dos painéis OSB quando

comparadas suas propriedades com os valores mínimos exigidos pelas normas e valores encontrados na literatura para painéis desta natureza. Porém a utilização da tela metálica se mostrou não necessária.

Bufalino et al. (2015) avaliaram a viabilidade de se utilizar e misturar madeiras de *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis/urophylla* e *Pinus oocarpa* na produção de painéis OSB. Foi utilizado o adesivo fenol-formaldeído (FF), a uma proporção de 9% para todos os tratamentos. Utilizaram uma proporção percentual de massa de 25/50/25% para face/miolo/face. A maioria dos painéis OSB não atingiram plenamente aos requisitos especificados pela norma EN 300:2002, para as propriedades físicas e mecânicas. Os painéis OSB fabricados com madeiras de *Eucalyptus grandis/urophylla* e *Pinus oocarpa* têm potencial para serem comercializadas como OSB tipo 1 (utilizados para interiores, mobiliário e ambiente seco) e OSB tipo 2 (utilizado para não estruturais e ambiente seco), respectivamente. Já, para os painéis feitos com madeira de *Toona ciliata* na face e madeira de *Eucalyptus grandis/urophylla* no miolo, atenderam aos requisitos estabelecidos para OSB tipo 1.

Ferro et al. (2015) investigaram a viabilidade da produção de painéis OSB com partículas de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) aderidas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Foram avaliados três teores de resina (8%, 10% e 12%). Os painéis atingiram propriedades físicas e mecânicas que atenderam aos documentos normativos nacionais (ABNT NBR 14810-2:2013) e internacionais (EN 300:2006). Porém, vale ressaltar que os painéis fabricados com 8% de resina mostraram-se como melhores soluções, por apresentarem melhor desempenho, utilizando menor quantidade de adesivo na confecção dos painéis.

Barbirato et al. (2018) apresentaram um estudo de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir de resíduos de madeira Balsa aglomeradas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os autores avaliaram painéis com diferentes densidades (300 kg/m³ e 400 kg/m³) em diferentes teores (11% e 15%). Os resultados obtidos indicam que apenas os painéis de 400 kg/m³ de densidade e 15% de resina atingiram as exigências para ser classificado como OSB tipo 1, segundo recomendações da norma europeia EN 300:2002.

3.5. Resinas para produção de painéis OSB

O adesivo é de fundamental importância na produção de painéis de partículas devido às implicações técnicas e econômicas, uma vez que a resina pode representar 50% do custo da produção (CARNEIRO et al., 2004). Dependendo da característica dos adesivos, a classificação pode ser realizada considerando a origem das matérias-primas, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química entre outras. Dentro destas classificações há os adesivos inorgânicos, que geralmente estão constituídos por silicatos e possuem elevadas propriedades mecânicas e os adesivos orgânicos que são divididos em sintéticos e naturais. Os primeiros são mais utilizados na indústria madeireira, pelas qualidades como resistência mecânica, à umidade e fungos (HELLMEISTER, 2017).

Os adesivos sintéticos também podem ser classificados em termofixos que endurecem pela ação do calor ou catalisadores e sua cura não é reversível (uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e poliuretanos) e em termoplásticos de cura reversível (polietileno, poliestireno e borracha sintética). Já, os adesivos orgânicos são obtidos de proteínas animais (BARROS FILHO, 2009; CAMPOS et al., 2009; VICK, 1999).

A indústria de painéis de partículas utiliza com maior frequência a resina ureia-formaldeído, para produção de painéis não estruturais e de uso interno e as resinas fenol-formaldeído e melanina são empregadas na produção de painéis para uso estrutural resistente a umidade. Para obter um balanço entre custo e melhoria das propriedades os fabricantes produziram resinas mistas tais como melanina-ureia-formaldeído ou fenol-melanina-ureia-formaldeído (HELLMEISTER, 2017).

Aproximadamente 90% das indústrias de painéis do mundo utilizam ureia-formaldeído em porcentagem de 8 a 10% do peso seco das partículas (ELEOTERIO, 2000; IWAKIRI, 2005; MENDES et al., 2010; MELLO DA SILVA, 2003). A desvantagem na utilização desses adesivos está na liberação de formal para o ambiente, o qual é um gás incolor, com forte odor, alta reatividade química e solúvel em água. Esse gás provoca irritação nos olhos, na pele e no trato respiratório (IWAKIRI, 2005; KHODER et al., 2000).

As resinas poliuretanas podem ser utilizadas na produção de painéis de partículas aglomeradas. Este adesivo apresenta características mecânicas superiores aos adesivos à base de formaldeído, com vantagens de apresentar melhor resistência à umidade, 100% de sólidos e não emitir formol (DIAS, 2005). Já as resinas poliuretanas derivadas de vegetais são caracterizadas como “bi-monômeros” e podem ser obtidas de fontes

naturais renováveis como soja, milho, girassol, mamona entre outros (PETROVIC, 1999). O desenvolvimento dos poliuretanos derivados de óleo de mamona teve origem na década de 1940, conforme aponta Mutlu (2010).

Na produção de painéis de partículas é de suma importância observar o tipo e quantidade de resina utilizada, pois esses parâmetros apresentam relação com as ligações entre a superfície das partículas, propriedades mecânicas e estabilidade do painel (WEBER, 2011).

3.6. Parâmetros de produção para painéis OSB

3.6.1. Razão de compactação

A razão de compactação pode ser explicada pela relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira. Os valores aceitáveis estão entre 1,3 e 1,6 para um contato adequado entre partículas de madeira e a formação da ligação adesiva entre elas para consolidação do painel à espessura final desejada (MALONEY, 1993).

Kollmann, Kuenzi & Stamm (1975) apud Surdi (2012) afirmaram que todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000; HASELIEN, 1989). Já uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e entre partículas e adesivo (KELLY, 1977).

Na Tabela 2, Iwakiri et al. (2009) apresenta uma razão de compactação menor para madeiras mais densas. O *Pinus taeda*, tradicionalmente utilizado como matéria-prima de painéis de partículas produzidos comercialmente, apresenta uma baixa densidade com aproximadamente 460 kg/m³.

Tabela 2 - Razões de compactação de acordo com a espécie e densidade do painel

Espécie	Densidade do painel (kg/m³)	Densidade da madeira (kg/m³)	Razão de compactação
<i>Eucalyptus grandis</i>	690	610	1,13
<i>Eucalyptus dunnii</i>	680	780	0,87
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	690	810	0,85
<i>Eucalyptus saligna</i>	710	730	0,97
<i>Eucalyptus citriodora</i>	680	770	0,88
<i>Eucalyptus maculata</i>	700	760	0,92
<i>Pinus taeda</i>	670	460	1,46

Fonte: Adaptado de (IWAKIRI, 2004).

Vila Zegarra (2011) aponta que os painéis OSB manufacturados com madeira de baixa densidade apresentam, geralmente, maior resistência à flexão e à ligação interna, em relação aos confeccionados com madeira de alta densidade, ou seja, os painéis produzidos com madeira de menor densidade possuem maior razão de compactação. Entretanto, esses dados podem sofrer influências do teor de resina que devem variar entre os limites de 6 a 12%. Entretanto, Hellmeister (2017) quanto Barbirato (2018) em seus resultados a partir da caracterização de painéis oriundos de resíduos de madeira Balsa, apresentaram necessidade de estudo de maior teor de resina que o utilizado industrialmente devido as características da madeira Balsa, como: baixa densidade, maior porosidade, vasos com diâmetros maiores e, conseqüentemente, possuir maior volume de partículas necessário para se atingir a densidade almejada quando comparado com painéis produzidos com madeiras comerciais de Pinus e Eucalipto.

Segundo Teodoro (2008), quando ocorre uma razão de compactação elevada, decorrente do uso de madeiras de baixa massa específica, é possível detectar um aumento do inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional dos painéis. Em contra partida, essa propriedade se destaca em painéis de maior massa específica ou compactação devido a maior quantidade de material lenhoso (MOSLEMI, 1974).

3.6.2. Geometria das partículas

A geração de partículas é uma etapa de grande importância no processo de produção dos painéis OSB, pelo fato de estar ligada diretamente à geometria das partículas. Segundo Iwakiri (2005) as partículas ("*strands*" ou lascas) são obtidas por meio do uso de picadores ou moinhos dos tipos "cilindro" ou "disco" e precisam ser produzidas com 25mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento entre 0,50 a 0,75 mm de espessura.

A geometria das partículas como o tamanho, tipo da partícula e direção da grã em relação ao eixo longitudinal, influenciam na produção e características dos painéis. Algumas dessas características são o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY, 1993).

O índice de esbeltez é caracterizado como um parâmetro de influência sobre as características do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina. No caso da razão de planicidade, similar a razão de compactação, está relacionada como volume relativo de ar do colchão e a área superficial específica, que também está ligada com o consumo de resina (SURDI, 2013).

A geometria das partículas no processo se relaciona com a distribuição de calor, permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem (MATOS, 1988).

De acordo com Maloney (1993) o tamanho das partículas influencia na resistência à flexão, a adesão interna e o arrancamento de parafusos, também interfere na absorção de água, podendo causar alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais dos painéis.

Partículas longas e finas podem resultar em um alto índice de esbeltez e produzir painéis com resistência elevada à flexão estática e estabilidade dimensional (VITAL, 1973). Iwakiri (2005) afirmou também que o índice de esbeltez, pode influenciar a qualidade de acabamento e usinabilidade, além das propriedades mecânicas e dimensionais.

Moslemi (1974) e Maloney (1993) ao analisaram apenas o tamanho das partículas, afirmaram que partículas menores devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de resina.

A adoção de partículas menores na superfície proporciona melhor acabamento superficial ao painel e visa melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento com maior preenchimento de vazios (CHRISTOFORO et al., 2015). Em contrapartida, uma quantidade elevada de partículas pequenas aumenta o consumo de resina e prejudica a qualidade dos painéis, o que reflete em uma diminuição da capacidade de adesão interna entre as camadas interna e externa do painel. Já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular ou adesão interna (FERRO, 2013).

3.6.3. Densidade da matéria-prima e densidade do painel

Segundo Maloney (1993), a massa específica é a variável mais importante no que diz respeito à espécie adotada, influenciando as propriedades finais dos painéis de partículas.

As espécies de madeiras mais densas, geram partículas que quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que aumenta o custo de produção (MENDES et al., 2010).

A massa específica dos painéis de madeira também apresenta influência considerável sobre as propriedades físicas e mecânicas (BARBIRATO et al., 2018). Segundo Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes et al. (2010) painéis com maior massa específica apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

Ao considerar a massa específica para painéis com mesma densidade, Surdi (2012) relatou que painéis produzidos com espécies de massa específica mais baixa, apresentam maior resistência à flexão estática e a tração perpendicular. No entanto, foi mencionado que o arrancamento de parafuso, a absorção de água e o inchamento em espessura são pouco afetados.

3.6.4. Teor de Resina

Um dos fatores mais significativos na composição dos painéis é a quantidade de adesivo, pois essa variável apresenta estreita relação com as propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional (HELLMEISTER, 2017). A quantidade e distribuição da resina está diretamente ligada com o módulo de ruptura e a adesão interna das partículas (KELLY, 1977).

Ao analisar economicamente a produção de compensados, o teor adesivo pode representar de 30 a 60% do custo da chapa, sendo que o teor de resina em painéis de partículas pode variar de 6 a 12% do peso seco das partículas (BARROS FILHO, 2009).

De acordo com a configuração do painel, há variação na forma de aplicação do adesivo. Para a produção de painéis homogêneos, o adesivo é adicionado em apenas uma etapa. Já para os painéis multicamadas, o adesivo deve ser aplicado separadamente, segundo o tamanho das partículas, sendo maior quantidade nas camadas externas e menores quantidades nas camadas internas, dependendo da área superficial específica (BARROS FILHO, 2009).

A quantidade de resina empregada na produção de painéis de partículas depende da relação custo/benefício, propriedades mecânicas e tipo de uso (interno ou externo) (CHAMMA, 2004).

3.7. Parâmetros normativos para painéis OSB

A norma europeia EN 300:2002 – *Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications* classifica os painéis em 4 classes de uso e indica recomendações mínimas de propriedades físico-mecânicas para painéis OSB.

De acordo com a norma, os quatro tipos diferenciam-se da seguinte forma:

- OSB/1: Uso interno, não estrutural, para uso em condições sem umidade.
- OSB/2: Uso estrutural, para uso em condições sem umidade.
- OSB/3: Uso estrutural, com presença de umidade.
- OSB/4: Uso severo (*heavy-duty*) com presença de umidade.

A norma europeia (EN 300) indica também os requisitos de valores limites para as propriedades mecânicas de módulo de resistência à flexão e módulo de elasticidade na direção transversal e longitudinal, adesão interna, adesão interna em água fervente e inchamento em espessura após 24 horas, como apresentada no anexo 1. Com isso, o

intuito deste estudo foi desenvolver um material que supra as qualidades de painéis OSB requeridas pela norma.

3.8.Revestimentos para painéis

Segundo a Associação Brasileira de Preservação da Madeira (ABPM, 2014), é estimado que o volume de madeira tratada por ano no Brasil é de apenas 1,5 milhões de m³, sendo que 60 a 65% de madeira tratada é destinada as áreas rurais (mourões, colunas, vigas), 15% são utilizadas para o setor elétrico, 15% para o segmento ferroviário (dormentes) e entre 5 e 10% é utilizado na construção civil.

Na construção civil, as maiores preocupações para o uso dos painéis na construção civil referem-se à ação das intempéries sobre o material. Deste modo, é necessário a realização de testes que avaliem o desempenho desses painéis quando expostos ao intemperismo e conduzam para diretrizes adequadas de um produto durável e competitivo (NASCIMENTO et al., 2016).

Os mecanismos de degradação estão diretamente relacionados com os agentes do meio ambiente, de forma isolada ou de forma conjunta. Os agentes climáticos causam maior efeito quando agem em conjunto. O principal mecanismo no processo de degradação é a fotodeterioração, causada pela radiação ultravioleta somada à ação do calor, umidade e poluentes (BERTOLIINI, 2011).

Na madeira maciça, o principal sinal de degradação é sua descoloração superficial. Em seguida, observa-se o efeito da fotodeterioração, fenômeno que no decorrer do tempo, afeta todo o material. As condições macroclimáticas, tais como temperatura, alterações climáticas e edáficas (relativo à constituição físico-química do solo) são os agentes de maior desgaste da madeira (TELES; COSTA, 2014).

A utilização da madeira (TELES; COSTA, 2014) e de produtos derivados (BERTOLINI, 2011) de maneira exposta e sem proteção possibilita a ocorrência de degradação que influencia negativamente suas características físico-mecânicas. Com isso, as substâncias preservativas, produtos ignífugos e acabamentos superficiais devem ser incorporados ao material para maior durabilidade quando exposto às intempéries.

Para o tratamento da madeira, os revestimentos devem apresentar determinadas características como, por exemplo, toxidez ao maior número possível de organismos xilófagos, ser resistente à lixiviação, apresentar baixa toxidez aos seres humanos e animais domésticos e não aumentar as características de combustibilidade, condutibilidade e de inflamabilidade da madeira (TEIXEIRA, 2012).

As técnicas de tratamento químico da madeira consistem em introduzir, por meio de processos adequados, produtos químicos na estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimentos (BRAZOLIN, 2007), a fim de aumentar sua durabilidade em serviço.

Os processos de tratamento químico da madeira são desde os mais simples, como imersão, pintura, aspersão, substituição de seiva, banho quente – frio, até os mais sofisticados, que utilizam vácuo e pressão em usinas com autoclaves (TEIXEIRA, 2012). Atualmente, existem os tratamentos térmicos da madeira (ou termorreificação) sendo realizados com o aquecimento da madeira em faixas de temperaturas inferiores à carbonização, até 280°C.

3.8.1. Resina Poliuretana a Base de Óleo de Mamona (PU-Mamona)

Para o tratamento da madeira, existem os produtos convencionais gerados pela indústria e os não convencionais. Um dos produtos oriundos da indústria que vem sendo utilizado como objeto de estudo como revestimento de madeira é a resina PU-Mamona (GARZÓN et al., 2012).

Segundo Jesus (2000) um grupo de pesquisadores do atual Instituto de Química da USP de São Carlos, na década de 80, fizeram uma importante contribuição nacional ao desenvolver uma resina poliuretana que possui várias vantagens, como: manipulação em temperatura ambiente, grande resistência à ação da água e de raios ultravioleta, grande resistência mecânica e ser oriunda de uns recursos naturais renováveis, cuja matéria-prima (mamona) de fácil adaptação climática é encontrada em todo território nacional.

Conhecida internacionalmente como “*Castor Oil*”, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das euforbiáceas, de onde é extraído o óleo ricinoléico, como subproduto da mamona, também denominado popularmente óleo de mamona. A planta que origina este óleo é encontrada com abundância em todo território nacional e, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil (ARAÚJO, 1992).

A partir do óleo de mamona é possível sintetizar polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a resina poliuretana. Esta mistura poliól pré-polímero à base de mamona, a frio, ocasiona uma reação de polimerização dando origem à formação da resina poliuretana, podendo-se variar a relação de quantidade de poliól para obter uma maior ou menor flexibilidade, e empregar o catalisador adequado, com objetivo de aumentar a velocidade de reação do bi-componente (GARZÓN et al., 2013).

3.8.2. Cera de abelha

A cera de abelha é definida por ter uma composição muito complexa, com longas cadeias de carbonos, composta em sua maioria por hidrocarbonetos, monoésteres, diésteres, triésteres, ácidos livres e materiais não identificados. Além disso, a cera de abelha possui composição estrutural parcialmente cristalina à temperatura ambiente, principalmente, com estrutura ortorrômbica em sua grande maioria e uma pequena estrutura monoclinica, segundo Tulloch (1971) e Tulloch e Hoffman (1972). Geralmente, o ponto de derretimento da cera se encontra em um intervalo entre 61 e 67 °C (TULLOCH E HOFFMAN, 1972).

Segundo Kameda e Tamada (2009) a cera de abelha quando combinada com as resinas pode conferir propriedades muito interessantes aos painéis de madeira, sobretudo, uma melhoria da aderência e da dureza.

Dentre os preservantes não convencionais está a cera de abelha, comumente utilizada como adesivo preservante desde o mesolítico (TULLOCH, 1971). Atualmente, a cera de abelha é largamente utilizada na apicultura para conservação de colméias. Segundo Frontino e Serpa (2014) a utilização desse composto aumenta a durabilidade, mantém a porosidade da madeira e reduz o ataque de pragas devido à ação de substâncias repelentes presentes na cera.

3.9. Métodos de avaliação de durabilidade

A deterioração dos materiais é o resultado da combinação de diferentes efeitos físicos, químicos e biológicos. Essa deterioração depende do tipo de material, as influências do meio e as condições de uso. O efeito físico de deterioração pode ser caracterizado pelo atrito mecânico da superfície do material, fragilização, falhas de seus componentes pelo rompimento devido ao stress ou mudanças irreversíveis na forma. Entretanto, a presença de poluentes antropogênicos no ambiente pode acelerar o efeito de deterioração. Sendo assim, a interação entre os fatores físicos e químicos pode impulsionar a degradação dos materiais (DROCHYTKA; PETRÁNEK, 2007).

Uma possibilidade de analisar os efeitos de degradação dos materiais é submetê-los aos ensaios de envelhecimento acelerado e natural. Os ensaios de envelhecimento são aqueles nos quais os materiais ou componentes construtivos são submetidos ou expostos a fatores de degradação específicos com uma intensidade acima da expectativa de serviço, como por exemplo, a radiação ultravioleta, umidade, temperatura,

fenômenos geralmente observados no envelhecimento natural, ou seja, expostos ao ar livre. No envelhecimento acelerado o material é exposto a sequência de fatores de degradação em condições controladas até completar um ciclo. Os métodos de envelhecimento para avaliar a durabilidade de painéis derivados de madeira incluem testes de longo prazo e de curto prazo. A Figura 9 mostra o fluxograma dos ensaios de envelhecimento em função da aplicação do material.

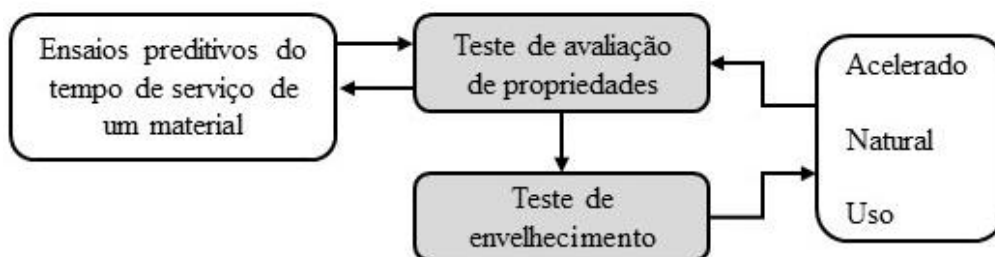


Figura 9 - Métodos de avaliação de durabilidade
Fonte: Garzón et al., 2013.

Abramento (1995) e Matheus (2002) afirmam que existem três fatores principais quando combinados, no ensaio de envelhecimento natural e acelerado, geram o efeito de degradação no material. Tais fatores, são:

- Fotodegradação ou fotooxidação: causada por radiação ultravioleta pela incidência solar que junto com o oxigênio, geram uma reação com os polímeros ocasionando alterações em suas estruturas moleculares e composições químicas;
- Temperatura: também chamada de termooxidação devido à geração de radicais livres, ocasionada pela dissociação de hidrogênio da cadeia do polímero gerando hiperóxidos de rápida decomposição, ocorrendo alterações nas propriedades dos polímeros, essa degradação é refletida geralmente na alteração da cor, causado pela oxidação e pela hidrólise;
- Umidade: ocasionada pela absorção de água pelas cadeias poliméricas gerando rupturas moleculares.

3.9.1. Envelhecimento acelerado

Os ensaios de envelhecimento acelerado avaliam as mudanças nas propriedades físico-mecânicas do material através da exposição em curto prazo a diferentes fatores de degradação, tais como imersão em água, ar quente e seco, secagem, vapor, congelamento, pressão em diferentes tempos, e considerando em ocasiões sua repetição por ciclos (JOHNSTON, 2003).

No envelhecimento acelerado, o material é exposto à uma sequência de fatores de degradação em condições controladas de laboratório até completar um ciclo. Entretanto, por se tratar de uma simulação, o número de ciclos do envelhecimento acelerado é diferente das condições reais de degradação do material (SEKINO; SATO; KOJI, 2014).

A partir do ensaio de envelhecimento acelerado é possível estimar a durabilidade de um material através da comparação de dados ao avaliar, por exemplo, as propriedades físico-mecânicas do mesmo material não submetido ao envelhecimento (GARZÓN et al., 2012).

Em painéis de partículas com matéria-prima obtida a partir de resíduos agroindustriais, tem sido desenvolvidos trabalhos com: bagaço de cana-de-açúcar (GARZÓN et al., 2012); fibras de coco verde (FIORELLI et al., 2014); eucalipto (*Eucalyptus grandis*) com adição de casca de aveia (VARANDA et al., 2014). Em todos os trabalhos anteriormente mencionados foi relatada a redução das propriedades físico-mecânicas dos materiais após os ensaios de envelhecimento.

3.9.2. Envelhecimento natural

A durabilidade de painéis a base de madeira ou de resíduos agroindustriais é um dos aspectos mais importantes para a sua aplicação na construção civil, ou seja, para determinar o uso correto do material, é necessário obter informação do desempenho ao longo prazo. Entretanto, as diferenças geoclimáticas de cada local onde o material será utilizado, como por exemplo, radiação solar, umidade relativa, índice pluviométrico, entre outros podem afetar mais ou menos significativamente a durabilidade dos materiais expostos ao ar livre. Com isso, existem muitos problemas no uso de normas ou comparação de resultados de ensaios de envelhecimento ao ar livre obtidos em locais com condições climáticas tão diferentes do local no qual será analisado o painel particulado (OKKONEN; RIVER, 1996).

A análise de desempenho do material em diferentes locais e com maior tempo de exposição pode aumentar a confiabilidade dos resultados sobre a sua durabilidade. Para avaliar com mais precisão a durabilidade dos painéis particulados, é necessário considerar a estrutura do material e seus mecanismos de degradação, além de proceder a uma exposição ao ar livre (SEKINO; SATO; KOJI, 2014). A utilização de campos de exposição natural ou envelhecimento natural são especialmente úteis para identificar, a perda de resistência mecânica e deterioração física do material; a variação dimensional do material causada pela temperatura e umidade; estudos de temperatura máxima de serviços; a mudança de cor, desbotamento e perda de brilho; a presença de rachaduras, deformação e envelhecimento pelo calor; os mecanismos de biodegradação.

Segundo Sartori et al. (2015), para expor os corpos de prova ao envelhecimento natural é necessário utilizar uma bancada inclinada, sendo o ângulo de inclinação diretamente relacionado com aplicação de uso final do material, como apresentado na Figura 10.

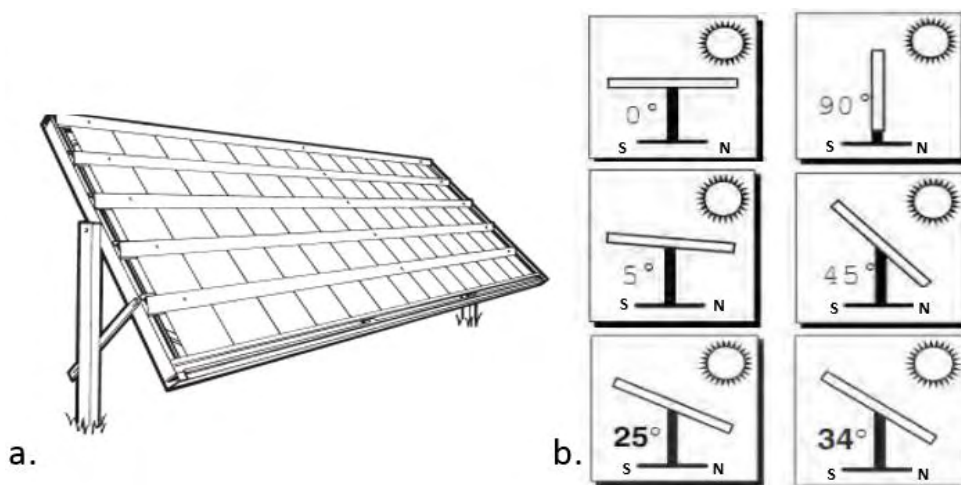


Figura 10 - Envelhecimento natural. a) bancada inclinada. b) ângulo de exposição de materiais ao ar livre

Fonte: Garzón et al., 2013.

O ângulo de 0° (sem inclinação da mesa) não é comumente utilizado para painéis em estruturas planas, uma vez que não há o favorecimento para escoamento da água. O típico ângulo de inclinação da mesa de exposição usado em produtos para a indústria automobilística é de 5°. Ângulos de 25 ou 34° são usados para maximizar a incidência da radiação solar. O ângulo de 45° é usado em materiais que não tem uso final definido e o ângulo de 90° é usado para avaliar os materiais que serão submetidos à baixa temperatura, baixa radiação solar e umidade relativa (GARZÓN et al., 2013).

3.10. Conclusões da revisão

O Brasil é responsável por gerar todo ano uma grande quantidade de biomassa florestal residual. Atualmente são gerados 35 milhões de m³/ano de materiais não aproveitáveis na indústria madeireira. Dentre esses resíduos, encontra-se a madeira Balsa.

A madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*) possui como características: baixa densidade (100 kg/m³ a 380 kg/m³), extremamente leve, boa tolerância à luz solar direta e acelerado ritmo de crescimento (18 a 25 m em aproximadamente 7 anos) fato que tem levado essa espécie de madeira a ser utilizada na recomposição de áreas degradadas de florestas naturais.

Um dos destinos para aproveitamento dos resíduos de madeira Balsa é a confecção de painéis de partículas aglomeradas com resina orgânica e inorgânica. São muitas as variedades de painéis de madeira reconstituída, uma destas são os painéis de partículas orientadas (OSB), que anualmente tem crescido a produção e ocupado espaço no mercado dos painéis compensados.

As resinas mais utilizadas comercialmente são a fenol-formaldeído (FF) e ureia-formaldeído (UF). Entretanto, há uma preocupação ambiental para a busca de novas alternativas de resinas que não sejam prejudiciais ao meio ambiente e diminuam o impacto ambiental. A resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona) pode ser uma dessas alternativas pois é uma resina originada de recursos naturais renováveis, e sua matéria-prima (mamona) possui fácil adaptação climática e não emite gases tóxicos para a atmosfera. Porém, como o custo desta resina ainda é elevado quando comparado com as resinas mais utilizadas comercialmente, é importante otimizar o uso desta resina na confecção de painéis.

O revestimento superficial nos materiais tem como objetivo a proteção da entrada imediata de água, assim como da biodegradação superficial. O desempenho de um produto é o resultado do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre o material e o meio que o circula. Desse modo, a avaliação da durabilidade e do desempenho de painéis não convencionais e neste caso de painéis OSB de madeira Balsa residual é necessária para garantir melhor aceitação e proposição de novos usos para esses materiais.

A partir deste levantamento ficou evidenciado o ineditismo do objetivo desse trabalho e os resultados poderão contribuir como o campo do conhecimento de maneira incremental.

4. METODOLOGIA

O capítulo a seguir descreve as etapas e métodos que foram utilizados no desenvolvimento do presente estudo.

4.1. Material

A madeira usada para confecção dos painéis OSB de Balsa residual (Figura 11) foi fornecida por uma empresa, situada no município de Santa Cruz da Conceição, estado de São Paulo, que comercializa madeira Balsa serrada. A madeira residual foi caracterizada por partes rejeitadas (fuste com defeito, rolo-resto, galhos grossos, blocos de menor dimensão e eventuais pedaços sem casca) do processamento industrial da tora devido a defeitos relacionados ao formato, densidade fora das especificações comerciais ou rachaduras.



Figura 11 - Madeira Balsa residual
Fonte: Próprio autor

As resinas fenol-formaldeído (FF) e ureia-formaldeído (UF) com baixa emissão de formol e a resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona) foram obtidas comercialmente. A resina FF utilizada foi a CR-4710 líquida do tipo resol, solúvel em água, possuía 70% de teor de sólidos, viscosidade entre 200 - 450 cPs, pH entre 8,5 - 9,5 e densidade entre 1,22 - 1,26 g/cm³. A resina UF utilizada foi líquida com aspecto branco leitoso, possuía teor de sólidos entre 63,5 - 66%, viscosidade entre 100 - 300

cPs, pH entre 7,5 - 8,2 e densidade entre 1,26 - 1,30 g/cm³, sendo optado por não utilizar a emulsão de parafina para avaliar o efeito da resina sem adição de aditivos. A resina poliuretana à base de óleo de mamona é do tipo bi-componente de cura a frio, composta pelo polioliol B1640 e pelo pré-polímero A249, com viscosidade média de 167 cPs formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) com 99,92% de teor de sólidos e um polioliol (componente B) com 99,91% de teor de sólidos (praticamente isento de solventes). Já a cera de abelha, utilizada para produzir o revestimento natural, foi doado por um apicultor residente na região de Pirassununga.

4.2. Métodos

Para descrever as etapas desse estudo, a Figura 12 apresenta um fluxograma de atividades do processo experimental programado.

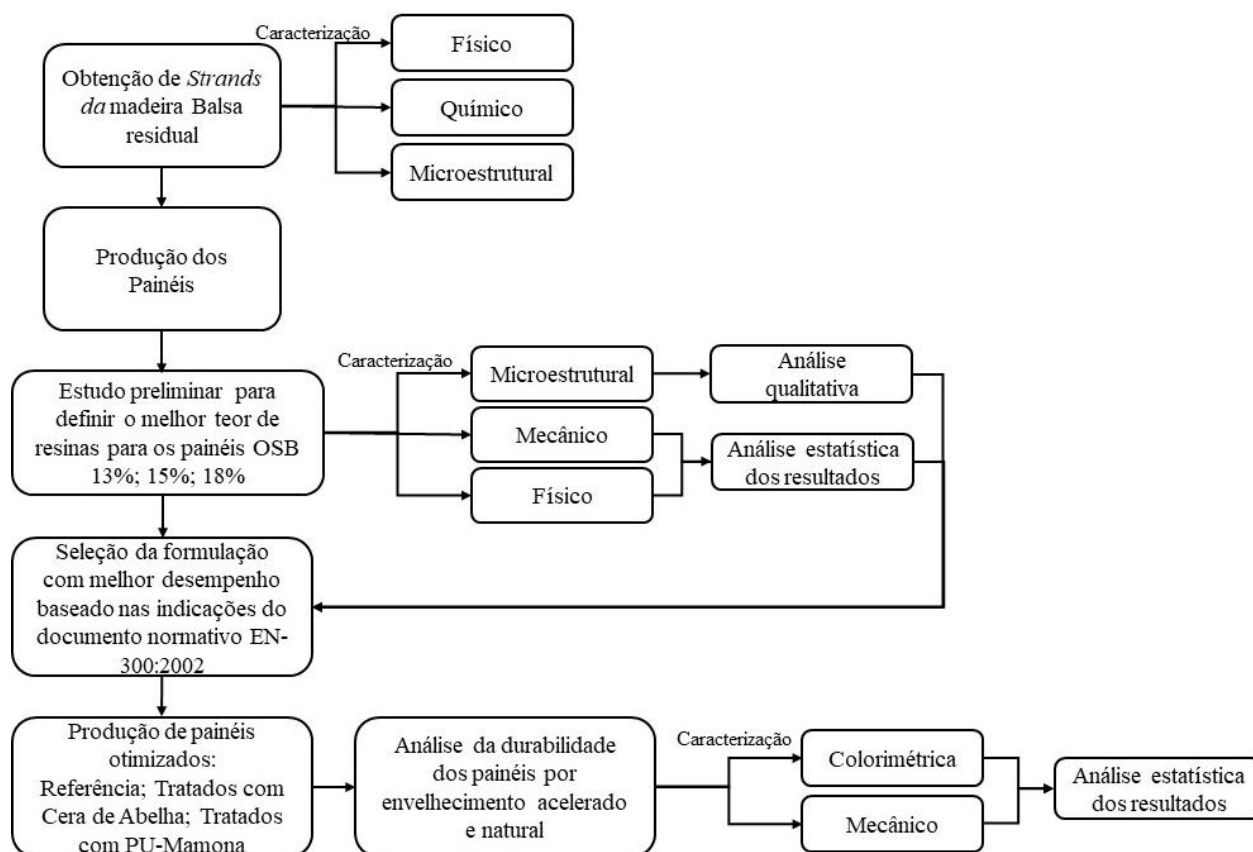


Figura 12 - Fluxograma das rotas experimentais

Fonte: Próprio autor

A Tabela 3 descreve os tratamentos avaliados para atender as atividades apresentadas no fluxograma da Figura 12.

Tabela 3 - Tratamentos constituintes do estudo preliminar e da produção otimizada

Tratamentos			
Estudo Preliminar		Otimizados	
Nomenclatura do Tratamento	Tipo de resina com respectiva porcentagem	Nomenclatura do Tratamento	Tipo de resina com respectivo preservante
T1-M	Poliuretana de mamona (13%)	TR	Melhor tratamento preliminar (Referência)
T2-M	Poliuretana de mamona (15%)	TR-A	Referência envelhecimento acelerado
T3-M	Poliuretana de mamona (18%)	TR-N	Referência envelhecimento natural
T4-FF	Fenol-formaldeído (13%)	TC-A	Referência tratado com cera de abelha envelhecido de forma acelerada
T5-FF	Fenol-formaldeído (15%)	TC-N	Referência tratado com cera de abelha envelhecido de forma natural
T6-FF	Fenol-formaldeído (18%)		
T7-UF	Ureia-formaldeído (13%)	TPU-A	Referência tratado com PU de mamona envelhecido de forma acelerada
T8-UF	Ureia-formaldeído (15%)	TPU-N	Referência tratado com PU de mamona envelhecido de forma natural
T9-UF	Ureia-formaldeído (18%)		

Fonte: Próprio autor

Inicialmente, no estudo preliminar foram avaliados 36 painéis OSB provenientes de resíduos não aproveitáveis do processamento da madeira Balsa, com resinas FF, UF e PU-Mamona aplicadas em diferentes teores (13%, 15% e 18%). Os teores de resina adotados neste estudo foram superiores em comparação ao utilizado industrialmente (8 - 11%) pelo fato da madeira Balsa apresentar baixa densidade, maior porosidade, vasos com diâmetros maiores e com isso consequentemente, possuir maior volume de partículas necessário para se atingir a densidade almejada (650 Kg/m^3) quando comparado com painéis produzidos com madeiras comerciais de Pinus e Eucalipto. Tanto Hellmeister (2017) quanto Barbirato (2018) em seus resultados a partir da caracterização de painéis oriundos de resíduos de madeira Balsa, apresentaram necessidade de estudo de maior teor de resina que o utilizado industrialmente.

Posteriormente, com o melhor resultado obtido no estudo preliminar, foi realizada uma nova produção de painéis otimizados, totalizando 14 painéis, e revestidos com os preservantes natural à base de cera de abelha e resina PU-Mamona, classificados na

Tabela 3 como referência (TR), referência revestido com cera de abelha (TC) e referência revestido com resina PU-Mamona (TPU).

4.2.1. Obtenção e caracterização dos strands de madeira Balsa

O resíduo de madeira Balsa foi cortado em blocos com dimensões aproximadas de 9 cm x 5 cm (dimensões máximas do bocal de abastecimento do moinho de disco) para garantir a produção de fibras (*strands*) na direção longitudinal. Logo após, os blocos foram processados em moinho de disco com acionamento por motor elétrico, marca Marconi sendo geradas lascas com 9 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e 0,1 cm de espessura, sendo a espessura maior que a indicada na literatura (0,05 - 0,075 cm) devido as características da espécie de madeira estudada e seu teor de celulose elevado (Figura 13a).

Na sequência, as partículas (*strands*) de madeira geradas foram peneiradas a fim de eliminar finos e impurezas (Figura 13b) e, em seguida, foram levadas para o processo de secagem uma estufa com temperatura de 65°C (Figura 13c), por 48 horas, para se obter um material com 8% de umidade.

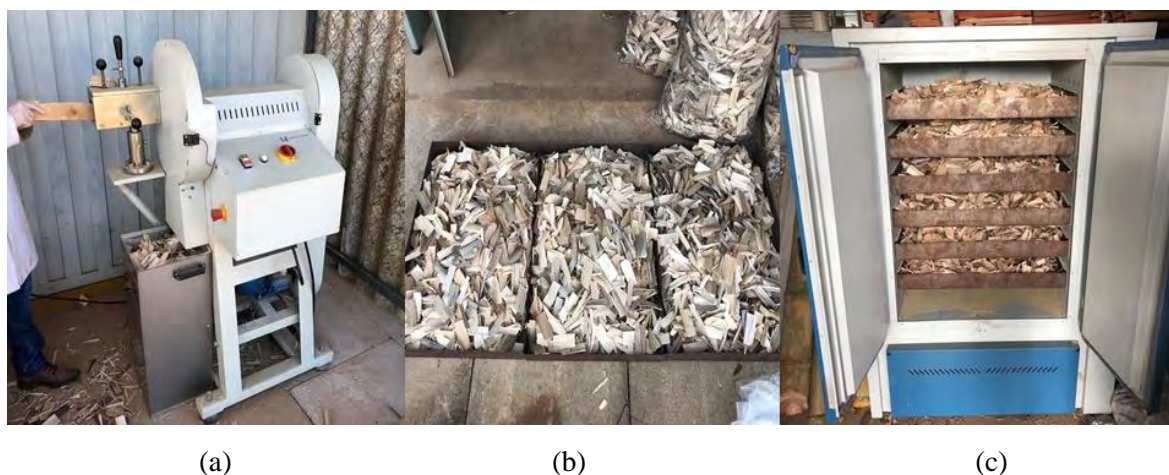


Figura 13 - Processo de obtenção de *strands* de madeira Balsa. (a) Moinho de discos. (b) Preparação das lascas para serem inseridas na estufa. (c) Estufa utilizada para o processo de secagem.

Fonte: Próprio autor

As partículas foram caracterizadas por meio de ensaios químicos (composição química e pH), ensaios físicos (densidade real) e ensaios microestruturais (Microscopia eletrônica de varredura – MEV).

4.2.1.1. Composição química

Para definir a composição química das partículas da biomassa florestal residual de madeira Balsa foi utilizada a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002) que possibilita quantificar os teores de celulose, hemicelulose e lignina do material e compará-los com os de madeira Eucalipto e Pinus, comercialmente utilizada na produção de painéis OSB a fim de verificar o potencial desse material como constituintes de painéis OSB. As amostras retiradas da queima da madeira Balsa foram utilizadas para realizar a análise bromatológica a fim de estimar os valores de celulose, hemicelulose e lignina do material.

Esse processo consiste em separar os conteúdos celulares da parede celular por meio do aquecimento da amostra numa solução de detergente neutro. Basicamente, o conteúdo celular se solubiliza no detergente, enquanto a parede celular não permite a separação por filtração. A fibra é então aquecida em detergente ácido, o que permite solubilizar a celulose e hemicelulose, que pode então ser separada da lignina ligada à celulose (lignocelulose) por filtração (SALMAN et al., 2010).

4.2.1.2. pH

Para determinação do pH foi realizada uma modificação na metodologia descrita por Vital (1973), que consistiu em secar em estufa a (103 ± 2) °C, lascas de madeira Balsa até atingir peso constante. Em seguida, 20g do material foram imersos em água ionizada por três horas, à temperatura de 22°C. Posteriormente, por meio de um pHmetro digital da marca DIGIMED modelo DM-23, até ele se estabilizar, foi determinado o pH dessa água. Esse ensaio foi necessário, pois as madeiras que possuem baixo pH (< 3), ou seja, em ambiente ácido geralmente apresentam dificuldade de aglomeração em decorrência da cura das resinas FF e UF.

4.2.1.3. Densidade aparente

Com o intuito de determinar a densidade real das partículas de madeira Balsa que, posteriormente, teve direta relação com as propriedades mecânicas e com a razão de compactação dos painéis, foi utilizada a picnometria de gás hélio, segundo a metodologia proposta por Moura e Figueiredo (2002). Uma balança de precisão de marca Shimadzu AY-220 e um multi-picnômetro de marca Quantachrome Instruments foram utilizados durante os ensaios.

4.2.1.4. Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

A MEV pode ser definida como uma técnica que forma um feixe altamente focado num pequeno diâmetro (5nm) escaneado sobre a superfície da amostra, sucessivamente, num campo regular de exploração sob o controle da bobina eletromagnética.

Com objetivo de avaliar a anatomia dos poros e espessura da parede fibrilar dos *strands*, as amostras de partículas de madeira Balsa foram analisadas por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de baixo vácuo, modelo TM-3000 marca Hitachi, acoplado com sistema de microanálise de raios X por espectroscopia de energia dispersivo, sem a necessidade de fazer o recobrimento metálico. Entretanto, as dimensões das amostras possuíam uma medida de 25 x 25 mm, e foram geradas imagens com aumentos da ordem de 50x, 200x, 500x e 1000x, sendo capaz de indicar a anatomia dos poros e espessura da parede fibrilar da madeira Balsa.

Segundo Barbirato et al. (2018), essas informações são importantes para verificar a potencialidade da matéria-prima na produção de painéis de partículas, por meio de uma comparação com madeiras utilizadas comercialmente como Pinus e Eucalipto.

4.2.2. Estudo preliminar para otimizar o teor de resina nos painéis

Para o estudo preliminar foram produzidos, em laboratório, painéis OSB de madeira Balsa residual com resina FF, UF e PU-Mamona de média densidade (650 kg/m³), espessura de 10 mm e teores de resina de 13%, 15% e 18%, totalizando a produção de 36 painéis.

4.2.2.1. Produção dos painéis OSB

Após a preparação da matéria-prima (*strands* de madeira Balsa) foi possível elaborar os cálculos a fim de estimar a quantidade de massa necessária para produzir os painéis de partículas orientadas (OSB) com densidade 650 kg/m³. Para determinar o volume do material produzido foi necessário levar em consideração a dimensão do colchão formador do painel (400 x 400 mm) e a espessura adotada no painel (10 mm). Fixada a quantidade de massa necessária para cada painel, às partículas foram pesadas utilizando uma balança eletrônica (AY220) e distribuídas em recipientes de 35 litros.

Na sequência, para fabricação dos painéis OSB com os teores adotados em 13, 15 e 18% de adesivo PU-Mamona, FF e UF, as partículas foram misturadas ao adesivo

pelo método de aspersão com o propósito de inserir a resina sem danificar ou comprometer as estruturas das lascas de madeira Balsa.

A resina PU-Mamona foi utilizada em uma proporção (1 catalisador: 1 poliol). Já resina FF foi utilizada em proporção única. Por fim, a resina UF em uma proporção (97% resina: 3% endurecedor - sulfato de amônia). Todos baseados no peso seco das partículas e seguindo a recomendação dos fabricantes.

Em seguida, o material foi inserido em um molde orientador de painel com dimensão de 400 x 400 mm, sendo que a cada camada inserida, foi realizada a mudança de direção do orientador com o objetivo de direcionar as partículas, como mostrado na Figura 14(a) (face perpendicular com o miolo) até formar 3 camadas levando em consideração a proporção face-miolo-face de massa igual a 30:40:30, mais utilizada industrialmente. Vale ressaltar que para evitar possível aderência entre as partículas com as chapas da prensa, as chapas de aço da prensa termo-hidráulica foram revestidas com manta teflon.

Em seguida, o material (mistura de *strands* com resinas) foi transferido para a prensa termo-hidráulica (pressão 50 kgf/cm², temperatura de 100°C quando usado resina PU de mamona, 110°C para resina UF, 140°C para resina FF e tempo de prensagem de 10 minutos), apresentada na Figura 14(b), seguindo as recomendações detalhadas por Maloney (1996).

Com o fim do processo de prensagem, os painéis foram armazenados a temperatura ambiente por 72 h, período marcado pela continuação do processo de cura da resina. Após as 72 horas de cura, os painéis foram refilados em dimensões finais (400 mm x 400 mm) dos quais foram extraídos corpos de prova para a condução dos ensaios de caracterização do material.

Assim, foram fabricados painéis (Figura 14c) de média densidade (650kg/m³), com resinas FF, UF e PU-Mamona em diferentes teores (13%, 15% e 18%) em massa de partículas, com espessura de 10 mm, conforme tratamentos apresentado na Tabela 4, totalizando a produção de 36 painéis.

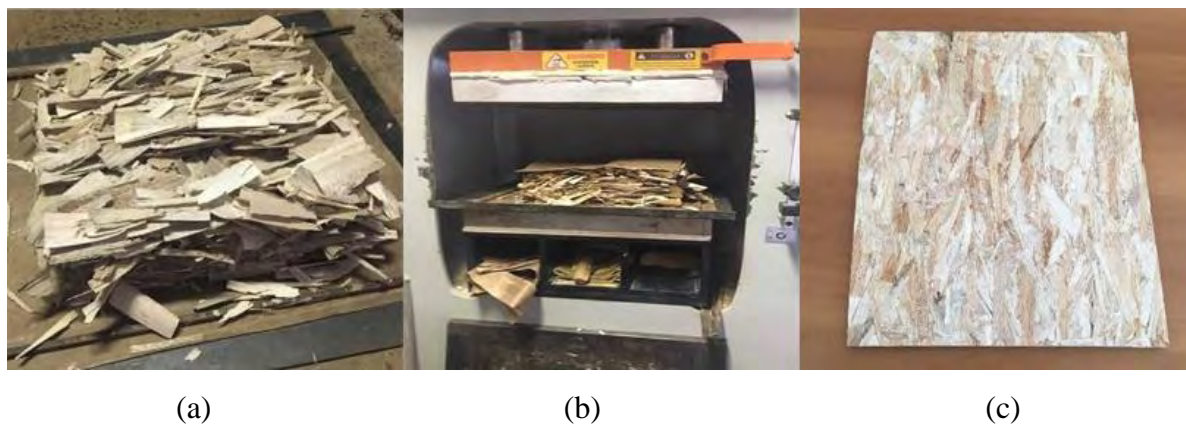


Figura14 - Processo de produção dos painéis OSB. (a) Colchão de partículas orientadas. (b) Colchão de partículas orientadas na prensa termo-hidráulica. (c) Painel de partícula OSB de madeira Balsa com 10 mm de espessura.

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Plano experimental

Tratamento	Resina	Resina (%)
T1-M	PU-Mamona	13
T2-M	PU-Mamona	15
T3-M	PU-Mamona	18
T4-FF	FF	13
T5-FF	FF	15
T6-FF	FF	18
T7-UF	UF	13
T8-UF	UF	15
T9-UF	UF	18

Fonte: Próprio autor

4.2.2.2. Caracterização dos painéis OSB

Os painéis OSB de madeira Balsa residual foram caracterizados e comparados com as indicações de classes estabelecidas por meio de ensaios mecânicos (Flexão estática e tração perpendicular), físico (Inchamento em espessura) e microestrutural (Microscopia eletrônica de varredura), a fim de verificar a qualidade dos materiais frente às diferentes possibilidades de uso na indústria moveleira e de construção civil.

A fim de descrever as propriedades mecânicas dos painéis, o ensaio de flexão estática foi necessário, pois é possível determinar os valores de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE). Já, pelo ensaio de tração perpendicular, foi avaliada a adesão interna das partículas.

As propriedades físicas dos painéis foram definidas pelo ensaio de inchamento em espessura para conferir o grau de compactação das partículas ao longo da espessura.

Os painéis OSB de madeira Balsa residual foram caracterizados e comparados com as indicações de classes estabelecidas por meio de ensaios mecânicos e físicos seguindo as especificações da norma EN300:2002 - Oriented Strand Boards (OSB) - *Definitions, classification and specifications* e suas normas derivadas, relacionadas a cada ensaio específico.

A caracterização microestrutural dos painéis referentes aos tratamentos, foi efetuada pelo ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), possibilitando estudar a interface resina-partícula, bem como defeitos intrínsecos ao processo de produção dos painéis.

4.2.3. Caracterização física

Para a caracterização física dos painéis foram realizados ensaios de inchamento em espessura e perfil de densidade, de acordo com a norma EN-300:2002.

4.2.3.1. Inchamento em espessura 24 horas

Para realização do ensaio de inchamento em espessura, os painéis foram imersos em água destilada por 24 horas. Após esse período foram retirados corpos de prova das placas com formato quadrado de aproximadamente (50 ± 1) mm de aresta, de acordo com o documento normativo EN 317:1993. Em seguida, com um paquímetro da marca mitutoyo foram efetuadas as medidas de espessuras dos corpos de prova antes e após a sua imersão em água limpa, com pH igual a 7 e temperatura de 20 ± 1 °C. Além do mais, estes devem permanecer cobertos por (25 ± 5) mm de água durante 24 horas.

O inchamento em espessura é dado em percentagem, sendo calculado por meio da Equação (1) e um total de 10 amostras de cada tratamento foram avaliadas.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100 \quad (1)$$

Onde:

G_t = inchamento em espessura 24h (%);

t_1 = espessura inicial (mm);

t_2 = espessura final após 24h (mm)

4.2.4. Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica dos painéis foram realizados ensaios de flexão estática e tração perpendicular, de acordo com a norma EN319:1993 e EN 310:2000.

Estes ensaios foram realizados em máquina universal de ensaio da marca EMIC, com capacidade de 30 t e em máquina universal de ensaio servo-hidráulica da marca MTS, com capacidade de 1 t, ambas dotadas de sistema computadorizado para controle das variáveis de ensaio e coleta dos dados.

4.2.4.1. Flexão estática

Para a realização do ensaio de módulo de elasticidade (MOE) e resistência (MOR) à flexão estática, foram extraídos dos painéis corpos de prova com geometria retangular e largura de (50 ± 1) mm, seguindo as prescrições do documento normativo EN 310:2000. Além do mais, o documento exige que o comprimento dos corpos de prova deve ser igual a 20 vezes a espessura nominal com um acréscimo de 50 mm, dentro de um intervalo, onde o comprimento máximo é 1050 mm e o mínimo 150 mm. A espessura foi extraída do ponto de encontro das diagonais e a largura, na metade do comprimento.

Para a amostragem e o corte dos corpos-de-prova foram adotadas as diretrizes do documento normativo EN 326-1:1994, como se trata de OSB foi necessário obter corpos de prova nas duas direções, longitudinal e transversal. Com isso, os ensaios foram realizados em dois grupos de corpos de prova retirados segundo as duas direções da placa, isto é, segundo a direção longitudinal e a transversal.

Os corpos de prova foram aclimatados até ficar com massa constante a uma temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa de (65 ± 5) %. A massa é definida como constante quando duas pesagens sucessivas, efetuadas em um intervalo máximo de 24 horas, não apresentam resultados que variam em mais de 0,1% com relação à massa do corpo de prova.

De acordo com a metodologia da norma EN 310:2000, foram utilizados 10 corpos de prova nas dimensões de 250 x 50 mm, colocados sobre dois apoios da máquina universal de ensaios, onde o comprimento do vão tende a ser 20 a espessura nominal da placa, sem que ela seja inferior a 100 mm e superior a 1000 mm e mede-se a distância entre os centros de apoio, com a aproximação de 0,5 mm.

Posteriormente, a máquina universal foi calibrada com uma sensibilidade de 0,1 mm com uma precisão de 1% do valor medido para realização do ensaio de flexão estática a 3 pontos. Para o ensaio, os corpos de prova foram colocados sobre os apoios na posição horizontal e o seu eixo longitudinal ficou perpendicular aos eixos dos apoios com o ponto central sobre a força. A velocidade do ensaio foi constante e regulada para que a força de ruptura seja atingida em (60 ± 30) s.

Com isso, foram determinados valores de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE), conforme as Equações (2) e (3).

$$MOR = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E^2)} \quad (2)$$

Onde:

MOR - Módulo de ruptura (MPa);

P - carga de ruptura (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

B - largura do corpo de prova (mm);

E - espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

$$MOE = \frac{(P1 * D^3)}{d * 4 * B * (E^3)} \quad (3)$$

Onde:

MOE - Módulo de elasticidade (MPa);

P1 - carga no limite proporcional (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

d - deflexão correspondente à carga P1 (N);

B - largura do corpo de prova (mm);

E - espessura média referente a três pontos do corpo de prova (mm);

A norma EN 300:2002 é de exclusividade para produtos OSB derivados de madeira (Anexo 1: Tabelas da Norma EN 300/2002 - Definições, classificação e especificações).

4.2.4.2. Tração perpendicular

O ensaio de tração perpendicular tem como intuito de determinar a adesão interna das partículas seguiu as recomendações da norma EN319-2006. Com isso, serão necessários 10 corpos de prova de formato quadrado com (50 ± 1) mm. Foram fixados suportes de metal nas duas faces dos corpos de prova, logo após, são posicionados no dispositivo para ensaio de tração perpendicular na máquina universal de ensaios e submetidos a esforços de tração em direções opostas, a uma velocidade de 4 mm/min.

Após a realização do ensaio, foi determinado o valor da adesão interna (AI) das partículas visando identificar a eficiência e quantidade do adesivo de acordo com a equação 4.

$$AI = \frac{F_{m\acute{a}x}}{S} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

AI = adesão interna (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$ = força máxima (N);

a = comprimento do corpo de prova (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

Sendo a área de adesão $S = a \times b$.

4.2.5. Análise estatística do estudo preliminar e seleção do teor de resina

Os valores obtidos de propriedades mecânicas e físicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual no estudo preliminar foram avaliados pela estatística descritiva, com o propósito de organizar os resultados. Como medida de tendência central foi adotada a média aritmética e, como medida de dispersão, o desvio padrão.

Após a análise descritiva, os dados foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar a existência de diferença significativa entre os tratamentos estudados para cada tipo de resina. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados comparados pelo teste de comparação múltipla (Tukey) quando a ANOVA for significativa, sendo ambos testados a confiança de $p < 0,05$. Optou-se pela realização individual dos cruzamentos dos dados para cada tipo de resina, tendo como tratamento os teores de resina (13, 15 e 18%), em virtude das diferentes características dos adesivos analisados.

Com o fim da análise do estudo preliminar, foi possível definir o teor ótimo das resinas FF, UF e PU-Mamona para cada tratamento visando a aplicação desse material na indústria da construção civil ou moveleira.

4.2.6. Caracterização Microestrutural

Da mesma forma que o item 4.2.1.4, foi realizado o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de baixo vácuo, com o objetivo de avaliar as características anatômicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual que obtiveram os melhores resultados físico-mecânicos durante a etapa preliminar.

4.2.7. Produção dos painéis OSB otimizados

O processo de fabricação dos painéis OSB otimizados seguiu a metodologia descrita no item 4.2.2.1. Após o processo de cura da resina, foi aplicado o preservante natural à base de cera de abelha (TC) e PU-Mamona (TPU). A aplicação do revestimento à base de cera de abelha foi realizado pelo método de imersão durante 10 segundos e a PU-Mamona por meio do método aspersão, ambos os métodos foram adotados com o propósito de inserir o revestimento sem danificar ou comprometer as estruturas superficiais dos corpos de prova, além de melhor distribuir e penetrar o revestimento no material de forma homogênea. Também foram produzidos painéis sem

revestimentos, identificado como referência (TR). Foram produzidos aproximadamente 14 painéis nesta etapa, conforme tratamentos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Plano experimental otimizado

Tratamento	Revestimento	Envelhecimento (Natural ou Acelerado)
TR	Sem revestimento	-
TR-A	Sem revestimento	Acelerado
TC-A	Cera de abelha	Acelerado
TPU-A	Pu de mamona	Acelerado
TR-N	Sem revestimento	Natural
TC-N	Cera de abelha	Natural
TPU-N	Pu de mamona	Natural

Fonte: Próprio autor

4.2.8. Análise de durabilidade dos painéis otimizados

Para a condução dos ensaios de envelhecimento natural e acelerado foram utilizadas as normas ASTM D1435:2005 – *Standard Practice For Outdoor Weathering Of Plastics* e APA D1:1994 – *Performace Standards And Policies For Structural – Use Panel*. Para a realização dos ensaios foram necessários corpos de prova nas dimensões 250 mm x 50 mm.

Nas bordas laterais dos corpos de prova foi adotado como revestimento uma pasta acrílica própria para acabamento em madeira e, posteriormente, as superfícies das amostras foram cobertas com os revestimentos TC e TPU (Figura 15a), seguindo metodologia estabelecida por Garzón et al. (2013).

Para revestir os corpos de prova com TC foi necessário diluir 100g de cera em 1 litro de óleo de soja. Em seguida, os CPs foram imersos na mistura de cera e óleo por 10 segundos (Figura 15b). Assim como no item 4.2.2.1, o revestimento TPU foi realizado pelo método de aspersão (Figura 15c).



Figura 15 - Revestimento dos corpos de prova. (a) Bordas laterais com massa acrílica para madeira. (b) Aplicação do TC. (c) Aplicação do TPU. Fonte: Próprio autor

4.2.8.1. Envelhecimento natural

O ensaio de envelhecimento natural foi realizado com objetivo de verificar a necessidade de proteção das chapas homogêneas de partículas contra agentes externos de degradação (Sol, chuva e radiação), ou seja, expostos às intempéries e também verificar a eficiência do revestimento impermeabilizante (Cera de abelha e PU-Mamona), como agente protetor para esse material.

Para realização do ensaio foi utilizado uma mesa inclinada a 45° voltada para o norte magnético nas dependências do laboratório de construções e ambiência (Constrambi) localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA-USP) de Pirassununga. Os corpos de prova, 16 amostras para cada tratamento, foram expostos ao tempo, por seis meses (tempo mínimo para uma possível identificação de patologias do material) durante as estações de outono, inverno e primavera, sendo os dados climatológicos monitorados diariamente, seguindo as recomendações da norma ASTM D 1435:2005. Posteriormente foram realizados os ensaios mecânicos e microestruturais. Ao todo foram avaliadas 56 amostras, com dimensões similares a dos CPs utilizados no ensaio de flexão estática (item 4.5.3.1), sendo que 8 destas amostras permaneceram armazenadas para utilização como testemunhas e comparação com as outras 48 (24 na direção longitudinal e 24 na direção horizontal) amostras submetidas ao envelhecimento natural.

4.2.8.2. Envelhecimento acelerado

Para o ensaio de envelhecimento acelerado foram avaliados 48 corpos de prova nas dimensões 250 mm x 50 mm, revestidos nas bordas com uma pasta acrílica e cobertos com um revestimento natural (Cera de abelha) e químico (PU-Mamona). O ensaio de envelhecimento acelerado foi uma adaptação da norma APA – *Standard Accelerating Tests* com objetivo de simular as condições de exposição desses painéis em ambientes internos, com alto teor de umidade e temperatura. As chapas foram inseridas em câmara de envelhecimento acelerado UV, modelo EQUV – EQUILAN, submetidas a 8 ciclos de 12 h (8 h de radiação UVB com 0,49 de irradiância a 60°C e 4 h de condensação a 50°C), simulando o equivalente a 6 meses de exposição em ambiente natural. Posteriormente, foram realizados os ensaios mecânicos de flexão estática para determinação do MOR e MOE.

4.2.9. Caracterização dos painéis OSB otimizados

Os painéis OSB otimizados de madeira Balsa residual foram caracterizados e comparados com as indicações de classes estabelecidos por meio de ensaio mecânico (Flexão estática) seguindo as especificações da norma EN300:2002, e colorimétrico (Ensaio de cor e brilho) levando em consideração o sistema CIELAB-1976, a fim de verificar a durabilidade dos painéis OSB de madeira Balsa residual após o ensaio de envelhecimento natural e acelerado. Para realização das caracterizações foram necessários corpos de prova nas dimensões 250 mm x 50 mm.

4.2.9.1. Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica dos painéis foi realizado ensaio de flexão estática, de acordo com a norma EN 300:2002, em máquina universal de ensaio da marca EMIC, com capacidade de 300 kN. Com esse ensaio mecânico é possível determinar os valores de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE), assim como descrito no item 4.2.4.1.

4.2.9.2. Ensaio de cor e brilho

A cor da superfície dos compósitos, envelhecidos de forma natural e acelerada, foi avaliada com um espectrofotômetro Minolta CM-2500D (Konika Minolta Sensing Inc., Japão). O sistema CIELAB-1976 é o mais utilizado para a quantificação e medição da cor. Esse sistema é baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade (CAMARGOS; GONÇALEZ 2001). Foram realizadas 3 leituras para cada amostra, considerando a face exposta, que permaneceu voltada para cima, recebendo a radiação solar direta para o envelhecimento natural e a ação das intempéries para o envelhecimento acelerado.

Esses elementos são obtidos por meio dos parâmetros colorimétricos L^* , a^* , b^* . Onde L^* é variação de branco ao cinza (luminosidade), assume valor 0 para o preto absoluto, e 100 para o branco total; as coordenadas cromáticas ($+a^*$, $-a^*$) que representa a variação do vermelho ao verde, onde valores positivos e negativos podem ser atribuídos, sendo que a cor pode avermelhar ($+a^*$) ou esverdear ($-a^*$); e as coordenadas cromáticas ($+b^*$, $-b^*$) que representa a variação do amarelo ao azul, que indicam que a cor pode amarelar ($+b^*$) ou azular (b^*) (ATAYDE et al., 2011; SILVA, 2012).

A fim de investigar a alteração de cor (L^* , a^* , b^*) dos painéis OSB de madeira Balsa residual submetidas ao teste de envelhecimento natural e acelerada, foi elaborada uma estatística descritiva, assim como no item 4.2.5 e 4.2.10 com o propósito de organizar os resultados. Logo após, foi realizado também uma análise inferencial, visando identificar diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos estudados.

4.2.10. Análise estatística das propriedades mecânicas e colorimétricas dos painéis submetidos ao envelhecimento

Da mesma forma que o item 4.2.5, foi realizada uma estatística descritiva, a fim de organizar os resultados das propriedades mecânicas e colorimétricas obtidas para os tratamentos TR, TC e TPU submetidos ao envelhecimento natural e acelerado. E análise inferencial, visando identificar diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos estudados. Como medida de tendência central foi adotada a média aritmética e, como medida de dispersão, o desvio padrão.

Após a análise descritiva, os dados foram submetidos a uma análise inferencial para diagnosticar a existência de diferença significativa entre os tratamentos estudados. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados comparados pelo teste de comparação múltipla (Tukey) quando a ANOVA for significativa, sendo ambos testados a $p < 0,05$.

Com o fim da análise, foi possível observar estatisticamente o comportamento das propriedades mecânicas e colorimétricas dos painéis OSB de madeira Balsa residual após o envelhecimento natural e acelerado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nestes seguintes itens serão apresentados e discutidos todos os resultados obtidos durante a caracterização da madeira Balsa, dos ensaios físicos-mecânicos dos painéis OSB a fim de definir o teor ótimo das resinas FF, UF e PU-Mamona para cada tratamento. E, por fim, o ensaio mecânico e colorimétrico após a seleção do melhor tratamento submetido ao envelhecimento natural e acelerado, a fim de analisar a durabilidade do material estudado visando sua aplicação na indústria da construção civil ou moveleira.

5.1. Propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira Balsa residual

A Tabela 6 apresenta valores médios obtidos das propriedades físicas e químicas da madeira Balsa. A matéria-prima caracterizada para a confecção dos painéis mostrou para o resíduo da madeira Balsa uma baixa densidade (210 kg/m^3) e, dentre os três constituintes elementares a preponderância da celulose.

Tabela 6 - Valores médios das propriedades físicas e química da madeira Balsa residual e outras madeiras

Amostra	Densidade	pH	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Fonte
	Aparente (kg/m^3)		(%)	(%)	(%)	
Balsa	210	5,44	69,03	10,50	10,39	Presente pesquisa
<i>Pinus spp</i>	560*	4,48	51,13	15,10	27,29	Fiorelli et al. (2014)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (Timor)	510**	---	52,00	19,04	28,60	Megaton et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	620**	---	51,70	20,50	27,80	Megaton et al. (2006)

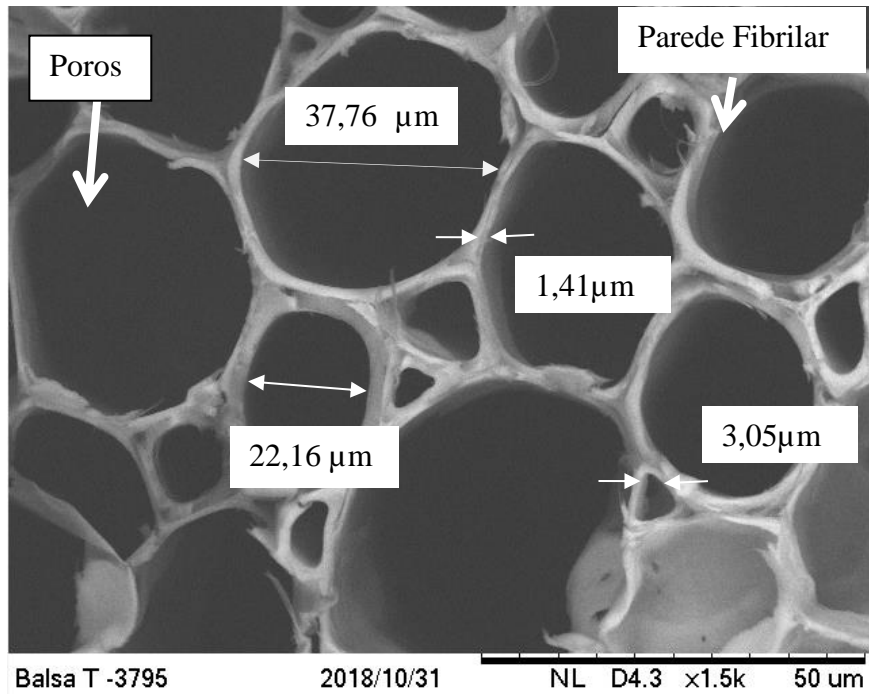
* *Pinus Elliotti* – Fonte: NBR7190-1997. **Fonte: Brito & Barrichelo (1977). Adaptado pelo autor.

Ao comparar a densidade real das partículas de madeira Balsa residual com as densidades das espécies de madeiras utilizadas industrialmente na produção de painéis OSB (Tabela 6), observa-se que a madeira da presente pesquisa possui densidade inferior. O pH, ácido, é similar ao *Pinus spp*. Em comparação às madeiras de *Pinus spp*. e *Eucalyptus*, a composição química das partículas de madeira Balsa tem teores superiores de celulose e inferiores de hemicelulose e lignina.

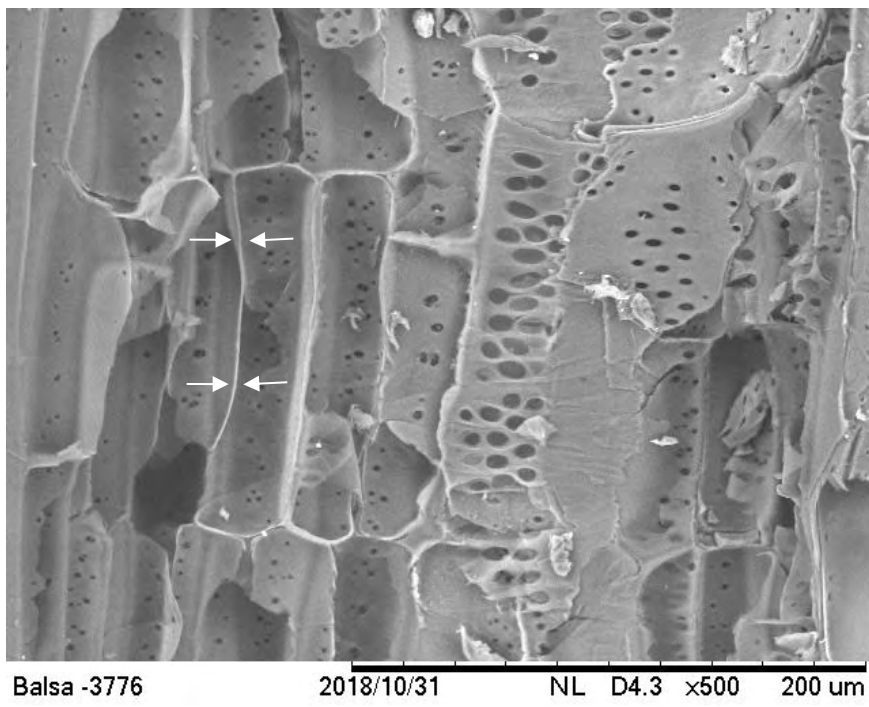
Segundo D'almeida (1988) a celulose e hemicelulose apesar das semelhanças, diferem entre as suas reatividades, pois as hemiceluloses pelas configurações irregulares e ramificadas absorvem água mais facilmente que a celulose. Fengel e Wegener (1984) defendem que o alto conteúdo de celulose aumenta a resistividade da madeira, enquanto o alto teor de lignina melhora a rigidez, conferindo melhores propriedades mecânicas aos painéis. A lignina é um componente que atua como agente selante por isso é uma propriedade aglomerante de extrema importância, ou seja, altos teores de lignina ocasionam uma melhora na aglomeração das partículas nos painéis. Como visto na Tabela 6, o teor de lignina na madeira Balsa estudada mostrou-se inferior quando comparado às outras madeiras comerciais, o que reflete a necessidade de maiores teores de resina para garantir uma adequada aglomeração das partículas.

Além dos baixos teores de lignina, vale destacar que a madeira Balsa apresentou baixa densidade e aproximada concentração de outros componentes como, por exemplo, a celulose e a hemicelulose, em relação as espécies de madeiras utilizadas comercialmente na produção de OSB, fato que a torna uma madeira com potencial para uso na produção desse tipo de painel. Em pesquisa recente, Barbirato et al. (2019) apresentou resultados similares as propriedades químicas da madeira Balsa residual quando comparado aos resultados da atual pesquisa. Vale destacar que a densidade aparente encontrada pelo autor (200 kg/m^3) foi menor e outros componentes químicos, como celulose e hemicelulose, com valores semelhantes quando comparada com as madeiras comerciais utilizadas na produção de painéis OSB. Isso faz dele uma madeira potencial para usar na produção deste tipo de painel, mesmo que essa característica reflita em um maior volumes de partículas para produzir os painéis e, conseqüentemente, maiores teores de resina para garantir uma aglomeração perfeita das partículas.

Na Figura 16 foi apresentada a seção transversal de uma amostra de madeira Balsa residual. Com aumento de 500x é possível visualizar os diâmetros dos poros, a espessura das paredes fibrilares e o diâmetro dos vasos.



(a)



(b)

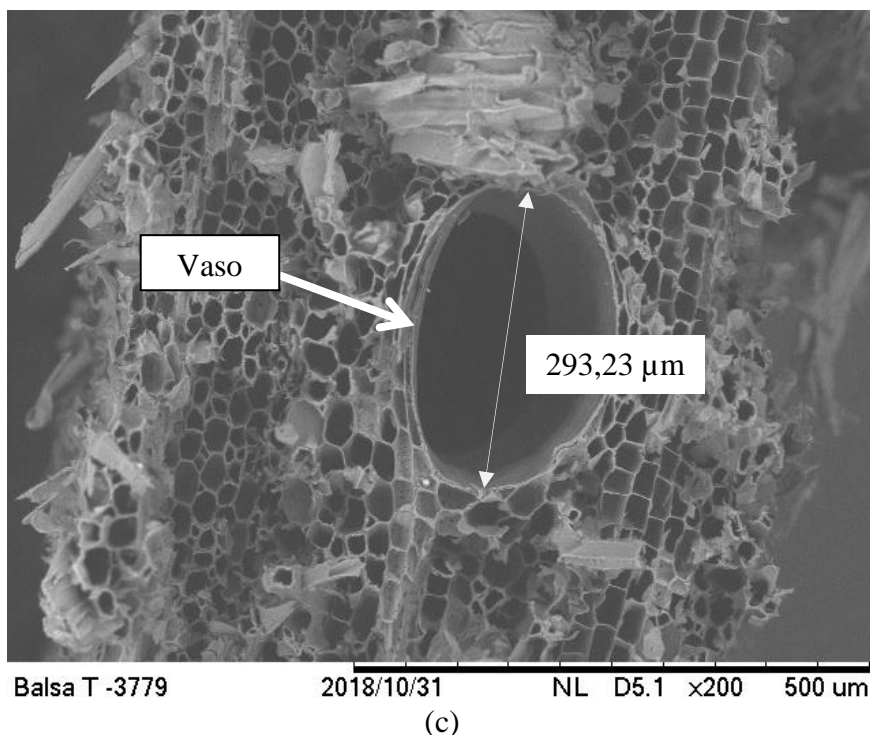


Figura 16 - Corte transversal de partícula de madeira Balsa residual. (a) Diâmetro dos poros (imagem ampliada 1.500x). (b) Espessura das paredes fibrilares (imagem ampliada 500x). (c) Diâmetro dos vasos (imagem ampliada 200x).

Fonte: Próprio autor

Na Figura 16(a) foi possível observar os valores dos diâmetros dos poros das partículas de madeira Balsa residual. Na Figura 16(b) a espessura das paredes fibrilares varia de 1,4 a 3,05 μm . Fiorelli et al. (2014) identificaram através da microscopia eletrônica de varredura que o diâmetro dos poros e a espessura das paredes fibrilares para madeira *Pinus* spp. é em média 5 μm . Essa dimensão da espessura fibrilar da madeira Balsa residual, inferior a madeira de *Pinus* sp., a caracteriza como uma espécie de madeira moldável, garantindo assim maior superfície de contato entre as partículas e, conseqüentemente, painéis OSB com propriedades mecânicas superiores em comparação com aqueles produzidos com espécies de madeira que apresentam parede fibrilar de maior espessura.

A Figura 16(c) apresenta as fibrilas e os vasos fibrilares cuja anatomia é característica para partículas de material com baixa densidade, como apresentado na Tabela 6 para madeira Balsa, e também, é possível comprovar que por apresentar alta porosidade, as partículas de madeira Balsa quando aplicadas na produção de painéis OSB, serão captadoras de resina, contribuindo positivamente com a dispersão entre as partículas, no momento da conformação dos painéis. Porém, o fato de apresentar baixa densidade, exige um volume de partículas em massa, superior ao utilizado com

madeiras de densidades superiores, conseqüentemente há necessidade de uma maior quantidade de resina para adequada conformação dos painéis OSB e eficiente adesão das partículas.

Outros autores, como Easterling et al. (1982), Da Silva e Kyriakides (2007) e Borrega et al. (2015) também comprovam esta alta porosidade da madeira Balsa e identificaram diâmetro de vasos variando de 200 a 350 μm .

5.2. Propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam valores médios e os respectivos coeficientes de variação (CV) das propriedades mecânicas e físicas dos painéis OSB aglomerados com resinas PU-M, FF e UF, obtidas a partir de 10 repetições para cada tratamento, sendo os valores dessas propriedades comparados com a recomendação do documento normativo europeu EN 300:2002 para painéis OSB tipo 1 (uso em mobiliário e interiores - ambiente seco).

Os resultados médios como mostrado na Tabela 7, para cada um dos tratamentos com resina PU de mamona, foram obtidos de acordo com a EN 317:1993 os valores de Inchamento em espessura (IE), com a EN 310:2000 os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) e, pela EN 319:1993 a adesão interna (AI).

Tabela 7 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina PU de mamona

Tratamento	IE	MOR		MOE		AI
	(%)	(MPa)		(MPa)		(MPa)
	24 horas	Long.	Trans.	Long.	Trans.	
T1-M	23,26 ^b	34,00 ^a	12,79 ^b	5668 ^a	1281 ^b	0,33 ^a
(CV)	28,09	25,39	23,44	19,02	14,00	12,96
T2-M	17,41 ^{ab}	21,98 ^b	19,88 ^a	4340 ^b	1882 ^a	0,49 ^b
(CV)	39,28	27,95	11,39	22,13	9,91	27,12
T3-M	11,78 ^a	32,52 ^a	15,74 ^b	4924 ^{ab}	1399 ^b	0,43 ^{ab}
(CV)	38,72	24,57	27,15	18,84	24,80	17,20
EN 300:2002						
Tipo 1	25	20	10	2500	1200	0,30

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Ao analisar os tratamentos com PU-Mamona, na propriedade física de inchamento em espessura, foi observado que os tratamentos T2-M e T3-M não apresentaram diferença estatística entre si (pelos resultados compartilhados pelas letras ab e a), o mesmo ocorre em T1-M e T2-M (pelo compartilhamento b e ab), porém, T1-M e T3-M diferem estatisticamente para essa propriedade física. Os tratamentos T1-M e T3-M não apresentaram diferença estatística entre si ($p > 0,05$), porém apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) entre T1-M e T2-M e, T2-M para T3-M no MOR direção longitudinal. Na direção transversal, observou-se que o tratamento T2-M se diferenciou dos demais, tanto para o MOR quanto para o MOE. O tratamento com o menor teor de resina (T1-M) implicou em resultados de AI diferentes aos do tratamento T2-M, havendo, porém, o compartilhamento com os resultados do tratamento T3-M.

Embora os tratamentos apresentem algumas diferenças estatísticas, todos atenderam as recomendações da norma EN 300:2002, painéis do Tipo 1, para as propriedades mecânicas. Assim, o tratamento T1-M (13% de resina PU-Mamona) com a vantagem do menor consumo de resina que impacta no custo de produção de painéis particulados (CARNEIRO et al., 2004), é selecionado como o mais adequado para produção de painéis OSB com partícula de madeira Balsa residual.

Barbirato et al. (2018) apresentou um estudo de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir de resíduos de madeira Balsa aglomeradas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os painéis foram avaliados pelos autores com diferentes densidades (300 kg/m^3 e 400 kg/m^3) em diferentes teores (11% e 15%). Os resultados obtidos indicaram que os painéis de 400 kg/m^3 de densidade e 15% de resina atingiram valores percentuais de mesma ordem de grandeza para MOR (18,72 MPa) na direção transversal e MOE (3505 MPa) na direção longitudinal ao encontrado no presente estudo em T1-M, que os classificaram como OSB Tipo 1, segundo recomendações da EN 300:2002.

Os painéis produzidos com os tratamentos de resina FF, também com teores de 13, 15 e 18%, apresentaram conforme Tabela 8, os valores médios dos ensaios físico e mecânicos para 8 repetições das propriedades IE, MOR, MOE e AI. O tratamento T4-FF, apresentou o valor de inchamento (36,42%) maior que o limite estabelecido pela norma EN 300:2002, no entanto esse valor é estaticamente igual aos demais grupos que resultaram em valores inferiores a 25%. Isto demonstra que os teores de FF avaliados implicam para essa propriedade física em resultados próximos ao limite preconizado por norma.

Tabela 8 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina FF

Tratamento	IE	MOR		MOE		AI
	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
	24 horas	Long.	Trans.	Long.	Trans.	
T4-FF	26,42 ^a	22,51 ^a	19,69 ^a	4455 ^b	1838 ^a	0,30 ^a
(CV)	11,06	15,84	13,90	17,86	18,33	33,88
T5-FF	23,57 ^a	23,77 ^a	18,39 ^a	5881 ^a	1832 ^a	0,28 ^a
(CV)	30,82	17,71	30,55	16,72	19,95	30,64
T6-FF	23,37 ^a	25,50 ^a	15,24 ^a	5707 ^a	1742 ^a	0,29 ^a
(CV)	33,11	10,40	30,34	25,49	16,17	41,48
EN 300:2002 Tipo 1	25	20	10	2500	1200	0,30

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Os tratamentos de FF, no geral, não apresentaram diferenças estatísticas entre si ($p > 0,05$), com exceção de T4-FF para MOE na direção longitudinal. Todos os tratamentos atenderam as recomendações da norma EN 300:2002, painéis do Tipo 1, para as propriedades mecânicas de MOR e MOE. Já, para a propriedade de AI apresentarem média de T5-FF e T6-FF inferiores ao recomendado pela norma, no entanto, por não ser estatisticamente diferente de T4-FF infere-se que esses tratamentos, ainda que no limite de $AI = 0,30$ MPa, também atenderam as recomendações normativas. Assim, o tratamento T4-FF (13% de resina FF) é selecionado como o mais adequado para produção de painéis OSB com partícula de madeira Balsa residual.

Bufalino et al. (2015) estudou a viabilidade de painéis OSB produzidos a partir de uma mistura das madeiras *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis/urophylla* e *Pinus oocarpa* na orientação para face/miolo/face e adesivo FF com uma proporção de 9%. A maioria dos painéis OSB misturados não atingiram plenamente aos requisitos especificados pela norma EN 300:2002, para as propriedades físicas e mecânicas. Entretanto, os painéis OSB fabricados com madeiras de *Eucalyptus grandis/urophylla* apresentaram potencial similar ao encontrado no T4 – FF, com valores percentuais de mesma ordem de grandeza, sendo 0,35 para AI, 4561 MPa para MOE na direção longitudinal e 28,2 MPa de MOR na direção longitudinal, caracterizando como OSB Tipo 1, de acordo com as recomendações da EN 300:2002.

Os tratamentos de UF mostraram que a variação no teor dessa resina implica em diferenças estatísticas para a maioria das propriedades físicas e mecânicas avaliadas, com exceção de AI. Destaca-se também, que nenhum dos tratamentos desta pesquisa atende na sua totalidade as recomendações da norma EN 300:2002.

Tabela 9 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB com resina UF

Tratamento	IE	MOR		MOE		AI
	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
	24 horas	Long.	Trans.	Long.	Trans.	
T7-UF	103,61 ^c	3,81 ^c	2,97 ^b	642 ^c	301 ^c	0,02 ^a
(CV)	6,15	29,26	38,95	25,39	44,00	46,29
T8-UF	74,21 ^b	9,63 ^b	9,07 ^a	2938 ^b	1016 ^b	0,04 ^a
(CV)	9,22	17,37	24,46	26,12	30,85	23,15
T9-UF	38,49 ^a	20,82 ^a	14,40 ^a	5825 ^a	1778 ^a	0,03 ^a
(CV)	16,00	17,09	21,09	20,59	27,76	54,11
EN 300:2002 Tipo 1	25	20	10	2500	1200	0,30

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

No caso da AI das partículas, em todos os tratamentos resultaram valores muito inferiores aos recomendados pela norma EN 300:2002 (AI>0,30). Assim, não se recomenda nenhum dos tratamentos avaliados nesta pesquisa como adequados para a produção de painéis OSB com partículas de madeira Balsa e resina UF. Uma possível explicação para esses resultados pode ser pela não utilização de emulsão de parafina.

De forma geral, as variações nas propriedades física e mecânicas em função do teor de resina utilizado na fabricação das placas foram menos significativas para o tratamento FF. Comparativamente, para cada teor de resina analisado verificou-se que a composição com PU-Mamona proporcionou painéis com os menores índices de absorção, sendo, portanto, mais estáveis sob aspectos da higroscopicidade.

Hellmeister (2017) avaliou painéis OSB, com resíduo de madeira Balsa proveniente de reflorestamento, aglomerados com teor de 8% de resina UF. Os resultados obtidos pelo autor demonstraram que os painéis OSB não atingiram as recomendações físicas e mecânicas para painéis OSB tipo 1, de uso interno e não estrutural da EN 300:2002, similar ao que aconteceu nos tratamentos com resina UF analisados.

Cabe destacar, com base nos resultados apresentados na tabela 7, 8 e 9 e nos estudos de Hellmeister (2017), pelo fato da madeira Balsa possuir uma constituição anatômica muito porosa (Figura 22) e baixa densidade, quando aplicada na produção de painéis de partículas, o volume de material é elevado, o que exige maior teor de resina para obter propriedades físicas e mecânicas que atendam as recomendações normativas. Contudo, ao visar a viabilidade econômica, no que diz respeito a utilização do menor teor de resina possível, o tratamento que mais se destaca é o T1-M, apesar de não ter

atingido os valores estabelecidos para o ensaio físico de inchamento 24 horas, mais não difere estatisticamente dos tratamentos que atenderam as recomendações da EN 300:2002.

5.3. Características anatômicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual

Assim, como visto no item 5.2, os tratamentos T1-M (13% de resina PU-Mamona) e T4-FF (13% de resina FF) foram os que apresentaram os melhores desempenhos físico-mecânicos considerando as exigências do documento normativo EN300:2002 e a viabilidade econômica, no caso o menor teor de resina, uma vez que pode representar 50% do custo da produção (CARNEIRO et al., 2004). Entretanto, ao analisar as características anatômicas dos painéis que constituem os dois tratamentos, fica mais evidente a escolha do tratamento T1-M como o otimizado.

A Figura 17 apresenta imagens de MEV da seção transversal dos painéis T1-M e T4-FF com uma ampliação de 50x.

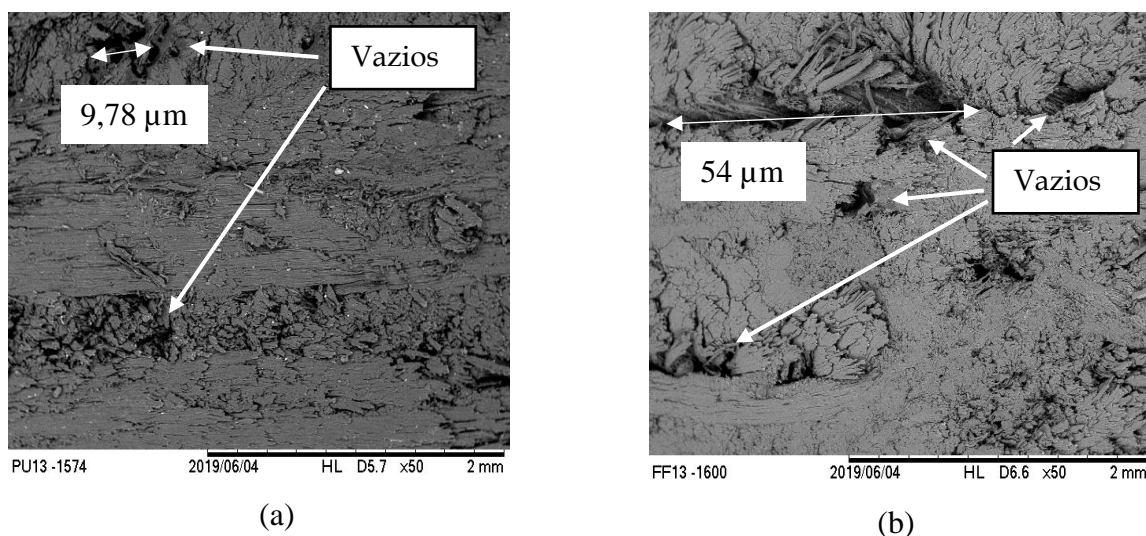


Figura 17 - Seção transversal do painel OSB. a) T1-M. b) T4-FF com aumento de 50x.

Fonte: Próprio autor.

Nota-se na Figura 17(a) melhor interação das partículas, tendo a presença de poucos vazios com dimensões bem pequenas (9,78 μm), corroborando com os resultados de AI dos quais é possível inferir que a quantidade de resina utilizada na produção do painel está adequada. Na Figura 17(b), observa-se a existência de (um maior número de) vazios e com dimensões maiores (54 μm), característica essa que contribuiu para elevar os valores de IE das amostras do grupo de tratamento T4-FF. Sendo assim, somado as propriedades físicas e as outras propriedades mecânicas

analisadas o tratamento T1-M se mostrou com a vantagem por atender todos os requisitos do documento normativo EN300:2002 e possuir a quantidade de resina ideal para produção dos painéis OSB de madeira Balsa residual uma vez que possui melhor compactação das partículas.

5.4. Propriedades mecânicas dos painéis OSB de madeira Balsa residual submetidos ao envelhecimento acelerado e natural

A Tabela 10 apresenta valores médios e os respectivos coeficientes de variação (CV) das propriedades mecânicas dos painéis OSB envelhecidos de forma natural e acelerada, obtidas a partir de 8 repetições para cada tratamento, sendo os valores dessas propriedades comparados com as recomendações do documento normativo europeu EN 300:2002 para painéis OSB tipo 1 (uso em mobiliário e interiores - ambiente seco).

Tabela 10 - Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis envelhecidos de forma acelerada e natural

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Long.	Trans.	Long.	Trans.
TR	27,89 ^a	20,16 ^a	3423 ^a	1750 ^a
(CV)	30,29	10,57	35,92	20,66
TR-A	27,21 ^a	16,49 ^a	3664 ^a	1168 ^a
(CV)	18,65	27,96	11,36	27,88
TC-A	28,34 ^a	17,13 ^a	3899 ^a	1300 ^a
(CV)	9,33	12,89	9,16	19,48
TPU-A	32,73 ^a	15,53 ^a	4185 ^a	1366 ^a
(CV)	24,73	15,16	38,12	22,43
TR-N	22,62 ^a	14,73 ^a	2158 ^b	968 ^b
(CV)	23,26	24,89	28,86	28,36
TC-N	25,03 ^a	11,07 ^a	2692 ^b	942 ^b
(CV)	26,99	4,50	36,15	11,49
TPU-N	21,99 ^a	13,52 ^a	2245 ^b	1143 ^a
(CV)	25,42	23,56	22,50	38,09
EN 300:2002 Tipo 1	20	10	2500	1200

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Fonte: Próprio autor

Os tratamentos envelhecidos de forma acelerada (TR-A, TC-A e TPU-A) não apresentaram diferença estatística significativa ($p > 0,05$) para as propriedades mecânicas de MOR e MOE na direção longitudinal e transversal e todos atenderam as recomendações da norma EN 300:2002, painéis do Tipo 1, com exceção de TR-A para o

MOE sentido transversal, estando 4,75% abaixo da exigência mínima requerida pela norma, no entanto esse valor é estaticamente igual aos demais grupos que resultaram superiores a 1200 MPa.

Bueno (2015) analisou o efeito do envelhecimento natural e acelerado em chapas de partículas de fibra da casca do coco e resina PU-mamona. Para o ensaio de envelhecimento natural, os corpos de prova foram deixados por 6 meses em uma mesa inclinada a 30° para o norte. Para o ensaio de envelhecimento acelerado, foi adaptada a norma APA, para simular as condições de exposição desses painéis em ambientes internos, com alto teor de umidade e temperatura. O autor identificou que as condições de exposição tanto para envelhecimento natural quanto acelerado causaram degradações nas chapas influenciando diretamente nas propriedades mecânicas de MOR e MOE. Entretanto, o resultado também indica, similar ao apresentado na Tabela 10, que as condições de exposição do ensaio de envelhecimento acelerado foram menos severas que as do envelhecimento natural.

Ao analisar os tratamentos envelhecidos de forma natural, na propriedade mecânica de MOE, no sentido longitudinal, foi possível observar que nos tratamentos TR-N e TC-N não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$), o mesmo ocorreu nos tratamentos TR-N e TPU-N. Porém, TC-N e TPU-N diferem estatisticamente ($p < 0,05$) para essa propriedade mecânica. Os tratamentos TR-N e TC-N não apresentaram diferença estatística significativa ($p > 0,05$), porém apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre TR-N e TC-N, e TC-N para TPU-N no MOE direção transversal. Tanto na direção transversal quanto na longitudinal para o MOR, observou-se que os tratamentos para envelhecimento acelerado não apresentaram diferença estatística significativa (pelo compartilhamento α) entre si ($p > 0,05$). Porém, ao comparar os três tratamentos envelhecidos de forma natural foi observado que nenhum atendeu a todas as exigências mínimas da norma EN 300:2002. Sendo, os valores dos tratamentos referência e revestido com PU-Mamona (TR-N e TPU-N) para o MOE na direção longitudinal e os tratamentos referência, revestido com cera de abelha e PU-Mamona (TR-N, TC-N e TPU-N) para o MOE na direção transversal que não atingiram os valores mínimos recomendados pela norma EN 300:2002.

Em sua pesquisa, Sartori (2012) estudou o efeito do envelhecimento natural em chapas de partículas de bagaço de alta densidade sem e com revestimento de resina PU de mamona. Os corpos de prova foram deixados por 6 meses em uma mesa inclinada a 45° para o norte. O autor identificou uma redução nos valores das propriedades

mecânicas (MOR e MOE), no entanto, afirma que a resina PU-mamona foi eficiente como impermeabilizante apresentando potencial similar ao encontrado no TPU-N com valores de 2021 MPa para MOE e 25,06 MPa de MOR, caracterizando como OSB tipo 1, de acordo com as recomendações da EN 300:2002.

A Figura 18 apresenta os corpos de prova resultantes do ensaio de envelhecimento acelerado e natural. Visualmente, é possível detectar alterações na coloração apresentada pelas amostras quando comparadas com TR.

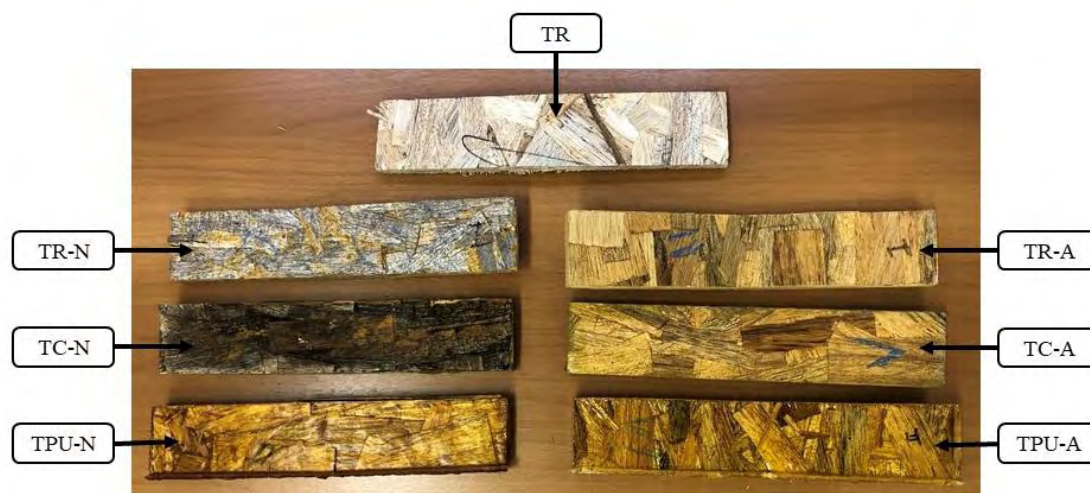


Figura 18 - corpos de prova resultantes do ensaio de envelhecimento acelerado e natural
Fonte: Próprio autor

Assim como constatado na Tabela 10, para as propriedades mecânicas das amostras após o envelhecimento natural e acelerado, os revestimentos superficiais a base de cera de abelha (TC) e resina PU-Mamona (TPU) forneceram benefícios ao material quando comparado com TR. Os tratamentos mesmo após serem submetidos ao envelhecimento acelerado revestidos com cera de abelha e PU-Mamona (TC-A e TPU-A) apresentaram desempenho superior ao exigido pelo documento normativo EN300:2002. Visualmente a alteração de cor do material submetido ao envelhecimento acelerado é mínima comparada a TR. Já, para os corpos de prova expostos ao envelhecimento natural, além de ser visualmente possível identificar uma grande alteração na coloração do material analisado, também foi registrado desempenho mecânico inferior aos outros tratamentos analisados.

Bertolini (2011) avaliou chapas de partículas à base de resíduos madeireiros e verificou visualmente que após ensaio de envelhecimento acelerado, os corpos de prova também apresentaram alteração de cor em relação às amostras iniciais, sem envelhecimento.

Embora os tratamentos apresentem algumas diferenças estatísticas significativas entre si, foi possível observar que todos os tratamentos apresentaram uma diminuição no MOE após os ensaios de envelhecimento, indicando perda da rigidez do material, ocasionada pela degradação da resina e, conseqüentemente, descolamento das partículas. Sendo apenas os painéis OSB otimizados de madeira Balsa residual, submetidos ao envelhecimento acelerado, revestidos com cera de abelha (TC-A) e resina PU-Mamona (TPU-A) atenderam as recomendações da norma EN 300:2002, painéis do Tipo 1, para as propriedades mecânicas.

De forma geral, ao comparar os 2 tipos de revestimentos (Cera de abelha e PU-Mamona), foi possível identificar que ambos os tratamentos apresentaram o mesmo efeito sobre os painéis OSB otimizados de madeira Balsa residual. Esse resultado é positivo do ponto de vista que a cera de abelha pode ser utilizado como uma alternativa natural para proteção do material. Além do mais, os painéis OSB de madeira Balsa residual, mesmo com tratamentos superficiais, não devem ser utilizados em condições de exposição de sol e chuva, como em ambientes externos pois os resultados do ensaio de envelhecimento natural sinalizam o efeito de degradação do material. Sendo assim, um possível destino na construção civil para os materiais desenvolvidos durante o estudo seria, por exemplo, um forro localizado abaixo da cobertura da instalação ou até mesmo utilizá-los para vedações internas de um imóvel.

5.5. Propriedades colorimétricas após envelhecimento natural e acelerado

A Tabela 11 apresenta os valores médios para os parâmetros colorimétricos (L^* , a^* e b^*) das faces expostas, que permaneceram voltadas para cima sem revestimento, revestidas com cera de abelha e resina PU-Mamona durante o ensaio de envelhecimento natural e acelerado, além de uma referência não submetida ao ensaio de envelhecimento. De forma geral, quando se avaliou os parâmetros colorimétricos das faces submetidas ao envelhecimento acelerado ao tratamento referência (TR), são observados valores muito próximos e uma característica semelhante no comportamento destes parâmetros, indicando uniformidade na característica de cor. Porém, após o período de exposição ao envelhecimento natural, este comportamento dos parâmetros colorimétricos foi alterado, tanto para o grupo referência quanto para os envelhecidos de forma acelerada.

Tabela 11 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos dos painéis envelhecidos de forma acelerada e natural

Tratamento	L*	a*	b*
TR	66,26 ^a	6,10 ^a	18,02 ^a
(CV)	2,57	9,16	2,37
TR-A	58,96 ^a	11,13 ^b	31,80 ^b
(CV)	2,64	12,61	4,58
TC-A	56,24 ^a	13,22 ^b	33,70 ^b
(CV)	2,62	8,07	5,74
TPU-A	51,87 ^a	13,41 ^b	42,35 ^b
(CV)	5,49	22,35	17,95
TR-N	55,45 ^a	4,93 ^a	15,84 ^a
(CV)	2,57	16,62	17,48
TC-N	33,95 ^b	6,89 ^a	15,49 ^a
(CV)	1,97	12,05	8,33
TPU-N	53,16 ^a	15,35 ^b	43,91 ^b
(CV)	6,26	8,04	8,23

L* variação de branco a cinza; a* variação do vermelho ao verde; b* variação amarelo ao azul

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente a 5% pelo Teste Tukey

Fonte: Próprio autor

A Figura 19 apresenta os valores médios do parâmetro colorimétrico de luminosidade (L*) dos tratamentos submetidos ao envelhecimento acelerado (TR-A, TC-A e TPU-A) e ao envelhecimento natural (TR-N, TC-N e TPU-N). A linha vermelha refere-se ao tratamento referência (TR) que possui coloração original da madeira pois não foi submetido ao envelhecimento, ou seja, não sofreu ação de degradação.

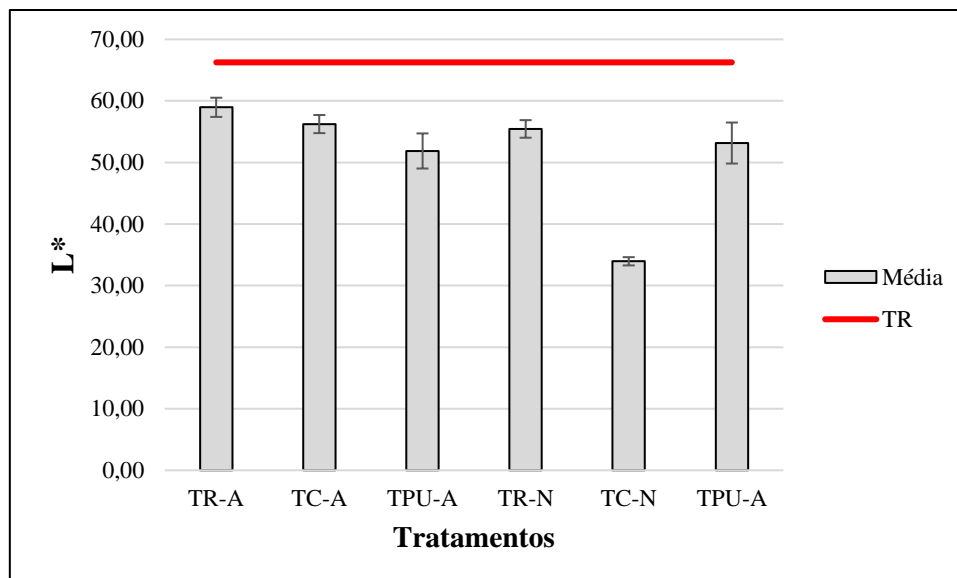


Figura 19 - Valores médios do parâmetro colorimétrico de luminosidade (L^*)
Fonte: Próprio autor

Ao avaliar o comportamento do parâmetro luminosidade (L^*) para cada tratamento, após o teste de envelhecimento natural e acelerado, nota-se uma diminuição deste parâmetro com relação ao tratamento TR. Essa diminuição foi mais acentuada para o tratamento TC-N, correspondendo a uma queda de 51,24% na luminosidade para a face exposta, sendo ainda mais evidente pelo fato de apresentar diferença estatística significativa entre TR e TC-N (devido aos resultados compartilhados pelas letras a e b). Entretanto, os outros tratamentos envelhecidos de forma natural (TR-N e TPU-N) e acelerado (TR-A, TC-A e TPU-A) não apresentaram diferença estatística significativa com o tratamento TR (pelo compartilhamento a) e entre si ($p > 0,05$).

A Figura 20 apresenta os valores médios do parâmetro matiz do eixo vermelho-verde (a^*) dos tratamentos submetidos ao envelhecimento acelerado (TR-A, TC-A e TPU-A) e ao envelhecimento natural (TR-N, TC-N e TPU-N). Assim como na figura 20, a linha vermelha refere-se ao tratamento referência (TR).

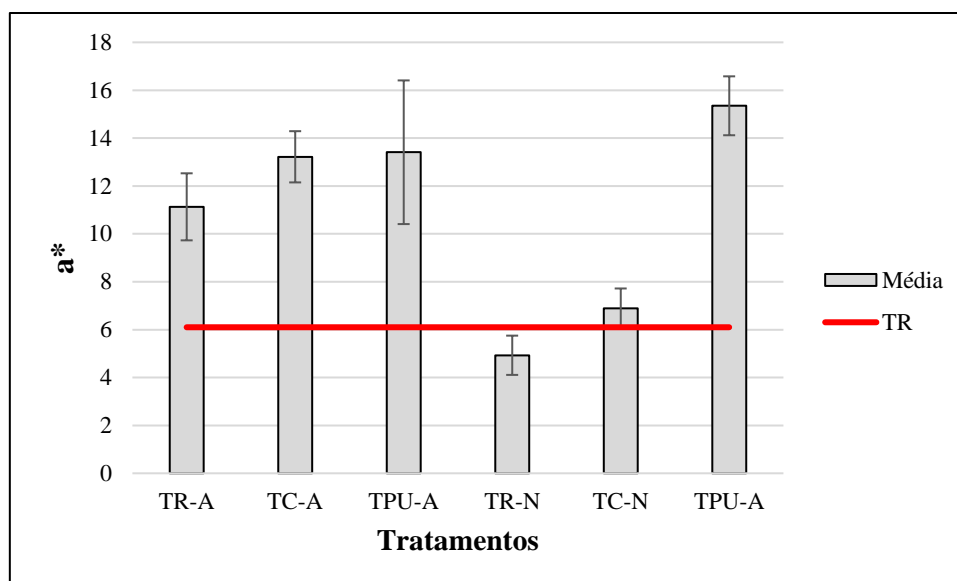


Figura 20 - Valores médios do parâmetro matiz do eixo vermelho-verde (a^*)
Fonte: Próprio autor

Com relação ao parâmetro matiz do eixo vermelho-verde (a^*) foi observado, após o ensaio de envelhecimento acelerado, que os tratamentos TR-A, TC-A e TPU-A tiveram um aumento de aproximadamente 50% comparado a TR. Esse resultado significativo é ainda mais justificado pela diferença estatística apresentada pelos tratamentos envelhecidos de forma acelerada (TR-A, TC-A e TPU-A) comparada com TR (pelo compartilhamento b e a). Entretanto, os ensaios de envelhecimento acelerado não apresentaram diferença estatística entre si ($p > 0,05$). Já os tratamentos envelhecidos de forma natural (TR-N, TC-N e TPU-N) não apresentaram diferença estatística significativa comparada com TR (pelo compartilhamento a) e entre si ($p > 0,05$).

A Figura 21 apresenta os valores médios do parâmetro matiz do eixo amarelo-azul (b^*) dos tratamentos submetidos ao envelhecimento acelerado e ao envelhecimento natural. A linha de tendência refere-se ao tratamento referência (TR) que não sofreu ação de degradação.

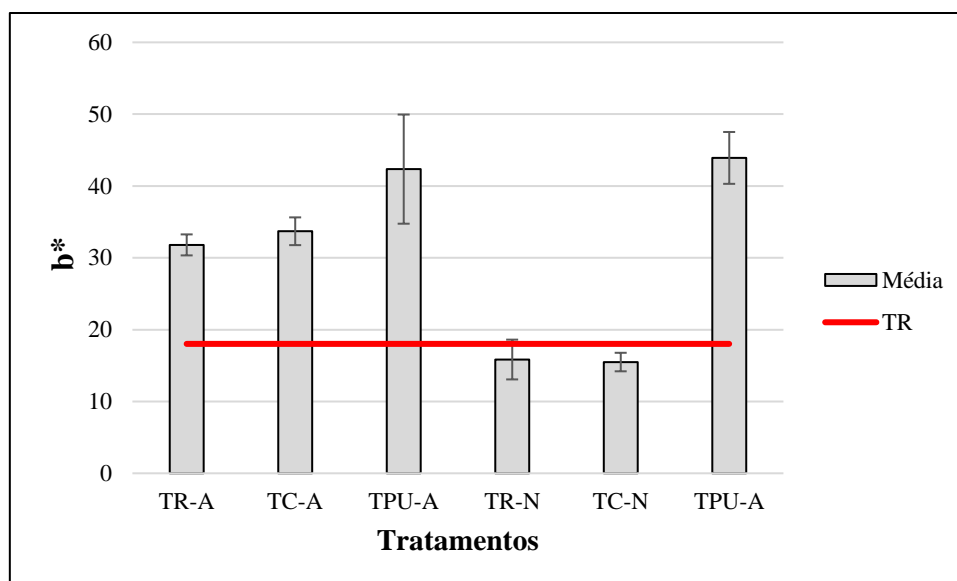


Figura 21 - Valores médios do parâmetro matiz do eixo amarelo-azul (b*)
Fonte: Próprio autor

O parâmetro matiz do eixo amarelo-azul (b*) demonstrou diferente comportamento entre os corpos de prova após ensaio de envelhecimento natural e acelerado. Os tratamentos TR-A e TC-A apresentaram um aumento no nível de amarelo de aproximadamente 80% comparado com TR. Os tratamentos TPU-A e TPU-N obtiveram um aumento no nível de amarelo de aproximadamente 140% comparado com TR. Já os tratamentos TR-N e TC-N não apresentaram diferença estatística significativa em relação a TR (pelo compartilhamento a) e entre si ($p > 0,05$). Os tratamentos TR-A e TC-A não apresentaram diferença estatística significativa entre si (pelo compartilhamento b) porém apresentaram diferença estatística significativa comparados a TR (pelo compartilhamento b e a). O mesmo ocorre com os TPU-A e TPU-N, onde não apresentaram diferença estatística significativa entre si (pelo compartilhamento c) e apresentaram diferença estatística significativa comparados a TR (pelo compartilhamento c e a).

De maneira geral, tanto as amostras revestidas quanto as sem revestimento envelhecidas de forma natural e acelerada sofreram alteração nos parâmetros de cor, refletindo na redução da luminosidade (L) e no aumento dos parâmetros do matiz (*a, *b), com destaque no maior acréscimo para o matiz amarelo (+b). Entretanto, a mudança de cor dos corpos de prova, como visto na Figura 18, submetidos ao envelhecimento natural, ou seja, o material exposto diretamente à radiação solar e a chuva direta a degradação foi mais acentuada, apresentando alterações nos parâmetros

colorimétricos evidentes quando comparado com a porção submetida ao envelhecimento acelerado.

6. CONCLUSÃO

Pelos resultados das propriedades físicas, químicas e anatômicas, o resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*) apresenta potencial para fabricação de painéis de partículas.

Os painéis OSB produzidos com densidade de 650 kg/m³ e 13% de resina PU de mamona e FF apresentaram propriedades físicas e mecânicas que atendem as exigências da norma EN 300:2002 para placas OSB do tipo 1 sendo recomendados para ambientes internos ou para produção de mobiliário. Entretanto, a partir do MEV dos painéis ficou evidente que pela melhor compactação das partículas, o tratamento com 13% de resina PU-Mamona possui quantidade de resina ideal para produção dos painéis OSB de madeira Balsa residual.

Os resultados apresentados com resina UF, bem abaixo das exigências da norma EN 300:2002 para placas OSB do tipo 1, podem ser explicados pela não utilização de emulsão de parafina.

Os ensaios de envelhecimento natural e acelerado provocaram degradação nos painéis OSB de madeira Balsa residual e indicaram que as condições de exposição (temperatura, umidade, radiação UVA) provocam perda de massa, degradação da resina e descolamento das partículas, refletindo diretamente nas propriedades mecânicas dos painéis OSB.

Ao comparar os 2 tipos de revestimentos (Cera de abelha e PU-Mamona), foi possível identificar que ambos os tratamentos apresentaram o mesmo efeito positivo sobre os painéis OSB otimizados de madeira Balsa residual sendo superiores aos tratamentos sem revestimento (Referência). Esse resultado é positivo do ponto de vista que a cera de abelha pode ser utilizada como uma alternativa natural para proteção do material.

Os painéis OSB de madeira Balsa residual, mesmo com tratamentos superficiais, não devem ser utilizados em condições de exposição de sol e chuva, como em ambientes externos pois os resultados do ensaio de envelhecimento natural sinalizam o efeito de degradação do material.

A degradação do ensaio de envelhecimento natural é ainda mais evidente com os resultados dos parâmetros colorimétricos (L*, a* e b*) pois os corpos de prova expostos diretamente à radiação solar e a chuva apresentaram alterações mais significativas quando comparado com a porção submetida ao envelhecimento acelerado.

REFERÊNCIAS

ABPM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVAÇÃO DA MADEIRA. Setor elétrico: cruzeta roliça de madeira tratada já tem norma técnica. 2014. Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/noticia/setoreletrico-cruzeta-rolica-de-madeira-tratada-ja-tem-norma-tecnica>> Acesso em: 20 mai. 2018.

ABRAMENTO, M. Durabilidade e comportamento de longo prazo de geossintéticos - Parte 11 - Durabilidade dos Materiais, São Paulo. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS, 2., 1995, São Paulo. Anais. São Paulo, 1995b. p. 227-235.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1435 - **Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics**, Philadelphia, 5 p. 2005.

APA – The Engineered Wood Association (1994): APA PRP 108. The Association, Tacoma, WA.

ARAÚJO, L. C. R. Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos. 1992. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química e Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (ABNT). NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira – Métodos de ensaio para determinação de propriedades das madeiras para o projeto de estruturas – Valores médios usuais de resistência e rigidez de algumas madeiras nativas e de florestamento. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ATAYDE, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum* sp.). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 231-235, 2011.

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**. Springer Nature B.V. 2018. September 2018.

BARBOSA, J. C. et al. Medium Density Particleboard Reinforced With Bamboo Laminas. **BioResources**, v. 10, p. 330-335, 2015.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais – Processos de Fabricação, Departamento de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto, p. 99. 2009.

BRAZOLIN S. **Biodeterioração e preservação de madeira.** In: Oliveira JTS, Fiedler NC, Nogueira M, editores. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora; 2007.

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.** 126f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de Pinus spp. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 35-41, 2006.

BORREGA, M., AHVENAINEN, P., GIBSON, L. Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood. **Mechanics of Materials.** v. 84, p. 75-90. 2015.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. **Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis compensados e OSB.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 28, n. 4, p. 557-564, 2004.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I – densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.14, p.9-20, 1977a.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliotti Engelm. Var. elliotti plantado no sul do Brasil.** 1995. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUENO, S. B. **Chapas de partículas multicamadas com resíduos lignocelulósicos e resina PU de mamona.** 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

BUFALINO, L. et al. Alternative compositions of oriented strand boards (OSB) made with commercial woods produced in Brazil. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 17, n. 1, p. 105-116, 2015.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal*, Ano XX, n. 71, p. 30-41, 2001.

CAMPOS, A. C. M. et al. Near infrared spectroscopy to evaluate composition of agro-based particleboards. *Bioresources*, Raleigh USA, v. 4, p. 1058-1069, jun. 2009.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo ureia-formaldeído e de taninos da casaca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F.Muell. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. Tese (Doutorado) – Curso em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Botucatu. 2004.

CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, S. A. M.; BARBOSA, J. C.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; PANZERA, T. H.; ROCCO LAHR, F. A. Produção de chapas de partículas com resíduos da madeira *Cordia goeldiana*. **Engenharia Agrícola** (Online), v. 35, p. 368-377, 2015.

CLOUTIER, A. **Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses**. INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte, MG. p. 173-185.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA. Mercado e oportunidades da biomassa florestal no Brasil. Disponível em:<http://www.stcp.com.br/wpcontent/uploads/2018/09/CIBIO_2018_Mercado_Biomassa_Florestal_FINAL.pdf>. Acesso em: 05 outubro. 2018.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D.; MARMOL, G.; BALIEIRO, J. C. C.; MACHADO, G. O.; FIORELLI, J. Manufacture of particleboard based on cement bag and castor oil polyurethane resin. **Construction & Building Materials**, v. 87, p. 8-15, 2015.

DANIELS, Paul L. – **Working with Balsawood – The definitive guide to using Balsa**. 2017. Disponível em: <<http://pldaniels.com/flying/balsa/balsa-properties.html>> Acesso em: 13/09/2017.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. Cap. 3.

DA SILVA, A.; KYRIAKIDES, S. Compressive response and failure of balsa wood. **International Journal of Solids and Structures**, Kidlington, v. 44, p. 8685-8717, 2007.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. Tese (Doutorado) - Curso de Física e Química, Departamento de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 151. 2005.

DROCHYTKA, R; PETRÁNEK, V. Environmental deterioration of materials. Editor. A. Moncmanová. Chapter 8. Environmental deterioration of building material. Slovak Technical University, Slovakia. ISSN:1368-1435. p. 312. 2007.

EASTERLING, K. E. et al. On the mechanics of balsa and other woods. Proceedings of **The Royal Society A**, London, v. 383, p. 31-41, 1982.

ELEOTÉRIO, J. R. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, p. 121. 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 300**: Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) – Definições, classificação e especificações. Portugal, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 310:** Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.[S.l.]: [s.n.], 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 317:** Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water.[S.l.]: [s.n.], 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN 319:** Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. [S.l.]: [s.n.], 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard - EN323:** Wood-based: determination of density. Bruxelas, 1993.

FELTON, C.; DEGROOT, R. C. Fiberboard: An option for recycling wood treated with waterborne preservatives. **Global Resource Technologies.** Madison – USA, 1996.

FENGEL, D. e WEGENER, G. In: Wood Chemistry, Ultra Structure- Reactions, Walterde Gruyter, 1984, Berlin.

FERNÁNDEZ, M. A. V. Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu - Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ-USP. Piracicaba, p. 90. 2010.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona:viabilidade técnica de produção.**EESC - USP. [S.l.]. 2013.

FERRO, F. S. ET AL. **Influence of preservative type in mechanical properties of OSB panels.**EESC - USP. 2014.

FERRO, F. S. et al. Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.

FINGER, Z.; LOGSDON, N. B.; ROCHA, K. J. **Descrição dendrológica e caracterização física da madeira de Pau-de-balsa, Ochroma pyramidale (Cav. ex**

Lam) Urb. Encontro Brasileiro Em Madeiras E Estruturas De Madeira. 2012. Vitória. Anais. UFES, 2012. CD-ROM 1.

FIORELLI, J. et al. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, p. 3269-3277, 2014.

FRONTINO, P. E.; SERPA, L. **Verniz orgânico à base de própolis.** Feira de iniciação científica e de Extensão do Instituto Federal Catarinense (V FICE). Camboriú. Setembro 2014.

GARAY R. M. **Efectos de dos Protectores Superficiales en las Propiedades de Tableros de Madera después de un Año de Exposición a la Intemperie.** Información Tecnológica. Vol. 20(4), p.123-130. 2009.

GARZÓN, N. et al. Durability evaluation of agroindustrial waste based particle boards using accelerated aging cycling tests. *Key Engineering Materials*, Pfaffikon, v. 517, p. 628-634, 2012.

GARZÓN, N. et al. Application of Methodologies for Durability Evaluation of Sugar Cane Bagasse Particle Boards, 2013. In. INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 14. João Pessoa, 2013. Anais.

GIBSON, L. J.; ASHBY, M. F. Cellular solids: structure and properties. Cambridge: University Press, 1997.

GLASS, S. V.; KOCHKIN V.; DRUMHELLER, S. C.; BARTA L. Moisture performance of energy-efficient and conventional wood-frame wall assemblies in a mixed-humid climate. **Buildings**. v.5, n.3, pg. 759-782, 2015.

HASELIEN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas de madeira aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex - Maiden) e embaúba (*Cecropiasp.*).** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 75. 1989.

HELLMEISTER, J. C. Sobre a determinação das características físicas da madeira. 1982. 119 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

HELLMEISTER, V. Painel OSB de resíduo de madeira Balsa (*Ochroma Pyramidale*). Pirassununga: Universidade de São Paulo, 2017. Tese (Doutorado) - Faculdade De Zootecnia E Engenharia De Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliotii* var. *elliotii* e *P. taeda*. IPEF, Monte Alegre, n. 7, p. 79-91, 1973.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 96. 2000.

IRLE, M. A. et al. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites.**Boca Raton: CRC Press, 2012.

IWAKIRI, S. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S. et al. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, 2004.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba, PR: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S. et al. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, jan./mar. 2009.

JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented strandboard (OSB) as referred structural panel. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 169-172.

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

JIN, J. W. et al. Decay resistance of bamboo oriented strand board pretreated with copper-based preservatives. **Bioresources**, v. 11, n.1, pg. 1541-1553, 2016.

JOHNSTON, J. The physical testing of pressure-sensitive adhesive systems. In: Handbook of adhesive technology. Marcel Dekker Inc.; 2003.

KAMEDA, T. TAMADA, Y. International Journal of Biological Macromolecules, 44 ed. 2009, p. 64-69.

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.

KHODER, M. I. et al. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes. in: residential areas in Greater Cairo, J.E.M. 123p. Cairo: [s.n.]. 2000.

KNOELL, A. Physical and environmental effects on energy dissipating characteristics of balsa wood. **SAE Transactions**. v. 75, pg.135-&, 1967.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. Principles of wood science and technology. Berlin: Springer-Verlag, 1975. 703 p.

LAMPRECHT, H. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas: posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. [S.l.]: plantarum-Verlag, 1992.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. D.; ALENCAR, J. D. C. **Essências madeireiras da Amazônia.** Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia - Por Icones, Anatomy and morphology. Plant records., 1979. 245 p.

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

MATHEUS, E. Efeitos do envelhecimento acelerado e do dano mecânico induzido no desempenho e durabilidade de alguns geossintéticos. 2002. 324f. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

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

MEGATON, A. S. et al. Composição química da madeira de eucalipto. IN: REUNIÃO ANNUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Águas de Lindóia, 2006. 1 CD-ROM.

MELLO DA SILVA, S. A. Chapa de media densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona- caracterização por método destrutivo e por ultra som. 2003. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.; GUIMARÃES JR., J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MOSLEMI, A. A. Particleboard vol. 1: Materials. London: Southern Illinois University Press, v. 1, 1974. 244 p.

MOURA, M. J.; FIGUEIREDO, M. M. **Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de E. globulus**. LABGRAN. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química. Portugal. 2002.

MUTLU, H. A. M. M. A. R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *Euro J. Lipid Science Technologie*. 2010. ISSN doi:10.1002/ejlt.200900138.

NASCIMENTO, M. F. et al. **Painéis de Partículas Homogêneas Fabricados Com Resíduos Lignocelulósicos e Resina Alternativa Para Aplicação em Pisos**. Scientia Forestalis, v. 44, p. 1-8, 2016.

OKKONEN, E. A.; RIVER, B. H. Outdoor aging of wood-based panels and correlation with laboratory aging: Part 2. Forest Products Journal, Peachtree Corners, v. 46, p. 6874, 1996.

OLIVEIRA, C. **Mercado e potencial de biomassa para energia**. **Revista da Madeira**. Ed. 133 Disponível em:<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1631&subject=Biomassa&title=Mercado e potencial de biomassa para energia](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1631&subject=Biomassa&title=Mercado+e+potencial+de+biomassa+para+energia)>. Publicado em Dez 2012. Acesso em: 31 maio. 2017.

PACHECO, A. **Competição de pontes de madeira balsa**. 2013. Disponível em: <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~apacheco/balsa/midia/bau/PropriedadesBalsa.pdf>>. Acesso em: 23 dezembro 2018.

PETROVIC, Z. S. et al. Thermosetting resins from vegetable oils. In: Annual Thecnical Conference 57. New York: Proceedings... New York. 1999 1CD Rom.

PORTAL DA MADEIRA. **Uso de Madeira - Vantagens e desvantagens**. 2008. Disponível em: <<https://portaldamadeira.blogspot.com/2008/12/vantagens-e-desvantagens.html>>. Acesso em: 19 dezembro 2018.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALMAN, A. K. D. et al. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho: Embrapa, 2010.

SARTORI, D.L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Departamento de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SARTORI, D. L et al. Modular panel with wood and particleboards of sugarcane bagasse for cattle handling facilities. *Acta Scientiarum. Technology (Impresso)*, v. 37, p. 3, 2015.

SEDER-MT. **Diretrizes técnicas para o cultivo de pau de balsa no estado de Mato Grosso**. Cuiabá, MT: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Rural do Estado de Mato Grosso, 2011.

SEKINO, N.; SATO, H.; KOJI, A. Evaluation of particleboard deterioration under outdoor exposure using several different types of weathering intensity. *J Wood Sci* v. 60:p. 141–151. 2014.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2002.

SILVA, A. J. P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-deaçúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2006.

SILVA, M. R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de Eucalipto citriodora e Pinus taeda**. 2012. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2012.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paula, São Carlos, 2012.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis**. Piracicaba: [s.n.], 2012. 99 p. Dissertação de Mestrado.

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis**. Dissertação de Mestrado. UFV. Viçosa MG. 2013.

TEIXEIRA, J. G. **Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na biodeterioração da madeira de Pinus caribaea Morelet.** 2012. 48 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. **Influência do Intemperismo Acelerado nas Propriedades Colorimétricas da Madeira de Angelim Pedra.** *Nativa*, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB.** 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2008.

THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION – APA DI:1994. **Performance Standards and Policies for Structural – Use Panels.** Tacoma: 1994, 76p.

TSOUMIS, G. Veneer. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York, 1991. p. 309-339.

TULLOCH, A. P. *Chemistry and Physics of Lipids*, ed. 6 (1971), p. 235-265.

TULLOCH, A. P; HOFFMAN, L. L. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 49 (1972), p. 696-699.

VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, D. H.; SILVA, D. A. L.; PANZERA, T. H.; ROCCO LAHR, F. A. Evaluation of modulus of elasticity in static bending of particleboards manufactured with *Eucalyptus grandis* wood and oat hulls. **Acta Scientiarum.** *Technology (Impresso)*, v. 36, p. 405-411, 2014.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: **FOREST PRODUCTS LABORATORY.** - FPL-GTR, G. T. R. *Wood Handbook: Wood as an engineering material.* Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. Cap. chapter 9, p. 199-222., p. 113.

VILA ZEGARRA, B. E. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de Pinus taeda e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - ESALQ-USP. Piracicaba. 2011.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard.** 1973. 111p. (M.S.) – University of Wisconsin, Madison, 1973.

VURAL, M.; RAVICHANDRAN, G. Microstructural aspects and modeling of failure in naturally occurring porous composites. **Mechanics of Materials**, Amsterdam, v. 35, p. 523-536, 2003.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

YONG, C.; POPOWITZ, B.; GERTJEJANSSEN, R.; RITTER D. Paper birch as a core material for aspen oriented sttandboard and waferboard. **Forest Products Journal**. V. 42, n.1, pg. 21-24, 1992.

ANEXO 1 – TABELAS DA EN 300/2002

Tabela 12 - Painéis para usos gerais, incluindo mobiliário, interiores, utilizados em ambiente seco.

Placa tipo OSB/ 1	Norma e Unidade		Requisitos		
			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	20	18	16
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	10	9	8
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	2500	2500	2500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1200	1200	1200
Adesão interna	EN 319	MPa	0,30	0,28	0,26
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	25	25	25

Fonte: EN300/2002

Tabela 13 - Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 2	Norma e Unidade		Requisitos		
			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	22	20	18
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	11	10	9
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	3500	3500	3500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1400	1400	1400
Adesão interna	EN 319	MPa	0,34	0,32	0,30
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	20	20	20

Fonte: EN300/2002

Tabela 14 - Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 3	Norma e Unidade		Requisitos		
			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	22	20	18
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	11	10	09
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	3500	3500	3500
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1400	1400	1400
Adesão interna	EN 319	MPa	0,34	0,32	0,30
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	15	15	15

Fonte: EN300/2002

Tabela 15 - Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambiente úmido - requisitos para as propriedades mecânicas e de inchamento.

Placa tipo OSB/ 4	Norma e Unidade		Requisitos		
			Espessura do painel (mm).		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
MOR Direção longitudinal	EN 310	MPa	30	28	26
MOR Direção transversal	EN 310	MPa	16	15	14
MOE Direção longitudinal	EN 310	MPa	4800	4800	4800
MOE Direção transversal	EN 310	MPa	1900	1900	1900
Adesão interna	EN 319	MPa	0,50	0,45	0,40
Inchamento em espessura (24h)	EN 317	%	12	12	12

Fonte: EN300/2002

ANEXO 2 – TABELAS DA NBR7190/1997

Tabela 16 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento

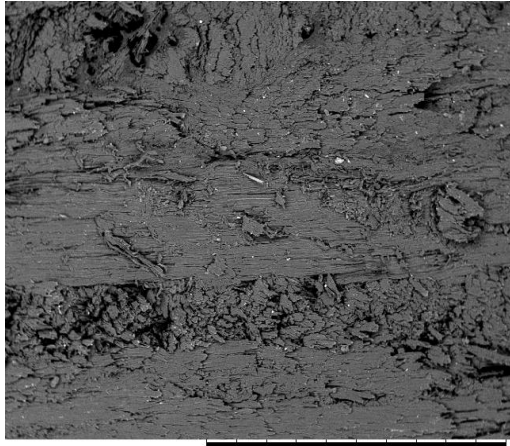
Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}^{1)}$ kg/m ³	$f_{co}^{2)}$ MPa	$f_{t0}^{3)}$ MPa	$f_{190}^{4)}$ MPa	$f_v^{5)}$ MPa	$E_{co}^{6)}$ MPa	$n^{7)}$ n
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea var. caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea var. bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea var. hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii var. elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

¹⁾ $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.
²⁾ f_{co} é a resistência à compressão paralela às fibras.
³⁾ f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.
⁴⁾ f_{190} é a resistência à tração normal às fibras.
⁵⁾ f_v é a resistência ao cisalhamento.
⁶⁾ E_{co} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.
⁷⁾ n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

NOTAS
1 Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$.
2 Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$.

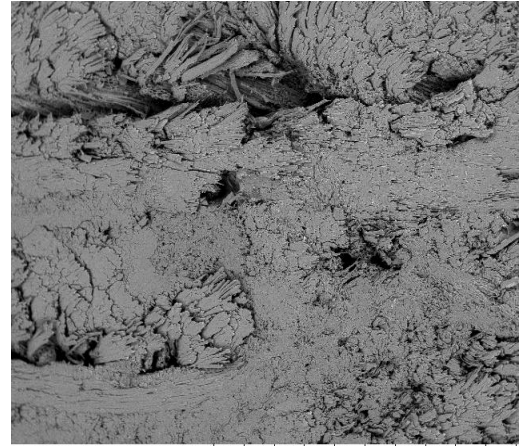
Fonte: NBR7190/1997

ANEXO 3 – CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DOS TRATAMENTOS NO ESTUDO PRELIMINAR



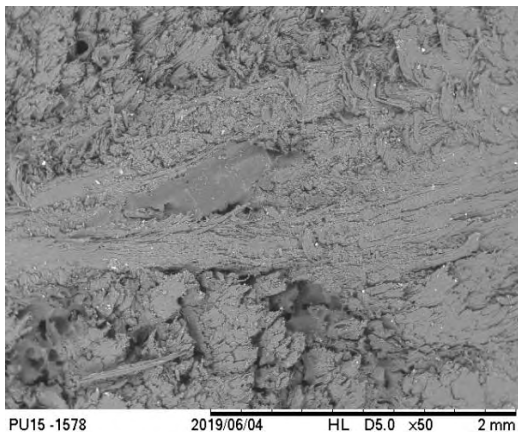
PU13 -1574 2019/06/04 HL D5.7 x50 2 mm

(a)



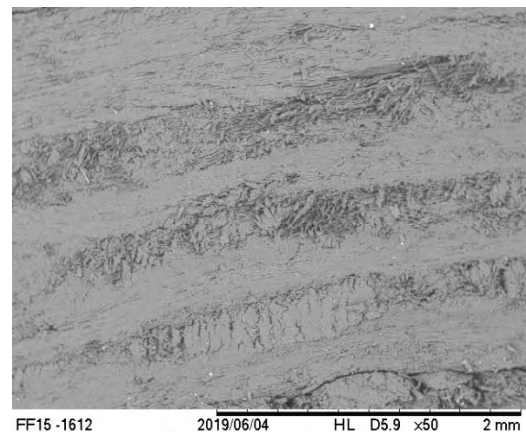
FF13 -1600 2019/06/04 HL D6.6 x50 2 mm

(b)



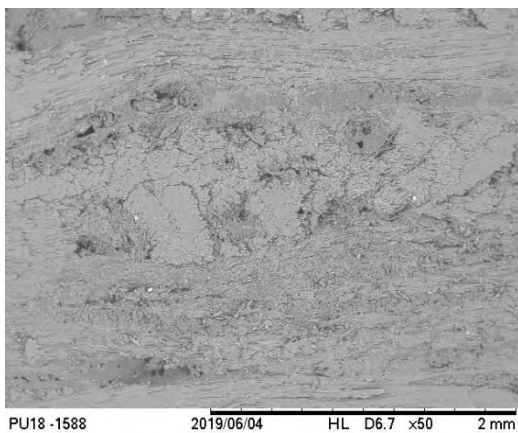
PU15 -1578 2019/06/04 HL D5.0 x50 2 mm

(c)



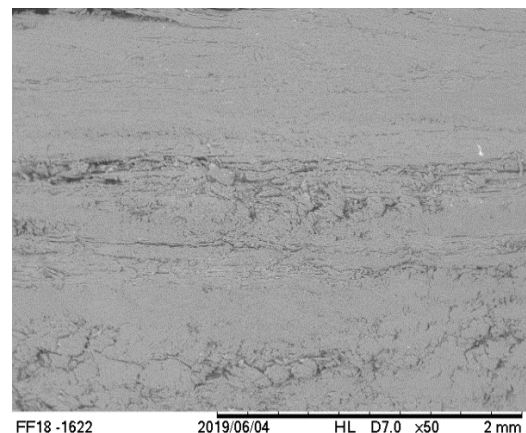
FF15 -1612 2019/06/04 HL D5.9 x50 2 mm

(d)



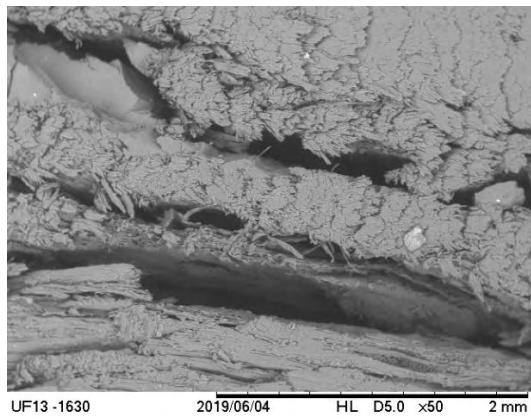
PU18 -1588 2019/06/04 HL D6.7 x50 2 mm

(e)

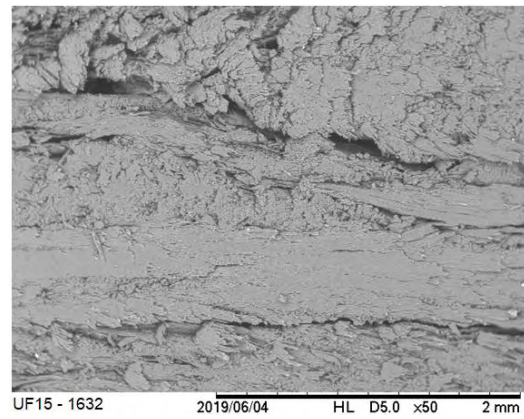


FF18 -1622 2019/06/04 HL D7.0 x50 2 mm

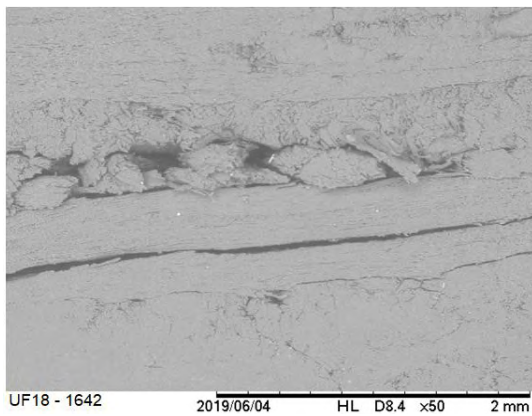
(f)



(g)



(h)



(i)

Figura 21 - Seção transversal do painel OSB. a) T1-M. b) T4-FF c) T2-M. d) T5-FF e) T3-M. f) T6-FF g) T7-UF. h) T8-UF i) T9-UF com aumento de 50x.

Fonte: Próprio autor.