Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com misturas de madeiras
amazônicas

Diego Lima Aguiar

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2020

Diego Lima Aguiar
Engenheiro Florestal

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com misturas de madeiras amazônicas
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Aguiar, Diego Lima

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com misturas de madeiras amazônicas / Diego Lima Aguiar. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

81 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Madeiras nativas 2. Partículas de madeiras 3. Misturas de madeiras
4. Perfil de densidade I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José e Elionete e ao meu irmão Bruno, pelo amor incondicional e por sempre
me apoiarem em minha caminhada,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade oferecida em realizar o presente trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao SI Group Crios Resinas S.A., pelo fornecimento do adesivo utilizado na manufatura dos painéis OSB.

Ao professor Geraldo Bortoletto Júnior, pela paciência na orientação, pelo apoio, compreensão e pelo conhecimento compartilhado.

Aos demais professores do Departamento de Ciências Florestais pelas contribuições em salas de aula ou em seus laboratórios.

À Giovana Monteiro (Gi) pelo carinho, amizade e apoio desde a minha chegada ao PPG em Recursos Florestais.

Agradeço aos técnicos de laboratório Alex Canale e ao Carlito (Biro) pela amizade e auxílio nas etapas experimentais do presente trabalho.

Ao técnico Amarildo pela colaboração na coleta das árvores de pinus na fazenda Areão.

Agradeço aos amigos que me acompanham e me incentivam desde a graduação, Victor Moutinho, Lucas Geovane, Lucas Sérgio e Juliano Rocha e que continuaram mesmo que de longe me dando apoio durante o mestrado.

Aos amigos de laboratório e da Pós-graduação em Recursos Florestais, Matheus Ejji, Diana Peña, Glaucia, Caio Faedo, Alessandra Batista, Alinne Santos, Regina Gomes, Rodrigo Costa, Débora Klingenberg e Gabriel Okabe.

Agradeço especialmente à Annie Lima, Luana Candaten, Elias Costa, Magda Santos, Aninha Garcêz, Luísa Gavaldon (Istrala) e Ana Claudia Batista, pelos incentivos, cafés compartilhados, conversas, convívio e amizade. Foram vocês que me deram forças nos momentos de desânimo e cansaço, e também comemoraram comigo as superações, bem como as alegrias em todos os momentos. Vocês sem dúvidas foram a minha família em Piracicaba o que tornou a minha caminhada mais leve e agradeço de coração por isso.

Agradeço à República Rancho 73 e ao mascote da casa (Bigode), na pessoa da Istrala (Luísa), por todos os momentos de alegrias, nas confraternizações seja na ceia, churras de 10 anos e demais reuniões. Agradeço muito carinhosamente pela acolhida e por terem me permitido a amizade. Agradeço também aos amigos da República Covil na pessoa do Ferris (Pietro) que mesmo por pouco tempo me receberam muito bem e fizeram eu me sentir em casa. Que o lobo e a Deusa

Ceres continuem iluminando sempre vocês. À República Rancho 73 e à República Covil o meu muito obrigado. Vocês me mostraram a fraternidade que existe no ambiente de república da Gloriosa.

A todos os amigos que fiz na ESALQ/USP e em Piracicaba pela amizade e companheirismo nas refeições no Rucas, nos treinos de natação e nas confraternizações. Vocês também fizeram parte dessa caminhada.

Enfim, agradeço a todos que participaram dessa caminhada e que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

*“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar.
É melhor tentar, ainda que em vão que sentar-se, fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias frios em casa me esconder.
Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade viver.”*

Martin Luther King

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. Características gerais das espécies utilizadas no presente estudo	19
3.1.1. <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.....	19
3.1.2. <i>Erisma uncinatum</i> Warm.....	19
3.1.3. <i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke.....	20
3.1.4. <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	20
3.1.5. Características gerais de <i>Pinus taeda</i> L.	21
3.2. Painéis de madeira	21
3.3. Painéis OSB.....	22
3.4. Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB	24
3.4.1. Fatores inerentes a madeira	24
3.4.1.1. Espécie, características anatômicas e densidade básica da madeira.....	24
3.4.1.2. Teor de umidade, extrativos e pH.....	25
3.4.2. Fatores Inerentes ao Processo.....	25
3.4.2.1. Densidade dos painéis e razão de compactação	25
3.4.2.2. Composição dos painéis, adesivo e parafina	26
3.4.2.3. Geometria e orientação das partículas e ciclo de prensagem	27
3.4.3. Perfil de densidade.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1. Matéria-prima	29
4.2. Determinação da densidade básica da madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	29
4.3. Determinação da densidade básica das partículas de <i>Pinus taeda</i>	29
4.4. Determinação da densidade básica da mistura de madeiras para a manufatura dos painéis OSB	30
4.5. Produção e secagem das partículas.....	30

4.6. Determinação do teor de extrativos totais.....	34
4.7. Delineamento experimental	35
4.8. Produção dos painéis.....	35
4.8.1. Aplicação do adesivo e da parafina nas partículas de madeiras	35
4.8.2. Formação do colchão	36
4.8.3. Prensagem dos painéis	37
4.8.4. Obtenção de corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.....	39
4.8.5. Determinação da Razão de Compactação dos painéis	40
4.8.6. Caracterização dos perfis densitométricos dos painéis por meio de raios X	41
4.9. Análise estatística.....	42
4.10. Comparação com a norma EN 300	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. Densidade básica das madeiras e das misturas de madeiras	45
5.2. Extrativos totais das madeiras amazônicas	46
5.3. Razão de compactação dos painéis	47
5.4. Densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis OSB.....	48
5.5. Absorção de água	50
5.6. Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura	52
5.7. Módulo de Ruptura à flexão estática.....	55
5.8. Módulo de Elasticidade à flexão estática	57
5.9. Ligação Interna	59
5.10. Perfil de densidade	61
5.11. Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma EN 300 (2006)	65
6. CONCLUSÕES	67
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS	71
ANEXOS	79

RESUMO

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com misturas de madeiras amazônicas

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das espécies *Caryocar villosum* (CV), *Erisma uncinatum* (EU) e *Hymenolobium excelsum* (HE), nativas da Amazônia para a composição de painéis OSB. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm³, espessura nominal de 15,7mm e as proporções utilizadas para compor a face:miolo:face foram de 30:40:30 e 20:60:20. O adesivo utilizado foi o fenol-formaldeído, aplicado numa proporção de 6% de sólidos resinosos, baseada na massa de partículas secas à 0% de umidade. Emulsão de parafina foi aplicada sobre as partículas numa proporção de 1%, também, baseada na massa de partículas secas a 0% de umidade. Foram adotados 10 tratamentos sendo 4 deles utilizados como tratamento controle (T1 e T2 composto 100% por partículas de *Pinus taeda*, sendo o T1 na proporção de 30:40:30 e o T2 na proporção de 20:60:20; T3 e T4 composto 100% por partículas de *Pinus caribaea*, sendo o T3 na proporção de 30:40:30 e o T4 na proporção de 20:60:20); 4 tratamentos com *mix* em diferentes proporções de espécies (T5 composto por 50% de EU, 10 % de CV e 40% de *Pinus caribaea*; T6 composto por 40% de HE, 20% de CV e 40% de *Pinus caribaea*; T7 composto por 35% de HE, 25% de EU e 40% de *Pinus caribaea*; T8 composto por 20% de HE, 20% de EU, 20% de CV e 40% de *Pinus caribaea*), 1 tratamento composto apenas pelo *mix* das espécies amazônicas (T9 composto por 33% de HE, 33% de EU e 33% de CV) e, 1 tratamento com a mistura das espécies nas faces e pinus na camada central do painel (T10 composto por 40% de HE e 20% de CV nas faces e, 40% de *Pinus caribaea* no miolo do painel). Posteriormente, corpos-de-prova foram retirados para os ensaios físicos (absorção de água, taxa de não retorno em espessura e inchamento em espessura, conforme a norma BS EN 317-1993) e mecânicos (ligação interna e flexão estática, conforme as normas BS EN 319-1993 e EN DIN 310-1993), bem como para obtenção do perfil de densidade pela densitometria de raios-X. A norma utilizada como base a fim de verificar a resistência mecânica dos painéis produzidos no presente trabalho foi a EN 300 (2006). A partir dos resultados obtidos concluiu-se que: para a absorção em água após 2 horas de imersão, os tratamentos compostos pelas misturas de madeiras, apresentaram menores taxas de absorção de água quando comparados aos tratamentos controle; a mesma tendência de comportamento foi observada para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão; para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, somente o T6 atendeu os requisitos mínimos da norma para ser classificado como OSB/3 (painéis estruturais para uso em condições úmidas); para a taxa de não retorno em espessura os tratamentos T1, T6, T9 e T10, equivaleram-se estatisticamente entre si; para o MOR na direção paralela todos os tratamentos atingiram os valores mínimos requeridos pela EN 300 (2006) podendo ser classificados como do tipo OSB/1 - painéis não estruturais de uso geral e interior, OSB/2 - painéis estruturais para uso em condições secas, OSB/3 e OSB/4, enquanto que na direção perpendicular somente o T2, T4, T5, T6, T8 e T10 atingiram o valor mínimo para serem classificados do tipo OSB/4 (painéis estruturais de carregamento pesado para uso em condições úmidas); No MOE paralelo todos os tratamentos atingiram os valores mínimos estabelecidos para a classificação de OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4; No MOE perpendicular somente os tratamentos T2 e T4 atingiram os valores mínimos para serem classificados sendo do tipo OSB/4; Para a ligação interna o T6 diferiu-se estatisticamente do T2 e somente o T6 atingiu o valor mínimo para ser classificado como OSB/4; Para o perfil de densidade, viu-se que todos os tratamentos, embora em alguns de forma pouco pronunciada, apresentaram o padrão de perfil “M”.

Palavras-chave: Painéis de madeiras, Proporção de misturas, Espécies tropicais, Painéis multicamadas

ABSTRACT

Production of oriented strand board (OSB) with mixtures of Amazonian woods

The present work has as an objective to validate or potential of species *Caryocar villosum* (CV), *Erismia uncinatum* (EU) and *Hymenolobium excelsum* (HE), native to Amazônia for the composition of OSB painéis. You will painéis foram produced with a nominal density of 0.65 g / cm³, nominal thickness of 15.7mm and the proportions used for comparing face: miolo: face foram of 30:40:30 and 20:60:20. Or adhesive used as phenol-formaldehyde, applied with a proportion of 6% resinous solids, based on a mass of dry particles at 0% moisture. Paraffin emulsion was applied on particles with a proportion of 1%, also, based on the mass of dry particles at 0% humidity. Foram adotados 10 treatments being 4 of them used as control treatment (T1 and T2 100% composted by particles of *Pinus taeda*, sendo or T1 at a ratio of 30:40:30 and T2 at a ratio of 20:60:20; T3 and T4 compost 100% by particles of *Pinus caribaea*, sendo or T3 at a ratio of 30:40:30 and or T4 at a ratio of 20:60:20); 4 treatments with mix in different proportions of species (T5 composted by 50% of EU, 10% of CV and 40% of *Pinus caribaea*; T6 composted by 40% of HE, 20% of CV and 40% of *Pinus caribaea*; T7 composted by 35% of HE, 25% of EU and 40% of *Pinus caribaea*; T8 composted by 20% of HE, 20% of EU, 20% of CV and 40% of *Pinus caribaea*), 1 composted treatment only mixed hair of the species amazônicas (T9 composed by 33% of HE, 33% of EU and 33% of CV) and, 1 treatment with a mixture of species with faces and pinus in the central layer of the panel (T10 composed by 40% of HE and 20% of CV nas faces e, 40% of *Pinus caribaea* no miolo do painel). Subsequently, corpos-de-prova foram withdrawn for the physical tests (water absorption, taxa of no return in thickness and inchamento in thickness, according to BS EN 317-1993 standard) and mechanical (internal binding and static flexion, according to the standards BS EN 319-1993 and EN DIN 310-1993), as to obtain the density profile for X-ray densitometry. The standard used as a basis to verify the resistance of the panels produced in the present work was EN 300 (2006). From the results obtained it was concluded that: for the absorption in water after 2 hours of immersion, the treatments composed by the wood mixtures, presented lower water absorption rates when compared to the control treatments; the same behavior trend was observed for thick swelling after 2 hours of immersion; for thick swelling after 24 hours of water immersion, only T6 met the minimum requirements of the standard to be classified as OSB / 3 (structural panels for use in wet conditions); for the rate of non-return in thickness the treatments T1, T6, T9 and T10, were statistically equivalent among themselves; for MOR in the parallel direction, all treatments reached the minimum values required by EN 300 (2006) and can be classified as type OSB / 1 - non-structural panels for general and indoor use, OSB / 2 - structural panels for use in dry conditions, OSB / 3 and OSB / 4, while in the perpendicular direction only T2, T4, T5, T6, T8 and T10 reached the minimum value to be classified as type OSB / 4 (heavy load structural panels for use in wet conditions); In the parallel MOE, all treatments reached the minimum values established for the classification of OSB / 1, OSB / 2, OSB / 3 and OSB / 4; In the perpendicular MOE, only the T2 and T4 treatments reached the minimum values to be classified, being of the type OSB / 4; For the internal connection, T6 differed statistically from T2 and only T6 reached the minimum value to be classified as OSB / 4; For the density profile, it was seen that all treatments, although in some of them not very pronounced, presented the "M" profile pattern.

Keywords: Wood panels, Mixture ratio, Tropical species, Multilayer panels

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Autoclave utilizada para saturação das madeiras	31
Figura 2. Tanque de aquecimento	32
Figura 3. Geração das partículas	33
Figura 4. Secagem das partículas	34
Figura 5. Encoladeira utilizada na aspersão de adesivo e parafina sobre as partículas de madeiras	36
Figura 6. Formação do colchão.....	37
Figura 7. Prensagem dos painéis.....	38
Figura 8. Ciclo de prensagem	38
Figura 9. Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis.....	39
Figura 10. Ensaio físico-mecânico realizado	40
Figura 11. Obtenção dos perfis densitométricos dos painéis OSB	41
Figura 12. Perfil de densidade para cada tratamento	63
Figura 13. Perfil de densidade médio dos tratamentos	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos utilizados para a manufatura dos painéis OSB	35
Tabela 2. Dimensões e normas utilizadas nos ensaios de caracterização tecnológica	40
Tabela 3. Valores médios da densidade básica das madeiras e das misturas de madeiras	45
Tabela 4. Análise da composição química das partículas	46
Tabela 5. Valores das razões de compactação dos painéis OSB.	47
Tabela 6. Valores médios de densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis OSB.	48
Tabela 7. Valores médios de absorção de água após 02 (AA 2h) e 24 horas (AA 24h) de imersão dos painéis OSB.	50
Tabela 8. Valores médios de inchamento em espessura após imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB	52
Tabela 9. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) dos painéis OSB	55
Tabela 10. Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis OSB	58
Tabela 11. Valores médios de Ligação Interna	60
Tabela 12. Valores médios de massa específica.....	62

1. INTRODUÇÃO

Podem ser definidos como painéis de madeira os produtos que são compostos por elementos tais como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos por meio da redução da madeira sólida, que são incorporados através de ligação adesiva e consolidados através da aplicação de calor e pressão (IWAKIRI, 2005). A principal vantagem desse tipo de produto é a sua aplicação como substituto da madeira sólida em diferentes usos, como por exemplo, na fabricação de móveis, portas, pisos e rodapés (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

O *Oriented Strand Board* (OSB) é um painel formado por partículas (*strands*) de madeiras orientadas perpendicularmente em diversas camadas, empregado em móveis, utilizado também em painéis decorativos, em embalagens e na construção civil, onde concorre com os compensados na utilização em formas para concreto e tapumes (VIDAL; HORA, 2014) e a fabricação desse tipo de painel em escala industrial no Brasil teve seu início em 2002, no município de Ponta Grossa no estado do Paraná (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004).

No Brasil os painéis de OSB são produzidos exclusivamente com madeira de *Pinus* sp. (LP BRASIL, 2012), entretanto, estudos sobre a qualidade de painéis OSB fabricados a partir de materiais alternativos ao *Pinus*, tem se intensificado no Brasil, buscando diversificar as fontes de suprimento para a indústria. A exemplo disso alguns estudos já foram realizados como Surdi (2012) produzindo painéis do tipo OSB a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliotti* var. *elliotti* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; Ferro (2013) produzindo painéis com madeira de *Schizolobium amazonicum*; Gorski (2014) utilizando além da madeira de *Pinus* spp., a madeira de *Eucalyptus benthamii*.

Espécies amazônicas já foram pesquisadas na produção de painéis aglomerados ou particulados. Trianoski et al. (2011) utilizaram espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas; Longo (2014) analisou o potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados; Surdi (2019) utilizou o aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação.

Iwakiri et al. (2016) citam que o estudo de espécies pouco conhecidas visando a produção de painéis de madeira, bem como o aproveitamento de resíduos provenientes dos processamentos primário e secundário da madeira, podem dar subsídios para uma alternativa de instalação de fábricas de painéis na região amazônica o que diminuiria a importação de produtos da região Sul e Sudeste do Brasil a custos elevados.

Para que seja viável a utilização de espécies madeireiras que apresentam alta massa específica, como as espécies tropicais, Moslemi (1974) sugere que estas sejam misturadas a outras

espécies de baixa massa específica, de modo a aumentar a razão de compactação do colchão de partículas, favorecer o processo de colagem, bem como a formação do painel. A mistura de diferentes espécies na composição do painel torna-se importante, no sentido de ampliar a oferta de matéria-prima para estas indústrias que requerem grandes volumes de madeira (IWAKIRI et al., 2016).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de três espécies de madeiras amazônicas (*Caryocar villosum*, *Erismia uncinatum* e *Hymenolobium excelsum*), em diferentes proporções de mistura, para a produção de painéis OSB.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o potencial de três espécies amazônicas (*Caryocar villosum*, *Erismia uncinatum* e *Hymenolobium excelsum*) para a composição de painéis OSB.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- i. Produzir painéis OSB com e sem mistura de espécies;
- ii. Avaliar duas proporções de camadas dos painéis produzidos;
- iii. Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis;
- iv. Comparar os valores médios das propriedades dos painéis com os parâmetros estabelecidos pela norma EN 300 (2006).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características gerais das espécies utilizadas no presente estudo

3.1.1. *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers

Conhecido popularmente como Pequiá, Pequi, Pequi-roxo, Piqui, Piqui-rosa, Piquiá-bravo ou Piquiá-verdadeira, geralmente é encontrado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (ANDRADE; JANKOWSKY, 2015). Planta perenifólia, semidecídua, característica da mata alta de terra firme presente em toda a região Amazônica (LORENZI, 1992). A espécie tem como uma de suas características árvores emergentes e a sua importância se dá devido à qualidade da madeira, bem como à produção de frutos que servem de alimento tanto aos humanos quanto aos animais (MARTINS; GRIBEL, 2007).

A madeira dessa espécie é dura e forte, de coloração amarelada a acizentada, e é recomendada para construção de interiores e exteriores e também na fabricação de embarcações (PARROTA; FRANCIS; DE ALMEIDA, 1995).

Segundo Andrade (2015) a espécie de densidade básica de 0,73 g/cm³, apresenta cerne acizentado, sem alteração de cor por foto-oxidação, a madeira é sem brilho nas superfícies longitudinais, com cheiro imperceptível, dura ao corte transversal manual, a grã é entrecruzada ou revessa, textura média e figura presente causada pelo destaque de linhas vasculares.

3.1.2. *Erismia uncinatum* Warm

Erismia uncinatum Warm é uma espécie de porosidade difusa pertencente a família Vochysiaceae, conhecida popularmente como Cedrinho, Bruteiro, Cachimbo-de-jabuti, Cambará, Cambará-rosa, Cedrilho, Jaboti, Jaboti-da-terra-firme, Quaruba-vermelha, Quarubarana, Quarubatinga e Verga-de-jabuti tem como distribuição geográfica as regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste do Brasil e na Guiana (ZENID, 2009; ANDRADE; JANKOWSKY, 2015).

As árvores dessa espécie são grandes e alcançam a posição superior ou emergente no dossel de florestas primárias (PARROTA; FRANCIS; DE ALMEIDA, 1995). O cerne e alburno são distintos pela cor com o cerne castanho avermelhado, sem brilho, cheiro e gostos imperceptíveis, densidade baixa, grã direita a revessa, textura média a grossa (ZENID, 2009).

A madeira pode ser empregada na fabricação de cabos para utensílio de horta e jardim, embalagens leves como caixotaria em geral, caixotaria para gêneros alimentícios e caixão, além de

ser utilizado na fabricação de pequenos objetos (objeto de adorno, moldura e estojo), bem como em revestimentos em geral como forros (MELO; CAMARGOS, 2016).

3.1.3. *Hymenolobium excelsum* Ducke

Pertencente à família Fabaceae conhecido popularmente como Angelim, Angelim-comum, Angelim-rajado, Angelim-rajado-da-mata e Fava-folha-fina tem a Região Norte do Brasil como distribuição geográfica e à Amazônia como domínio fitogeográfico (ANDRADE; JANKOWSKY, 2015).

Essa espécie tem como característica possuir árvores de grande porte, 30-45 metros de altura, alcançando a posição de dossel superior ou emergente em florestas primárias, com base digitada ou presença de sapopemas de 70-250 cm do solo, além de apresentar a casca dura, de espessura média e coberta de lenticelas (PARROTA; FRANCIS; DE ALMEIDA, 1995; FERREIRA; HOPKINS; SECCO, 2004).

O cerne/alburno da madeira são distintos pela cor, onde o cerne apresenta-se rosado ou amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação e a madeira é sem brilho nas superfícies longitudinais com cheiro imperceptível, além de ser moderadamente dura ao corte transversal manual e a grã é entrecruzada ou revessa possuindo ainda textura grossa, com densidade básica de 0,73 g/cm³ (ANDRADE; JANKOWSKY, 2015).

A madeira é usualmente utilizada na construção de embarcações, guarda-sol, pequenos objetos a citar como exemplos brinquedos, cinzeiros, cabides, prendedores de roupas, bem como na utilização de revestimentos em geral e torneado (MELO; CAMARGOS, 2016).

3.1.4. *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Pinus caribaea é classificado no Brasil como um pinheiro tropical, possui três variedades (*caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*) e tem como origem a América Central, ocorrendo naturalmente no México, Cuba, Bahamas, Belize, Guatemala e Nicarágua além de estar presente também em algumas outras ilhas da região (FOELKEL; FOELKEL, 2008a).

As árvores de *Pinus* são amplamente comercializadas por suas madeiras e introduzidas intencionalmente em todo o mundo com a finalidade de estabelecer plantações florestais desde a segunda parte do século XIX (SANDOVAL; RODRIGUEZ, 2013).

As variedades de *Pinus caribaea* apresentam rápido crescimento na região tropical do Brasil e produzem madeira de boa qualidade, muito utilizadas no processamento mecânico, estão entre

as mais exploradas economicamente para produção de resina, além disso é uma espécie alternativa nas áreas mais quentes do país como por exemplo, as áreas do cerrado brasileiro (FRITZSONS et al., 2014).

O *Pinus caribaea* var. *caribaea* conhecido popularmente como pinho caribenho é uma espécie exótica, pouco exigente em fertilidade do solo, apresenta como uma de suas características o rápido crescimento (MORAES et al., 2008).

3.1.5. Características gerais de *Pinus taeda* L.

O *Pinus taeda* é a espécie florestal mais importante comercialmente no sul dos Estados Unidos, dominando cerca de 11,7 milhões de ha e a faixa nativa dessa espécie estende-se por 14 estados, do sul de Nova Jersey ao sul da Flórida central e do oeste ao leste do Texas incluindo ainda a Planície Atlântica, o Platô de Piemonte e as extremidades sul do Platô de Cumberland, a Borda das Terras Altas e as Províncias de Valley e Ridge das Montanhas Apalaches (BURNS; HONKALA, 1990).

No Brasil *Pinus taeda* é uma das árvores mais plantadas em reflorestamentos no Sul do país e o plantio com finalidades comerciais dessa espécie teve início no ano de 1948, pelo Serviço Florestal de São Paulo, que introduziu neste estado áreas experimentais de quatro espécies de “pinheiros amarelos do sul dos Estados Unidos - Southern Yellow Pines”, sendo eles: *P. palustris*, *P. echinata*, *P. elliottii* e *P. taeda* (FOELKEL; FOELKEL, 2008b).

A madeira de *P. taeda* no Brasil é destinada ao processamento mecânico na produção de peças serradas para estruturas, fabricação de móveis, embalagens, molduras, chapas de diversos tipos e, também, à fabricação de celulose e papel (SHIMIZU, 2008).

3.2. Painéis de madeira

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos que são compostos por elementos lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos por meio da redução da madeira sólida e que são reconstituídos por meio de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de madeiras apresentam certas vantagens em relação a madeira sólida, pois não se encontram restritos às dimensões dos fustes das árvores, podem agregar valor à materiais de baixa aceitação tais como resíduos de serrarias e desbastes, além de possibilitar a eliminação de defeitos que são provenientes da anatomia da madeira como os nós, medula e desvios da grã o que

confere ao produto final uma homogeneidade muito maior àquela encontrada na madeira serrada (MENDES, 2010).

De acordo com Nennwitz (2012) os inúmeros materiais derivados de madeira podem ser divididos em quatro grupos de acordo com a estrutura a citar: os materiais em camada que são os compensados prensados; materiais compostos que tem como características apresentarem miolo (compensado sarrafeado, compensado multi-sarrafeado); aglomerados e os materiais de fibra (placa de fibras porosas, placa de fibras de dureza média, placas de fibras duras e placas de fibras de média densidade).

Bowyer et al. (2007), classificam os painéis sendo de uso estrutural e não estrutural. Os autores mencionam que existem painéis estruturais à base de madeira sendo eles o painel compensado e o *oriented strand board* (OSB), enquanto que os painéis não estruturais incluem madeira compensada decorativa, painéis aglomerados, painéis de fibras e painéis aglomerados com cimento.

Nos últimos anos a produção e o consumo da indústria de painéis de madeira industrializada apresentaram o maior crescimento médio anual dentre os produtos florestais do Brasil (VALLE, 2018). Em 2018 o país ocupou a oitava colocação no ranking mundial dos produtores de painéis com uma produção de 8,2 milhões de m³ (IBÁ, 2019).

Sanqueta et al. (2020), ao analisarem dados da *Food and Agricultural Organization* (FAO) referentes a produção, importação, exportação e consumo aparente de painéis de madeira no Brasil entre 1961 e 2016 afirmaram que: a produção de painéis de madeiras nesse intervalo de tempo foi de 218 milhões de toneladas de painéis, dentre os quais 38% foi de compensados, 23% de painéis de partículas, 20% de MDF+HDF, 10% de chapas duras de fibras, 6% de partículas+OSB, 2% de OSB e 1% correspondem a outros tipos de painéis. Adicionalmente, os autores afirmam que historicamente o compensado foi o tipo de painel mais produzido no Brasil, entretanto, atualmente o MDF+HDF o superam (39%), assim como os painéis de partículas (29%). Os autores concluem ainda que os painéis de madeiras desempenham um papel de fundamental importância na indústria e que os produtos a base de partículas e fibras de madeiras estão ganhando espaço no mercado interno, enquanto que os painéis laminados ainda dominam as exportações.

3.3. Painéis OSB

O OSB (*Oriented Strand Board*) é um painel de partículas, desenvolvido nos Estados Unidos, na década de 70, formado por tiras de madeira denominadas de *strands*, orientadas perpendicularmente em camadas (geralmente de 3 ou 5 camadas), o que acaba conferindo ao painel uma maior resistência mecânica e rigidez e essas partículas de madeiras são consolidadas com

adesivos, calor e pressão e além disso, o Brasil conta com apenas uma fábrica produtora de OSB instalada no município de Ponta Grossa, no estado do Paraná (BERNARDI, 2003; BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004; IWAKIRI, 2005; MENDES, 2010).

Os painéis OSB são considerados como a segunda geração do painel estrutural conhecido como *waferboard* e a maior relação comprimento/largura das partículas *strands* em relação às *wafer*, bem como a sua orientação e composição em camadas cruzadas, conferem aos painéis OSB um melhor balanço da resistência mecânica e estabilidade dimensional nos dois sentidos axiais do painel (IWAKIRI, 2005). O OSB possui, ainda, características que são favoráveis à construção de móveis em substituição a madeira maciça, compensados e outros materiais e, além disso, pode ser revestido com lâminas de madeira e laminados plásticos, e ainda pode ser aplicado sobre esse tipo de painel diversos acabamentos, sejam eles tingidos ou incolores (BERNARDI, 2003).

Os principais usos destinados aos painéis OSB são: revestimento para telhados, paredes e pisos em construções residenciais, embalagens e engradados, paletes de armazenamento a seco, suportes de exibição, molduras para móveis, assentos e encostos de cadeiras, tampos de mesas industriais, painéis decorativos de parede, núcleo de pisos de madeira, tampos de mesas, caixotes e tanques, paredes de reboques de caminhões, casas de campo, persianas e cercas, estantes, redes de juntas em viga I, garagens e galpões para ferramentas (JANSSENS, 1998).

De acordo com Janssens (1998), existem algumas vantagens na utilização do OSB quando comparados com o painel compensado: (i) O OSB é um painel estrutural versátil e de qualidade que pode ser usado para muitas aplicações. Possui uma excelente relação força/peso, entretanto é fácil de manusear e instalar usando ferramentas de construção convencionais; (ii) não apresenta delaminação, espaços internos vazios ou buracos de nó: o processo de fabricação não permite a formação de espaços vazios ou buracos de nós. Modernas técnicas de prensagem e resina evitam as causas da delaminação. Além disso, os painéis devem atender a rigorosos testes de tração; (iii) O OSB é produzido a partir de espécies de árvores de pequeno diâmetro e crescimento rápido.

De acordo com Cloutier (1998), alguns parâmetros são controlados no processo de fabricação do OSB e o autor cita que alguns dos mais importantes são os seguintes: densidade do painel, geometria e orientação da partícula; teor de umidade do colchão; teor de resina; tempo de fechamento da prensa e tempo de permanência na prensa.

Um outro fator que confere resistência ao painel OSB é o tipo de adesivo utilizado na fabricação do mesmo. Bowyer et al. (2007), afirmam que tanto a resina fenólica quanto a resina a base de isocianato (MDI - di-isocianato de difenilmetano) são usadas na manufatura do OSB. Os autores mencionam ainda que as resinas Fenol Formaldeído (FF) e MDI formam ligações impermeáveis necessárias para o uso de compósitos estruturais de madeira.

3.4. Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB

As propriedades, bem como a qualidade dos painéis OSB podem ser influenciados por diversos fatores, dentre eles, os que são inerentes a madeira como espécie, características anatômicas, extrativos, pH, densidade; e os que são inerentes ao processo, como a densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, quantidade de parafina, adesivo, geometria das partículas, bem como o ciclo de prensagem (MALONEY, 1977; MENDES, 2001; SURDI, 2012).

3.4.1. Fatores inerentes a madeira

3.4.1.1. Espécie, características anatômicas e densidade básica da madeira

A espécie de madeira é um fator de fundamental importância no processo de produção de painéis aglomerados, sobretudo, a densidade da madeira, acidez, extrativos, bem como a presença de materiais estranhos (IWAKIRI, 2005).

Mendes et al. (2005) afirmam que a espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis onde interage com todas as demais variáveis no processo e determina o quão reduzido o painel pode ser em massa específica. Os mesmos autores informam ainda no mesmo trabalho que, em primeiro lugar, a espécie reflete no tipo de matéria-prima disponível e, além disso, controla o tipo de partícula que pode ser produzida. No Brasil, os painéis OSB começaram a ser manufaturados a partir de 2002 utilizando como fonte de matéria-prima madeiras de pinus (CABRAL et al., 2006). Entretanto, pesquisas realizadas por Iwakiri et al. (2008) e Gorski (2014) mostram que misturas entre espécies madeireiras também podem ser direcionadas para a fabricação de OSB. César (2011) afirma que o processo de colagem na fabricação de painéis é diretamente influenciado pelas variações anatômicas da madeira o que acaba interferindo na movimentação do adesivo.

Pecho et al. (2005) ao estudarem a influência da madeira juvenil de *Pinus radiata* sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis OSB notaram que de acordo com o aumento da porcentagem de madeira de lenho juvenil, ocorreu uma redução nos valores de ligação interna e um aumento significativo do inchamento em espessura dos painéis.

A densidade da madeira é de fundamental importância dentre as variáveis que estão relacionadas a espécie, pois é um dos componentes que compõem a razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada na manufatura do OSB (KELLY, 1977; MALONEY, 1993; SALDANHA, 2004). Preferencialmente são indicadas espécies

de baixa densidade, contudo, a mistura com espécies de alta densidade pode contribuir para a produção de painéis de densidade média (MALONEY, 1993).

Maloney (1993) afirma que as variações na densidade da madeira podem influenciar diretamente nas operações de processamento tais como: a geração de partículas, secagem, consumo de adesivo e prensagem dos painéis.

3.4.1.2. Teor de umidade, extrativos e pH

De acordo com Mendes (2010) durante o processo de produção dos painéis, a variação do teor de umidade da madeira pode acarretar alguns problemas operacionais em praticamente toda a etapa da manufatura.

Segundo Maloney (1993) altos teores de umidade acabam dificultando a colagem do adesivo, interferindo dessa forma, na quantidade de adesivo necessário para a produção dos painéis. Além disso, pode ocasionar a obstrução dos equipamentos, bem como elevar os custos da secagem. Entretanto, segundo o mesmo autor, madeiras com elevado teor de umidade possuem um melhor rendimento em partículas.

Espécies de madeira com baixo teor de extrativos são as preferíveis, pois as madeiras que possuem alto teor de extrativos são mais suscetíveis a gerar problemas, como por exemplo, interferir de forma negativa na cura da resina durante o ciclo de prensagem o que pode acarretar em uma menor eficiência de colagem entre as partículas de madeira (CLOUTIER, 1998). Além disso, os extrativos influenciam nas camadas superficiais da madeira o que retarda a taxa de evaporação, influenciando no aumento de tempo de prensagem (MENDES, 2001).

O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se na faixa de 3 a 6. O pH dos extrativos que estão presentes na madeira pode inibir as reações químicas de endurecimento do adesivo, prejudicando, dessa forma, o desenvolvimento de resistência, bem como a adequada coesão da linha de cola (IWAKIRI, 2005).

3.4.2. Fatores Inerentes ao Processo

3.4.2.1. Densidade dos painéis e razão de compactação

A massa específica dos painéis está relacionada à quantidade de partículas para uma dada dimensão do painel e tem influência significativa nas suas propriedades físico-mecânica (MALONEY, 1993; MENDES, 2010).

A densidade média final do painel de partículas depende não apenas da quantidade de material lenhoso no colchão, mas também das condições de processamento anteriores à operação de prensagem, como por exemplo a escolha da espécie, preparação e secagem das partículas, tipo de adesivo e outros aditivos (KELLY, 1977).

A razão de compactação dos painéis se dá pela relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira e exerce forte influência nas suas propriedades (MENDES, 2001). Maloney (1993) recomenda que a razão de compactação seja de no mínimo 1,3 para que assim ocorra a devida densificação e consolidação do painel.

Densidades baixas de madeiras proporcionam uma elevada razão de compactação e uma maior superfície de contato entre as partículas, quando comparados com madeiras de alta densidade. Dessa forma, o colchão produzido é mais uniforme apresentando uma capacidade maior em transmitir os esforços entre as partículas (GORSKI, 2014). Assim, as propriedades de flexão e ligação interna são mais elevadas para painéis produzidos a partir de madeiras de baixa densidade (SALDANHA, 2004). Contudo, tais painéis tem a tendência em apresentar maior inchamento em espessura o que acaba prejudicando a estabilidade do painel (IWAKIRI, 2005).

3.4.2.2. Composição dos painéis, adesivo e parafina

Painéis estruturais dispostos em camadas cruzadas apresentam uma melhor resistência mecânica e estabilidade dimensional nos sentidos perpendicular e paralelo (MENDES et al., 2003).

Com relação à proporção das partículas nas camadas externas e no miolo do painel, Cloutier (1998) afirma que a relação ideal (face/miolo) está na faixa de 40:60 a 60:40. Conforme o mesmo autor, estas proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas na fabricação de painéis OSB.

Iwakiri et al. (2003), afirmam que painéis produzidos na proporção de 20:60:20 em relação a face/miolo/face, apresentou um melhor balanço de resistência a flexão estática nos sentidos paralelos e perpendicular, quando comparado aos painéis de proporção 30:40:30.

O adesivo é o componente de maior custo na produção de painéis de madeira, portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada, em função das propriedades que são requeridas para a finalidade de uso a que se pretende destinar o produto (SURDI, 2012).

De acordo com Cloutier (1998), os adesivos dos tipos fenol-formaldeído (FF) e difenilmetano di-isocianato (MDI) são comumente utilizados na produção de painéis OSB, sobretudo pelo fato de conferirem ao produto uma alta resistência a umidade.

Spelter et al. (2006), citado por Mendes (2010), afirmam que a maioria das indústrias de OSB presentes na América do Norte, utilizam o adesivo FF, enquanto que o adesivo MDI é voltado para a utilização de painéis que exigem uma melhor qualidade. Segundo Iwakiri et al. (2003), a quantidade de resina fenol-formaldeído utilizada na manufatura de OSB varia de 3,0% a 6,0% com base no peso seco das partículas.

A adição de parafina tem a finalidade de proporcionar uma melhoria no painel acabado quanto a redução da absorção de água na forma líquida, bem como do inchamento em espessura, porém, o efeito da adição de parafina sobre a absorção de água é significativo somente durante um curto intervalo de tempo (MENDES et al., 2003).

Mendes (2001), ao analisar a influência das variáveis de produção nas propriedades de painéis OSB, notou que a adição de 1% de parafina acarretou aumento significativo do módulo de elasticidade (MOE) no sentido perpendicular, enquanto que no sentido paralelo o MOE não foi afetado, bem como não foram também o módulo de ruptura (paralelo e perpendicular) e a compressão paralela. Já para as propriedades ligação interna, absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura, houve reduções dos seus valores.

3.4.2.3. Geometria e orientação das partículas e ciclo de prensagem

Dentre as variáveis de processamento que afetam as propriedades dos painéis OSB, a geometria das partículas é uma das mais importantes. No processo de geração de partículas, os elementos dimensionais a serem controlados são o comprimento, a largura e a espessura (MENDES, 2010). A relação entre comprimento e a espessura das partículas é a chamada razão de esbeltez e está intimamente ligada ao consumo relativo de adesivos (IWAKIRI, 1989). Com o aumento da espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, ocorre o aumento da disponibilidade de resina por unidade de área superficial para um mesmo nível de teor de resina o que acaba resultando em maiores valores de ligação interna (MALONEY, 1993).

De acordo com Mendes (2010) os parâmetros do ciclo de prensagem podem ser divididos em: tempo de fechamento da prensa, temperatura, pressão de prensagem e tempo de prensagem.

Segundo Kelly (1977), o tempo de prensagem e a temperatura são os parâmetros mais importantes do ciclo de prensagem, os quais devem ser cuidadosamente controlados afim de garantir que a temperatura do centro do painel atinja o nível necessário para a cura da resina, sem que para isso uma temperatura elevada promova a degradação da superfície do painel. O mesmo autor afirma que a busca da redução do tempo de consolidação dos painéis, sem que ocorra o

prejuízo de suas propriedades, é de fundamental importância, porque implica em um maior volume de produção por unidade de tempo e menor consumo de energia.

3.4.3. Perfil de densidade

A densidade dos painéis de partículas produzidos por prensagem a quente não apresenta uniformidade na direção da sua espessura, e essa variação na densidade ao longo da espessura do painel é chamada de perfil de densidade (BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2007; SURDI et al., 2014).

Alguns fatores podem determinar o perfil de densidade dos painéis de partículas sendo eles: a geometria das partículas, a distribuição da umidade no colchão de partículas, o tempo de fechamento da prensa, a temperatura da prensa, a reatividade do adesivo, bem como a resistência das partículas de madeira à compressão (KELLY, 1977).

Wang et al. (2007) afirmam que, na indústria moveleira, a questão da distribuição não uniforme da densidade através da espessura pode limitar o uso de parafusos ou grampos que são utilizados como fixadores para a união de estruturas em móveis.

De acordo com Plath e Schnitzler (1974) citado por Parker et al. (1978), muitas propriedades do waferboard, como ligação interna e resistência à tração e módulo de elasticidade (MOE), estão relacionadas direta ou indiretamente à distribuição de densidade nos painéis e, para fins estruturais, percebe-se que o efeito da distribuição da densidade na resposta do painel às condições de exposição pode ser um dos fatores mais importantes que influenciam na aceitação desse material pelo mercado. Adicionalmente a isso, Linville (2000) menciona que além do MOE e a resistência à tração perpendicular, as propriedades influenciadas pela variação de densidade incluem: módulo de ruptura, resistência ao cisalhamento, aumento da espessura e absorção de água.

Conforme cita Chen et al (2010), medições destrutivas para avaliar o perfil de densidade são demoradas e a resolução espacial da densidade é muitas vezes limitada, pois torna-se impraticável cortar painéis em amostras muito pequenas e como alternativa ao método destrutivo, existem as medições não destrutivas usando densitometria baseada em radiação, como raios X ou raios- γ , onde geralmente são mais eficientes e precisas com uma alta resolução espacial. É possível encontrar na literatura alguns trabalhos já realizados por pesquisadores onde os mesmos utilizam a densitometria de raios X a fim de avaliarem as propriedades dos painéis por eles estudados (WANG; SALENIKOVICH; MOHAMMAD, 2007; CHEN et al., 2010; SURDI et al., 2014; GONÇALVES et al., 2018; VALLE, 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Matéria-prima

As madeiras de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.), angelim da mata (*Hymenolobium excelsum* Ducke) e pequia (*Caryocar viilosum* Aubl.), utilizadas neste estudo, foram oriundas de uma área de manejo florestal sustentável, pertencente ao Grupo Orsa Florestal, que está localizada no Vale do Jari, distrito de Monte Dourado no município de Almeirim (PA) e, esse material, já se encontrava disponível para estudo no Departamento de Ciências Florestais (LCF) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) em Piracicaba (SP).

Para a escolha das espécies foi considerada a densidade básica e o teor de extrativos, determinados nos trabalhos de Andrade e Jankowsky (2015) e Surdi (2015), respectivamente. Optou-se por selecionar madeiras de média densidade e menores teores de extrativos.

A madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* foi obtida a partir de cinco árvores da Fazenda Areão, pertencente ao LCF da ESALQ/USP.

As partículas de *Pinus taeda* L. já se encontravam armazenadas no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeiras (LLAPAM) da ESALQ/USP, provenientes de estudos anteriores.

4.2. Determinação da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

A determinação da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* foi obtida conforme é descrito no Anexo B da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), conforme a equação 1.

$$Db = \frac{\text{Massa Seca}}{\text{Volume Saturado}} \quad (1)$$

Onde:

Db é a densidade básica da madeira (g/cm³);

Massa Seca é a massa dos corpos de prova a 0% de umidade (g);

Volume Saturado é o volume dos corpos de prova saturados em água (cm³).

4.3. Determinação da densidade básica das partículas de *Pinus taeda*

A densidade básica das partículas de *Pinus taeda* (Equação 2) foi obtida a partir do método da balança hidrostática conforme Foekel et al (1971) e Balloni (2009), com adaptações. Os *strands*

foram inicialmente saturados em água, acondicionados em sacos de polietileno de malha para determinação do volume saturado para obtenção da massa úmida, posteriormente foram secos em estufa a temperatura de XXX e pesados para obtenção da massa seca.

$$Db = \frac{Ms}{Mu - Mi} \quad (2)$$

Onde:

Db é a densidade básica das partículas *strands* (g/cm³);

Ms é a massa seca (g);

Mi é a massa imersa saturada (g);

Mu é a massa úmida saturada (g)

4.4. Determinação da densidade básica da mistura de madeiras para a manufatura dos painéis OSB

A densidade básica das misturas das madeiras foi obtida de acordo com os procedimentos descritos no trabalho de Surdi (2012), conforme a equação 3.

$$Dbm = \frac{(Pma \times Dbma) + \dots + (Pma \times Dbma)}{100} \quad (3)$$

Onde:

Dbm é a densidade básica da mistura das madeiras (g/cm³);

Pma é a porcentagem de madeira na mistura;

Dbma é a densidade básica da madeira (g/cm³), determinada conforme a equação 1.

4.5. Produção e secagem das partículas

As madeiras amazônicas disponíveis sob a forma de tábuas foram convertidas em blocos com as seguintes dimensões: 90mm de largura e 25mm de espessura, que posteriormente corresponderam ao comprimento e largura das partículas, respectivamente. Por sua vez, os blocos foram acondicionados numa autoclave (Figura 1) para aplicação de vácuo e pressão até atingirem a completa saturação em água e desta forma facilitar a geração das partículas *strands*, uma vez que

as tábuas das madeiras se encontravam inicialmente secas ao ar livre, com o teor de umidade em torno de 12%.

Os ciclos de vácuo e pressão foram alternados de duas em duas horas e o tempo de permanência (em dias) na autoclave, foram diferentes para as três espécies, visto que as mesmas possuem densidades básicas distintas. O pequiá, angelim da mata e cedrinho levaram três, dois e um dia, respectivamente para apresentarem a completa saturação.

Figura 1. Autoclave utilizada para saturação das madeiras

Antes da geração das partículas foi realizada a imersão dos blocos em água quente a uma temperatura de 90 °C durante um tempo de 8h, empregando-se um tanque de aquecimento (Figura 2), instalado no LLAPAM, o qual é composto por um sistema de aquecimento, baseado em resistências elétricas com controle automático de temperatura. Essa metodologia foi adotada para evitar o retorcimento e quebra das partículas após a geração, bem como para manter sua espessura próxima a 0,65 mm.

Figura 2. Tanque de aquecimento

Finalizado esse procedimento as madeiras foram processadas em um gerador de partículas (Figura 3a) instalado no LLAPAM. Tal gerador é dotado de um disco contendo quatro facas que foram ajustadas para a obtenção de partículas numa espessura de 0,65 mm. Após o ajuste das facas do gerador, foram obtidas partículas com as seguintes dimensões (Figura 3b): 0,65 x 25 x 90 mm (espessura, largura e comprimento, respectivamente).

As madeiras de *Pinus caribaea* não necessitaram ser autoclavadas e nem aquecidas previamente, pois, encontravam-se saturadas, além de que mostraram facilidade para serem cortadas.

Figura 3. Geração das partículas. (a): gerador de partículas com um bloco a ser processado; (b): geração de partículas: 1-tábua; 2-bloco; 3-corte; 4-partícula gerada. Fonte da figura 2b: Mendes 2010.

Após a obtenção das partículas, as mesmas foram expostas sobre uma lona plástica (Figura 4a), onde foram revolvidas periodicamente, de modo que pudessem secar ao ar livre, até atingirem uma umidade de equilíbrio com o ambiente. Depois de secas ao ar livre, as partículas foram peneiradas (Figura 4b) em uma malha de 16x16 mm visando a retirada dos “finos”.

Após secagem ao ar livre, as partículas foram secas com o auxílio de uma estufa (Figura 4c) dotada de renovação e circulação de ar forçada a uma temperatura ajustada a 80 °C, onde as partículas ficaram armazenadas até atingirem um teor de umidade final entre 3 e 4%. Posteriormente, as partículas ficaram acondicionadas em sacos plásticos no LLAPAM até a manufatura dos painéis.

Figura 4. Secagem das partículas. (a): secagem das partículas ao ar livre; (b): processo de peneiramento para retirada de “finos”; (c): secagem das partículas em estufa com renovação e circulação de ar

4.6. Determinação do teor de extrativos totais

Foi realizada a análise do teor de extrativos das partículas das madeiras de *Caryocar villosum*, *Erismia uncinatum* e *Hymenolobium excelsum* aquecidas previamente em água. Como parâmetro de comparação das partículas de madeiras tratadas com/sem aquecimento foi realizada a determinação do teor de extrativos no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE 1) do LCF da ESALQ/USP. A análise foi realizada de acordo com a NBR 14660 (2004) para a determinação do teor de umidade e NBR 14583 (2010) para determinação do teor de extrativos totais, onde todas as análises foram realizadas em triplicata.

As amostras foram obtidas em moinho e classificadas, utilizando-se a fração retida na peneira de 40 mesh. Amostras de 1 grama absolutamente seco (a.s) foram transferidas para envelopes de papel de filtro, e posteriormente colocadas no balão extrator de soxhlet.

Os solventes utilizados para a primeira extração foram o álcool: tolueno (1:2) por 8 horas e álcool etílico por 8 horas no Balão de Soxhlet em que o solvente passou de maneira intermitente pelas amostras. A segunda extração foi feita de mesma maneira apenas com o solvente álcool etílico.

A terceira extração foi feita em água quente em frascos Erlenmeyer, colocados em banho-maria a 95 °C por uma hora, homogeneizando-os a cada 15 minutos. As amostras passaram por um processo de filtragem e foram secas em estufa a 103 ± 2 °C, determinando seu teor de extrativos.

4.7. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi constituído de dez tratamentos, variáveis segundo as porcentagens de misturadas partículas das madeiras na manufatura dos painéis, conforme Tabela 1. Para cada um dos tratamentos foram produzidos três painéis OSB com densidade nominal de 650 kg/m³, totalizando 30 painéis.

Tabela 1. Tratamentos utilizados para a manufatura dos painéis OSB

Tratamento	Proporção de partículas (%)					Face:Miolo:Face
	Cedrinho	Angelim da Mata	Pequiá	P. caribaea	P. taeda	
T1	-	-	-	-	100	30:40:30
T2	-	-	-	-	100	20:60:20
T3	-	-	-	100	-	30:40:30
T4	-	-	-	100	-	20:60:20
T5	50	-	10	40	-	30:40:30
T6	-	40	20	40	-	30:40:30
T7	25	35	-	40	-	30:40:30
T8	20	20	20	40	-	30:40:30
T9	33	33	33	-	-	30:40:30
T10*	-	40	20	40	-	30:40:30

* No tratamento 10, a mistura das partículas das madeiras nativas foi adicionada nas faces, enquanto que no miolo dos painéis foram adicionadas as partículas de pinus.

4.8. Produção dos painéis

4.8.1. Aplicação do adesivo e da parafina nas partículas de madeiras

O adesivo utilizado para a colagem das partículas dos painéis foi o fenol-formaldeído, aplicado numa proporção de 6% de sólidos resinosos, baseada na massa de partículas secas à 0% de umidade. Foi aplicada emulsão de parafina sobre as partículas numa proporção de 1%, também, baseada na massa de partículas secas a 0% de umidade.

A aplicação do adesivo e da parafina sobre as partículas foi realizada separadamente em uma encoladeira do tipo tambor rotativo (Figura 5), regulada para girar a 12 RPM (rotações por minuto), em cujo interior estava acoplada uma pistola de ar comprimido, dotada de caneco superior, utilizada para a aspersão dos líquidos sobre as partículas.

Figura 5. Encoladeira utilizada na aspersão de adesivo e parafina sobre as partículas de madeiras

4.8.2. Formação do colchão

A orientação das partículas para a formação do colchão, conforme as proporções de face:miolo:face definidas (30:40:30 e 20:60:20), foi realizada por meio de uma caixa de madeira orientadora de partículas com dimensões internas de 560 x 560 mm (Figura 6). A orientação da camada interna dos painéis foi disposta de forma perpendicular às faces externas.

Figura 6. Formação do colchão. (a):caixa formadora com tampa de descarga removível; (b): orientação das partículas na caixa; (c): colchão de partículas formado após prensagem a frio.

4.8.3. Prensagem dos painéis

Após a formação dos colchões os mesmos foram levados a uma prensa manual (Figura 7a), de modo que fosse efetuada uma pré-prensagem a frio, que tem a finalidade de proporcionar aos painéis uma melhor conformação e, dessa forma, evitar a perda de partículas. Na prensagem a frio foi utilizada uma pressão específica de $1,6 \text{ kgf/cm}^2$ durante 10 minutos. Posteriormente, o colchão de partículas foi colocado numa prensa hidráulica motorizada (Figura 7b), dotada de controles automáticos de temperatura, pressão e tempo.

Figura 7. Prensagem dos painéis. (a): prensa hidráulica manual utilizada na prensagem a frio; (b): prensa hidráulica motorizada utilizada na prensagem a quente

A pressão específica de prensagem a quente dos painéis foi de 35 kgf/cm^2 e a temperatura de 180°C , com um ciclo de 1 minuto para atingir a pressão estipulada, permanecendo nessa mesma pressão durante 8 minutos e 1 minuto para a abertura da prensa (Figura 8).

Figura 8. Ciclo de prensagem

4.8.4. Obtenção de corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB

Depois de serem confeccionados, os painéis foram acondicionados na sala de climatização do Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeiras e Derivados (LEMMAD) da ESALQ-USP, com temperatura e umidade relativa controlada a 22 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$, respectivamente, onde permaneceram até alcançarem massa constante.

A obtenção de corpos-de-prova dos painéis foi feita por meio de uma serra circular esquadrejadeira e, com a finalidade de evitar os efeitos de borda, foram excluídas as extremidades do tamanho inicial dos painéis, que ficaram com as dimensões finais de 450 x 450 mm.

Conforme ilustrado no esquema de corte na Figura 9, os corpos-de-prova foram obtidos para a determinação das propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão; taxa de não retorno em espessura e densidade) e das propriedades mecânicas (flexão estática paralela e perpendicular e ligação interna), bem como para a determinação do perfil de densidade.

Figura 9. Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis. AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura; TNRE: taxa de não-retorno em espessura; LI: ligação Interna; PD: perfil de densidade.

Após a obtenção dos corpos-de-prova, os mesmos foram encaminhados à sala de climatização do LEMMAD, local onde foram realizados os ensaios previstos (Figura 10). Na realização dos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios (Modelo UMC – 300) localizada no LEMMAD, que possui a capacidade de aplicação de força de até 30 toneladas,

dirigida por um sistema eletromecânico controlado por computador, instrumentada com células de carga cambiáveis e sensores do tipo LVDT (*linear variable differential transformer*) conectados a um programa específico para a aquisição de dados.

Figura 10. Ensaios físico-mecânicos realizados. (a) flexão estática; (b) ligação interna; (c) absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão

As dimensões dos corpos-de-prova e as normas utilizadas nos ensaios físico-mecânicos, são descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Dimensões e normas utilizadas nos ensaios de caracterização tecnológica

Ensaio	Dimensões (cm)	Norma
Ligação interna	5 x 5 x 1,57	BS EN 319 (1993)
AA/IE/TNRE	5 x 5 x 1,57	BS EN 317 (1993)
Flexão estática	5 x 36,4 x 1,57	EN DIN 310 (1993)
Perfil de densidade	5 x 5 x 1,57	Surdi et al. 2014

AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura; TNRE: taxa de não retorno em espessura (as dimensões obedecem a seguinte ordem: largura, comprimento e espessura).

4.8.5. Determinação da Razão de Compactação dos painéis

A determinação da razão de compactação dos painéis foi determinada por meio da equação 3.

$$Rc = \frac{D_p}{D_b} \quad (3)$$

Onde:

R_c é a razão de compactação;

D_p é a densidade nominal ou efetiva do painel (kg/m^3);

D_b é a densidade básica da madeira ou da mistura (kg/m^3).

4.8.6. Caracterização dos perfis densitométricos dos painéis por meio de raios X

A determinação dos perfis de densidade foi baseada na metodologia descrita no trabalho de Surdi et al. (2014). O equipamento (Figura 11) utilizado para a obtenção dos perfis densitométricos pertence ao Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras (LAIM) do LCF da ESALQ/USP, onde os corpos-de-prova foram encaixados em um suporte metálico presente no interior do equipamento. Posteriormente, ocorreu a calibração automática do equipamento e, então, deu-se início a varredura contínua ao longo da espessura dos corpos de prova.

Figura 11. Obtenção dos perfis densitométricos dos painéis OSB. (a) equipamento de raios X modelo QDP-01X; (b) amostras no interior do equipamento

Os valores de densidade aparente foram determinados através dos feixes de raios X a cada 20 μm ao longo da espessura dos corpos-de-prova. Os dados quantitativos gerados pelo equipamento foram gerados pelo arquivo no formato DAT, convertidos e transferidos para o software Excel foi possível obter os valores de: densidade aparente média das camadas externas do painel e densidade aparente média do miolo do painel. A média da densidade aparente obtida entre os primeiros 02 mm de cada face foi considerada como sendo o valor das camadas externas do painel.

4.9. Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Na comparação entre os tratamentos foi realizada a análise de variância, bem como o teste de médias de Tukey, a um nível de 5% de probabilidade de erro

4.10. Comparação com a norma EN 300

Os valores médios de cada propriedade avaliada, por tratamento, foram obtidos e então confrontados com os valores mínimos especificados pela norma EN 300 nas categorias OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4.

A norma europeia EN 300 (2006) contém as definições, classificações e especificações para painéis OSB. A referida norma classifica os painéis OSB em quatro grupos, conforme o tipo e condições de utilização, bem como especifica valores mínimos e máximos requisitados para as principais propriedades de cada um deles, da seguinte maneira:

OSB/1 – painéis não estruturais de uso geral e interior, cujos requisitos são: inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água (IE24h) máximo de 25%, resistência da ligação interna (LI), ou resistência à tração perpendicular ao plano do painel, mínimo de 0,30 MPa, módulos de ruptura paralelo (MOR //) e perpendicular (MOR $\perp$), respectivamente, mínimo de 18 MPa e 9 MPa, módulos de elasticidade paralelo (MOE //) e perpendicular (MOE $\perp$), respectivamente, mínimo de 2500 MPa e 1200 MPa;

OSB/2 – painéis estruturais para uso em condições secas, cujos requisitos são: inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água (IE24h) máximo de 20%, resistência da ligação interna (LI), ou resistência à tração perpendicular ao plano do painel, mínimo de 0,32 MPa, módulos de ruptura paralelo (MOR //) e perpendicular (MOR $\perp$), respectivamente, mínimo de 20 MPa e 10 MPa, módulos de elasticidade paralelo (MOE //) e perpendicular (MOE $\perp$), respectivamente, mínimo de 3500 MPa e 1400 MPa;

OSB/3 – painéis estruturais para uso em condições úmidas cujos requisitos são: inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água (IE24h) máximo de 15%, resistência da ligação interna (LI), ou resistência à tração perpendicular ao plano do painel, mínimo de 0,32 MPa, módulos de ruptura paralelo (MOR //) e perpendicular (MOR $\perp$), respectivamente, mínimo de 20 MPa e 10 MPa, módulos de elasticidade paralelo (MOE //) e perpendicular (MOE $\perp$), respectivamente, mínimo de 3500 MPa e 1400 MPa;

OSB/4 – painéis estruturais de carregamento pesado para uso em condições úmidas cujos requisitos são: inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água (IE24h) máximo de 12%, resistência da ligação interna (LI), ou resistência à tração perpendicular ao plano do painel, mínimo de 0,45 MPa, módulos de ruptura paralelo (MOR //) e perpendicular (MOR $\perp$), respectivamente, mínimo de 28 MPa e 15 MPa, módulos de elasticidade paralelo (MOE //) e perpendicular (MOE $\perp$), respectivamente, mínimo de 4800 MPa e 1900 MPa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Densidade básica das madeiras e das misturas de madeiras

Na Tabela 4 são apresentados os valores determinados para a densidade básica das espécies de *Pinus*, bem como para as madeiras amazônicas e as misturas utilizadas na manufatura dos painéis OSB.

Tabela 3. Valores médios da densidade básica das madeiras e das misturas de madeiras

Madeiras	Tratamentos	Proporção das Misturas	Densidade Básica (kg/m ³)
<i>Pinus taeda</i>	1 e 2	100%	441,9
<i>Pinus caribaea</i>	3 e 4	100%	484,9
Cedrinho	-	-	530,0*
Angelim	-	-	630,0*
Pequiá	-	-	730,0*
Mistura	5	cedrinho 50% + pequiá 10% + <i>Pinus caribaea</i> 40%	457,7
Mistura	6	angelim 40% + pequiá 20% + <i>Pinus caribaea</i> 40%	445,5
Mistura	7	cedrinho 25% + angelim 35% + <i>Pinus caribaea</i> 40%	413,8
Mistura	8	cedrinho 20% + angelim 20% + pequiá 20% + <i>Pinus caribaea</i> 40%	465,1
Mistura	9	cedrinho 33% + angelim 33% + pequiá (33%)	385,2
Mistura	10	(angelim 40% + pequiá 20% (faces)) + <i>Pinus caribaea</i> 40% (miolo)	445,5

*Resultados obtidos no Trabalho de Andrade (2015).

A densidade básica determinada para o *Pinus caribaea* foi de 484,9 kg/m³ (Tabela 3). Wang et al. (1999) encontraram, para a mesma espécie, densidades básicas de 470 e 580 kg/m³ aos 10 e 15 anos, respectivamente. Bortoletto Júnior (1993) avaliou a densidade básica de madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, provenientes de árvores plantadas na região de Agudos – SP, com idades de 15 e 20 anos, cujo valor médio das duas idades foi igual a 460 kg/m³. Vale ressaltar que as árvores de *Pinus caribaea* coletadas para o presente estudo tinham em torno de 30 anos de idade, contudo, a densidade básica determinada ficou próxima da encontrada por Wang et al. (1999) para árvores de 10 anos de idade, bem como da média de árvores de 15 e 20 anos avaliada por Bortoletto Júnior (1993).

A densidade básica determinada para as partículas de *Pinus taeda* foi de 441,9 kg/m³ (Tabela 3). Esse resultado é compatível ao obtido por Iwakiri et al. (2016), que obtiveram uma densidade básica de 450 kg/m³ para a mesma espécie, e pouco inferior ao obtido por Mendes (2010) que encontrou um valor de 473 kg/m³.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, as densidades básicas das madeiras de *Pinus* e das suas misturas com as madeiras nativas variaram entre 385,2 e 484,9 kg/m³, indicando que poderiam ser classificadas como “madeiras leves”, de acordo com a classificação proposta por Melo et al. (1990), cuja classe possui densidade básica menor ou igual a 500 kg/m³.

5.2. Extrativos totais das madeiras amazônicas

Os resultados para os extrativos totais, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Análise da composição química das partículas

Espécie	Material	%ET
Cedrinho	Madeira	4,80 a (0,10)
	Partícula	3,52 b (0,35)
Pequiá	Madeira	10,0 a (0,16)
	Partícula	7,25 b (0,54)
Angelim	Madeira	6,78 a (0,08)
	Partícula	6,88 a (0,36)

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Legenda: %ET: extrativos totais.

A partir da análise de variância efetuada (ANEXOS A, B e C), pode-se observar que a metodologia II utilizada para aquecer as madeiras não interferiu no teor de extrativos para o angelim, enquanto que o cedrinho e pequiá, apresentaram diferença estatística entre a madeira e as partículas *strands*.

Ainda em relação a porcentagem de extrativos totais, verifica-se que a espécie que apresentou o maior teor de extrativos foi o pequiá, seguido do angelim e cedrinho. De acordo com Frihart e Hunt (2010), madeiras de maior densidade possuem maior concentração de extrativos o que pode interferir na cura de adesivos. Conforme é relatado por Iwakiri (2005), a concentração de extrativos nas camadas superficiais da madeira pode bloquear a passagem da água e retardar a sua taxa de evaporação, aumentando o tempo de prensagem.

Espécies de madeira com baixo teor de extrativos são as preferíveis, pois as madeiras que possuem alto teor de extrativos são mais suscetíveis a gerar problemas, como por exemplo, interferir de forma negativa na cura da resina durante o ciclo de prensagem o que pode acarretar em uma menor eficiência de colagem entre as partículas de madeira (CLOUTIER, 1998). O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se na faixa de 3 a 6. O pH dos extrativos que estão presentes na madeira pode inibir as reações químicas de endurecimento do adesivo, prejudicando, dessa forma, o desenvolvimento de resistência, bem como a adequada coesão da linha de cola (IWAKIRI, 2005).

5.3. Razão de compactação dos painéis

A Tabela 5 apresenta os valores médios da razão de compactação nominal e efetiva encontrada para os painéis OSB.

Tabela 5. Valores das razões de compactação dos painéis OSB.

Tratamento	Razão de compactação	
	Nominal	Efetiva
T1	1,47	1,66
T2	1,47	1,66
T3	1,34	1,49
T4	1,34	1,49
T5	1,42	1,60
T6	1,66	1,63
T7	1,57	1,75
T8	1,40	1,57
T9	1,69	1,89
T10	1,46	1,64

Pode-se observar na Tabela 5 que os valores da razão de compactação efetiva foram superiores aos da nominal. Considerando-se que a razão de compactação é dada pela relação entre a densidade do painel (nominal ou efetiva) e a densidade da madeira, e a densidade efetiva dos painéis foi superior à densidade nominal – cujas possíveis causas serão comentadas no item 5.5, explica-se o resultado obtido, uma vez em que a densidade da madeira e das misturas de madeiras foi mantida em ambos os cálculos.

Na Tabela 5, nota-se que a razão de compactação efetiva dos painéis produzidos variou de 1,49 a 1,89. Observa-se que o tratamento 9, composto somente pela mistura das madeiras amazônicas, cujo valor de densidade básica mostrou-se o menor de todos (Tabela 3), também apresentou o maior valor de razão de compactação. Trianoski et al. (2011), também obtiveram a mesma resposta em painéis aglomerados multicamadas que foram manufaturados com espécies de menor densidade da madeira.

Todos os tratamentos apresentaram valores de razão de compactação superiores a 1,3 (Tabela 5), considerado valor mínimo para que ocorra a densificação necessária do colchão, proporcionando um adequado contato entre partículas, para que haja uma boa colagem e consolidação do painel durante a fase de prensagem a quente (MALONEY, 1977; IWAKIRI, 2005).

5.4. Densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis OSB

Os valores médios encontrados para a densidade aparente, teor de umidade, bem como espessura dos painéis OSB para cada tratamento são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios de densidade aparente, espessura e teor de umidade dos painéis OSB.

Tratamento	Densidade aparente (kg/m ³)	Espessura (mm)	Teor de umidade (%)
T1	735,6 a	15,3	9,63
T2	736,2 a	15,4	9,39
T3	725,9 a	15,3	7,69
T4	727,1 a	15,3	7,22
T5	735,3 a	15,4	8,16
T6	730,6 a	14,8	8,12
T7	725,3 a	15,3	8,22
T8	734,4 a	14,9	8,11
T9	730,6 a	14,6	8,97
T10	733,2 a	15,2	8,29
Média Geral	731,4	15,2	8,38
CV (%)	0,57	1,85	8,87

Médias com letras iguais não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Os resultados da análise de variância, realizada para a variável densidade aparente (Anexo D), indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Portanto, as madeiras e suas misturas, bem como as relações face:miolo:face não exerceram influência sobre a referida propriedade.

Observa-se na Tabela 6 que a densidade efetiva de todos os painéis OSB foi superior à nominal planejada (650 kg/m³). Tal fato pode ter ocorrido pelos seguintes motivos:

(i) conforme relatado por Iwakiri et al. (2008) e Trianoski et al. (2011), durante o processo de manufatura dos painéis é comum haver perdas de material (partículas que ficam aderidas na parede da encoladeira, partículas que se perdem durante a transposição da encoladeira para a caixa formadora do colchão, partículas que se desprendem do colchão durante o transporte para prensa fria e quente, partículas que caem para fora do colchão no momento da prensagem a quente), podendo resultar na redução da densidade efetiva do painel. Em virtude disso, afim de compensar possíveis perdas de material e, conseqüentemente, a diminuição da densidade efetiva dos painéis, foram acrescentados 10% de material no cálculo realizado para a produção dos painéis. Considerando os valores de densidade efetiva, supõe-se que as perdas durante o processo teriam sido mínimas e, dessa forma, os painéis resultaram com maior densidade efetiva em razão dos 10% acrescentados;

(ii) durante o processo manual de formação do cochão de partículas pode ser que a distribuição do material tenha ocorrido de maneira desuniforme, porém sistemática, com concentração maior ao centro e menor nas bordas (eliminadas posteriormente na operação de esquadreamento dos painéis já climatizados). Considerando que os corpos de prova utilizados foram obtidos das proximidades da região central dos painéis, local onde pode ter havido maior deposição de material, isto teria contribuído para o aumento da densidade efetiva dos painéis em relação à planejada. O mesmo problema foi relatado por Mendes (2010) ao trabalhar também com painéis OSB;

(iii) o fato de a espessura final dos painéis ter mostrado-se menor àquela dos *stops* (15,7 mm) utilizados como limitadores durante o processo de prensagem a quente. Com a diminuição da espessura, provavelmente resultante da perda de umidade durante o período de climatização e estabilização da massa dos painéis e consequente retração, o volume reduziu e, desta forma, houve o aumento na densidade do painel. Resultado semelhante, porém determinado na condição inversa, foi obtido por Trianoski (2010), onde os painéis que apresentaram as maiores espessuras resultaram com suas densidades diminuídas.

Segundo Maloney (1977) e Iwakiri (2005) painéis com massa específica aparente de 590 a 800 kg/m³ são classificados como painéis de média densidade. Dessa forma, todos os painéis obtidos no presente trabalho enquadram-se na classificação que é mencionada pelos referidos autores.

A espessura dos painéis variou de 14,6 a 15,4 mm e a espessura média dos painéis de todos os tratamentos foi de 15,2. Portanto, próxima da espessura dos separadores utilizados durante a prensagem a quente dos painéis que foi de 15,7 mm. Ao analisar a espessura dos painéis dentro de cada tratamento, nota-se que os painéis dos tratamentos T6, T8 e T9 foram os únicos cujos valores médios foram inferiores à 15 mm. Isso pode ter acontecido devido ao tratamento que é composto pela mistura das madeiras, com densidades superiores a densidade de *Pinus* sp., logo, numa mesma quantidade de massa de madeira o volume necessário para composição do colchão de partículas foi menor. Resultado semelhante também foi encontrado por Gorski (2014), onde observou que painéis produzidos com partículas de *pinus*, em função da menor densidade, apresentou maiores valores de espessura quando comparado com painéis produzidos 100% com partículas de *Eucalyptus*, onde os mesmos obtiveram menores espessuras finais.

O teor de umidade médio dos painéis (8,38%, Tabela 6) foi próximo ao encontrado por Mendes (2010) e Surdi (2012) para painéis OSB produzidos em laboratório, respectivamente, 8,08 e 9,9%. Bortoletto Júnior e Garcia (2004) determinaram teor de umidade médio de painéis OSB

comerciais, de 15 e 18 mm de espessura, variando entre 8,5% e 9,0%, cujos valores também são compatíveis aos obtidos no presente estudo.

5.5. Absorção de água

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão para cada tratamento são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios de absorção de água após 02 (AA 2h) e 24 horas (AA 24h) de imersão dos painéis OSB.

TRATAMENTO	AA 2h	AA 24h
	%	
T1	45,32 b (6,44)	53,35 b (4,54)
T2	54,95 a (5,15)	60,31 a (4,47)
T3	42,12 b (8,26)	61,67 a (4,18)
T4	41,91 b (11,09)	64,19 a (5,01)
T5	20,53 c (4,75)	47,74 c (3,98)
T6	18,12 c (4,70)	39,62 d (4,25)
T7	23,54 c (5,76)	47,82 c (3,21)
T8	21,59 c (5,09)	46,06 c (3,93)
T9	11,22 d (3,55)	30,61 e (4,23)
T10	19,54 c (5,99)	39,68 d (4,07)
Média Geral	29,88	49,11
CV (%)	49,27	22,13

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

De acordo com as análises de variância, realizadas para as variáveis absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão dos painéis OSB (ANEXOS E e F), verifica-se que houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos em ambos os casos.

No caso da AA2h os valores médios variaram de 11,22% no tratamento 9 a 54,95% para o tratamento 2. Esse resultado pode ser atribuído à diferença das espécies que compoem os painéis, visto que o tratamento 2 é composto 100% por partículas de *Pinus taeda*, enquanto que o tratamento 9 é composto pelas misturas das madeiras tropicais. Trianoski et al. (2011), observaram em seu trabalho que as propriedades de absorção de água foram influenciadas, principalmente, pelo fator espécie. Gorski (2014), observou em seu estudo que os painéis compostos 100% por madeiras de *Pinus* também apresentaram os maiores valores de absorção de água em relação aos painéis produzidos 100% por partículas de *Eucalyptus benthamii*, bem como para os painéis compostos por camadas de espécies distintas.

Além do fator espécie, outro componente que pode ter influenciado no resultado do presente estudo é a diferença entre a densidade básica da madeira de *Pinus* e as densidades das misturas das madeiras. Sabe-se que as madeiras de menores densidades, por apresentarem maior porosidade, acabam por absorver uma maior quantidade de água em relação as madeiras de alta densidade (FERRO et al., 2018). Del Menezzi (2004) menciona que a absorção de água é um fenômeno muito mais físico que químico e está relacionada à porosidade (espaços vazios) dos painéis e da madeira propriamente dita. O mesmo autor afirma que quando o painel está submerso, a água líquida ocupa os espaços vazios, formados entre as partículas e o interior das células da madeira, onde permanece pela ação de forças capilares.

Na Tabela 6, ainda pode-se observar que os tratamentos compostos 100% com partículas de pinus apresentaram as maiores médias de absorção de água. Enfatiza-se que dentre esses tratamentos o T2 foi o que obteve o maior valor médio de absorção de água, diferindo-o dos tratamentos T1, T3 e T4, os quais por sua vez não diferiram significativamente. O fato do tratamento T2 ter apresentado valores superiores aos demais (T1, T3 e T4), pode estar relacionado devido a composição do mesmo ser na proporção de 20:60:20. Martarello et al. (2015), ao analisarem a absorção de água em painéis OSB nas proporções de 20:60:20, 25:50:25 e 30:40:30, para a face:miolo:face, observaram que os painéis produzidos na proporção de 30:40:30 apresentaram o menor valor de absorção de água após 2 horas de imersão em água.

Os tratamentos que são compostos pelas misturas de madeiras amazônicas juntamente com as partículas de pinus (T5, T6, T7, T8 e T10) não apresentaram diferença estatística entre si e mostraram-se com médias de absorção inferiores aos tratamentos compostos somente por pinus. Longo (2014) ao trabalhar também com painéis particulados observou que os painéis produzidos com misturas de madeiras apresentaram menores valores de absorção de água, quando comparados com painéis que foram confeccionados apenas com espécies de baixa densidade.

Outra característica que pode ser observada é em relação ao tratamento que é composto pelas misturas nas camadas externas e pelo pinus no miolo (T10). Como pode ser observado, esse tratamento apresentou uma baixa absorção de água após 2 horas de imersão. Nota-se que a aplicação da mistura de madeiras amazônicas nas camadas externas do painel serviu como um elemento restritivo a absorção de água no interior do OSB.

Evidenciam-se nesses resultados que o fator espécie influenciou a absorção de água nos painéis produzidos, onde os tratamentos que foram compostos somente com as madeiras nativas, e que possuem por natureza a maior densidade, ou seja, menos espaços vazios, absorveram menos água que os tratamentos controles confeccionados com madeiras de pinus.

Para a absorção de água após 24h de imersão os valores médios variaram de 30,61 a 64,19%. A tendência dos tratamentos controle (painéis com partículas de pinus) apresentarem os maiores valores médios de AA2h manteve-se no caso da AA24h. Registra-se que a norma europeia (EN 300) não estabelece valores mínimos para a propriedade física de absorção de água (2h e 24h).

5.6. Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Os valores médios encontrados para o inchamento em espessura após 02 horas (IE 2h) e 24 horas (IE 24h) de imersão em água, bem como da taxa de não-retorno em espessura (TNRE) dos painéis OSB, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios de inchamento em espessura após imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB

TRATAMENTO	IE 2h	IE 24h	TNRE
	%		
T1	15,64 b (3,56)	19,77 cd (5,77)	11,69 d (4,60)
T2	19,33 a (3,19)	21,88 bc (3,76)	13,15 cd (3,28)
T3	16,31 ab (2,57)	25,17 ab (6,45)	18,49 ab (6,06)
T4	16,61 ab (5,41)	29,89 a (6,96)	22,83 a (6,46)
T5	7,36 cd (1,79)	22,35 bc (4,22)	16,21 bc (4,41)
T6	5,43 de (1,41)	15,57 de (2,58)	10,82 d (2,86)
T7	9,00 c (2,69)	21,15 bc (2,84)	14,67 bcd (3,19)
T8	6,51 cde (2,33)	18,82 cd (3,53)	13,22 cd (3,61)
T9	3,80 e (2,39)	12,80 e (2,47)	11,25 d (2,25)
T10	6,21 cde (1,62)	16,03 de (3,38)	10,71 d (2,47)
Média Geral	10,62	20,34	14,30
CV (%)	53,67	24,44	25,94

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

De acordo com as análises de variância realizadas para as variáveis inchamento em espessura após 2 horas (IE 2h) e 24 horas (IE 24h) de imersão, bem como para a taxa de não-retorno em espessura (TNRE) dos painéis, verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (ANEXOS G, H e I), em todos os casos analisados.

De acordo com a tabela 8, verifica-se que os valores dos tratamentos controle (T1 a T4) foram estatisticamente superiores a todos os demais tratamentos (T5 a T10), os quais foram produzidos com percentual de mistura com as espécies nativas. Esse fato demonstra que a inclusão das nativas nas misturas foi benéfica, uma vez que reduziu o IE 2h.

Ao analisar os valores médios de inchamento em espessura após as 24 horas de imersão, verifica-se que o Tratamento T4 apresentou o maior valor médio e equivaleu-se estatisticamente

ao T3, diferindo-se dos demais tratamentos. Nota-se que o tratamento T9 que é composto apenas pelas misturas das espécies nativas apresentou o menor valor de inchamento em espessura e equivaleu-se estatisticamente ao T6 e T10. Novamente a explicação que pode ser adotada para esses resultados é a composição dos painéis em relação às espécies. Resultado semelhante foi encontrado por Gorski (2014). O Tratamento T10, que é composto pelas partículas de pinus no miolo do painel e misturas das espécies amazônicas nas camadas externas, apresentou um valor médio de 12,80% de inchamento em espessura após 24 horas de imersão. Iwakiri et al. (2008), encontraram um valor médio de 16,81% para o inchamento em espessura após 24 horas em painéis OSB manufaturados com partículas de *Eucalyptus grandis* nas faces e *Pinus* na camada interna.

De acordo com Surdi (2015), quando o painel é submerso em água, ocorre a absorção da água líquida e, conseqüentemente, há o inchamento em espessura do mesmo, cuja variável apresenta duas componentes: o inchamento intrínseco à madeira e o inchamento que resulta da liberação das tensões de compressão que são impostas ao painel durante a prensagem.

O inchamento da parede celular da madeira é resultado da água que foi adsorvida que se desloca dos espaços vazios (existentes entre as partículas do painel, bem como no lumen das células das partículas de madeira do painel), penetra a parede celular e passa a ocupar os sítios de sorção, afastando as microfibrilas. Andrade (2000) relata que massa específica maior é decorrente de maior espessura da parede celular e menor lúmen. Em razão disso, era esperado que as madeiras de maior densidade, por possuírem parede celular mais espessa, inchassem mais, em relação às de menor densidade. Observa-se no presente estudo que ocorreu o inverso e tal resultado pode ser devido a presença de extrativos nas madeiras nativas, especialmente, no pequiá e no angelim, cujos valores são altos, conforme pode ser observado na análise química (Tabela 4). De acordo com Kollman e Coté (1968) e Kloc et al. (2005), os extrativos podem estar presentes tanto no lúmen das células, quanto na parede das células. Aqueles que se encontram na parede das células ocupam justamente os sítios de sorção. Se estes sítios estiverem ocupados pelos extrativos, não há espaço para a água ocupá-los. Sendo assim, o inchamento seria reduzido. Já os extrativos presentes no lumen das células diminuem o espaço para absorção de água, algo que poderia ter contribuído para a redução do percentual de absorção de água dos painéis que incorporam as madeiras nativas ou a mistura das mesmas com o pinus.

Ao avaliar o inchamento em espessura em comparação com a razão de compactação (Tabela 5), nota-se que o T9 apresentou a maior razão de compactação, contudo foi o tratamento que apresentou o menor valor de inchamento após 24 horas de imersão, equivalendo-se estatisticamente aos tratamentos T6, e T10.

Esses resultados diferem do que é mencionado por Kelly (1977), o qual afirma que quanto maior a razão de compactação do painel, maior será o seu inchamento em espessura devido a maior liberação de tensão de compressão que se encontrava retida nesses painéis antes da imersão em água. Iwakiri et al. (2014), também encontraram um menor inchamento em espessura dos painéis no tratamento que apresentou a maior razão de compactação dentre os demais tratamentos por eles adotados.

A norma EN 300 (2006), que trata sobre as definições, classificações e especificações para painéis OSB, estabelece um valor máximo de 25%, 20% e 15% de IE 24h, respectivamente, para que os painéis possam ser classificados como sendo do tipo OSB/1 (painéis não estruturais de uso geral e interior), OSB/2 (painéis que suportam carga, utilizados em condições secas) e OSB/3 (painéis que suportam carga, utilizados em condições úmidas), com uma espessura de 10 a 18 mm. Nesse sentido, os tratamentos T1, T2, T5, T6, T7, T8, T9, T10, podem ser classificados sendo do tipo OSB/1; os tratamentos compostos pelas misturas T1, T6, T8, T9 e T10, enquadram-se na classificação OSB/2 e somente o T9 pode ser classificado sendo do tipo OSB/3 conforme é estabelecido pela norma. Para que os painéis sejam classificados como painéis do tipo OSB/4 (painéis estruturais de carregamento pesado para uso em condições úmidas) a norma exige que os mesmos tenham um máximo de 12% de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, dessa forma, nenhum dos tratamentos atingiu ao que é estabelecido pela norma para tal classificação.

Quanto à taxa de não retorno em espessura (TNRE) o tratamento que apresentou o maior inchamento residual foi o T4, composto 100% por partículas de *Pinus caribaea* na proporção de 20:60:20 para a composição do painel em termos de face:miolo:face, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, exceto ao tratamento T3. Gorski (2014) menciona em seu trabalho que os painéis OSB com a proporção de 30:40:30 apresentaram melhores valores de TNRE em comparação aos painéis com a proporção de 20:60:20. Contudo, mesmo o T4 sendo o tratamento com a maior TNRE, ao comparar o resultado de tal tratamento com outros trabalhos presente na literatura, nota-se que o valor encontrado para o mesmo foi satisfatório. Ao trabalharem com painéis OSB fabricados com partículas de *Pinus taeda* Trianoski (2010), Mendes (2010) e Surdi (2012), respectivamente, obtiveram os seguintes resultados para a TNRE: 21,50%, 17,3% e 15,48%.

O tratamento T6 apresentou o menor valor de TNRE (10,82%) o qual foi estatisticamente equivalente aos tratamentos T1, T2, T7, T8, T9 e T10.

Ao comparar o resultado do T10 que é composto pelas misturas de madeiras amazônicas nas faces e *Pinus caribaea* no miolo, observa-se que o valor encontrado para o presente trabalho se

mostrou abaixo do que é encontrado na literatura. Trianoski (2010), encontrou um valor de 18,25% de TNRE em painéis OSB produzidos com faces de *Toona ciliata* e *Pinus taeda* no miolo.

Mendes (2001) afirma que quanto menor for o valor da TNRE, melhor é a estabilidade dimensional do painel OSB, sobretudo, em ambientes que possuem uma grande variação de umidade durante as estações do ano.

5.7. Módulo de Ruptura à flexão estática

Os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura paralelo (MOR //) e Módulo de Ruptura perpendicular (MOR ⊥) estão apresentados na Tabela 9. Observa-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para ambas as variáveis analisadas, conforme os resultados da análise de variância efetuada (ANEXOS J e K).

Tabela 9. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) dos painéis OSB

TRATAMENTO	MOR	
	//	⊥
	MPa	
T1	37,0 ab (9,28)	12,3 c (1,64)
T2	28,7 b (6,76)	23,0 ab (6,65)
T3	51,0 a (10,03)	14,8 bc (3,55)
T4	36,3 ab (12,58)	28,2 a (6,88)
T5	39,0 ab (6,47)	15,5 bc (4,38)
T6	49,2 a (10,29)	18,0 bc (5,43)
T7	40,8 ab (11,11)	12,8 c (2,13)
T8	47,5 a (9,78)	19,2 bc (5,05)
T9	33,6 ab (8,80)	12,2 c (3,44)
T10	43,3 ab (7,30)	18,8 bc (2,56)
Média Geral	40,6	17,5
CV (%)	17,7	29,4

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Os resultados para o MOR na direção paralela variaram de 28,7 a 51,0 MPa, enquanto que o MOR perpendicular variou de 12,2 a 28,2 MPa. Nota-se que na direção paralela o tratamento T3 foi equivalente estatisticamente aos demais tratamentos, exceto ao T2.

Observou-se que o tratamento T2 apresentou resultado de MOR// inferior ao que é encontrado na literatura para painéis produzidos com a mesma espécie. Mendes (2010) e Surdi

(2012) encontraram para painéis OSB de *Pinus taeda* valores de 57,50 e 49,8 MPa, respectivamente. Tal resultado inferior ao que é mencionado pelos autores citados, pode estar relacionado com o fato de que as partículas de *Pinus taeda* utilizadas no presente estudo estiveram anteriormente armazenadas por longo período no laboratório, embora devidamente acondicionadas em sacos plásticos lacrados. Supõe-se que em razão desse longo período, pode ter ocorrido a inativação parcial da superfície das partículas e isso possa ter prejudicado a força da ligação adesiva entre elas. Tal suposição pode se tornar mais evidente analisando-se a resistência da ligação interna dos painéis do tratamento T2 (Tabela 11), cujo resultado mostrou-se estatisticamente inferior ao de todos os demais tratamentos, exceto ao dos painéis do tratamento T1, com o qual equivaleu-se.

Observa-se na Tabela 9 que os painéis produzidos com a proporção de 20:60:20 apresentaram tendência de resultados de MOR // inferiores aos dos painéis produzidos na proporção de 30:40:30, tanto no caso do *Pinus taeda* quanto no caso do *Pinus caribaea*, embora tal tendência não tenha sido estatisticamente significativa dentro de cada um dos casos. Esse resultado explica-se devido ao fato de que na proporção 30:40:30 a massa de partículas alocada nas faces dos painéis é relativamente maior. Além disso, as partículas das faces encontram-se alinhadas com seu comprimento e fibras paralelamente ao vão, as quais estarão sujeitas à tração paralela às fibras, propriedade na qual a resistência da madeira é muito alta. Esses fatos contribuíram para o aumento relativo do MOR //, uma vez que nos ensaios de flexão estática as faces dos painéis são justamente as regiões mais solicitadas aos esforços impostos. Gorski (2014) e Martarello et al. (2015), também obtiveram resultados análogos em seus trabalhos.

Ao analisar o efeito da aplicação de partículas de madeiras nativas nas faces externas do painel (T10), observa-se que o resultado obtido foi satisfatório com um valor de 43,3 MPa na direção paralela. Trianoski (2010), obteve um valor de 18,73 MPa no MOR // para um painel produzido com *Toona ciliata* nas camadas externas e *Pinus taeda* na camada interna. Gorski et al. (2015), encontraram um valor de 34,8 MPa (MOR //) para painéis OSB manufaturados com partículas de *Pinus* na camada central do painel.

Em relação ao tratamento composto com as misturas das espécies nativas e sem a adição de partículas de pinus (T9), observa-se que o mesmo não diferiu estatisticamente do tratamento que apresentou o maior valor numérico da resistência à flexão na direção paralela (T3), contudo, o T9 apresentou numericamente um valor abaixo (33,6 MPa) do T3. Os resultados de flexão estática geralmente estão em boa parte relacionados com as faces do painel. Em razão disso, uma variável que pode ter contribuído para esse resultado pode estar relacionada a densidade das faces dos painéis desses tratamentos citados (Tabela 12), onde os valores das faces para o T3 e T9 foram respectivamente, 760,94 e 739,60 kg.m³.

Ao observar os resultados para o MOR $\perp$ nota-se que tanto para o *P. taeda* quanto para o *P. caribaea*, houve uma inversão dos resultados em relação à influência das proporções, pois, na proporção 20:60:20 os valores do MOR $\perp$ mostraram-se estatisticamente superiores (no caso do MOR paralelo a tendência foi inversa, mas, não estatisticamente significativa). Neste caso, a proporção de partículas nas faces tem menor influência, porque as partículas desta região estão alinhadas com seu comprimento e fibras perpendicularmente ao vão e a resistência da madeira à tração perpendicular é baixa. Enquanto que a proporção de partículas do miolo passa a ter destaque, pois são elas que estão alinhadas com seu comprimento e fibras paralelamente ao vão, e a resistência da madeira à tração paralela é superior a resistência da madeira à tração perpendicular.

Ao observar o resultado de MOR na direção perpendicular obtido pelo T9, nota-se que a alta razão de compactação desse tratamento (1,89) não exerceu um efeito significativo na direção perpendicular do mesmo, visto que, tal tratamento apresentou a maior razão de compactação dentre os demais. Além disso, o MOR $\perp$ obtido para o T9 não diferiu estatisticamente do T3, que apresentou o maior valor no MOR $\perp$ e a sua razão de compactação foi inferior ao T9 (1,52).

Iwakiri et al. (2014), obteve os seguintes resultados para o módulo de ruptura paralelo e perpendicular, respectivamente, 38,79 e 23,29 MPa, para painéis OSB produzidos com *mix* de espécies. Cabral et al (2006), ao produzir painéis OSB com misturas de pinus e eucaliptos obtiveram os valores de 30,69 e 22,32 MPa para o MOR paralelo e perpendicular, respectivamente.

A norma EN 300 (2006) estabelece que para o painel ser classificado como OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4, deve apresentar os valores mínimos de 18, 20, 20 e 28 MPa, respectivamente, para o MOR paralelo. Enquanto que para o MOR perpendicular os valores mínimos são, respectivamente, 9, 10, 10 e 15 MPa para os tipos OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4. Nota-se que os valores encontrados para os painéis de todos os tratamentos (Tabela 9) se mostraram superiores aos que são estabelecidos na referida norma no MOR paralelo. Contudo, no MOR perpendicular todos os tratamentos atingiram os valores mínimos para a classificação OSB/1, OSB/2 e OSB/3, exceto para o OSB/4, onde somente os tratamentos T2, T4, T6, T8 e T10, apresentaram valores compatíveis para tal classificação.

5.8. Módulo de Elasticidade à flexão estática

Os resultados obtidos para o Módulo de Elasticidade paralelo (MOE //) e Módulo de Elasticidade perpendicular (MOR $\perp$) estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis OSB

TRATAMENTO	MOE	
	//	⊥
	MPa	
T1	7133,2 abc (879,33)	993,5 b (206,64)
T2	5688,3 c (939,41)	2603,4 b (721,10)
T3	8016,3 ab (1603,12)	1257,5 b (303,65)
T4	6262,3 bc (1270,09)	2506,2 a (519,15)
T5	7290,1 abc (599,17)	1086,5 b (199,06)
T6	7803,6 ab (892,41)	1201,6 b (267,56)
T7	7384,3 abc (1221,51)	1022,7 b (120,25)
T8	8283,9 a (757,0372)	1334,0 b (295,71)
T9	6735,3 abc (969,99)	967,3 b (276,02)
T10	8024,9 ab (762,36)	1492,0 b (223,95)
Média Geral	7262,2	1446,5
CV (%)	11,5	42

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

De acordo com os resultados da análise de variância (ANEXOS L e M) para as variáveis Módulo de Elasticidade na direção paralela (MOE //) e Módulo de Elasticidade na direção perpendicular (MOE ⊥), verificou-se que houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos em ambos os casos analisados.

Ao observar os resultados para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, evidencia-se novamente a influência das proporções de face:miolo:face, onde o T4 na proporção de 20:60:20, mostrou-se com um MOE ⊥ superior ao MOE ⊥ do tratamento 3 (30:40:30). Ainda ao levar em consideração os valores de MOE ⊥ para o T1 e T2, embora não apresente diferença significativa, nota-se que numericamente houve um aumento nos valores obtidos para o T2, que é composto pela proporção 20:60:20.

Para o MOE na direção paralela os valores variaram de 5688,3 a 8283,9 MPa. No MOE perpendicular apenas o T4 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos com um valor médio de 2506,2 Mpa.

Ao levar em consideração o MOE paralelo a EN 300 (2006) estipula os valores mínimos, respectivamente, sendo 2500, 3500, 3500 e 4800 MPa para que sejam classificados sendo do tipo OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 10, nota-se que todos os tratamentos obtiveram valores superiores ao que é estabelecido pela norma em todas as classificações. Para o MOE na direção perpendicular a referida norma estabelece os valores mínimos de 1200, 1400, 1400 e 1900 MPa, respectivamente, para o OSB/1, OSB/2, OSB/3 e

OSB/4. Observa-se na Tabela 10 que para o MOE perpendicular, apenas os tratamentos T2 e T4 apresentaram valores médios acima do que é exigido pela norma para todas as classificações.

Vale ressaltar que os tratamentos T2 e T4, apresentaram as composições de 20:60:20 para face:miolo:fale, enquanto que os demais foram confeccionados na composição de 30:40:30 para face:miolo:face. Nota-se a partir dessas composições, que uma alternativa possível para que os demais tratamentos atendessem as normas tanto para o MOE // quanto para o MOE $\perp$, seria a manufatura dos painéis OSB nas composições de 20:60:20.

Da mesma forma que o MOR, o MOE paralelo mostrou-se maior que o MOE perpendicular.

Gorski (2014) diz que isto se dá em função da camada interna encontrar-se com as fibras das partículas paralelas à força aplicada, sendo que, no sentido paralelo às fibras, a situação é inversa. Já Saldanha (2004) afirma que os valores superiores tanto para MOR quanto para o MOE no sentido paralelo, comparados ao sentido perpendicular, estão influenciados, sobretudo, pela composição do painel em camadas cruzadas (face: miolo: face).

Assim como observado no presente estudo, tanto Surdi (2012) quanto Mendes (2010) também obtiveram valores de MOR e MOE paralelos superiores aos de MOR e MOE no sentido perpendicular as fibras. Bortoletto Júnior e Garcia (2004) afirma que o resultado prático dessas constatações é que peças de painéis OSB, cujos comprimentos forem perpendiculares a orientação das partículas externas, encontrarão aplicações mais restritas devido a redução da resistência, e isso pode interferir no percentual de aproveitamento do painel.

5.9. Ligação Interna

Os valores médios de Ligação Interna (LI) dos painéis, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios de Ligação Interna

TRATAMENTO	LIGAÇÃO INTERNA
	MPa
T1	0,25 de (0,12)
T2	0,15 e (0,07)
T3	0,36 bcd (0,08)
T4	0,29 cd (0,10)
T5	0,30 cd (0,11)
T6	0,49 a (0,16)
T7	0,32 bcd (0,12)
T8	0,43 ab (0,11)
T9	0,36 bcd (0,14)
T10	0,38 abc (0,10)
Média Geral	0,33
CV (%)	28,6

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

A análise de variância realizada para a variável ligação interna (ANEXO N), indicou que houve diferença estatística entre os tratamentos.

Observa-se na Tabela 11 que a LI dos painéis dos tratamentos T1 e T2 (compostos exclusivamente por partículas de *P. taeda*), bem como dos tratamentos T3 e T4 (compostos exclusivamente por partículas de *P. caribaea*), equivaleram-se estatisticamente. Porém, denota-se uma tendência de redução da LI dos painéis compostos na proporção 20:60:20 em relação à proporção 30:40:30 em ambos os casos, embora não estatisticamente significativa.

O resultado de LI encontrado para o tratamento T1 e T2 foi notadamente inferior ao que é relatado em outros trabalhos. Pode ter contribuído para esse resultado o fato de que as partículas utilizadas na manufatura dos painéis desses tratamentos estiveram armazenadas no laboratório por longo período e isso teria causado uma possível inativação parcial das suas superfícies reduzindo a resistência da colagem. Mendes (2010), Surdi (2012), Saldanha e Iwakiri (2009), ao produzirem painéis OSB com *Pinus taeda*, encontraram valores de ligação interna de 0,60, 0,50 e 0,39 MPa, respectivamente, ou seja, valores acima do que foi encontrado para o T1 e T2.

Ao analisar os valores apresentados somente pelos tratamentos com misturas de madeiras (T5, T6, T7, T8 e T9), nota-se que o T6 e o T8 equivaleram-se entre si e apresentaram com superioridade os valores médios de LI quando comparados aos demais tratamentos. Vale ressaltar que dentre os tratamentos manufaturados a partir das misturas de madeiras, o T6 não apresentou em sua composição partículas de cedrinho, enquanto que o T8 foi composto por apenas 20% por partículas de cedrinho. De acordo com Iwakiri (1998) citado por Albuquerque e Latorraca (2000),

para a formação de ligações fortes, a madeira de grã ligeiramente inclinada se mostra mais adequada em relação a grã reta ou direita. Vale salientar que o tratamento T6 não apresenta partículas de cedrinho em sua composição e, essa espécie possui grã direita, portanto, pode ser que a ausência dessa espécie tenha contribuído para uma melhor eficiência na colagem das partículas e, consequentemente, uma melhor ligação interna.

Ao observar o resultado de LI para o tratamento T10 (0,38 MPa), nota-se que o valor obtido foi abaixo do encontrado por Gorski (2014), onde a autora obteve em seu estudo um resultado de 0,63 MPa para a ligação interna, em painéis produzidos com a aplicação de pinus na camada central e eucalipto nas camadas externas na proporção de 30:40:30.

Vale ressaltar que alguns corpos-de-prova do tratamento T10 apresentaram ruptura exatamente no local de transição entre as camadas (externa e interna). Situação semelhante foi encontrada por Trianoski (2010), que ao avaliar os resultados de LI observou que a ruptura aconteceu na transição entre as camadas dos painéis manufaturados com *Grevillea robusta* (camada externa) e *Pinus taeda* (camada interna). A autora atribui tal comportamento pelas diferentes características entre espécies, principalmente das partículas. Gouveia et al (2003), ao trabalhar com painéis manufaturados com partículas de *Eucalyptus* nas faces e partículas de *Pinus* no miolo, observaram que 81% dos corpos-de-prova se romperam em uma das faces. Os autores mencionam que esse comportamento pode ser explicado devido a diferença entre as espécies e, consequentemente, a diferença de densidade, bem como a menor interatividade entre a madeira de *Eucalyptus* e o adesivo.

A norma EN 300 (2006) estipula o valor mínimo para a propriedade de LI, igual a 0,30, 0,32, 0,32 e 0,45 MPa, para a classificação em OSB/1, OSB/2, OSB/3 e OSB/4, respectivamente. De acordo com a tabela 11 somente o tratamento T6 atingiu o valor mínimo para ser classificado como OSB/4, enquanto que os tratamentos T3, T6, T7, T8, T9 e T16, podem ser classificados como OSB/1, OSB/2 e OSB/3.

5.10. Perfil de densidade

Os valores médios de densidade aparente encontrados para as faces e miolo, de cada tratamento, obtidos por meio de densitometria de raios X, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Valores médios de massa específica

Tratamento	Espessura do painel (mm)	Densidade aparente (Kg.m ³)	
		Faces	Miolo
T1	15,3	776,24 ab (9,7)	750,50 ab (24,3)
T2	15,4	773,00 ab (47,6)	746,14 ab (48,1)
T3	15,3	760,94 ab (2,6)	715,72 ab (5,8)
T4	15,3	755,93 ab (28,7)	751,09 ab (18,0)
T5	15,4	799,54 ab (38,1)	787,11 a (37,0)
T6	14,8	736,66 b (16,8)	741,12 ab (21,9)
T7	15,3	781,45 ab (11,6)	763,42 ab (16,6)
T8	14,9	746,40 b (12,9)	753,35 ab (25,0)
T9	14,6	739,60 b (25,8)	714,76 ab (14,0)
T10	15,2	823,34 a (29,2)	699,67 b (32,4)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Conforme as análises de variância realizadas para a massa específica das faces e do miolo dos painéis do presente estudo (ANEXOS O e P), verificou-se que houve diferença estatística entre os tratamentos.

De acordo com a Tabela 12, nota-se que os tratamentos compostos apenas por partículas de pinus não apresentaram diferença estatísticas entre si tanto nas faces quanto no miolo dos painéis. Ainda na Tabela 12, nota-se que os tratamentos T6, T8 e T9 foram estatisticamente iguais entre si e diferiram do T10, o qual apresentou valor de massa específica nas faces superior aos demais tratamentos mencionados. Ressalta-se que o tratamento T10 é composto por misturas de madeiras de maior densidade nas faces e por partículas de pinus no miolo. Em relação a massa específica do miolo, verifica-se que houve diferença estatística para os tratamentos T5 e T10, tendo esse último apresentado valor médio inferior.

Na Figura 16 é possível observar o perfil de densidade dos painéis de cada tratamento realizado obtidos por atenuação de raios X.

Figura 12. Perfil de densidade para cada tratamento

Ao analisar a figura 16, verifica-se que os painéis de todos os tratamentos, apresentaram o perfil de densidade em “M”, sendo o T10 com um perfil mais pronunciado em relação aos demais. Tal resultado está relacionado devido os painéis desse tratamento serem constituídos por partículas de madeiras de maior densidade nas camadas externas e o miolo composto por partículas de pinus.

Ainda na figura 16, pode-se observar que alguns tratamentos apresentaram um perfil de densidade pouco pronunciado a citar como exemplo o T6. Tal tratamento demonstrou um perfil mais homogêneo em relação aos picos de densidade nas faces quando comparado ao miolo. Supõe-se que essa pouca diferença de densidade entre as camadas externas e o miolo seja proveniente da menor taxa de compactação obtida durante a prensagem a quente o que acabou resultando em um colchão menos espesso se comparado aos painéis produzidos 100% por partículas de pinus.

Na figura 17 é possível observar o perfil de densidade médio de todos os tratamentos realizados no presente estudo.

Figura 13. Perfil de densidade médio dos tratamentos

Na figura 17 fica evidente que os painéis do tratamento T10 apresentaram o padrão em forma de “M” de maneira mais pronunciada, devido as camadas externas serem constituídas pelas misturas das madeiras e a camada central de pinus. O perfil de densidade em “M” se dá devido a maior densidade nas camadas externas do painel e o miolo apresentando a menor densidade.

De acordo com Wong et al. (1999), citado por Surdi (2015), a fim de estudar a formação do perfil de densidade e seus efeitos sobre as propriedades de painéis aglomerados, produziram colchões com diferentes distribuições do teor de umidade das partículas: uniforme ao longo do colchão e variável das faces ao miolo do painel. Os autores verificaram que, durante a prensagem, com variação do teor de umidade a quantidade de vapor formada não foi suficientemente alta para

permitir a penetração completa e imediata de calor em todo o miolo do painel. Consequentemente, enquanto as faces eram plasticizadas e densificadas, o miolo ainda estaria resistindo a pressão. Quando o calor suficiente finalmente chega até o miolo, a maioria das partículas de madeira das faces já teria sido comprimida resultando em uma zona ampla e de baixa densidade na região central do painel. Os autores constataram que os perfis de densidade dos painéis com variação no teor de umidade, apresentaram-se mais pronunciados, com picos de densidades nas faces, quando comparados aos painéis com teor de umidade uniforme nas partículas.

No presente trabalho os painéis OSB foram manufaturados com teores de umidade uniformes entre as partículas *strands*, uma vez que foram secas em estufa. Dessa forma, ao levar em consideração isoladamente o teor de umidade das partículas, não se justifica a diferença encontrada nos perfis de densidade. Resultado semelhante foi encontrado por Surdi (2015) ao produzir painéis aglomerados de mesmo teor de umidade com resíduos de madeiras amazônicas.

5.11. Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma EN 300 (2006)

O resumo da classificação dos painéis dos tratamentos avaliados no presente estudo, segundo a norma EN 300 (2006), encontra-se no quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma EN 300 (2006)

Trata- mentos	Propriedades																								Escore* do Tratamento por Classe Máximo = 6				Escore** Total do Trata- mento Máx = 24
	IE24h				MOR //				MOR ⊥				MOE //				MOE ⊥				LI								
	Classes OSB/				Classes OSB/				Classes OSB/				Classes OSB/				Classes OSB/				Classes OSB/								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
T1	X	X	---	---	X	X	X	X	X	X	X	---	X	X	X	X	---	---	---	---	---	---	---	---	4	4	3	2	
T2	X	---	---	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	---	---	---	5	4	4	4		
T3	---	---	---	---	X	X	X	X	X	X	X	---	X	X	X	X	X	---	---	---	X	X	X	---	5	4	4	2	
T4	---	---	---	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	---	---	---	4	4	4	4		
T5	X	---	---	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	---	---	---	X	---	---	---	5	3	3	3	
T6	X	X	X	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	---	---	X	X	X	X	6	5	5	4	
T7	X	---	---	---	X	X	X	X	X	X	X	---	X	X	X	X	---	---	---	---	X	X	X	---	5	4	4	2	
T8	X	X	---	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	---	---	X	X	X	---	6	5	4	3	
T9	X	X	---	---	X	X	X	X	X	X	X	---	X	X	X	X	---	---	---	---	X	X	X	---	5	5	4	2	
T10	X	X	---	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	---	X	X	X	---	6	6	5	3	

*Refere-se à somatória de requisitos da norma atendidos em cada tratamento por classe de painel OSB.

**Refere-se à somatória de requisitos da norma atendidos em cada tratamento consideradas todas as classes de painéis OSB.

OSB/1 = painéis não-estruturais de uso geral e interior.

OSB/2 = painéis estruturais para uso em condições secas.

OSB/3 = painéis estruturais para uso em condições úmidas.

OSB/4 = painéis estruturais de carregamento pesado para uso em condições úmidas.

X = Atende ao requisito da norma EN 300 (2006).

--- = Não atende ao requisito da norma EN 300 (2006).

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, analisados e discutidos no presente estudo, conclui-se o seguinte:

Excetuada a densidade aparente, diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos adotados na manufatura dos painéis foram verificadas para todas as propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

Os painéis OSB produzidos a partir de algum tipo de mistura com madeiras nativas mostraram tendência para redução da absorção de água e do inchamento em espessura, em relação aos produzidos integralmente com as madeiras de *Pinus* spp. Os tratamentos cujos painéis foram produzidos integralmente com a madeira de *Pinus caribaea* (T3 e T4), não atenderam ao requisito de IE24h especificado na norma EN 300 (2006) para enquadramento em nenhuma das quatro classes de OSB nela definidas. Excetuados os painéis destes tratamentos, todos os demais atenderam ao requisito e enquadraram-se na classe OSB/1. Os painéis de quase todos os tratamentos produzidos a partir de alguma mistura com madeiras nativas atenderam ao requisito e foram enquadrados na classe OSB/2, exceto os painéis dos tratamentos T5 e T7. Na classe OSB/3, apenas os painéis do tratamento T6 atenderam ao requisito normativo para IE24h e, na classe OSB/4, a mais exigente da norma em referência, os painéis de nenhum dos tratamentos adotados enquadraram-se;

Os painéis OSB de todos os tratamentos adotados demonstraram excelente desempenho nas propriedades de MOR e MOE paralelos, cujos valores atenderam aos requisitos de todas as quatro classes de OSB definidas na norma em referência;

O MOR perpendicular dos painéis de todos os tratamentos adotados atendeu aos requisitos normativos para enquadramento nas três primeiras classes de OSB, mas, houve restrições para enquadramento dos painéis de dois tratamentos empregando as madeiras de *Pinus* spp (T1 e T3) e dois tratamentos com a mistura de madeiras, *Pinus caribaea* e nativas (T7) e misturas apenas de nativas (T9), na classe OSB/4;

O MOE perpendicular foi a propriedade de flexão estática que limitou o enquadramento da maioria dos painéis produzidos com as misturas das madeiras de *Pinus caribaea* e nativas nas classes OSB/2, OSB/3 e OSB/4;

Os painéis OSB dos tratamentos produzidos com as madeiras de *Pinus* spp na proporção 20:60:20 (T2 e T4) em relação aos que foram produzidos na proporção 30:40:30 (T1 e T3), bem como em relação a todos os demais tratamentos adotados produzidos na proporção 30:40:30, foram os que mostraram melhor desempenho no MOE perpendicular e atenderam aos requisitos normativos para enquadramento nas quatro classes de OSB;

Os painéis OSB produzidos a partir de algum tipo de mistura com madeiras nativas, exceto os do tratamento T5, atenderam ao requisito normativo de resistência à ligação interna (LI) para as classes OSB/1, OSB/2, OSB/3, da mesma maneira que também atenderam aos requisitos e seguiram esse enquadramento os painéis produzidos integralmente com madeira de *Pinus caribaea* na proporção 30:40:30. Já na classe OSB/4, apenas os painéis do tratamento T6 cumpriram o requisito normativo;

Os painéis dos tratamentos T6 (angelim 40% + pequiá 20% + *Pinus caribaea* 40%), T8 (cedrinho 20% + angelim 20% + pequiá 20% + *Pinus caribaea* 40%) e T10 (angelim 40% + pequiá 20% (faces) + *Pinus caribaea* 40% (miolo)), destacaram-se entre os demais, na medida em que foram os únicos que atenderam a todos os requisitos normativos para enquadramento na classe OSB/1. Dentre estes, sobressaiu-se o tratamento T10, por ter sido o único cujos painéis também atenderam integralmente aos requisitos normativos para enquadramento na classe OSB/2 e OSB/3, nesta última classe excetuado o caso do IE24h, no qual a norma exige o máximo de 15% e o valor médio dos painéis foi de 16%.

De modo geral, as madeiras amazônicas avaliadas no presente estudo, misturadas com madeira de *Pinus caribaea*, mostraram bom potencial para fabricação de painéis OSB.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento de trabalhos futuros sobre a produção de OSB, empregando-se as misturas das madeiras amazônicas e de pinus ora avaliadas, recomenda-se o uso da proporção 20:60:20 nas camadas de face:miolo:face visando aumentar o valor do MOE perpendicular; para a redução do inchamento em espessura recomenda-se experimentar a elevação gradual do teor de parafina e, ou, do teor de adesivo aplicado.

Adicionalmente, recomenda-se em trabalhos futuros avaliar as propriedades do OSB manufaturado com as misturas das madeiras amazônicas alocadas no miolo dos painéis e a madeira de pinus nas faces; analisar a permeabilidade das madeiras, bem como a viscosidade dos adesivos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 14660. Amostragem e preparação para análise.** 2004. 2004.
- ABNT. **NBR 14853. Determinação do material solúvel em etanol-tolueno, em diclorometano e em acetona.** 2010. 2010.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. de; LATORRACA, J. V. de F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, p. 158–166, 2000.
- ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P. **Pisos de madeira: características de espécies brasileiras.** Piracicaba: Piracicaba Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**, 1997. .
- BALLONI, C. J. V. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA.** [s.l: s.n.].
- BERNARDI, R. **Uso de painéis de madeira reconstituída.** Bento Gonçalves: SENAI, Centro Tecnológico do Mobiliário, 2003.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B. da; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: painéis de madeira.** Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2010.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Indicações para utilização da madeira de seis espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 1993. 119p.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 563–570, ago. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000400010&lng=pt&tlng=pt>.
- BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science an introduction.** 5th ed. ed. Ames, Iowa: Ames, Iowa Blackwell, 2007.
- BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. **Silvics of North America.** Volume 1. ed. [s.l: s.n.]
- CABRAL, C. P. T. et al. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Revista Arvore**, v. 30, n. 4, p. 659–668, jul. 2006.
- CÉSAR, A. A. da S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board).** 2011. Universidade Federal de Lavras, 2011.

- CHEN, S. et al. Digital X-ray analysis of density distribution characteristics of wood-based panels. **Wood Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 85–93, fev. 2010.
- CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: I seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e I Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1998.
- DE ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P. **INDICAÇÃO DE PROGRAMAS PARA A SECAGEM CONVENCIONAL DE MADEIRAS**. 2000. 2000.
- DEL MENEZZI, C. A. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 2004. Disponível em: <<http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>>. Acesso em: 21 jan. 2020.
- EN-300. **EN 300: Oriented Strand Board (OSB) - Definitions, classification and specifications**. 2006. London, 2006.
- EN-310. **Wood based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. 1993. 1993.
- EN-317. **European Committee for Standardization. Particleboards and fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water**. 1993. 1993.
- EN-319. **Particleboards and fibreboards — Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board**. 1993. 1993.
- FERREIRA, G. C.; HOPKINS, M. J. G.; SECCO, R. de S. Contribuição Ao Conhecimento Morfológico Das Espécies de Leguminosae Comercializadas No Estado Do Pará, Como “Angelim”. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 2, p. 219–232, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672004000200010&lng=pt&tlng=pt>.
- FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção**. 2013. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-12042013-215053/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **Ipef**, v. 2/3, p. 65–74, 1971.
- FOELKEL, E.; FOELKEL, C. **Pinus Letter**. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_08.html#um>. Acesso em: 16 jan. 2020a.

- FOELKEL, E.; FOELKEL, C. **Pinus Letter**. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_03.html#um>. Acesso em: 17 jan. 2020b.
- FRIHART et al. **Wood Handbook, Chapter 10: Adhesives with Wood Materials- Bond Formation and Performance**. [s.l: s.n.].
- FRITZSONS, E. et al. Carta de zoneamento de *Pinus caribaea* para o Estado do Paraná. In: **Anais...**2014. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>. Acesso em: 16 jan. 2020.
- GONÇALVES, F. G. et al. X-ray densitometry in the evaluation of density in particleboard panel. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1151–1162, 1 jul. 2018.
- GORSKI, L. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de Pinus spp. Eucalyptus benthamii**. 2014. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.
- GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 365–370, jun. 2003.
- IBÁ. **Relatório 2019**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores, 2019.
- IWAKIRI, S. **A influencia das variaveis de processamento sobre propriedades de chapas de particulas de diferentes especies de pinus**. 1989. Universidade Federal do Paraná, 1989.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.
- IWAKIRI, S. et al. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni* para produção de painéis de partículas orientadas - OSB. **Ciencia Florestal**, v. 18, n. 2, p. 265–270, abr. 2008.
- IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de uso da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata* para produção de painéis osb. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 277–284, 2014.
- IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados com misturas de seis espécies de madeiras da amazônia E *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 259–267, 2016.
- JANSSENS, D. P. The increasing recognition of oriented strand board (OSB) as a preferred structural panel. In: Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: I seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e I Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1998.
- KELLY, M. W. Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. **Forest product laboratory**, p. 1–57, 1977.
- KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of Wood Science and Technology**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 1968.

- LINVILLE, J. D. **The Influence of a horizontal density distribution on moisture-related mechanical degradation of oriented strand composites**. 2000. Washington State University, 2000.
- LONGO, B. L. **Potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados**. 2014. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.
- LORENZI, H. **Arvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: São Paulo Plantarum, 1992.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1977.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993.
- MARTARELLO, L. P. et al. Influência do arranjo das camadas do colchão nas propriedades tecnológicas de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 43, n. 107, p. 503–510, 2015.
- MARTINS, R. L.; GRIBEL, R. Polinização de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Caryocaraceae) uma árvore emergente da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 37–45, mar. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042007000100005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- MELO, J. E. de; CAMARGOS, J. A. A. **A madeira e seus usos**. Brasília: SFB/LPF/MMA, 2016.
- MELO, J. E. de; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade de madeira para a Amazônia Brasileira. In: Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1990.
- MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. Universidade Federal do Paraná, 2001.
- MENDES, L. M. et al. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 89, 30 mar. 2003.
- MENDES, L. M. et al. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 135, 30 jun. 2005.
- MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-11022011-105740/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

- MORAES, M. L. T. de et al. Melhoria de *Pinus caribaea* no Brasil. In: REUNIÃO PAULISTA DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1; ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: 2008.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard: technology**. London: Southern Illinois University, 1974.
- NENNEWITZ, I. et al. **Manual de tecnologia da madeira**. 2. ed. bra ed. São Paulo: Editora Blucher, 2012.
- PARKER, M. L. et al. Application of x-ray densitometry to determine density profile in waferboard: relationship of density to thickness expansion and internal bond strength under various cycles. **Wood science**, v. 11, n. 1, p. 48–55, 1978.
- PARROTA, J. A.; FRANCIS, J. K.; DE ALMEIDA, R. R. **Trees of the Tapajos a photographic field guide**. Rio Piedras: Rio Piedras International Institute of Tropical Forestry, 1995.
- PECHO, R. et al. Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB. **Bosque (Valdivia)**, v. 26, n. 1, 2005.
- PLATH, E.; SCHNITZLER, E. Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 32, n. 11, p. 443–449, nov. 1974. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02612838>>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. Universidade Federal do Paraná, 2004.
- SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE E DO TIPO DE RESINA NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS OSB DE *Pinus taeda* L. **FLORESTA**, v. 39, n. 3, 11 set. 2009.
- SALLES FERRO, F. et al. Effect of Alternative Wood Species and First Thinning Wood on Oriented Strand Board Performance. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2018, p. 1–7, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2018/4603710>>. Acesso em: 22 nov. 2019.
- SANDOVAL, J. R.; RODRIGUEZ, P. A. ***Pinus caribaea* (Caribbean pine)**. Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/41573#E39709D4-F593-40FD-BD14-967E2C29CC57>>. Acesso em: 1 mar. 2020.
- SANQUETTA, C. R. et al. ANÁLISE DA PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO APARENTE DE PAPEL NO BRASIL ENTRE 1961 E 2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 44–49, 30 mar. 2020.
- SHIMIZU, J. Y. **Pínus na Silvicultura Brasileira**. [s.l.] Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

- SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* var. *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2012. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-10082012-101205/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- SURDI, P. G. et al. Relação entre perfil de densidade e ligação interna de painéis OSB de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 349–357, 1 ago. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000300008&lng=pt&tlng=pt>.
- SURDI, P. G. **Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação**. 2015. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-06042016-183539/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação Do Potencial De Espécies Florestais Alternativas, De Rápido Crescimento, Para Produção De Painéis De Madeira Aglomerada**. 2010. Universidade Federal do Paraná, 2010.
- TRIANOSKI, R. et al. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 97–104, 2011.
- VALLE, A. C. M. **Influência da adição de dióxido de titânio (TiO₂) nas propriedades físico-mecânicas de painéis MDP** (G. Bortoletto Junior, Ed.) Piracicaba Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, , 2018. .
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2014.
- WANG, H.; MALCOLM, D. C.; FLETCHER, A. M. *Pinus caribaea* in China: introduction, genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1–3, p. 1–15, maio 1999. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112798004794>>.
- WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M. Localized density effects on fastener holding capacities in wood-based panels. **Forest Products Journal**, v. 57, 2007.
- WONG, E.-D. et al. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. **Wood Science and Technology**, v. 33, n. 4, p. 327–340, 20 set. 1999. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s002260050119>>.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. [s.l: s.n.]

ANEXOS

ANEXO A. Análise de Variância para a variável extrativos totais do Cedrinho

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	1	2.47042	2.47042	38.46	0.003438**
Residuals	4	0.25693	0.06423		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO B. Análise de variância para a variável extrativos totais do Pequiá

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	1	11.3163	11.3163	71.03	0.001085 **
Residuals	4	0.6373	0.1593		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO C. Análise de variância para a variável extrativos totais do Angelim

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	1	0.016017	0.016017	0.2376	0.6515
Residuals	4	0.269667	0.067417		

ANEXO D. Análise de Variância dos tratamentos para a variável densidade aparente dos painéis

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	5299	588.76	1.4221	0.1772
Residuals	330	136624	414.01		

ANEXO E. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Absorção de Água após 2h de imersão

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	35121	3902.3	94.887	<2.2e-16***
Residuals	170	6991	41.1		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO F. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Absorção de água após 24h de imersão

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	19130.3	2125.58	119.84	<2.2e-16***
Residuals	170	3015.1	17.74		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO G. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Inchamento em Espessura após 2h

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	5262.0	584.66	68.859	<2.2e-16***
Residuals	170	1443.4	8.49		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO H. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Inchamento em Espessura após 24h

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	4004.1	444.90	22.238	<2.2e-16***
Residuals	170	3401.1	20.01		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO I. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Taxa de Não Retorno em Espessura

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	2477.0	275.225	15.958	<2.2e-16***
Residuals	170	2931.9	17.247		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO J. Análise de Variância dos tratamentos para a variável MOR Paralelo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	2776.5	308.496	3.4838	0.002086 **
Residuals	50	4427.6	88.552		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO K. Análise de Variância dos tratamentos para a variável MOR Perpendicular

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	1425.6	158.397	7.7774	4.73e-07 ***
Residuals	50	1018.3	20.366		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO L. Análise de Variância dos tratamentos para a variável MOE Paralelo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	37644740	4182749	3.9529	0.000747***
Residuals	50	52908006	1058160		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO M. Análise de Variância dos tratamentos para a variável MOE Perpendicular

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	19895656	2210628	17.491	1.28e-12***
Residuals	50	6319137	126383		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO N. Análise de Variância dos tratamentos para a variável Ligação Interna

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	1.4549	0.161652	13.101	8.847e-16 ***
Residuals	170	2.0976	0.012339		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO O. Análise de Variância dos tratamentos para as Faces do Perfil de Densidade

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	20296	2255.07	3.3454	0.01173 *
Residuals	20	13482	674.09		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANEXO P. Análise de Variância dos tratamentos para o Miolo do Perfil de Densidade

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Tratamento	9	18057	2006.38	2.7659	0.02786 *
Residuals	20	14508	725.39		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1