



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

BRUNO EDUARDO MAZETTO DOMINGOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS
(CASCAS DE *EUCALYPTUS grandis* E MARAVALHA DE
PINUS spp) PARA ELABORAÇÃO DE NOVA PROPOSTA
PARA PAINÉIS DE TIRAS DE MADEIRA ORIENTADAS
(OSB)**



Programa Associado de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Estadual de Maringá
Universidade Estadual de Londrina

Mestrado em Arquitetura e Urbanismo

BRUNO EDUARDO MAZETTO DOMINGOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS
(CASCA DE *EUCALYPTUS grandis* E MARAVALHA DE
PINUS spp) PARA ELABORAÇÃO DE NOVA PROPOSTA
PARA PAINÉIS DE TIRAS DE MADEIRA ORIENTADAS
(OSB)**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo Moura

LONDRINA

2016

BRUNO EDUARDO MAZETTO DOMINGOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS
(CASCAS DE *EUCALYPTUS grandis* E MARAVALHA DE
PINUS spp) PARA ELABORAÇÃO DE NOVA PROPOSTA
PARA PAINÉIS DE TIRAS DE MADEIRA ORIENTADAS
(OSB)**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo Moura.

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Domingos, Bruno Eduardo Mazetto.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS (CASCAS DE EUCALYPTUS GRANDIS E MARAVALHA DE PINUS SPP) PARA ELABORAÇÃO DE NOVA PROPOSTA PARA PAINÉIS DE TIRAS DE MADEIRA ORIENTADAS (OSB) / Bruno Eduardo Mazetto Domingos. - Londrina, 2017.
90f. : il.

Orientador: Jorge Daniel de Melo Moura .

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Casca de Eucalyptus grandis - Tese. 2. Maravalha - Tese. 3. Painel de tiras de madeira orientada - Tese. 4. OSB - Tese. I. de Melo Moura , Jorge Daniel . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

BRUNO EDUARDO MAZETTO DOMINGOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIREIRAS (CASCA DE
EUCALYPTUS grandis E MARAVALHA DE *PINUS spp*) PARA
ELABORAÇÃO DE NOVA PROPOSTA PARA PAINÉIS DE TIRAS DE
MADEIRA ORIENTADAS (OSB)**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo
Moura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Ricardo Dias Silva
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Profa. Dra. Juliana Cortez Barbosa
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Londrina, 24 de março de 2017.

A minha esposa Mariana e ao meu filho Eduardo.
Aos meus pais, Madson e Tereza, e meus irmãos.
Aos meus avós Edson e Irene.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha esposa, Mariana, pela sua dedicação, apoio e muita compressão durante todo o mestrado.

À minha família pelo incentivo, apoio e parceria.

Aos amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Jorge Daniel de Melo Moura, por sua amizade, incentivo e dedicação nesses anos de pesquisa, contribuindo diretamente para meu crescimento científico e intelectual. E a todos os professores do programa de mestrado que contribuíram com seus conhecimentos para que eu construísse essa dissertação.

Ao Centro Universitário Uningá, pelo apoio à pesquisa, disponibilizando todos os equipamentos necessários.

Às alunas de Iniciação Científica Aline de Bortolo, Beatriz Marchiori, Heloisa Málaque, Leticia Tsuzaki e Luiza Schincariol, pela grande ajuda na realização do projeto em momentos decisivos.

À Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao amigo Carlos Alberto Duarte do laboratório de modelos da UEL que não poupou esforços para auxiliar e aconselhar no processo de pesquisa.

DOMINGOS, Bruno Eduardo Mazetto. **Aproveitamento de Resíduos de Madeiras (Cascas de *Eucalyptus grandis* e Maravalha de *Pinus spp*) para Elaboração de Nova Proposta para Painéis de Tiras de Madeira Orientadas (OSB)**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Londrina. 2016.

RESUMO

Os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas, por serem em grandes quantidades e, muitas vezes, dispostos indevidamente, tornam-se uma preocupação devido ao impacto negativo gerado sobre o meio ambiente. A temática deste estudo surgiu tendo em mente que a construção civil está sempre em busca de sistemas cada vez mais industrializados, com menos perdas e, mais recentemente, com o objetivo de utilizar meios de proteger o meio ambiente. Desse modo, esse projeto pretende estudar o aproveitamento de resíduos. Neste contexto, dois materiais são tratados como resíduos das indústrias madeireiras, sendo pouco utilizados: as cascas de árvores e a maravalha, sobras dos processos primários. A principal forma de utilização destes resíduos nestas indústrias é a queima para geração de energia barata. Porém, nem todo o resíduo gerado é aproveitado. O presente estudo tem como objetivo o reaproveitamento destes materiais como matéria-prima para elaboração de uma nova proposta para painéis de tiras de madeira orientada (OSB - *Oriented Strand Board*) podendo tornar-se uma solução viável para a destinação dos resíduos das madeireiras. A estratégia de pesquisa é o Estudo de Caso, pois foi explorada a maneira de elaboração da chapa com a utilização das cascas de *Eucalyptus grandis* e de maravalha de *Pinus spp*. A metodologia foi experimental, pois após serem realizados os estudos de métodos, ferramentas existentes e análises do processo de fabricação de painéis OSB, houve a produção de chapas com variação no teor de porcentagem de uma das matérias primas, a casca de *Eucalyptus grandis*, com aplicação de porcentagem fixa de 6% de adesivo PF (Fenol formaldeído), com base na massa seca de partículas de adesivo. Nas etapas seguintes a chapa OSB foi analisada segundo normas internacionais europeias em relação às características físicas e mecânicas afim de se obter uma classificação de tipologia de OSB. Como resultado, foi constatada a viabilidade de produção de uma chapa de tiras de madeira orientada elaborada com resíduos de madeireiras. O painel do tipo P4, produzido com 90% de cascas de *Eucalyptus grandis* e 10% de Maravalhas de *Pinus spp.*, atingiu os valores mínimos estabelecidos pelo documento normativo EN: 300,2006, e foi classificado como OSB/1 - Placas para usos gerais, incluindo decoração interior e mobiliário, em ambiente seco.

Palavras-chave: Casca de *Eucalyptus grandis*. Maravalha de *Pinus spp*. Painel de tiras de madeira orientada. OSB. metodologia de projeto.

DOMINGOS, Bruno Eduardo Mazetto. **Utilization of Wood Residues (Eucalyptus Grandis Shells and Pinus Spp. Maravalha) for Elaboration of a New Proposal for Oriented Wood Strip Panels (OsB)**. 2016. 90 p. Dissertation (Master's Degree in Architecture and Urbanism) - State University of Londrina. 2016

ABSTRACT

Solid waste generated by human activities, because they are in large quantities and often unduly disposed, become a concern due to the negative impact generated on the environment. The thematic of this study arose bearing in mind that the civil construction is always in search of systems increasingly industrialized, with less losses and, more recently, with the objective of using means to protect the environment. In this way, this project intends to study the use of waste. In this context, two materials are treated as waste from the timber industry, being little used: tree bark and shavings, leftovers from the primary processes. The main form of use of these wastes in these industries is the burning for cheap energy generation. However, not all the waste generated is used. The present study aims to reuse these materials as a raw material for the preparation of a new proposal for Oriented Strand Board (OSB) and, in this way, OSB sheets can become a viable solution for the disposal of waste from logging. The research strategy is the Case Study, since it was explored the way of elaboration of the plate with the use of Eucalyptus grandis bark and shavings of *Pinus spp.* The methodology was experimental, since after the studies of methods, existing tools and analyzes of the manufacturing process of OSB panels, the production of plates was made with variation in the percentage content of one of the raw materials, the bark of Eucalyptus grandis, with fixed percentage application of 6% of PF resin (Phenol formaldehyde), based on the dry mass of resin particles. In the following stages the OSB plate was analyzed according to European international standards in relation to the physical and mechanical characteristics in order to obtain a classification of OSB typology. As a result, it was verified the feasibility of producing a sheet of oriented wood strips made from wood waste. The P4 type panel, produced with 90% Eucalyptus grandis bark and 10% of Pinus spp. shavings, reached the minimum values established by the normative document EN: 300,2006, and was classified as OSB/1 - Plates for uses General, including interior decoration and furniture, in a dry environment

Keywords: Eucalyptus grandis bark. Pine shavings. Oriented Strand Board Panels. OSB. Design methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Paineis OSB.....	20
Figura 02: Processo industrial de produção de OSB.....	26
Figura 03: Projeto do orientador de partículas e caixa formadora utilizados na formação do colchão	28
Figura 04: Fluxograma do processo de fabricação do painel aglomerado de madeira	29
Figura 05: Casca de <i>Eucalyptus grandis</i>	35
Figura 06: Maravalhas e suas diferentes granulometrias	37
Figura 07: Processo de preparo das cascas de Eucalipto.....	41
Figura 08: Processo de preparo das maravalhas de <i>Pinus spp.</i>	41
Figura 09: Processo de preparo do adesivo FF.....	42
Figura 10: Processo de produção das amostras das chapas.....	43
Figura 11: Gerador de partículas.....	44
Figura 12: Encoladeira (betoneira)	45
Figura 13: Separador e orientador de partículas	46
Figura 14: a) prensa hidráulica do modelo ENERPAC IPE-3060 e b) prensa hidráulica da marca OMACO.....	47
Figura 15: Estufa ventilada LUFERCO	48
Figura 16: Máquina Universal de Ensaio EMIC 23-100 INSTRON/EMIC	49
Figura 17: Aparelho de ultrassom modelo Pundit Lab.....	50
Figura 18: Produção das partículas.....	51
Figura 19: a) peneira vibratória e b) <i>Strands</i> de pinus na bandeja de malha 19 mm da peneira.....	53
Figura 20: Diferentes granulometrias das cascas de eucalipto obtidas após peneiração.....	53
Figura 21: Diferentes granulometrias das maravalhas obtidas após peneiração.....	54
Figura 22: Partículas de casca de <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Strands</i> e Maravalhas de <i>Pinus spp.</i>	55
Figura 23: Homogeneidade das partículas.....	56
Figura 24: Matérias-primas dispostas em bandejas e em estufa ventilada	57
Figura 25: Partículas separadas para a fabricação de cada tipo de painel	58

Figura 26: Adesivo Fenol Formaldeído (PF).....	59
Figura 27: Encoladeira	60
Figura 28: Processo de formação do colchão utilizando separador e orientador de partículas.....	61
Figura 29: a) Pré-prensagem e b) Cabeça de prensa em chapa de aço.....	62
Figura 30: Prensa hidráulica mecânica da marca OMACO	63
Figura 31: Painéis confeccionados em processo de cura do adesivo	63
Figura 32: Diagramação de corte	65
Figura 33: Ensaio não destrutivo por meio do ultrassom.....	66
Figura 34: Estufa ventilada para realização de ensaio de Teor de umidade	69
Figura 35: Processo de medida de um corpo de prova do ensaio de Inchamento em Espessura e Absorção de Água. A) inchamento após 2 horas, B) inchamento após 24 horas	70
Figura 36: Máquina universal de ensaios EMIC, Modelo 23-100	71
Figura 37: CP na posição de ensaio e após sua ruptura	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Requisitos em termos de valores limites para OSB/01	21
Quadro 02: Requisitos em termos de valores limites para OSB/02	21
Quadro 03: Requisitos em termos de valores limites para OSB/03	22
Quadro 04: Requisitos em termos de valores limites para OSB/04	23
Quadro 05: Variação dimensional para 1% de alteração no teor de umidade do painéis	24
Quadro 06: Teor de umidade relativo dos painéis	25
Quadro 07: Proporções de materiais para a produção dos painéis para os ensaios	39
Quadro 08: Massa de partículas para a produção dos painéis.....	52
Quadro 09: Quantidade necessárias de corpos de prova para os ensaios	64
Quadro 10: Densidade Aparente/Razão de Compactação e Teor de Umidade	74
Quadro 11: Inchamento em Espessura e Absorção de Água.....	76
Quadro 12: Valores obtidos para o MOE transversal	79
Quadro 13: Valores para o MOE longitudinal	79
Quadro14: MOR transversal.....	81
Quadro 15: MOR longitudinal	81
Quadro 16: Dados comparativos entre o MOEd (Módulo de elasticidade dinâmico) e o MOEe (Módulo de elasticidade estático).....	83

LISTA DE SIGLAS

EN	<i>European Standards</i>
ENV	<i>European Pre-Standard</i>
EPF	<i>European Panel Federation</i>
FF	Fenol Formaldeído
MF	Melamina Formaldeído
MOE	Módulo de Elasticidade
MOEd	Módulo de Elasticidade Dinâmico
MOR	Módulo de Ruptura
MUF	Melamina Ureia Formaldeído
OSB	<i>Oriented Strands Boards</i>
PF	<i>Phenol Formaldehyde</i>
PMDI	Difenil Polimérica Disocianato de Metano
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UF	Ureia Formaldeído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Contextualização da chapa OSB	19
2.2	Composição e Aspectos da chapa OSB	19
2.3	Definições da chapa OSB	20
2.4	Propriedades Físicas da chapa OSB	24
2.5	Aspectos gerais sobre a produção e utilização dos painéis OSB	25
2.5.1	Processo de fabricação industrial	25
2.5.2	Processo de fabricação laboratorial.....	26
2.6	Fatores de influência no processo de fabricação dos painéis OSB	30
2.6.1	Tipo de adesivo e proporção	30
2.6.2	Teor de umidade das partículas	32
2.6.3	Geometria e orientação das partículas	32
2.6.4	Densidade	33
2.6.5	Composição dos painéis.....	34
2.7	A casca do <i>Eucalyptus grandis</i>	34
2.7.1	Aspectos físicos da casca de <i>Eucalyptus grandis</i>	34
2.8	Maravalha	36
2.8.1	Aspectos físicos da Maravalha de <i>Pinus spp.</i>	36
2.9	Síntese da revisão bibliográfica	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1	Local do experimento e matérias primas utilizadas	43
3.2	Equipamentos utilizados	44
3.3	Produção dos painéis	50
3.3.1	Obtenção das partículas de casca de <i>Eucalyptus grandis</i> e Maravalha de <i>Pinus Spp.</i>	51
3.3.2	Separação da granulometria das partículas	52
3.3.3	Aplicação da resina	58
3.3.4	Orientação das partículas e formação do colchão.....	60

3.3.5	Prensagem dos painéis	61
3.4	Obtenção dos corpos de provas	64
3.5	Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd) – Ensaio não destrutivo	65
3.6	Determinação das propriedades dos painéis – Ensaios destrutivos	67
3.6.1	Propriedades Físicas	67
3.6.2	Propriedades Mecânicas	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	Ensaios Físicos.....	74
4.2	Ensaios mecânicos	77
4.2.1	Módulo de elasticidade (MOE)	77
4.2.2	Módulo de Ruptura	80
4.2.3	Módulo de elasticidade dinâmico.....	82
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	85
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sendo utilizado como fonte de matéria prima há tempos e seus resíduos são muitas vezes descartados em despejos ou aterros. Os resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas, quando são em grandes quantidades e dispostos indevidamente, tornam-se uma preocupação devido ao impacto negativo gerado sobre o meio ambiente (GOMES; SAMPAIO, 2004). Tendo em mente que a construção civil está sempre em busca de sistemas cada vez mais industrializados e inteligentes, com menos perdas e, mais recentemente, com o objetivo de utilizar meios de proteger o meio ambiente, esse projeto pretende estudar o aproveitamento de resíduos. Estima-se que a cada 10 árvores cortadas, apenas 5 serão utilizadas comercialmente, pois de uma tora, apenas de 40% a 60% são aproveitados (GOMES; SAMPAIO, 2004).

Um dos resíduos que vem sendo pouco utilizado são as cascas de árvores, sobras das indústrias madeireiras. A sua principal forma de utilização nestas indústrias é a queima para geração de energia barata. Porém, nem todo o resíduo gerado é aproveitado (FOELKEL, 2006). Um segundo resíduo importante é a maravalha, proveniente das aparas de madeira destas indústrias.

Neste contexto, esse estudo propõe o reaproveitamento destes resíduos como matéria prima para elaboração de uma nova proposta para painéis de tiras de madeira orientada (OSB – *Oriented Strand Board*) e, desta forma, os painéis OSB podem tornar-se uma solução viável para a destinação dos resíduos. O painel OSB será analisado segundo normas internacionais europeias em relação às características físicas e mecânicas para possível utilização como alternativa para construção civil.

Nos dias atuais, a madeira é uma das principais matérias-primas mundiais. Com o aumento da demanda, há grande utilização de madeira de reflorestamento devido a rapidez do plantio e a escassez de madeiras nativas. Porém, ainda há o problema do resíduo gerado com as cascas de madeira e as maravalhas que não são utilizadas de forma prática e são descartadas, agravando a perda de material. Os resíduos mais

comuns das indústrias madeireiras são a casca, a serragem, a lenha e a maravalha ou cepilho (TAVARES, 2010).

De acordo com Foelkel (2006), as cascas das árvores de eucalipto são consideradas um tipo de combustível mais viável financeiramente, bem como oportuno, para as indústrias madeireiras. Segundo o autor, assim as indústrias madeireiras resolvem o problema de acúmulo do resíduo. As cascas de eucalipto também podem ser utilizadas como cobertura morta ao solo, como adubo, para produção de carvão vegetal, além de fornecer fitoquímicos (óleos essenciais, taninos, compostos fenólicos, etc.), entre outros, contribuindo com valiosas utilidades à sociedade (FOELKEL, 2006). Porém, nem todo o resíduo é utilizado e uma quantidade considerável ainda é descartada em despejos ou aterros. De acordo com o autor, se não houver destinação final adequada, esses resíduos podem influenciar negativamente no meio ambiente, poluindo solo e águas, com sérios impactos ambientais.

De acordo com Brito (1995), as maravalhas são um dos tipos de resíduos muito pouco utilizados, principalmente na região Sul onde estão concentradas grande parte das indústrias madeireiras. A utilização das maravalhas também se dá na forma de energia, apesar de apresentarem boas características para a produção de chapas de partículas e, conforme o autor, existe a possibilidade de ocorrer a utilização isolada ou em combinação com outras matérias-primas, como ocorrerá no caso deste trabalho, com as cascas de eucalipto. A maravalha é derivada das operações de usinagem (plaina) e caracteriza-se como resíduo com mais de 2,5 mm sendo bastante utilizada para a confecção de camas e de aviário e estábulos (BRAND, et al., 2004). De acordo com Coronel et al. (2007), o resíduo de maravalha pode chegar a 20 % do total da matéria-prima desperdiçada nas indústrias madeireiras.

Segundo Mota (2006), uma alternativa eficiente é o aproveitamento dos resíduos com benefícios ambientais por causa da diminuição da utilização de recursos naturais e da poluição que a destinação final poderia causar. Ao mesmo tempo, é necessário um desenvolvimento constante de novas tecnologias e materiais para a construção civil, a fim de proporcionar mais opções de materiais para habitações, com soluções mais ecológicas e com menos prejuízos ao meio ambiente.

Com base nos autores citados, os painéis OSB tornam-se uma solução possível para os resíduos das madeireiras que processam eucalipto. A espécie tem potencial para se tornar dominante na construção civil já que seu uso e área plantada se encontra em momento de expansão. Segundo o Anuário estatístico da ABRAF (2011), o gênero *Eucalyptus* tem sido amplamente utilizado pelo setor industrial como substituto imediato de madeiras oriundas de florestas nativas. Seu plantio no ano de 2011 ocupou uma área de 4.873.952 ha, sendo que destes, 53,9% localizam-se na região sudeste do Brasil. Dessa forma, o problema de geração de resíduos deve se agravar, por outro lado, aumentará o potencial para fabricação de painéis OSB.

O problema que este trabalho pretende resolver é como substituir o material básico do painel OSB por cascas de eucalipto e maravalhas de *Pinus* como solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos de madeireiras.

O Objetivo Geral deste trabalho é verificar a possibilidade de produção de painel OSB a partir da troca parcial ou integral da matéria prima formadora do colchão de partículas dos painéis por cascas de *Eucalyptus grandis* e Maravalha de *Pinus spp.*, - materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa. Para alcançar esta finalidade, os objetivos específicos desse trabalho são:

- Realizar levantamento de bases teóricas;
- Analisar as variáveis físicas e climáticas que influenciam na elaboração do painel OSB;
- Avaliar a incorporação de diferentes porcentagens de casca de eucalipto e maravalha de *Pinus*, com a utilização de adesivo de fenol formaldeído; Avaliar os painéis de OSB assim compostos em relação as características físicas e mecânicas segundo as normas europeias: “EN 310: Painéis derivados de madeira: a determinação de módulo de elasticidade em flexão e de resistência à flexão. ref. na lista, padrão europeu; “EN 317: Aglomerados e aglomerados de fibra: determinação de inchamento em espessura após imersão em água”.
- Comparar os valores médios obtidos nos ensaios físicos e mecânicos para classificação do painel de acordo com a norma europeia: “EN 300:2006 –

Painéis de partículas orientadas (OSB) - Definições, classificação e especificações”.

A adoção deste documento normativo foi estabelecida devido ao fato de não existirem normas brasileiras específicas sobre a tipologia da chapa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Contextualização da chapa OSB

Segundo a *European Panel Federation* (EPF) (2016), o OSB (*Oriented Strand Board* - aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas) é um tipo de derivado de madeira de concepção técnica avançada, constituído por lâminas de madeira unidas com uma resina sintética e prensadas sob altas temperaturas. Em geral, nas camadas exteriores as partículas estão dispostas longitudinalmente em relação ao comprimento da placa, enquanto nas camadas intermédias estão dispostas perpendicularmente a essa dimensão, o que aumenta sua resistência mecânica e rigidez (EPF, 2016).

2.2 Composição e Aspectos da chapa OSB

O OSB varia na cor entre um amarelo-palha claro e um castanho médio (Figura 01), dependendo dos tipos de madeira usados, dos sistemas de resinas adoptados e das condições de prensagem respectivas. Não contém quaisquer nós, poros ou discontinuidades (EPF, 2016).

Os tipos de madeira mais utilizados na fabricação nacional do painel OSB são provenientes de florestas plantadas. As partículas de madeiras são cortadas de forma tangencial a partir de troncos sem casca, posicionados longitudinalmente contra lâminas rotativas. Desse processo resultam porções de madeira com cerca de 75 mm de largura, divididas posteriormente para produzir partículas com dimensões aproximadas de 100 mm de comprimento e entre 5 e 50 mm de largura. Depois, as partículas são secas em estufas ventiladas e recebem a aplicação de uma resina sintética (CLOUTIER, 1998).

Os adesivos ou resinas mais utilizados no setor industrial incluem as de fenol-formaldeído – FF ("Phenol formaldehyde" - PF), as de melamina-ureia-formaldeído ("melamine fortified Urea Formaldehyde" - MUF) ou o isocianato (Difenil polimérica disocianato de metano - PMDI), sendo todos estes ligantes resistentes à umidade (MARRA, 1992), (MENDES et. al. 2003 e 2014), (MURAKAMI et. al. 1999) e (CLOUTIER, 1998).

De acordo com a EPF (2016), é comum se adotar uma combinação de resinas, sendo o PMDI, normalmente, usado no núcleo e a MUF nas camadas exteriores do OSB - processo que tem a vantagem de reduzir os ciclos de prensagem e confere um aspecto brilhante à superfície da placa.

As principais qualidades do OSB estão ligadas com seu comportamento mecânico, diretamente relacionado com a geometria das partículas e com a sua orientação na placa. Embora o OSB seja constituído por partículas de madeira relativamente grandes, a sua superfície é relativamente macia, característica que pode ser ainda melhorada por lixagem, sem se perder o seu carácter estético exclusivo (EPF, 2016).

Figura 01 – Painel OSB



Fonte: o próprio autor, 2015.

2.3 Definições da chapa OSB

Devido às suas qualidades mecânicas e à orientação das partículas nas placas, o OSB pode ser utilizado em diversas situações: Aplicações estruturais na construção, pavimentos, forros de telhados e vedações internas e externas de paredes. No entanto, pode também ser usado numa vasta gama de outros tipos de aplicações. Para determinar sua finalidade, é necessário seguir a classificação do tipo de OSB. Para isto, a EN 300:2006 (2006) estabelece como requisitos limites para as propriedades mecânicas dos 4 tipos de OSB que podem ser resumidos conforme os quadros a seguir:

Quadro 01 – Requisitos em termos de valores limites para OSB/1

Requisito					
Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Espessura (mm, nominal)		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
Resistência à flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	20	18	16
Resistência à flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	10	9	8
Módulo de elasticidade em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	2.500	2.500	2.500
Módulo de elasticidade em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	1.200	1.200	1.200
Coesão interna	EN 319	N/mm ²	0,30	0,28	0,2
Inchamento em espessura - 24 h	EN 317	%	25	25	25

Fonte: EN 300:2006 (2006). Adaptado pelo autor.

Quadro 02 – Requisitos em termos de valores limites para OSB/2

Requisito					
Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Espessura (mm, nominal)		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
Resistência à flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	22	20	18
Resistência à flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	11	10	9
Módulo de elasticidade em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	3.500	3.500	3.500
Módulo de elasticidade em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	1.400	1.400	1.400
Coesão interna	EN 319	N/mm ²	0,34	0,32	0,3
Inchamento em espessura - 24 h	EN 317	%	20	20	20

Fonte: EN 300:2006 (2006). Adaptado pelo autor.

Quadro 03 – Requisitos em termos de valores limites para OSB/3

Requisito					
Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Gama de espessura (mm, nominal)		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
Resistência à flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	22	20	18
Resistência à flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	11	10	9
Módulo de elasticidade em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	3.500	3.500	3.500
Módulo de elasticidade em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	1.400	1.400	1.400
Coesão interna	EN 319	N/mm ²	0,34	0,32	0,3
Inchamento em espessura - 24 h	EN 317	%	15	15	15
Requisito de resistência a umidade					
Resistência à flexão após ensaio cíclico - eixo maior	EN 321 + EN 310	N/mm ²	9	8	7
OPÇÃO 1 Coesão interna após ensaio cíclico	EN 321 + EN 319	N/mm ²	0,18	0,15	0,13
OPÇÃO 2 Coesão interna após ensaio de ebulição	EN 1087-1 + EN 319	N/mm ²	0,15	0,13	0,12

Fonte: EN 300:2006 (2006). Adaptado pelo autor.

Quadro 04 – Requisitos em termos de valores limites para OSB/4

Requisito					
Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Gama de espessura (mm, nominal)		
			6 a 10	> 10 e < 18	18 a 25
Resistência à flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	30	28	26
Resistência à flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	16	15	14
Módulo de elasticidade em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	4.800	4.800	4.800
Módulo de elasticidade em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	1.900	1.900	1.900
Coessão interna	EN 319	N/mm ²	0,50	0,45	0,4
Inchamento em espessura - 24 h	EN 317	%	12	12	12
Requisito de resistência a umidade					
Resistência à flexão após ensaio cíclico - eixo maior	EN 321 + EN 310	N/mm ²	15	14	13
OPÇÃO 1 Coessão interna após ensaio cíclico	EN 321 + EN 319	N/mm ²	0,21	0,17	0,15
OPÇÃO 2 Coessão interna após ensaio de ebulição	EN 1087-1 + EN 319	N/mm ²	0,17	0,15	0,13

Fonte: EN 300:2006 (2006). Adaptado pelo autor.

Os valores indicados são caracterizados por um teor de umidade no material correspondente a uma umidade relativa de 65% e uma temperatura de 20° C. Isto implica que essas propriedades mecânicas especificadas têm que ser controladas de acordo com os princípios estatísticos e que 95% dos valores de teste em amostras individuais devem ser superiores (ou inferiores, no caso do inchamento em espessura) ao valor limite do requisito respectivo especificado na norma EN -300:2006 (ref.).

Com base nestes valores determinados pela norma europeia EN 300:2006, os painéis podem ser classificados em quatro tipos de OSB, de acordo com os resultados

de performance mecânica e resistência à umidade, definindo, assim, sua área de utilização recomendada:

- OSB/1 – Placas para usos gerais e placas para componentes interiores (incluindo mobiliário) utilizadas em ambiente seco;
- OSB/2 – Placas para fins estruturais utilizadas em ambiente seco;
- OSB/3 – Placas para fins estruturais utilizadas em ambiente úmido;
- OSB/4 – Placas para fins estruturais especiais utilizadas em ambiente úmido.

2.4 Propriedades Físicas da chapa OSB

Por se tratar de um painel à base de madeira, OSB é higroscópico (capaz de absorver a umidade do ar) e as suas dimensões são alteradas em resposta a uma alteração na umidade. Uma variação de 1% no teor de umidade aumenta ou diminui o comprimento, largura e espessura dos diferentes tipos de OSB segundo os valores definidos pela norma europeia ENV – 12872:2014 (Quadro 05):

Quadro 05 – Variação dimensional para 1% de alteração no teor de umidade do painel

Tipo de painel	Especificações	Variação dimensional para uma variação de 1% no teor de umidade do painel		
		% Comprimento	% Largura	% Espessura
OSB	EN 300, OSB/2	0,03	0,04	0,7
	EN 300, OSB/3	0,02	0,03	0,5
	EN 300, OSB/4	0,02	0,03	0,5

Fonte: ENV 12872:2014 (2014) – Adaptado pelo autor.

Como orientação, pode considerar-se que os níveis de teor de umidade do OSB, nas condições ambientais abaixo especificadas, serão os seguintes (Quadro 06):

Quadro 06 – Teor de umidade relativo dos painéis

Umidade Relativa a 20°C	Umidade de equilíbrio aproximada
30%	5%
65%	10%
85%	15%

Fonte: ENV 12872:2014 (2014) – Adaptado pelo autor.

2.5 Aspectos gerais sobre a produção e utilização dos painéis OSB

Quando se trata do processo de fabricação do painel OSB, nos deparamos com duas linhas de produção: a industrializada e a laboratorial. As principais diferenças entre os dois tipos de processo têm como base os equipamentos mecânicos, os sistemas automatizados e controle de qualidade.

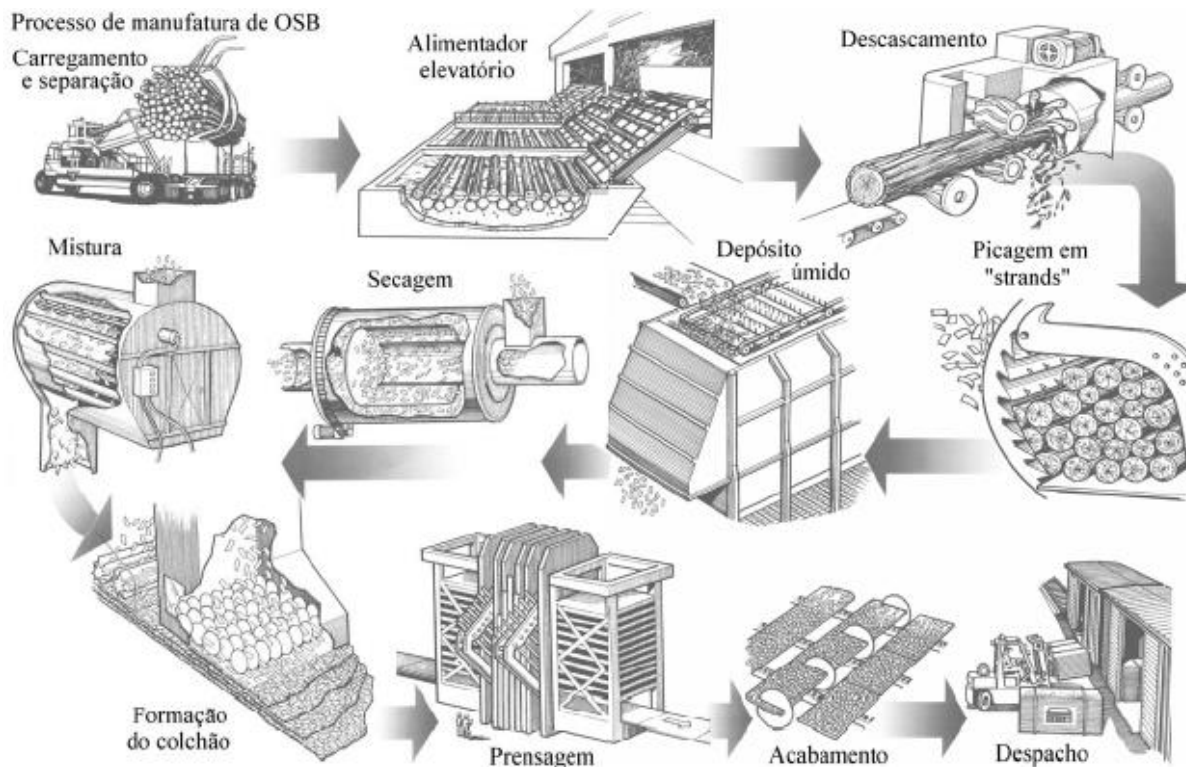
2.5.1 Processo de fabricação industrial

De acordo com Einsfelt et. al. (1998), apesar de os painéis OSB serem utilizados há décadas, foi apenas no início dos anos 1990 que o setor industrial passou a competir em larga escala com as indústrias produtoras de painéis de madeira compensada. Segundo Mendes (2001), o processo industrial de produção de painéis OSB (Figura 02) pode ser resumido nas seguintes etapas:

- As toras são levadas ao descascador com tambor de rolagem e cortadas em tiras por um picotador de disco ao longo de suas fibras;
- As tiras – matéria prima dos painéis - são secas em estufa mecânica e, então, classificadas por granulometria através de peneiras vibratórias e misturadas com uma composição de adesivos à prova d'água, emulsão parafínica e aditivos anti-cupim;
- Esta mistura segue para as formadoras do colchão de partículas-composição em que são orientadas e configuradas nas proporções desejadas para formar o colchão;

- O colchão de partículas é, então, posto em uma prensa contínua de alta temperatura e pressão e assim, é formado o *master panel*;
- Finalmente, os painéis são cortados conforme tamanho padrão comercial e levados ao estoque.

Figura 02 – Processo industrial de produção de OSB.



Fonte: Mendes (2001).

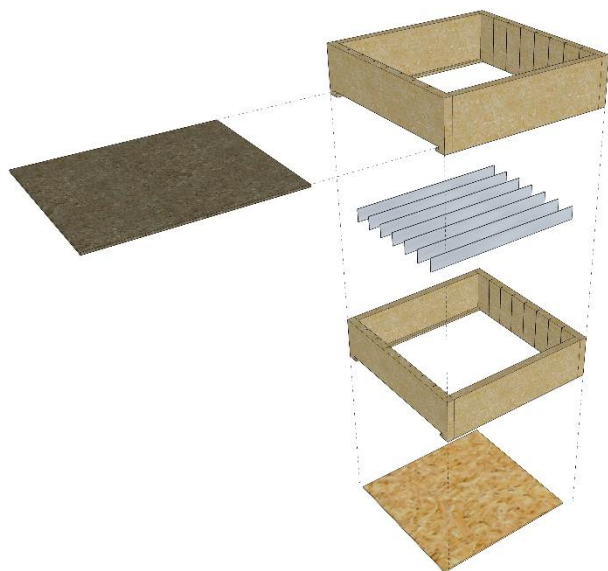
2.5.2 Processo de fabricação laboratorial

Diferentemente do processo de fabricação industrial, o processo laboratorial de produção do painel OSB sofre uma grande influência e variação no decorrer de sua fabricação. Isto está associado principalmente com o fato de serem realizadas adaptações de maquinários e materiais.

Com os estudos realizados por Mendes (2001), foi possível constatar de maneira mais detalhada as etapas do processo de fabricação de um painel OSB em um ambiente laboratorial. Tais etapas podem ser dispostas da seguinte maneira:

- Inicialmente, a madeira foi cortada nas dimensões 85 mm de largura e 20 ~ 15 mm de espessura, definindo assim, o comprimento e largura dos *strands*, respectivamente;
- Os pedaços de madeira são levados a um picotador de disco, sendo criados os *strands* com espessura aproximada de 0,60 mm;
- O material é seco até atingir umidade de 3-4% base peso seco;
- Para obter uma aplicação homogênea entre adesivo e *strands* é utilizada uma pistola pulverizadora para a aplicação da resina FF (Fenol formaldeído) com teor de sólidos de 49%, pH =12 e viscosidade de 500cp, em uma proporção de 6% a 12% de resina para cada quilo de partícula seca;
- Ocorre a aplicação de emulsão de parafina nas partículas, utilizando pistola pulverizadora, com o objetivo de diminuir a absorção de água;
- Para a disposição e orientação dos *strands*, foi proposto um orientador de partículas (Figura 03) utilizando-se tábuas de madeira, com dimensões de 480 mm de comprimento e largura e 200 mm de altura, subdivididas em doze partes iguais de 40 mm, utilizando-se lâminas de aço. Seu objetivo era distribuir as partículas de maneira orientada para a formação do colchão. O primeiro item (1) representa a estrutura de madeira; o item 2 é a tampa de descarga; o próximo item (3) são as lâminas de ferro e o item 4 é a caixa formadora. O último item (5) é o colchão formado ao final do processo.

Figura 03 – Projeto do orientador de partículas e caixa formadora utilizados na formação do colchão.



Fonte: Mendes (2001), Imagem modificada pelo autor.

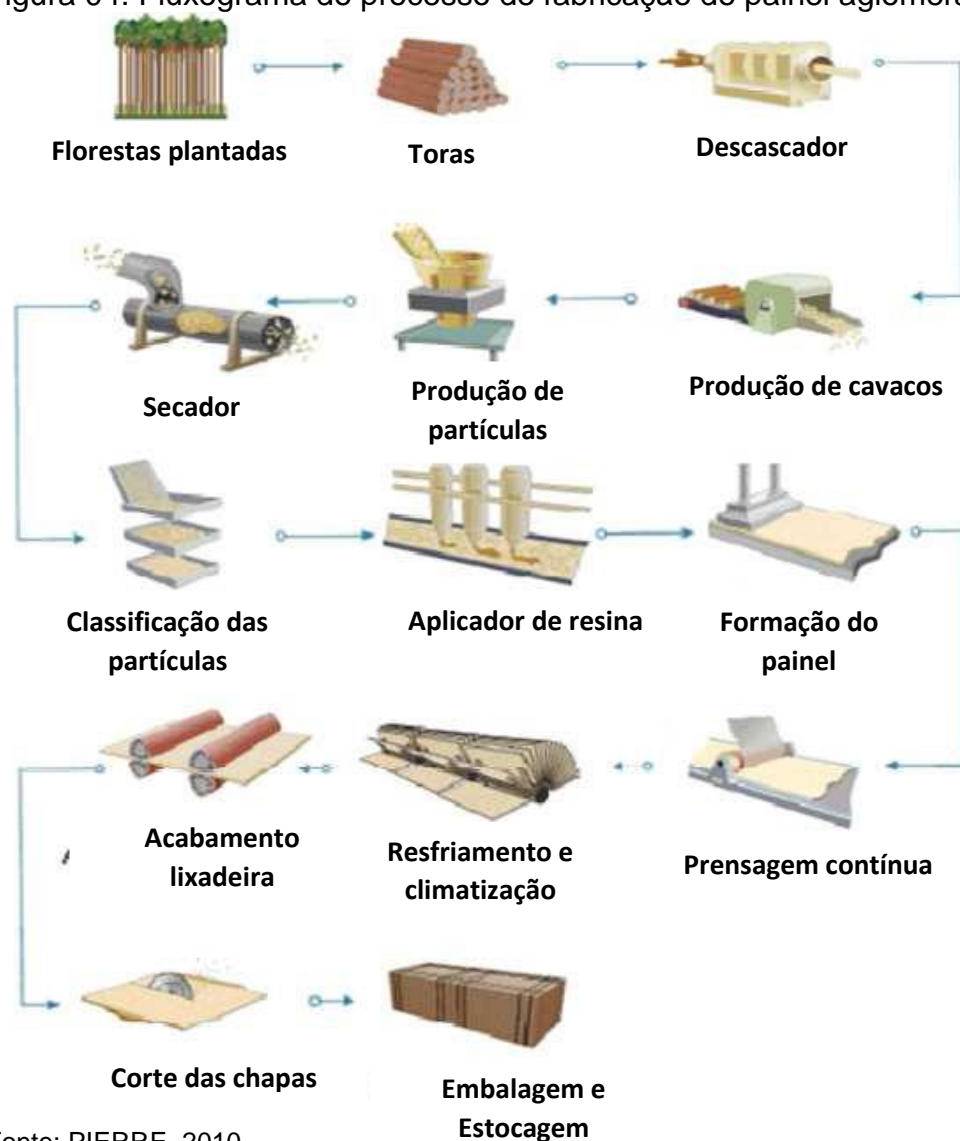
- Pré-prensagem do colchão de partículas através de uma prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão;
- Prensagem final do colchão em uma prensa mecânica de temperatura, de 180° C, por 8 minutos com pressão específica de 40 kgf/cm².

Iwariki (2005) apresenta modo de produção similar para painéis de madeira, seguindo as etapas:

- Geração de partículas: etapa em que são definidos os elementos dimensionais (comprimento, largura e espessura das partículas) e pode ocorrer interferência da umidade e da presença de cascas;
- Secagem das partículas: as partículas devem ser secas para alcançar um teor de umidade de aproximadamente 3%, pois a umidade influencia aspectos como a cura da resina, o tempo da prensagem e a pressão no colchão de partículas;
- Classificação das partículas: De acordo com Iwariki (2005), nessa etapa, as impurezas e partículas fora do padrão desejado são descartadas;
- Aplicação do adesivo: o autor destaca dois fatores importantes para essa etapa: quantidade de adesivo (6 a 12%) e homogeneidade;

- Formação do Colchão: formado de acordo com a densidade e a espessura do painel e com a distribuição das partículas e o adesivo em quantidades previamente determinadas;
- Prensagem dos painéis: Segundo Iwariki (2005) deve haver uma pré-prensagem para reduzir a altura do colchão e melhorar sua consistência, depois é realizada a prensagem a quente para fazer a cura da resina, a densificação e consolidação do colchão até a espessura desejada para o painel. O autor destaca pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem como parâmetros importantes.

Figura 04: Fluxograma do processo de fabricação do painel aglomerado de madeira.



Fonte: PIERRE, 2010.

2.6 Fatores de influência no processo de fabricação dos painéis OSB

Iwakiri (2005), Hrázský e Král (2003), Mendes (2001 e 2003), Murakami et al. (1999), Cloutier (1998), Maloney (1993), Marra (1992), Biblis (1985 e 1989), Moslemi (1974), Kelly (1977) e (Brumbaugh (1960) são pesquisadores que fabricaram painéis OSB em laboratório. Com base nas análises dos trabalhos realizados por eles, foi possível levantar os principais fatores que afetam as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

2.6.1 Tipo de adesivo e proporção

No processo de produção dos painéis OSB, a determinação do tipo de adesivo está diretamente ligada ao uso do produto e aos custos. Por se tratar de um componente de alto custo, é primordial haver a definição do tipo e percentual de adesivo a ser implementado, com o objetivo de alcançar um melhor custo-benefício do produto final (MENDES et al., 2010).

Segundo Iwakiri (2005) deve-se otimizar a quantidade de adesivo a ser aplicado visto que é a matéria-prima de maior custo para a produção dos painéis. Com base nos trabalhos realizados por esse autor e outros, como Marra (1992), Mendes et al. (2003 e 2014), Murakami et al. (1999) e Cloutier (1998), os quatro principais tipos de resinas utilizados na produção dos painéis OSB são:

- Ureia-formaldeído (UF): desenvolvida nos anos 1930, apresenta baixo custo em relação a outras resinas. Porém, é suscetível à degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas e elevadas. Sua temperatura de cura é entre 150°C e 180°C;
- Melamina-Formaldeído (MF): classificada como de uso intermediário entre ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, possui um custo relativamente baixo em relação ao custo-benefício, apresenta maior resistência à umidade em relação à UF. Pode ser misturada com a resina UF, na proporção de até 40:60 (MF/UF), com o objetivo de fortificar a resina. Tais misturas estão

disponíveis no mercado com a denominação de melamina-ureia-formaldeído (MUF);

- Isocianatos: resina empregada, inicialmente, nos anos 1940, não emite formaldeído livre, causador de doenças respiratórias, porém, a desvantagem é que existe a possibilidade de aderir às superfícies metálicas durante a prensagem;
- Fenol-formaldeído (PF): introduzida comercialmente nos anos 1930, possui um alto custo por apresentar como característica principal alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior.

De acordo com a *European Panels Federation* (2016), os principais tipos de resina usados industrialmente incluem os adesivos de fenol-formaldeído – FF (*Phenol formaldehyde* - PF), os de melamina-ureia-formaldeído (*Melamine Fortified Urea Formaldehyde*" - MUF) ou o isocianato (PMDI), sendo que em todos estes adesivos está presente a característica de resistência à umidade.

Iwakiri et al. (2002) estudaram a influência do teor de resina no comportamento das propriedades dos painéis OSB de *Eucalyptus grandis*. A proporção de resina FF variou entre 3 e 6%, com adição de emulsão de parafina entre 0,5 e 1,0% (sua aplicação tem como objetivo diminuir a higroscopicidade das partículas de madeira, e dessa forma, diminuir a absorção de água e inchamento em espessura dos painéis), ambas com base no peso seco das partículas. Os dados obtidos mostraram que os painéis de OSB com 6,0% de adesivo produziram melhores resultados e superaram as exigências mínimas de propriedades mecânicas recomendadas pela norma canadense CSA 0437-0 (1993).

Murakami et al. (1999) observou um incremento nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, com o aumento do conteúdo de resina. Em contrapartida, Wu (1999 b) não encontrou uma relação bem definida entre o teor de resina e o Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE) e expansão linear, quando este teor foi aumentado de 4% para 6%. O autor menciona que o efeito do nível de resina sobre estas propriedades é relativo e mais diversificado, não mostrando correlação clara.

2.6.2 Teor de umidade das partículas

Segundo Martins et al. (2003), os painéis OSB, por terem como base a madeira, um material hidrocópico, tendem a absorver ou perder água em estado líquido ou gasoso, quando em contato com o ar, até atingirem um equilíbrio. Tais variações de umidade, de acordo com Silva et al. (2005), têm grande importância para o uso adequado de cada painel, uma vez que isto pode gerar deformações indesejáveis, como inchamento indesejado devido a absorção de água e empenamento da chapa.

As variações de umidade também apresentam relação direta com as demais propriedades dos painéis o que afeta, de forma significativa, a resistência mecânica e a estabilidade dimensional. (MARTINS ET. AL. 2003)

2.6.3 Geometria e orientação das partículas

Segundo Iwakiri (2005), as dimensões convencionais de partículas tipo *strands*, usadas na produção de painéis orientados, estão em torno de 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura. Barnes (2000) afirma que a razão de esbeltez, que é a relação ótima entre o comprimento da partícula e a espessura, deve ser de 300. Todavia, Brumbaugh (1960) estabelece valores ideais para a razão de esbeltez no intervalo de 150 a 250.

Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal de partículas formadoras do colchão do OSB entre as faces externas e o miolo é na faixa de 40:60 (face/miolo) baseado na percentagem de peso seco de partículas coladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas de OSB. Iwakiri (2005), Marra (1992), Mendes (2003), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Murakami et. al. (1999) também adotaram tais proporções.

2.6.4 Densidade

Segundo Cloutier (1998), as indústrias Canadenses produzem painéis OSB com massa específica na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm³ e sua densidade tem relação direta com a razão de compactação, que é definida pela densidade da chapa dividida pela densidade matéria-prima.

Sobral Filho (1981); Zhou (1990), Zhang et al. (1998) e Suchsland (1977) afirmam que o aumento da razão de compactação, provocada pelo aumento da densidade dos painéis que é decorrente do aumento da quantidade de partículas a serem prensadas, faz com que os painéis produzidos tenham propriedade de ligação interna maior.

Avramidis & Smith (1989) e Zhou (1990) observaram que os painéis mais densos resultam em valores menores de absorção de água nos ensaios de inchamento de imersão das chapas por 2 horas. No entanto, para exposição dos painéis na água acima de 24 horas, os painéis mais densos tendem a absorver mais água em função da maior quantidade de partículas, o que resulta em uma área superficial maior, e, conseqüentemente, aumenta o número de sítios higroscópicos para retenção de água de adesão.

De acordo com Cloutier (1998), Marra (1992) e Mendes et al. (2003 e 2014), a adição de emulsão de parafina poderá reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira, e dessa forma, diminuir a absorção de água e inchamento em espessura dos painéis.

Segundo Zhou (1990), a densidade dos painéis influencia de maneira significativa MOR, MOE, ligação interna e resistência ao arrancamento de pregos e parafusos.

Hrázský e Král (2003), Maloney (1993), e Kelly (1977) afirmam que a densidade afeta as propriedades mecânicas do painel, pois gera razões de compactação mais elevadas, o que aumenta a superfície de contato entre as partículas de madeira, melhorando a adesão entre elas. Além do mais, madeiras de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade, que possuem alta capacidade de distribuição de forças

entre os flocos, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e à ligação interna.

2.6.5 Composição dos painéis

Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal para a composição dos painéis ideal (face/miolo) é na faixa de 40:60, baseado na porcentagem de peso seco de partículas coladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas de OSB. Iwakiri (2005), Marra (1992), Mendes (2003), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Murakami et al. (1999) também adotaram tais proporções, obtendo resultados satisfatórios para a comparação e classificação de acordo com a norma EN 300:2006 (ref.).

2.7 A casca do *Eucalyptus grandis*

De acordo com Foelkel (2006), a forma de se encarar economicamente a casca das árvores dos eucaliptos tem variado com o tempo. Inicialmente, era tida como resíduo ou fator de aborrecimento nos processos industriais; com o decorrer dos tempos, foi adotada no setor papelheiro; nos anos seguintes, com o surgimento da crise energética, passou a ser considerada como um combustível barato e abundante, apesar de ser de baixa combustão.

2.7.1 Aspectos físicos da casca de *Eucalyptus grandis*

Atualmente no Brasil, conforme Foelkel (2006), grande parte dos plantios do gênero *Eucalyptus* são formados a partir de híbridos, ou seja, uma combinação genética entre dois tipos de eucaliptos distintos. As espécies mais utilizadas para esta hibridação no Brasil são: *Eucalypto grandis*, *urophylla*, *camaldulensis*, *cleoziana*, *tereticornis*, *brassiana*, *resinífera*, *robusta*, *pelita*, *corymbia* e *citriodora*. Entre eles o mais usual encontrado é a combinação *Eucalyptus grandis* e *urophylla*, denominado “*urograndis*”. As espécies *Eucalyptus grandis* e *urophylla* são normalmente preferidas para a fabricação

de celulose devido a sua densidade média (400-600 kg/m³) e por sua cor clara. Já as espécies *saligna*, *camaldulensis* e *citriodora* são preferidas para a fabricação de carvão vegetal, produção de postes, mourões, lenha e processamento mecânico.

De acordo com Foelkel (2006), a casca superficial esfoliante do *Eucalyptus grandis* quando morta se solta e expõe uma casca de textura lisa e brilhosa. Em relação aos aspectos físicos da casca de *Eucalyptus grandis* (Figura 05), relacionados a aplicação como matéria-prima de um painel OSB, a densidade básica é de extrema importância. Tal característica está diretamente ligada a razão de compactação.

Figura 05 – Casca de *Eucalyptus grandis*



Fonte: O próprio autor, 2015.

Tendo como base tais constatações, foi feita uma pesquisa em relação a densidade básica da casca de *Eucalyptus grandis*. Andrade (1989), Reis et al. (2012), Pereira et al. (2000), Foelkel (2006) definem a densidade básica média da casca em (g/cm³): $0,36 \pm 0,012$. Entretanto, Souza et al. (2010), em relação à densidade básica para a casca, observou uma variação entre 0,292 g/cm³ e 0,337 g/cm³, apresentando a densidade básica média de 0,315 g/cm³.

2.8 Maravalha

A maravalha está entre os principais resíduos das indústrias madeireiras junto com as cascas, a serragem e a lenha. Também denominada como cepilho, a maravalha é derivada da operação de usinagem (plainas) e caracteriza-se como resíduo com mais de 2,5 mm de acordo com Tavares (2010). Silva (2013) aponta que a maravalha é proveniente do processo de beneficiamento da madeira de todas as espécies, em que as peças de madeira são passadas por plainas para o desempenamento e desengrosso do material.

Tavares (2010) explica que a maravalha seca é um resíduo bastante valioso disponível no mercado e Brand et. al (2004) afirmam que sua principal utilização tem sido como material para confecção de camas de aviários e estábulos, o que não é o ideal visto que a maravalha pode ser aproveitada de muitas outras formas.

Coronel et al. (2007) indicam que, apesar dos avanços tecnológicos e reaproveitamentos, o desperdício do setor madeireiro ainda é alto e o resíduo de maravalha pode chegar a 20% do total da matéria-prima desperdiçada.

Para aproveitar esse resíduo, os autores realizaram ensaios e estudos utilizando as maravalhas para a produção de painéis de aglomerados. Cabral et al (2007) apontam que as propriedades das chapas confeccionadas com partículas oriundas de maravalhas são, de modo geral, bastante satisfatórias.

2.8.1 Aspectos físicos da Maravalha de *Pinus spp.*

Brito (1995) explica que as maravalhas (Figura 06) são partículas finas de madeira geradas de maneira acidental em trabalhos com madeiras realizados em dispositivos de corte rotativos que processam a madeira. Geralmente, as maravalhas são irregulares e curvadas em vários graus e produzem uma chapa com resistência dureza e estabilidade dimensional inferior se comparada as chapas feitas de flocos. Isso ocorre devido a configuração das partículas de maravalhas, segundo Brito (1995), que são três: as maravalhas são curvadas e, se não quebrarem, podem dobrar quando forem

consolidadas em chapas; são estruturalmente fracas; e o lado espesso geralmente excede a espessura adequada para a produção de chapas de alta qualidade.

Figura 06 – Maravalhas e suas diferentes granulometrias.



Fonte: O próprio autor, 2017.

O lado positivo da utilização das maravalhas na produção de chapas é o formato de pena que permite um bom entrelaçamento e estabilidade em espessura, além de alta resistência da ligação interna. Para alcançar a melhor configuração, apesar de as maravalhas poderem ser usadas na forma em que se encontram quando chegam da fábrica, é interessante que sejam refinadas antes do uso. Brito (1995) recomenda que pó e partículas superdimensionadas sejam separados por peneiramento antes de entrar no processo. O autor aponta que as partículas maiores podem ser reduzidas em tamanho e retornar ao processo.

Quanto a dimensão das partículas, Tabott e Maloney (1957) realizaram um estudo com chapas de partículas feitas de maravalhas grossas e finas. Os autores constataram que as maravalhas grossas, retidas na peneira de 4,75 mm, produziram resultados de valores mais altos de MOR (Módulo de ruptura) do que as maravalhas mais finas (retidas na peneira de 1,18mm) em todas as chapas produzidas.

Os dois autores classificaram como fino o material que passa em uma peneira de 13,97 mm e fica retido em peneira de 3,35 mm. O material que passa na peneira de 3,35

mm é classificado como serragem. Os autores também explicam que partículas mais longas e mais finas, todas iguais, podem produzir chapas com resistência à flexão e estabilidade dimensional mais altas.

Peixoto e Brito (2000) e Silva (2013), em relação a influência de diferentes granulometrias de maravalha de *Pinus taeda* na produção de chapas aglomeradas de madeira, apontam que as chapas produzidas com partículas menores (peneira com diâmetro de 2 mm e retidas em peneiras de 0,61 mm) tiveram melhor ligação interna. As chapas com partículas maiores (partículas que passaram na malha de 4,37 mm e retidas em peneira de 0,61 mm) tiveram maior resistência a flexão estática.

Kehr e Scherfke (1963) e Brito (1995) analisaram o efeito da geometria de partículas sobre as propriedades das chapas. Eles utilizaram maravalhas produzidas em geradores de partículas de diferentes tipos e sugeriram que todas devem ser peneiradas para alcançar maior uniformidade da qualidade da chapa, além de as frações grandes serem reduzidas.

Heebink et al. (1972) e Brito (1995) afirmam que a variável mais importante individualmente que proporcionou uma qualidade maior para as chapas de maravalhas foi o aplainamento do material verde visto que as partículas verdes não quebram tão facilmente.

As maravalhas utilizadas nesta pesquisa foram originadas no laboratório de estruturas da Universidade Estadual de Londrina (UEL) com a fabricação de aparas de madeira.

2.9 Síntese da revisão bibliográfica

Com base na literatura consultada e nos trabalhos realizados pelos autores estudados, o presente trabalho irá buscar limitar as variantes da prototipagem da chapa, com o objetivo de encontrar o resultado mais favorável para a classificação do painel OSB de acordo com a norma EN 300:2006 (2006).

A produção seguirá o processo laboratorial descrito por Iwariki (2005) e Mendes (2001). No processo que esses autores seguiram, primeiramente, é preciso gerar as partículas e depois distribuir o adesivo na porcentagem de 6% em relação ao

peso seco das partículas, mais 1% de emulsão de parafina, com o objetivo se obter melhores resultados nos testes de inchamento. Por fim, os autores indicam que devem ser confeccionados os colchões e prensados à temperatura entre 100~120°C por 10 minutos.

Os painéis serão confeccionados com três camadas, de acordo com os trabalhos de Cloutier (1998) e Iwakiri et. al. (2002). Esses autores indicam que as camadas das faces externas de tiras de madeira sigam as mesmas direções e a camada interna – miolo – esteja com distribuição randômica, em uma proporção entre face e miolo na faixa de 40:60, com base na porcentagem de peso seco de partículas encoladas.

As dimensões das chapas terão medidas fixas de 40x40cm com base no trabalho realizado por Nascimento et. al. (2015).

Para este trabalho serão produzidos painéis com medida fixa de 40x40 centímetros com as seguintes proporções (Quadro 07), as quais foram definidas de acordo com os experimentos dos autores acima citados:

Quadro 07 – Proporções de materiais para a produção dos painéis para os ensaios.

Número de painéis (un.)	% Casca de <i>Eucalyptus grandis</i>	% Partículas (Strands) de <i>Pinus spp.</i>	% Maravalha de <i>Pinus spp.</i>
03	25	65	10
03	50	40	10
03	75	15	10
03	90	0	10

Fonte: o próprio autor.

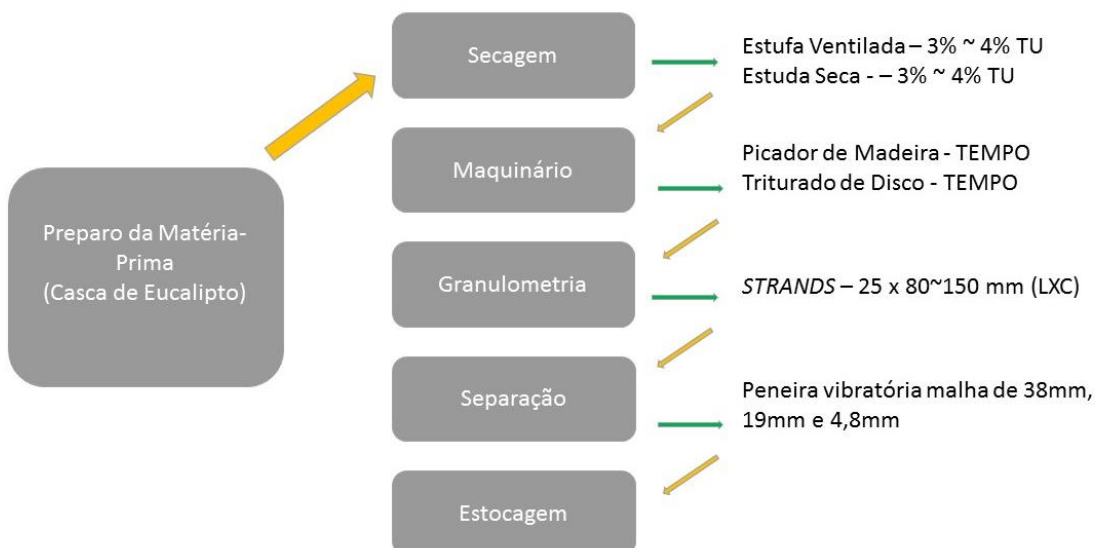
Os ensaios realizados físico-mecânicos foram: ensaios de flexão estática, em que foram determinados os módulos de ruptura (MOR), e módulo de elasticidade (MOE); teor de umidade; absorção de água; inchamento em espessura e determinação da densidade aparente, todos embasados nas respectivas normas vigentes - com intuito de classificação conforme a norma europeia EN - 300:2006 (2006). Também foi realizado ensaio de Módulo de elasticidade dinâmico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia utilizada foi Estudo de Caso, pois foi explorada a elaboração da chapa com a utilização das cascas de *Eucalyptus grandis* e de maravalha de *Pinus spp* e verificou-se seu comportamento por meio de testes físicos e mecânicos. A metodologia foi experimental, pois após serem realizados os estudos de métodos, ferramentas existentes e análises do processo de fabricação de painéis OSB, houve a produção das chapas. Para isso, trabalhou-se com a variação no teor de porcentagem de uma das matérias-primas, a casca de *Eucalyptus grandis*; com aplicação de porcentagem fixa de 6% de resina FF (Fenol formaldeído), valor fixado com base na massa seca de partículas de resina de acordo com os trabalhos realizados por Iwakiri et al. (2002), Mendes (2001) e Murakami *et al.* (1999). Para a realização dos testes, foi simulado um ambiente em laboratório com temperatura e taxa de umidade controladas para produzir as chapas de partículas utilizando as cascas de eucalipto e a maravalha.

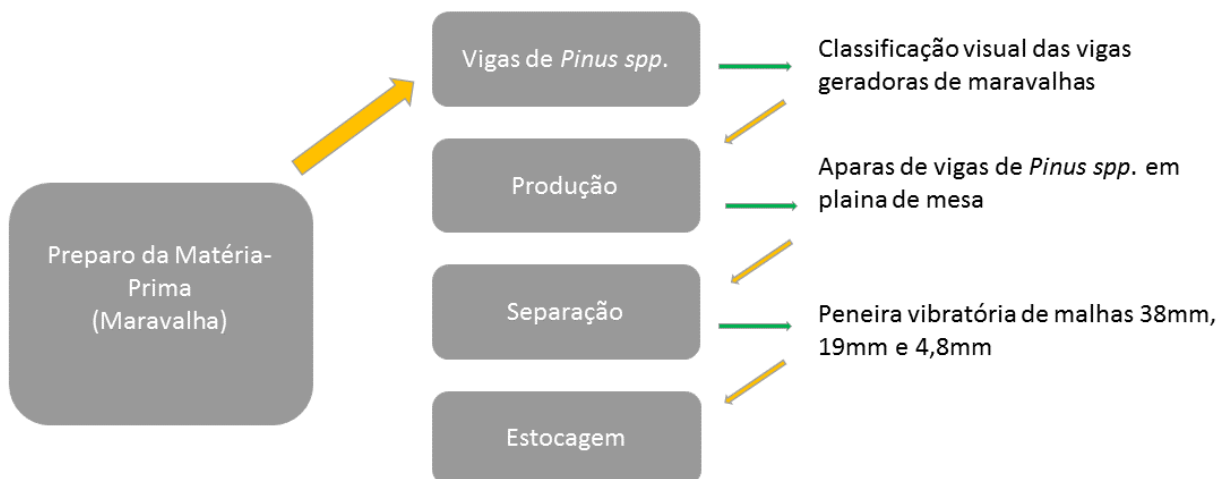
O processo de produção envolveu, inicialmente, o preparo da matéria-prima. A casca de eucalipto passou por um processo de secagem em estufa ventilada para alcançar um teor de umidade (TU) entre 3 e 4%. Após a secagem, a matéria-prima passou para o triturador de resíduos orgânicos para formar os *strands* com granulometria de 15 mm de largura e comprimento entre 40 mm a 60 mm. A separação das cascas foi realizada em peneira vibratória de malha de 38 mm, 19 mm e 4,8mm. Após essa preparação, o material foi estocado no laboratório de estruturas da UEL para o uso na produção das chapas, conforme figura 07.

Figura 07 – Processo de preparo das Cascas de Eucalipto



Fonte: o próprio autor, 2016.

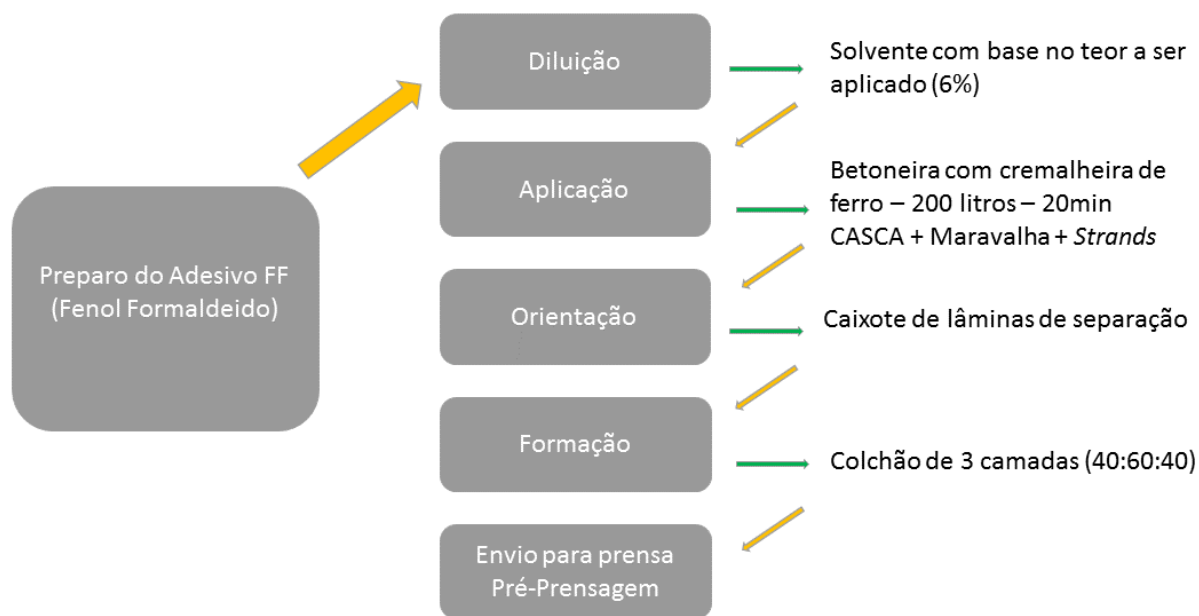
Para o preparo das maravalhas (figura 08), foram classificadas as vigas de *Pinus spp.* que geraram as maravalhas. As vigas foram aparadas em plaina de mesa e a separação das maravalhas foi feita em peneira vibratória de malha de 12 mm e 8 mm. Após a separação, as maravalhas também ficaram estocadas no laboratório de estruturas da Universidade Estadual de Londrina (UEL) para o uso na produção das chapas.

Figura 08 – Processo de preparo das Maravalhas de *Pinus spp.*

Fonte: O próprio autor, 2016.

O adesivo utilizado foi o Fenol Formaldeído, cedido pela empresa SII Group de Rio Claro-SP. O adesivo foi diluído com solvente com base no teor a ser aplicado (6%). A aplicação foi feita com betoneira com cremalheira de aço de 400 litros por 10 minutos com o objetivo de uniformizar a aplicação e distribuição do adesivo nas partículas de madeira, cascas de *Eucalyptus grandis* e maravalha de *Pinus spp.* Após a aplicação, o material passou pela orientação em caixotes com lâminas de separação e a formação foi feita em colchão de 3 camadas na porção 40:60 (face/miolo) (figura 09).

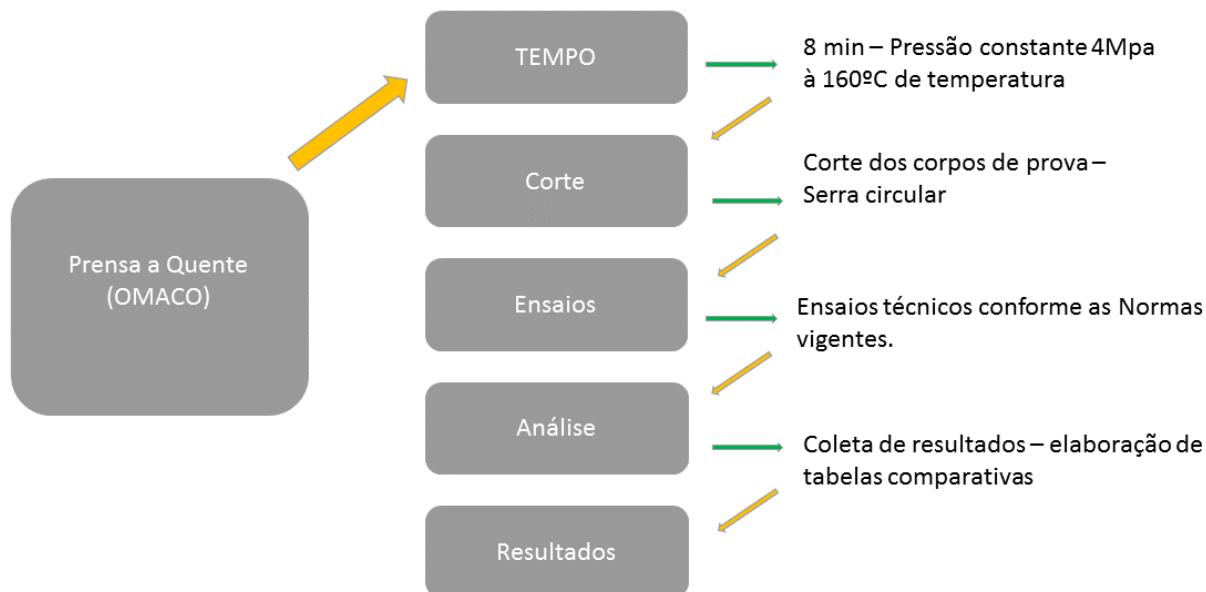
Figura 09 – Processo de preparo do adesivo FF



Fonte: o próprio autor, 2016.

Após esse processo, o material foi enviado para uma prensa manual com o objetivo de diminuir a espessura do colchão de partículas e em seguida será transportado para a prensa a quente. Cada colchão de partículas formado na etapa anterior ficou na prensa durante 8 minutos com pressão constante de 40kgf/cm² e temperatura entre 140~160°C. Após a prensagem, os painéis serão aparados em serra circular dando origem aos corpos de prova que medirão 40 x 40 cm (Figura 10). Os ensaios laboratoriais foram (tudo no passado) realizados conforme as normas vigentes. Ensaios físicos-mecânicos de acordo com as normas europeias: EN 310 (1993a), EN 317 (1993b). Após a coleta dos resultados dos valores médios obtidos nos ensaios, os painéis foram classificados em relação a definição segundo a norma EN 300:2016.

Figura 10 – Processo de produção das amostras das chapas



Fonte: o próprio autor, 2016.

3.1 Local do experimento e matérias primas utilizadas

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Modelos – Maquetaria, Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) e Laboratório de Materiais, Departamento de Construção Civil (DCCI), do Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU) da Universidade Estadual de Londrina. Os ensaios de flexão estática foram realizados no Centro Universitário Uningá, localizado na cidade Maringá, Paraná.

Para a fabricação dos painéis foram utilizados *strands* de *Pinus* fornecidos pela LP Brasil OSB – *Building Products*, localizada na cidade de Ponta Grossa – Paraná; as Cascas de *Eucalypto Grandis* foram cedidas pela Technomade Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., situada em Telêmaco Borba – Paraná; as maravalhas foram originadas no laboratório de modelos da Universidade Estadual de Londrina (UEL) a partir de aparas de madeira *Pinus spp*; a Resina Fenol Formaldeído (PF) foi cedida pela empresa Si Group Crios Resinas S.A. da cidade de Rio Claro - São Paulo e a emulsão de parafina foi adquirida pelo projeto.

A utilização da casca de *Eucalypto grandis* e da maravalha de *Pinus spp.* como matéria-prima para elaboração dos painéis ocorreu devido o objetivo principal do presente trabalho ser a reutilização de resíduos oriundos de indústrias madeireiras, principalmente da região de Telêmaco Borba.

3.2 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para a produção e para os ensaios das chapas deste trabalho foram o Gerador de Partículas, a Encoladeira (betoneira adaptada), dois tipos de Peneira Vibratória, Separador e orientador de partículas, prensa hidráulica, estufa ventilada, Balança, Serra circular, Lixadeira, Compressor de Ar, Pistola de Ar, Máquina Universal de Ensaio e Ultrassom.

O Gerador de partículas é um Triturador de resíduos orgânicos, modelo TR200, da marca Trapp. O Aparelho foi cedido pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), e é equipado com disco de facas de 200mm fixadas diretamente ao eixo do motor, funil removível com trava de segurança, acionado por um motor elétrico 220V com potência de 1,5 cv, com 3600 rpm a 60Hz. A Figura 11 mostra detalhes do equipamento.

Figura 11: Gerador de partículas



Fonte: o próprio autor, 2016.

A Encoladeira foi utilizada para aplicação do adesivo e mistura das partículas; foi adaptada uma betoneira de 200 litros (Figura 12), durante o processo de colagem.

Figura 12: Encoladeira (Betoneira).



Fonte: o próprio autor, 2016.

A primeira Peneira vibratória utilizada na separação da granulometria desejada para a fabricação dos painéis é pertencente ao Laboratório de materiais da Universidade Estadual de Londrina. O equipamento possui bandejas metálicas com telas de aço com dimensões de abertura de 38 mm, 19mm e 4,8 mm.

O Separador e orientador de partículas (Figura 13), desenvolvido pelo autor, baseado nos estudos de Mendes (2001), foi confeccionado com bordas e base de vigas de madeira e revestido internamente com chapas de aço galvanizado; as lâminas orientadoras foram produzidas com placa de fibras de madeira (tipo Eucatex) de 6mm com aplicação de verniz marítimo para dificultar que as partículas resinadas colassem na estrutura. A estrutura do separador foi parafusada e não pregada ou colada para facilitar a retirada do colchão de partículas.

Figura 13: Separador e orientador de partículas



Fonte: o próprio autor, 2016.

Inicialmente, foi utilizada uma prensa hidráulica do modelo ENERPAC IPE-3060 (Figura 14a) com motor de 1,0cv, 220V e capacidade de prensagem de 30 toneladas para efetuar a pré-prensagem das chapas de OSB. Após esta etapa, as chapas foram postas em uma prensa hidráulica da marca OMACO (Figura 14b), fornecida pela empresa Madeplak Comércio de Compensados e Madeiras, localizada na cidade de Londrina-PR. A prensa é constituída de 10 placas de aço com dimensões de 200x250cm; 02 (dois) pistões hidráulicos de aço; 01 (um) motor trifásico de 220 volts; sistema de aquecimento por água quente com controlador de temperatura e possui a capacidade de 100 toneladas e temperatura máxima de 160c°.

Figura 14: a) prensa hidráulica do modelo ENERPAC IPE-3060 e b) prensa hidráulica da marca OMACO



Fonte: o próprio autor, 2016.

A Estufa ventilada LUFERCO possui capacidade de 100 litros (Figura 15), com sistema de aquecimento por meio de resistências tubulares blindadas e aletadas, gabinete de chapa de aço carbono SAE 1020, faixa de temperatura de (ambiente +15°C) a 200°C uniformidade $\pm 2^\circ\text{C}$ a 160°C com controle de temperatura e tensão de 220v 60Hz. Este equipamento foi utilizado para os ensaios de teor de umidade e secagem das partículas.

Figura 15: Estufa ventilada LUFERCO



Fonte: o próprio autor, 2016.

A Peneira vibratória é feita com bandejas de malha metálica de 38 mm, 19mm e 4,8 mm para obtenção das partículas com granulometria homogeneizada.

A Balança eletrônica com sensibilidade de 0,01g para pesar as chapas antes e depois dos ensaios.

A serra circular de bancada com disco de 12” e 100 dentes foi fornecida pelo laboratório de modelos – Maquetaria – da Universidade Estadual de Londrina, para cortar os corpos de prova.

A Lixadeira de cinta de 700 mm de comprimento e largura de 150 mm é equipada com lixa de grão 120 com motor de 4HP.

Para a pulverização do adesivo nas partículas, foi utilizado o compressor de ar portátil, modelo Air Plus da SCHULZ, motor de 1/3 cv com capacidade de vazão de 65 litros por minuto.

A pistola de ar utilizada foi um Pulverizador STEULA-MS 7-BC com mangueira.

Máquina Universal de Ensaios, modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, marca INSTRON/EMIC (Figura 16), com as seguintes características:

Capacidade: 100kN (10000kgf ou 100 t); Dupla Coluna Autoportante; Acionamento através de fusos de esferas recirculantes pré-carregados com sistema de colunas guias cilíndricas.

Figura 16: Máquina Universal de Ensaios EMIC 23-100 INSTRON/EMIC



Fonte: o próprio autor, 2016.

O aparelho de ultrassom utilizado para realização de ensaio de módulo de elasticidade dinâmico foi o da marca PROCEQ, modelo Pundit Lab, (Figura 17) com faixa de medição de até 15m, largura de banda de 20 a 500 kHz, velocidade de pulso ultrassônico com resolução da medição de 0,1 us, voltagem de pulso de 125 a 500 V, frequência nominal do transdutor de 24 a 500 kHz e formato de pulso Square Wave.

Figura 17: aparelho de ultrassom modelo Pundit Lab



Fonte: o próprio autor, 2016.

3.3 Produção dos painéis

Para a fabricação dos painéis foram utilizadas 3 tipos de matérias-primas: Cascas de *Eucalyptus grandis*, cedidas pela Technomade Indústria e Comércio de Madeiras Ltda; Maravalhas de *Pinus spp.*, obtidas no Laboratório de modelos da Universidade Estadual de Londrina e *Strands* de *pinus* fornecidos pela LP Brasil OSB Building Products.

3.3.1 Obtenção das partículas de casca de *Eucalyptus grandis* e Maravalha de *Pinus Spp.*

Inicialmente, as cascas de madeira foram armazenadas na Maquetaria e depois foram separadas e classificadas visualmente quanto ao formato e espessura. Posteriormente as partículas foram geradas em um triturador de resíduos orgânicos, com disco de facas (Figura 18) e separadas em sacos plásticos para facilitar o transporte. Ao total foram produzidos 20 Kg de partículas de casca de *Eucalyptus grandis*.

Figura 18: Produção das partículas



Fonte: o próprio autor, 2017.

As maravalhas de *Pinus spp.* foram geradas e coletadas na Maquetaria da Universidade Estadual de Londrina. O processo de fabricação desta partícula originou-se a partir do desengrosso de vigas de *Pinus spp.* Foram separados 20 kg deste material em sacos plásticos para facilitar o transporte.

A quantidade de partículas utilizadas para fabricação dos painéis foi definida com base na porcentagem de matéria prima conforme indicado no Quadro 07.

A determinação da quantidade de massa de partículas utilizadas em cada painel foi estabelecida conforme a modificação da equação (EQ2) para a equação (EQ3). Desta maneira, o volume foi mantido constante e a densidade estabelecida conforme Cloutier (1998) que afirma que, no Canadá, as indústrias produzem painéis OSB com massa específica com densidade média de 0,65 g/cm³. Porém, para os painéis do tipo P3 e P4, que contêm uma maior porcentagem de cascas de *Eucalyptus grandis*, material de baixa densidade, foi necessário aumentar a quantidade de partículas afim de se obter uma uniformidade média do volume após a prensagem dos painéis (Quadro 08).

$$D = M/V \quad (\text{EQ2}) \quad \rightarrow \quad M = D \times V \quad (\text{EQ3})$$

Em que:

D = densidade aparente da chapa a 12% de umidade (g/cm³);

M = massa de partículas a 12% de umidade (g);

V = volume da chapa (cm³)

Quadro 08 – Massa de partículas para a produção dos painéis.

Painel	Casca de <i>Eucalyptus grandis</i> (g)	Partículas (<i>Strands</i>) de <i>Pinus</i> spp. (g)	Maravalha de <i>Pinus</i> spp. (g)	Massa Final do painel (g)
P1	260	675	105	1040
P2	520	415	105	1040
P3	1045	205	140	1390
P4	1500	0	165	1665

Fonte: o próprio autor.

3.3.2 Separação da granulometria das partículas

Após a produção das partículas houve a necessidade de separação da granulometria através de peneira vibratória com malhas de aberturas de tela de 38 mm 19 mm e 4,8 mm respectivamente (Figura 19 a e b).

Figura 19: a) peneira vibratória e b) *strands* de pinus na bandeja de malha 19 mm da peneira



Fonte: o próprio autor.

A Figura 20 mostra as diferentes granulometrias obtidas após o processo de peneira.

Figura 20: Diferenças granulométricas das cascas de eucalipto obtidas após peneiração.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Figura 21: Diferenças granulométricas das maravalhas obtidas após peneiração.



Fonte: o próprio autor.

Afim de se obter uma padronização das dimensões da matéria-prima a serem utilizadas, tanto as partículas de casca de *Eucalyptus grandis*, *Strands* e Maravalhas de *Pinus spp.*, foram levadas à peneira vibratória sendo posteriormente separadas e armazenadas em sacos plásticos apenas as partículas que ficaram retidas na bandeja de malha 19mm (Figura 22).

Figura 22: Partículas de casca de *Eucalyptus grandis*, *Strands* e Maravalhas de *Pinus* spp.



Fonte: o próprio autor.

Tal procedimento possibilitou a homogeneização das partículas, atendendo a razão de esbeltez, que de acordo com Barnes (2000) é a relação ótima entre o comprimento da partícula e a espessura. Tal valor deve estar compreendido entre 150 e 300 (Figura 23).

Figura 23: Homogeneidade das partículas.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Após a separação das partículas, as matérias-primas foram dispostas em bandejas e colocadas em estufa ventilada com temperatura constante de 135 C° até atingirem o teor de umidade de 3-4% com base no peso seco (Figura 24). Tal processo, segundo Mendes (2001), influencia em aspectos como a cura da resina, o tempo da prensagem e a pressão no colchão de partículas.

Figura 24: Matérias-primas dispostas em bandejas e em estufa ventilada.



Fonte: o próprio autor.

Após esta etapa as partículas foram pesadas e separadas conforme a quantidade necessária para a fabricação de cada tipo de painel e dispostas em sacos plásticos para posteriormente receberem a aplicação de resina. (Figura 25).

Figura 25: Partículas separadas para a fabricação de cada tipo de painel.



Fonte: o próprio autor.

3.3.3 Aplicação da resina

Para a fabricação dos painéis, cada grupo recebeu um teor de resina de 6% e 1% de emulsão de parafina baseados no peso seco das partículas (Figura 26) conforme trabalhos realizados por Iwariki (2005) e Mendes (2001). A implementação da parafina nas chapas teve como objetivo melhorar os resultados nos testes de inchamento, conforme estudos realizados por Cloutier (1998), Marra (1992) e Mendes et al. (2003 e 2014). Cedida pela empresa Si Group Crios Resinas S.A, o adesivo utilizado foi o Fenol Formaldeído (PF), com teor de sólidos de 53,2% pH = 12 e viscosidade de 500 cp. Tal adesivo também foi utilizado por Iwariki (2005) e Mendes (2001)

Figura 26: Adesivo Fenol Formaldeído (PF).



Fonte: o próprio autor.

A mistura de partículas foi posta na coladeira adaptada (Figura 27) e agitada por 5 minutos. Posteriormente, as partículas receberam a aplicação do adesivo por pulverização. Para isso, um compressor de ar ligado à pistola de ar distribuiu a proporção de adesivo e emulsão de parafina misturadas previamente. A massa de partículas, então, permaneceu na encoladeira por mais 5 minutos para melhor distribuição do adesivo e em seguida foi levada para preparação do colchão.

Figura 27: Encoladeira



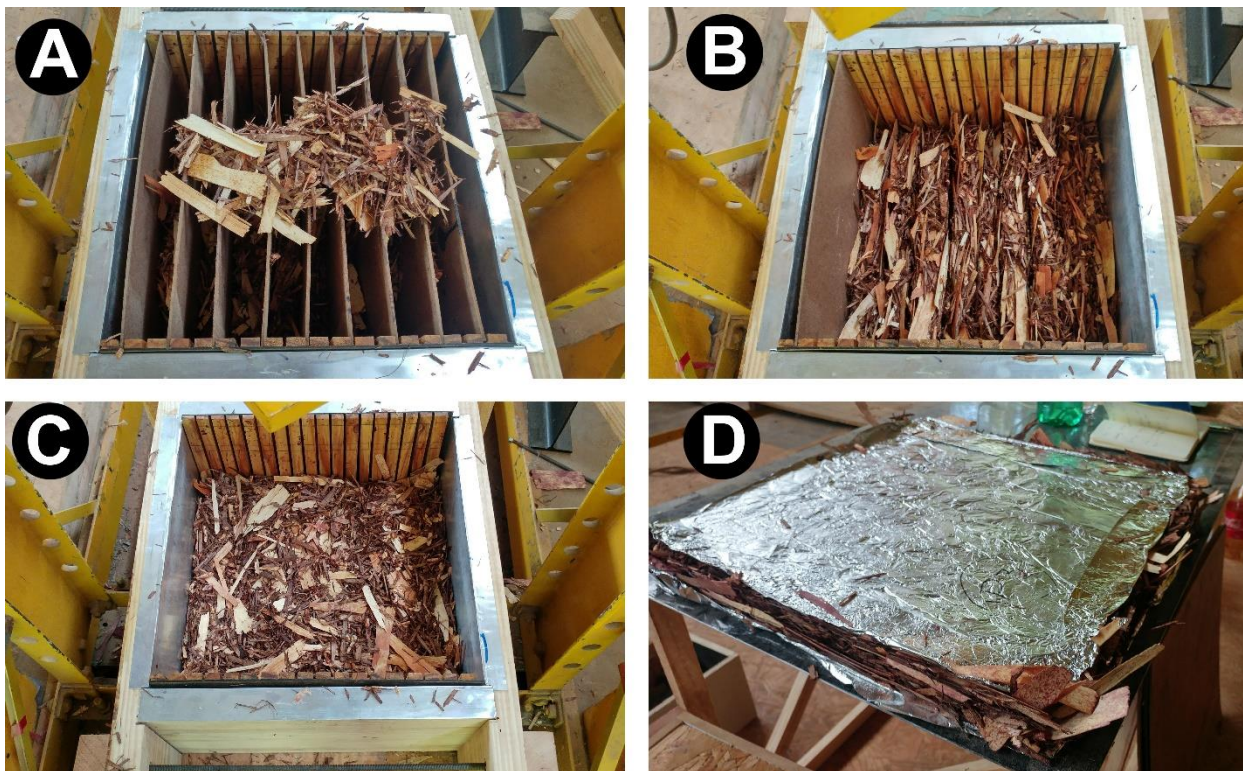
Fonte: o próprio autor.

3.3.4 Orientação das partículas e formação do colchão

Após a aplicação do adesivo, as partículas foram levadas para o separador e orientador de partículas. Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal de partículas formadoras do colchão do OSB entre as faces externas e o miolo é na faixa de 40:60 (face/miolo) baseado na percentagem de peso seco de partículas coladas. Estas proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas de OSB. Iwakiri (2005), Marra (1992), Mendes (2003), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Murakami et al. (1999) também adotaram tais proporções. A composição de todos os painéis seguiu tais proporções, tendo as faces externas as partículas distribuídas na mesma direção e, no miolo, com distribuição randômica. A Figura 28 demonstra o processo de formação do colchão utilizando separador e orientador de partículas elaborados para a pesquisa. Na figura 28 a), está representada a primeira etapa em que as partículas são postas no orientador. A figura 28 b) mostra a face externa da chapa

com as partículas orientadas. Em 28 c), está o miolo com orientação randômica e em d), o colchão formado.

Figura 28: Processo de formação do colchão utilizando separador e orientador de partículas.



Fonte: o próprio autor.

3.3.5 Prensagem dos painéis

Após a configuração do colchão de partículas, com o objetivo de facilitar o transporte e possibilitar uma melhor conformação do colchão, foi realizada uma pré-prensagem em uma prensa hidráulica modelo ENERPAC IPE-3060 (Figura 29 a). Para se obter de maneira homogênea uma melhor distribuição da carga sobre o colchão de partículas, foi elaborada uma cabeça de prensa com chapa de aço nas dimensões de 40 x 40 cm e 2,54 cm de espessura (Figura 29 b). O colchão recebeu uma pressão constante de 30 toneladas durante 5 minutos.

Figura 29: a) Pré-prensagem e b) Cabeça de prensa em chapa de aço.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Posteriormente, as chapas foram levadas até a empresa Madeplak Comércio de Compensados e Madeiras e postas na prensa hidráulica mecânica da marca OMACO (Figura 30) com sistema de controle de temperatura e pressão. Para esta etapa adotou-se de temperatura de prensagem, de 160°C , por 8 minutos com pressão específica de 4 Mpa, tais valores foram adotados em trabalhos semelhantes produzidos por Iwakiri (2005) e Nascimento et. al. (2015).

Figura 30: Prensa hidráulica mecânica da marca OMACO



Fonte: o próprio autor

Após a confecção dos painéis, estes foram levados para a Maquetaria da Universidade Estadual de Londrina e permaneceram por 48 horas em repouso para finalização total do processo de cura (Figura 31). De acordo com as normas adotadas para as realizações dos ensaios, este fator é exigido para garantir a cura do adesivo de forma efetiva.

Figura 31: Painéis confeccionados em processo de cura do adesivo.



Fonte: o próprio autor, 2017.

3.4 Obtenção dos corpos de provas

Após o período completo de cura do adesivo, os painéis configurados no estudo foram cortados com o auxílio de uma serra circular de bancada para retirada de rebarbas e esquadrejados em chapas de 350x350 mm e 10 mm \pm 2mm. Com base no Quadro 09 foram retiradas as quantidades necessárias de corpos de prova para a realização de cada ensaio de acordo com as normas adotadas.

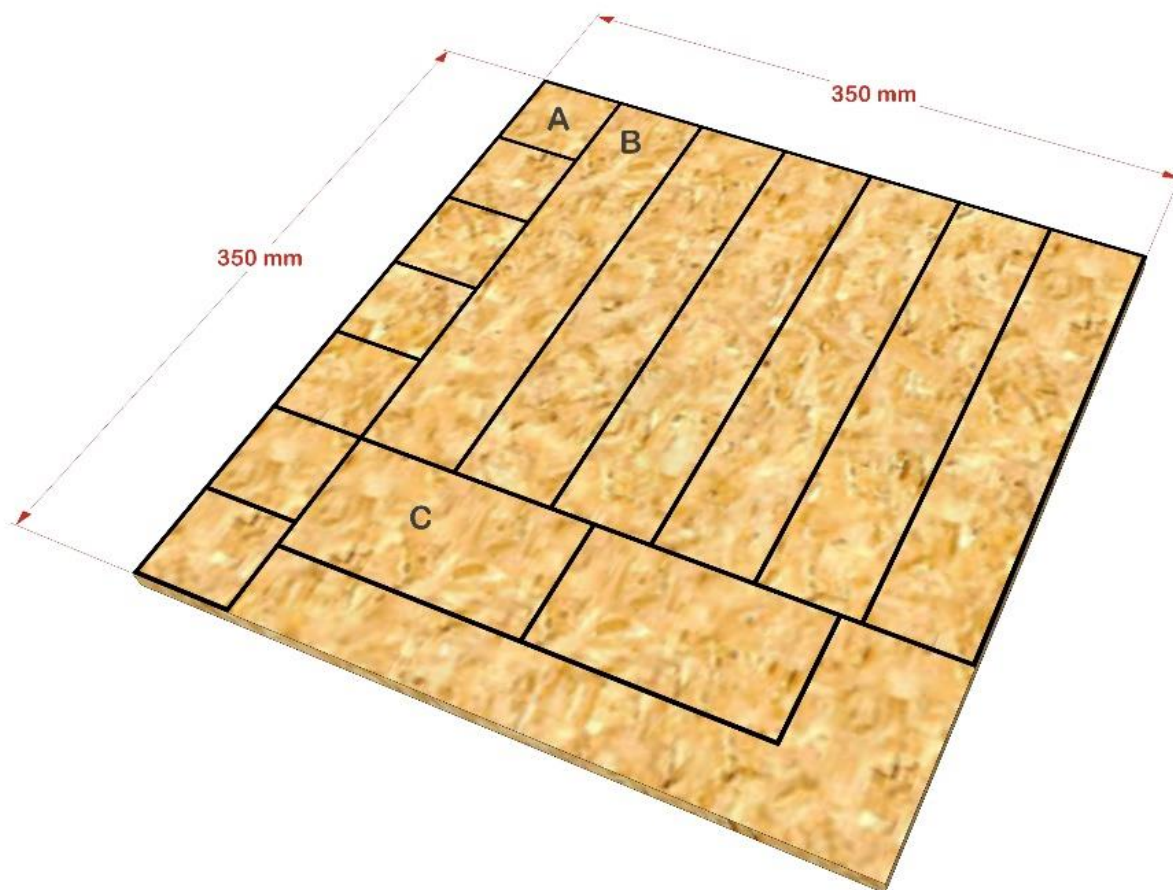
Quadro 09: Quantidade necessárias de corpos de prova para os ensaios

Ensaio	Norma	Nº Corpo de prova (CP)
Flexão Estática	EN: 310, 2006	6
Densidade Aparente (DA)	EN: 323, 1993	6
Absorção de Água (AA)	EN: 317, 1993	6
Inchamento em Espessura (Gt24h)	EN: 317, 1993	6
Teor de Umidade (TU)	NBR 14810-2, 2013	6
Módulo de Elasticidade Dinâmico (Moed)	NBR 15630:2008	3

Fonte: o próprio autor, 2017.

A Figura 32 ilustra a maneira como os corpos de provas foram cortados. Cada corpo de prova foi determinado para os seguintes ensaios: com o Corpo de Prova A (CP A) serão realizados os ensaios AA, Gt24h e TU; com o Corpo de Prova B (CP B) serão realizados os ensaios de Flexão Estática; para o Corpo de Prova C (CP C) serão realizados ensaios de Módulo de Elasticidade Dinâmico.

Figura 32: Diagramação de corte.



Fonte: o próprio autor, 2017.

3.5 Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd) – Ensaio não destrutivo

Segundo BRASHAW et al. (2009), a área de ensaios não destrutivos e avaliação não destrutiva dos materiais está em constante desenvolvimento, principalmente em relação aos estudos relacionados com madeira.

De acordo com ROSS et al. (1998) a avaliação não destrutiva dos materiais consiste na ciência que, sem alterar as características e utilização final do objeto de estudo, possibilita identificar sua propriedade físicas e mecânicas.

WANG et al. (2007) apontam que o desenvolvimento desta tecnologia tende a prever com eficácia as propriedades intrínsecas da madeira, possibilitando um maior controle de qualidade e classificação do produto. Em relação as tecnologias não

destrutivas de avaliação, a utilização de aparelhos emissores de ondas de ultrassom tem-se destacado cada dia mais.

Seu princípio consiste na emissão de pulsos elétricos por um circuito eletrônico. Esses pulsos elétricos são conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezelétrico, localizado nos transdutores. Em contato com o material a ser estudado, as vibrações mecânicas deslocam-se pelo objeto de estudo, que atenuam o sinal emitido pelo gerador. O sinal atrasado é recuperado por outro cristal piezelétrico e, depois de ser amplificado, é transformado em pulsos elétricos novamente para medir o tempo de propagação. Ao conhecer a distância e o tempo de percurso da onda, é possível obter-se a sua velocidade (CALEGARI, 2006).

Para a realização deste ensaio, foi utilizado o instrumento ultrassônico PUNDIT LAB, da marca PROCEQ. O aparelho possui faixa de medição de até 15m, largura de banda de 20 a 500 kHz, velocidade de pulso ultrassônico com resolução da medição de 0,1 us, Voltagem de pulso de 125 a 500 V, Frequência nominal do transdutor de 24 a 500 kHz e formato de pulso Square Wave.

Após o corte dos corpos de prova, as peças foram medidas e pesadas. Em seguida foi realizado o ensaio não destrutivo por meio do ultrassom para determinação do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) (Figura 33).

Figura 33: Ensaio não destrutivo por meio do ultrassom.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Inicialmente os transdutores receberam uma camada de gel sem álcool, aproximadamente 1mm, para que, quando comprimidos contra as faces dos corpos-de-prova, ocorresse seu extravasamento. Para cada corpo de prova, os transdutores foram posicionados em faces opostas, tanto no eixo longitudinal, quanto paralelo e transversal ao sentido das fibras.

Após o ensaio, o MOEd foi obtido através da equação:

$$MOEd = P_{12\%} V^2$$

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico (10^{-6} Mpa);

P = Densidade aparente do corpo de prova a 12% de teor de umidade (Kg/m^3)

V = Velocidade de propagação da onda ultrassônica (m/s)

3.6 Determinação das propriedades dos painéis – Ensaio destrutivos

Com o objetivo de se aproveitar ao máximo o número de corpos de provas na maior quantidade de ensaios físicos, as análises seguiram a ordem descrita abaixo de acordo com as normas vigentes citadas no Quadro 09.

3.6.1 Propriedades Físicas

Densidade Aparente: Para a realização deste ensaio, os corpos foram pesados com uma balança analítica digital com precisão de 0,01g e depois foram coletas as medidas com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01mm. Posteriormente, através da equação a seguir foi possível obter os valores da densidade aparente das amostras.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

ρ_{ap} = Densidade aparente do corpo de prova (g/cm^3)

V = volume do corpo de prova a 12% de umidade (cm^3);

M = massa do corpo de prova a 12% de umidade (g).

Razão de compactação dos painéis: A determinação da razão de compactação dos painéis teve como base a porcentagem do tipo de matéria-prima utilizada em sua fabricação. Tal resultado é obtido através da razão entre a densidade da chapa e da somatória de matéria prima, utilizando a seguinte equação:

$$RC = \frac{d_{chapa}}{d_{\Sigma mat}}$$

Onde:

RC = razão de compactação;

dchapa = densidade da chapa (g/cm³);

d Σ mat = somatória da densidade das matérias-primas utilizadas (g/cm³).

Teor de umidade: Para o ensaio de teor de umidade, as amostras foram pesadas em uma balança analítica digital de precisão 0,01g, este valor inicial foi considerado como peso úmido. Após a pesagem, as amostras foram colocadas em uma estufa ventilada (Figura 34) com sistema de controle de tempo e temperatura constante de 105 \pm 3°C, durante 4h até se obter o peso seco e pesadas novamente. Tal procedimento está de acordo com o estabelecido pelo documento normativo NBR 14810-3 (2006). Com base nas duas medições de massa, o cálculo de teor de umidade foi estabelecido através da Equação:

$$TU = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

TU = Teor de umidade da amostra (%);

Pu = Peso úmido da amostra (g);

Ps = Peso seco da amostra (g).

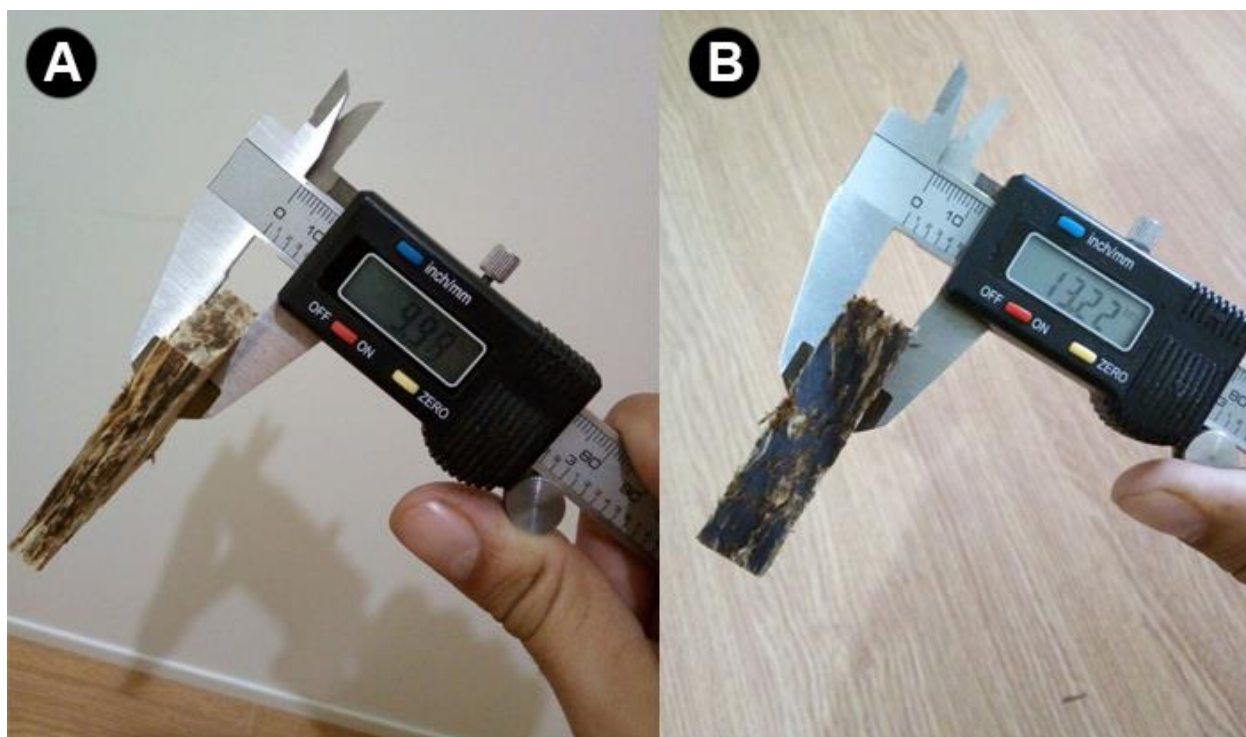
Figura 34: Estufa ventilada para realização de ensaio de Teor de umidade.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Inchamento em Espessura e Absorção de Água: Com base no documento normativo EN:317 (1993) para determinação das propriedades de inchamento em espessura e absorção de água, inicialmente, as amostras foram pesadas em uma balança analítica de precisão 0,01g e foi coletada a espessura relativa de cada corpo de prova com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01mm. Após a coleta dos dados iniciais, as amostras foram imersas em água a 20°C, por períodos de 2 e 24 horas. Ao final de cada período, a massa da amostra e a espessura foram novamente medidas. A figura 35 ilustra o processo de medida de um corpo de prova após 2 horas de imersão em água e após 24 horas respectivamente.

Figura 35: Processo de medida de um corpo de prova do ensaio de Inchamento em Espessura e Absorção de Água. A) inchamento após 2 horas, B) inchamento após 24 horas.



Fonte: o próprio autor.

O inchamento em espessura, dado em percentagem, foi obtido através da Equação a seguir:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100$$

Onde:

Gt = inchamento (%);

T1 = espessura inicial (mm);

T2 = espessura final (mm).

A absorção de água foi determinada pela seguinte equação:

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

Onde:

A_m = absorção (%);

m_1 = massa inicial (g);

m_2 = massa final (g).

3.6.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos painéis foram realizadas em uma máquina universal de ensaios EMIC, Modelo 23-100 com capacidade de 100kN (Figura 36) cedida pelo Centro Universitário Uningá.

Figura 36: Máquina universal de ensaios EMIC, Modelo 23-100.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Flexão estática: Para realização destes ensaios o método utilizado foi o de 3 pontos. Neste método, os corpos de prova (CP) são apoiados em um suporte metálico de dois pontos com distância entre si de 20 vezes a espessura nominal do CP, e a força é aplicada no ponto médio. De com Iwakiri (2005) e Mendes (2003), o módulo de elasticidade (MOE) consiste em um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço. Este módulo é calculado utilizando-se a região linear da curva de leituras de força pelo deslocamento, conforme a equação a seguir. A Figura 37 mostra o CP na posição de ensaio e após sua ruptura.

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

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (Mpa);

a1 e a2 = deflexão inicial e final na metade do vão (mm);

l1 = distância entre os suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm);

F2-F1 = incremento de carga (F2 ± 40% da carga máxima e F1 ± 10%) (N).

Figura 37: CP na posição de ensaio e após sua ruptura.



Fonte: o próprio autor, 2017.

De acordo com Iwakiri (2005), Marra (1992), Mendes (2003), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Murakami et al. (1999), o Módulo de ruptura (MOR) estabelece e determina a aplicabilidade dos painéis de partículas de madeira para uso estrutural. Para obtenção destes valores de MOR, utilizou-se o ensaio de flexão estática, considerando a carga máxima de resistência atingida pelo CP conforme a equação:

$$MOR = \frac{3 * F_{max} * I_1}{2 * b * t^2}$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (Pa);

l_1 = distância entre os suportes (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm);

F_{\max} = força na ruptura (N).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados foram o desenvolvimento de nova tecnologia para fabricação de painéis bem como a comprovação da eficiência do material de acordo com as normas técnicas específicas. Este trabalho teve como resultado também a formulação da proporção de mistura ideal de cascas de *Eucalyptus grandis* e maravalhas de *Pinus spp.* como matéria-prima que atenda aos requisitos da norma EN - 300:2006.

Com base na literatura consultada e trabalhos realizados, obtivemos a confirmação da viabilidade de fabricação dos painéis com a utilização dos resíduos, o que também pode contribuir para mais uma forma de reciclagem de materiais. O resultado deste trabalho serve como uma nova solução para os resíduos das madeiras, as cascas e as maravalhas, que são uma matéria-prima de baixo custo. A utilização dessas matérias-primas pode, portanto, agregar valor a um material tido como resíduo.

4.1 Ensaios Físicos

Com o objetivo de analisar a influência da porcentagem de casca presente em cada painel nos ensaios físicos, o Quadro 10 apresenta os valores médios das densidades aparentes, das razões de compactação e teor de umidade, assim como os respectivos coeficientes de variação.

Quadro 10: Densidade Aparente/Razão de Compactação e Teor de Umidade

Painel	Densidade Aparente (g/cm ³)		Razão de Compactação		Teor de Umidade (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
P1	0.514	16.19	1.13	15.14	8.83	7.16
P2	0.632	26.34	1.88	21.47	8.80	8.67
P3	0.914	11.87	2.53	10.12	7.84	2.96
P4	0.909	16.15	2.82	17.40	7.28	14.16

Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda: Painel P1 à P4, conforme especificado no Quadro 07 CV – Coeficiente de variação.

De acordo com os valores apresentados, os painéis do tipo P3 e P4 mostraram valores superiores de densidade comparados aos painéis P1 e P3. Tal característica está diretamente ligada ao aumento da razão de compactação e, conseqüentemente, teor de umidade. De acordo com Morales et. al. (2014), a diferença de valores entre os coeficientes de variação pode estar relacionada ao fato de os painéis, ao longo de sua espessura, apresentarem menor homogeneidade do que ao longo das direções principais.

A casca de *Eucalyptus grandis* apresenta uma baixa densidade, o que possibilita um aumento da quantidade de partículas a serem prensadas. Devido a isto, os painéis do tipo P3 e P4 demonstram um aumento na razão de compactação, provocada pelo aumento da densidade dos painéis. Tal constatação está de acordo com os trabalhos apresentados por Sobral Filho (1981); Zhou (1990), Zhang et al. (1998) e Suchsland (1977).

Hrázský e Král (2003), Maloney (1993) e Kelly (1977) afirmam que a densidade afeta as propriedades mecânicas do painel, pois gera razões de compactação mais elevadas. Tal característica aumenta a superfície de contato entre as partículas conseqüentemente melhorando a adesão entre elas. Segundo os autores, os painéis formados com materiais de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade, que possuem alta capacidade de distribuição de forças entre os flocos, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e à ligação interna.

Em relação a razão de compactação apresentada nos ensaios, os painéis P2, P3 e P4 estão acima dos valores considerados como ideais – 1,3 a 1,6 - de acordo com Hrázský e Král (2003) e Maloney (1993). Segundo Kelly (1977) e Moslemi (1974), altas razões de compactação podem influenciar em um alto desempenho mecânico, porém a absorção de água do ambiente pelo painel e, conseqüentemente, sua instabilidade dimensional podem aumentar. O teor de umidade variou entre 7,28 e 8,83%. Novamente os painéis do tipo P3 e P4 apresentaram valores considerados melhores para esta finalidade.

Em relação aos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, o Quadro 11 mostra os valores médios dos ensaios após 2 horas e 24 horas e seus respectivos coeficientes de variação.

Quadro 11: Inchamento em Espessura e Absorção de Água.

Painel	Inchamento em Espessura (% com base na espessura inicial)				Absorção de Água (% com base no peso inicial)			
	Média 2h	CV (%)	Média 24h	CV (%)	Média 2h	CV (%)	Média 24h	CV (%)
P1	19.201	23.71	90.74	7.47	81.90	12.05	29.53	32.69
P2	11.372	16.43	51.16	7.88	40.84	12.18	16.41	18.14
P3	11.214	32.12	19.98	12.56	33.97	30.35	49.51	21.05
P4	7.210	45.32	20.48	5.63	39.18	26.25	56.54	17.05

Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda: Painel P1 à P4, conforme especificado no Quadro 07 CV – Coeficiente de variação.

Observa-se que os painéis de maior densidade – P3 e P4 – apresentaram valores médios de inchamento em espessura menores que P1 e P2 após submersos em água pelo período de 2 horas e 24 horas. De acordo com Mendes (2001), isto ocorre devido ao aumento da densidade e da razão de compactação, o que ocasiona uma maior liberação das tensões de compressão. Segundo Avramidis & Smith (1989) e Zhou (1990) os painéis mais densos resultam em valores menores de absorção de água em ensaios de inchamento (2 horas). No entanto, para imersão dos painéis na água por período acima de 24 horas, os painéis mais densos tendem a absorver mais água em função da maior quantidade de partículas, o que resulta em uma área superficial maior, e, conseqüentemente, aumenta o número de sítios higroscópicos para retenção de água de adesão. Isto não ocorreu no presente estudo possivelmente devido a adição de emulsão de parafina no teor de 1% em relação ao peso seco de partículas.

Mendes (2001) ressalta que esta redução de absorção também pode ser explicada devido ao fato dos painéis de alta densidade produzirem uma barreira física que impede o acesso da água devido a maior quantidade de massa.

De acordo com Cloutier (1998), Marra (1992) e Mendes et. al. (2003 e 2014), a adição de emulsão de parafina reduz a higroscopicidade das partículas de madeira, e dessa forma, é possível diminuir a absorção de água e inchamento em espessura dos painéis.

Com base nos valores apresentados, os painéis do tipo P3 e P4 são adequados para a aplicação em ambiente seco conforme de acordo com o documento normativo EN: 300, 2006.

4.2 Ensaios mecânicos

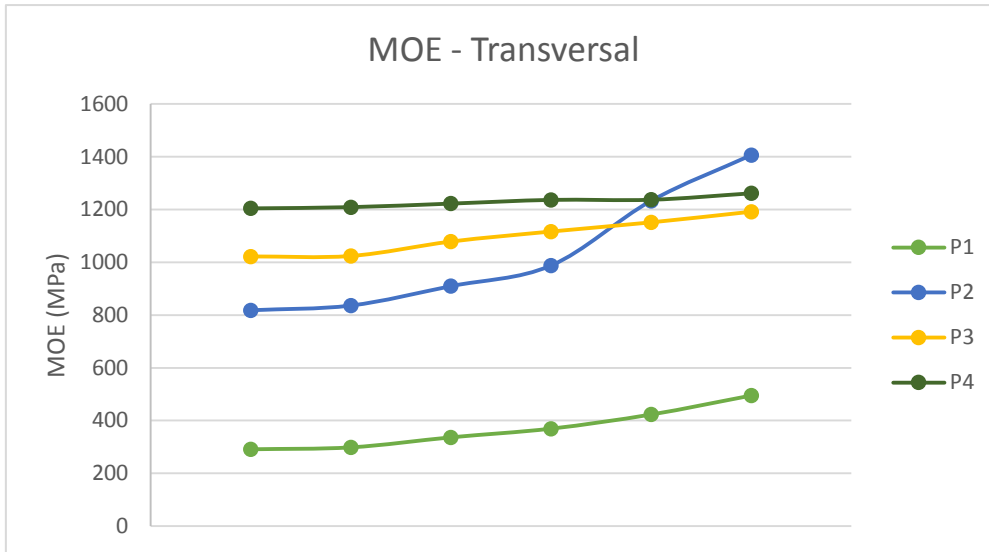
Flexão estática: Para realização dos ensaios que irão determinar o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR), o documento normativo EN 326-1/1994 determina que os corpos de provas devem possuir tamanho retangular, com a largura igual a 50 ± 1 mm e comprimento 20 vezes a espessura nominal mais 50mm. A espessura deverá ser medida no ponto médio do corpo de prova, no ponto de interseção das diagonais. Para ambos os ensaios – MOE e MOR – serão necessários uma série de corpos de prova nos sentidos longitudinal e transversal. Posteriormente, as peças devem ser condicionadas sob umidade relativa de $65\pm 5\%$ e temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$ até obterem massa constante.

Para a correta realização dos ensaios, os corpos de prova devem ser bi apoiados, e uma força constante deve ser aplicada pontualmente no centro do vão. A distância entre os apoios deve ser regulada na proporção de 20 vezes a espessura nominal do painel.

4.2.1 Módulo de elasticidade (MOE)

Os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade (MOE) dos painéis confeccionados neste trabalho foram gerados através do ensaio de flexão estática, realizado na máquina de ensaios universal, EMIC 23-100 por meio do software TESC, e são apresentados no Gráfico 01 para MOE transversal e Gráfico 02 para MOE longitudinal.

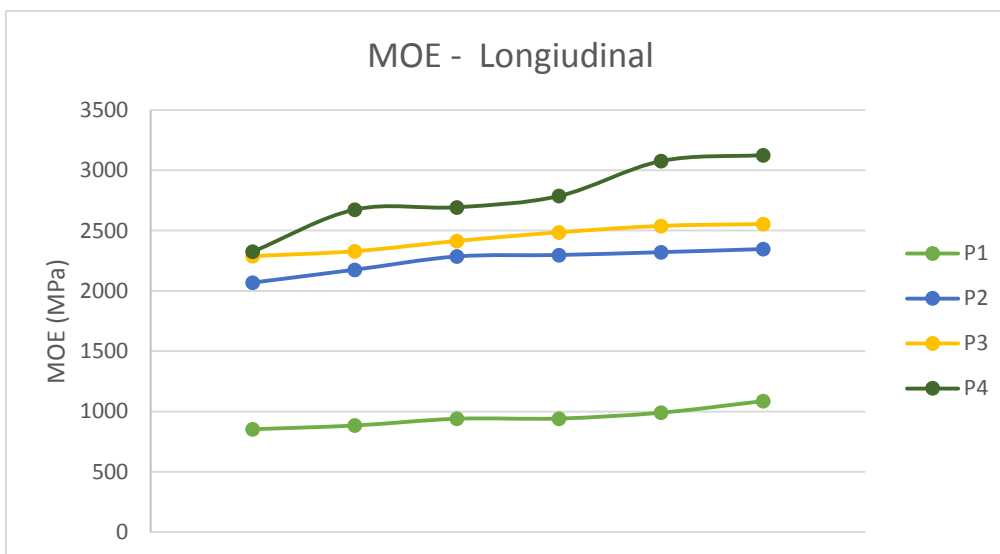
Gráfico 01: Gráfico para Módulo de Elasticidade (MOE) transversal



Fonte: o próprio autor.

Legenda: P1 à P4, conforme Quadro 07

Gráfico 02: Gráfico para Módulo de Elasticidade (MOE) longitudinal



Fonte: o próprio autor.

Legenda: P1 à P4, conforme Quadro 07. No Quadro 12, podemos constatar os valores obtidos através dos ensaios de flexão estática para o MOE transversal e, no Quadro 13, os valores para o MOE longitudinal.

Quadro 12: Valores obtidos para o MOE transversal

MOE – Transversal					
CP/Painel	Unidade	P1	P2	P3	P4
A	N/mm ²	291.237	818.199	1022.220	1204.379
B	N/mm ²	298.580	836.199	1023.989	1209.038
C	N/mm ²	336.541	909.670	1078.649	1222.526
D	N/mm ²	369.547	987.790	1116.638	1236.479
E	N/mm ²	423.061	1233.187	1151.416	1237.065
F	N/mm ²	494.974	1406.331	1191.747	1261.421
Média	N/mm²	368.990	1031.896	1097.443	1228.485

Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda: CP – Corpo de prova; P1 à P4, conforme Quadro 07.

Quadro 13: Valores para o MOE longitudinal.

MOE - Longitudinal					
CP/Painel	Unidade	P1	P2	P3	P4
A	N/mm ²	990.098	2175.581	2538.514	3076.393
B	N/mm ²	941.468	2285.236	2413.922	2673.969
C	N/mm ²	852.610	2068.759	2554.473	3125.801
D	N/mm ²	883.913	2297.409	2485.594	2786.532
E	N/mm ²	1086.165	2346.692	2328.932	2693.218
F	N/mm ²	939.566	2320.941	2288.223	2325.268
Média	N/mm²	948.970	2249.103	2434.943	2780.197

Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda:

CP: Corpo de prova;

P1 à P4, conforme Quadro 07.

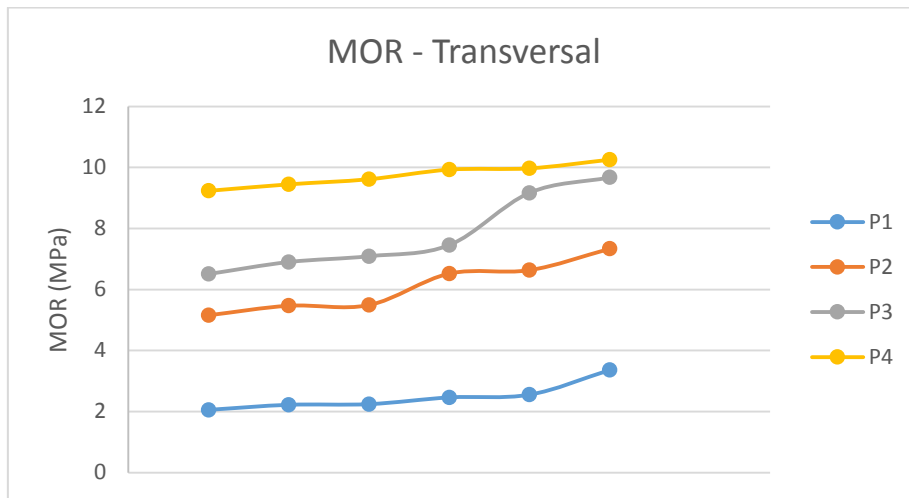
Com base nos dados apresentados, constata-se que o painel tipo P4 está dentro dos padrões mínimos de MOE exigidos para configuração de OSB tipo 1, estabelecidos pelo documento normativo EN: 300, 2006, conforme apresentados no Quadro 01

Tanto os painéis do tipo P2 quanto os P3 possuem características similares ao OSB tipo 1, estabelecidas pela norma EN: 300,2006. Porém, ambos não atingiram os valores mínimos estabelecidos nos ensaios para MOE transversal conforme apresentado no Quadro 01.

4.2.2 Módulo de Ruptura

Os valores médios obtidos para o módulo de ruptura (MOR) dos painéis confeccionados neste trabalho são apresentados no Gráfico 03 para MOR transversal e Gráfico 04 para MOR longitudinal. Os dados foram gerados por meio do ensaio de flexão estática, realizado na máquina de ensaios universal, EMIC 23-100 através do software TESC.

Gráfico 03: Gráfico para módulo de ruptura transversal

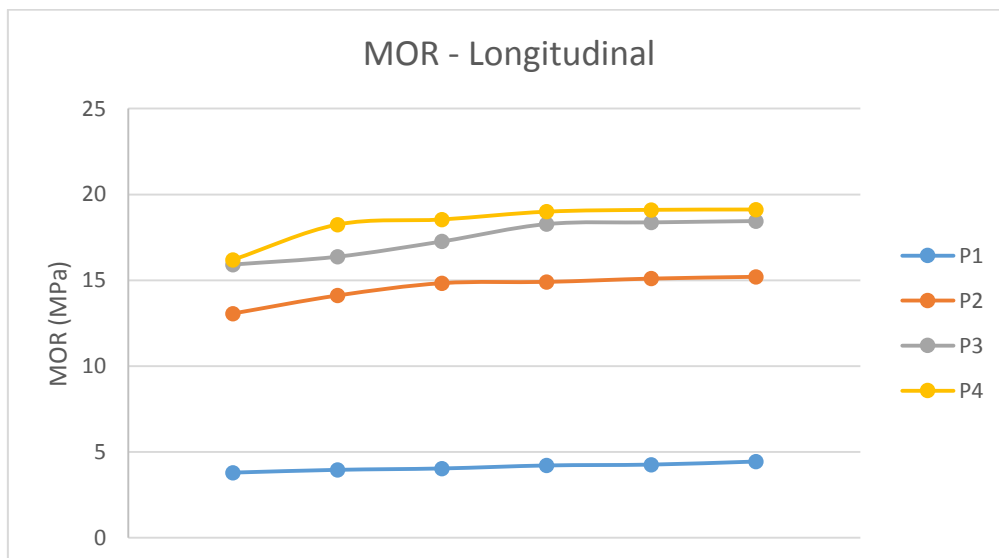


Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda:

P1 à P4, conforme Quadro 07.

Gráfico 04: Gráfico para módulo de ruptura longitudinal.



Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda:

P1 à P4, conforme Quadro 07.

No Quadro 14, podemos constatar os valores obtidos o MOR transversal e no Quadro 15, os valores para o MOR longitudinal.

Quadro14: MOR transversal.

MOR - Transversal					
CP/Painel	Unidade	P1	P2	P3	P4
A	N/mm ²	2.553	5.468	9.169	9.233
B	N/mm ²	2.056	7.334	7.455	10.255
C	N/mm ²	2.463	5.490	6.901	9.971
D	N/mm ²	2.221	6.634	9.674	9.930
E	N/mm ²	3.360	6.522	6.509	9.615
F	N/mm ²	2.243	5.156	7.091	9.446
Média	N/mm ²	2.483	6.101	7.800	9.742

Fonte: O próprio autor, 2017.

Legenda:

CP – Corpo de prova;

P1 à P4, conforme Quadro 07.

Quadro 15: MOR longitudinal.

MOR - Longitudinal					
CP/Painel	Unidade	P1	P2	P3	P4
A	N/mm ²	4.258	14.111	18.272	19.102
B	N/mm ²	4.208	14.831	17.262	18.244
C	N/mm ²	3.953	13.062	18.449	19.121
D	N/mm ²	3.792	14.904	18.371	18.997
E	N/mm ²	4.436	15.097	16.372	18.543
F	N/mm ²	4.034	15.199	15.915	16.194
Média	N/mm ²	4.114	14.534	17.440	18.367

Fonte: O próprio autor, 2017.

Legenda:

CP – Corpo de prova;

P1 à P4, conforme Quadro 07.

De acordo com os dados apresentados, os painéis do tipo P4 se enquadram nos limites estabelecidos pelo documento normativo EN: 300, 2016, em relação ao OSB tipo 1.

Os demais painéis não atingiram os valores mínimos determinados pela mesma norma. Apesar da alta densidade configurada pelos painéis, os valores referentes aos ensaios mecânicos não apresentaram um aumento conforme apontado por Mendes (2001).

4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Com base na relação entre velocidade ultrassônica e massa específica dos painéis, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd). O objetivo deste ensaio foi comparar e avaliar o método com o ensaio destrutivo de flexão estática, obtendo o Módulo de elasticidade estático, e posteriormente analisar uma possível correlação entre os módulos.

O Quadro 16 mostra os valores obtidos com os respectivos ensaios:

Quadro 16: Dados comparativos entre o MOE_d (MÓDULO de elasticidade dinâmico) e o MOE_e (modulo de elasticidade estático).

ENSAIOS PARA CORPOS DE PROVA - SENTIDO LONGITUDINAL						
Painel		Densidade Aparente dos CP 12% umidade (Kg/m ³)	Velocidade (m/s)	MOEd (N/mm ²)	MOEe (N/mm ²)	% Diferença
P1	Máximo	594	1554.25	1434.922	1086.165	32%
	Mínimo	386	1650.31	1051.280	852.610	23%
	Média	514	1452.014	1083.689	948.970	14%
	CV	16	14	15	11	
P2	Máximo	860	1854.25	2956.889	2346.692	26%
	Mínimo	494	2250.31	2501.564	2068.759	21%
	Média	632	2152.014	2926.896	2249.103	30%
	CV	26	18	21	13	
P3	Máximo	1071	1724.25	3184.124	2554.473	25%
	Mínimo	809	1930.31	3014.412	2288.223	32%
	Média	914	1832.014	3067.636	2434.943	26%
	CV	11	13	19	16	
P4	Máximo	1070	1954.25	4086.430	3125.801	31%
	Mínimo	709	2010.31	2865.315	2325.268	23%
	Média	909	1952.014	3463.616	2780.197	25%
	CV	16	14	10	9	

Fonte: o próprio autor, 2017.

Legenda:

CV – Coeficiente de Variação;

P1 à P4, conforme Quadro 07.

Com base nos dados apresentados pelo Quadro 17, quanto ao MOE_e, de maneira geral, os valores tendem a estar abaixo dos apresentados pelo MOE_d, em média 25,6%. Devido a isto, o coeficiente de variação também apresenta menor valor, revelando uma menor dispersão dos valores apresentados. Esta diferença representa a dispersão acentuada dos valores, o que pode ser atribuído à alta variação dos valores de densidade ligados a tipologia das chapas fabricadas. Segundo Morales et al. (2004) tal diferença de valores pode estar relacionada que ao longo da espessura,

os painéis apresentaram menor homogeneidade do que ao longo das direções principais. Sendo assim, os valores obtidos no ensaio de ultrassom não se correlacionaram com os obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Com base na metodologia aplicada neste trabalho e através dos resultados obtidos para constatação da viabilidade de produção de painéis de tiras de madeira orientadas (OSB) elaborados com cascas de *Eucalyptus grandis* e maravalhas de *pinus spp.*, conclui-se que:

- Em relação a densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade, os painéis do tipo P3 e P4, aqueles que apresentam maior quantidade de cascas de eucalipto em sua concepção, obtiveram resultados satisfatórios, conferindo maior resistência a absorção de umidade e aumento na densidade. Tais fatores se relacionam com o aumento da razão de compactação.

- Com base nos resultados obtidos nos ensaios de inchamento em espessura e absorção de água nos períodos de 2 horas e 24 horas, os painéis P3 e P4, apesar da alta densidade, apresentaram valores menores do que os painéis do tipo P1 e p2. A aplicação de 1% de emulsão de parafina com base no peso seco das partículas influenciou para a redução dos índices de absorção.

- Os valores apresentados nos ensaios de flexão estática, para o painel tipo P4, atenderam aos limites mínimos exigidos pelo documento normativo EN:300, 2006. Desta forma, a chapa do tipo P4 se enquadra como painel de uso geral e componentes para utilização em ambiente seco.

- O ensaio realizado por ultrassom, permite uma aproximação de dados com uma margem de variação elevada. Tal fator de dispersão pode ser atribuída à alta variação dos valores de densidade ligados a tipologia das chapas fabricadas.

- Em uma análise abrangente, foi constatada a viabilidade de produção de uma chapa de tiras de madeira orientada elaborada com resíduos de madeiras, cascas de eucalipto e maravalha.

- Apesar de serem classificadas como OSB-1, de acordo com o documento normativo EN: 300, 2006, os painéis poderão ainda deverão passar por novos ensaios e análises para efetivamente se enquadrarem como painéis.

- Os painéis poderão receber tratamentos futuros com base em impermeabilizantes para aplicação em áreas úmidas.

Com base nas conclusões obtidas neste trabalho, futuras considerações e recomendações podem ser apresentadas:

- Elaborar painéis que possuam em seu miolo apenas uma taxa de porcentagem de cascas de eucalipto, com o objetivo de se comprovar um ganho significativo nos ensaios de flexão estática.
- Estudar a influência da porcentagem de adesivo em chapas de alta densidade.
- Analisar a relação de chapas elaboradas com partículas de baixa densidade e alta razão de compactação com o módulo de elasticidade e módulo de ruptura.
- Constatar a influência do aumento de teor e tipo de adesivo nas chapas de OSB, feitas com cascas de eucalipto e maravalha em relação aos ensaios de absorção e inchamento em espessura.
- Investigar a relação da granulometria da casca e sua influência nos ensaios de flexão estática.
- Realizar ensaios de arranchamento de prego, adesão interna, resistência a fungos e insetos.
- Estudar a aplicação de novos tipos de adesivos menos agressivos ao meio ambiente, como por exemplo, o adesivo à base de óleo de mamona.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 14810-2:2013. **Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT NBR 15630:2008. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica**. Rio de Janeiro, 2008.
- ANUÁRIO estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011. Brasília, DF, 2012.
- ANDRADE, A. M. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- AVRAMIDIS, S.; SMITH, L.A. **The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board**. *Holzforschung*, Berlin, v. 43, n. 2, p. 131-133, 1989.
- BARNES, D. **An integrated model of the effect of processing parameters on the strength properties of oriented strand wood products**. *Forest Products Journal*, Madison, v. 50, n. 11/12, p. 33-42, 2000.
- BIBLIS, E. J. **Properties of three-layer oriented strandboard from southern hardwoods**. *Forest Products Journal*, Madison, v. 35, n. 2, p. 28-32, 1985.
- BIBLIS, E. J. **Properties of commercial OSB from three southern pine mills**. *Forest Products Journal*, Madison, v. 39, n. 1, p. 55-57, 1989.
- BRASHAW, B.K. et al. **Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update**. *Forest Products Journal*. v.59, n.3, p.7-14, 2009.
- BRITO, Edvá O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* plantado no Sul do Brasil**. 1995. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1995.
- BRUMBAUGH, J. **Effect of flake dimensions on properties of particle boards**. *Forest Products Journal*, Madison, p. 243-246, 1960.
- CABRAL, Carla P; VIDAL, Benedito Rocha; LUCIA, Ricardo D.; PIMENTA, Alexandre S. **Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp E *Pinus elliottii***. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.5, p.897-905, 2007.
- CALEGARI, L. et al. **Monitoramento do teor de umidade de madeiras de *Pinus elliottii* Engelm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, sob diferentes temperaturas de secagem, através do ultrassom**. *Ciência Florestal*, v.17, n.4, p.399-408, 2007.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. Oriented strandboard and waferboard. **Technical Bulletin SBA, Standard CSA O437.0-93**. WILLOWDALE, Ontario, 18 p, 1993.

CLOUTIER, A. **Oriented stranboard (OSB): Raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials**. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., Anais. Belo Horizonte, SIF, 1998, p. 173-185.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **ENV: 12872:2014. Wood-based panels. Guidance on the use of load-bearing boards in floors, walls and roofs**. Brussels, December, 2014.

EN 326-1:1994. **Wood-based panels**. Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. EN, 1994.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 300:2006 Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications**. Brussels, 2006.

EUROPEAN STANDARD. **EN 310: wood-based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Brussels, 1993a.

EUROPEAN STANDARD. **EN 317: particleboards and fibreboards: determination of swelling in thickness after immersion in water**. Brussels, 1993b.

EUROPEAN STANDARD. **EN 319: particleboards and fibreboards: determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board**. Brussels, 1993c.

EUROPEAN STANDARD. **EN 321: Wood-based panels. Determination of moisture resistance under cyclic test conditions**. Brussels, 2002.

EPF - EUROPEAN PANEL FEDERATION. **Technical information sheet OSB (Oriented Strand Board)**. 2016. Disponível em:< http://www.osb-info.org/Assets/file/EN/OSB_Technical_Information_.pdf>. Acesso em: 20 janeiro 2016.

FOELKEL, C. **Casca da árvore do Eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel**. São Paulo: 2006.

HEEBINK, Bruce G.; LEHMANN, William F.; HEFTY, F.V. **Reducing particleboard pressing time: exploratory study**. F.P.L. 180, Madison, 13pp. 1972.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. **The influence of particle composition in a three-layer particleboard on its physical and mechanical properties**. Journal of Forest Science, v. 49, n. 2, p. 83-93, 2003.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 245p.

IWAKIRI, S.; MENDES L. M.; SALDANHA L. K.; **Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de Eucalyptus grandis, com diferentes teores de resinas, parafina e composição em camadas**. *Ciência Floresta*, Santa Maria v.13, n. 1, p 89-94, 2002.

KEHR, E.; SCHERFKE, R. **The effect of chip geometry on properties of particle board. I.Sorting and further comminution of middle-layer chips**. *Holztechnol*, Dresden, v. 4, n.3, p.251-256, 1963.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison, Forest Products Laboratory, p. 64, 1977.

MALONEY, T. M.(1993). **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2 ed. São Francisco: M. Freeman , 1993. 689p.

MARRA, A A . **Technology of wood bonding: Principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MENDES, Lourival Marin et al. **Umidade de equilíbrio de painéis OSB produzidos com inclusão laminar e com diferentes tipos de adesivos**. *CERNE* [online]. 2014, vol.20, n.1, pp. 123-138. ISSN 0104-7760.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Curitiba. 67f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, 2001.

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

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT Jr., S.; SALDANHA, L. K. **Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB**. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 01-17, 2003.

MORALES, E. A. M.; ROCCO LAHR F. A.; NASCIMENTO M. F.; GONÇALVES R. **Estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB (Oriented Strand Board) através de ultrassom**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 9., Cuiabá, 2004. Anais. Cuiabá, MT: UFMT, 2004. CD ROM.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: vol I: materils**. London: Southern University Press, 1974. 244 p

MURAKAMI, K. et al. **Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I**. *Japan Wood Science*, Tokyo, v. 45, n.5, p. 395-402, 1999.

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

PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. **Avaliação da granulometria de partículas de Pinus taeda combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados**. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000

PEREIRA, J.C.D et al. **Características das madeiras de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. EMBRAPA FLORESTAS – Doc, 38 – Colombo – PR, 2000.

PIERRE, Fernanda C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu – SP, 2010.

ROSS, R.J. et al. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v.18, n.1, p.14-19, 1998.

SILVA, Andressa Algayer da. **Aproveitamento de resíduos de madeira (maravalha) de Pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado**. 2013. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SOBRAL FILHO, M. **Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels**. Forest Products Journal, Madison, v.31, n. 9, p. 43-52. 1981.

SUCHSLAND, O. **Compression shear test for determination of internal bond strenght in particleboard** . Forest Products Journal, Madison, v. 27, n. 1, p. 32-36, 1977.

TALBOTT, J.W.; MALONEY, T.M. Effect of several production variables on the modulus of rupture and internal bond strength of boards made of green Douglas-fir planer Shavings. **Forest Product Journal** . , v. 7, n. 10, p. 395-398.1957.

ZHANG, M. *et al.* **Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands**. Japan Wood Science, Tokyo, n.44, p.191-197. 1998

ZHOW, D. **A estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Phisical and mechanical properties of OSB**. Holz Als Roh Und Werkstoff, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293-296, 1990.

WANG, X. et al. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials – a path to increased profi tability. **Forest Products Journal**, v.57, n.5, p.6-14, 2007.