

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
UNICENTRO - PARANÁ**

**LYGIA MARIA NAPOLI**

**EFEITO DAS COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E DO TIPO DE  
ADESIVO NAS PROPRIEDADES DE PAINÉIS OSB**

**IRATI-PR**

**2019**

**LYGIA MARIA NAPOLI**

**EFEITO DAS COMPOSIÇÕES DE CAMADAS E DO TIPO DE ADESIVO NAS  
PROPRIEDADES DE PAINÉIS OSB**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Strictu sensu* em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Prof. Dr. Éverton Hillig  
Orientador

Prof. Dr.<sup>a</sup> Fabiane Salles Ferro  
Coorientadora

IRATI-PR  
2019

**Aos meus pais, Alex e Andréa.**  
**Aos meus irmãos Cayo e Maria Eduarda.**  
**Aos meus amigos.**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Everton Hillig, por ter acreditado em mim e no meu trabalho, além de todo o conhecimento repassado, atenção e dedicação ao me orientar.

À minha coorientadora Professora Dr.<sup>a</sup> Fabiane Salles Ferro, por toda admiração que tenho por ela e por ter me mostrado os caminhos para realizar este trabalho de forma tão incentivadora.

À empresa LP pela doação dos materiais e as informações que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto. Em especial agradeço ao Erivelton Oliveira e Rodrigo Candéo, que acompanham e auxiliam em minhas pesquisas desde 2011, com muita paciência e bom humor.

Aos demais professores do curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e do curso de Engenharia Florestal da UNICENTRO que esclareceram dúvidas e agregaram novos conhecimentos.

Aos meus pais, Alex e Andréa, aos meus irmãos Cayo e Maria Eduarda, pelo carinho, confiança e incentivo imensuráveis.

Aos funcionários da UNICENTRO que sempre me auxiliaram, em especial a Adriane e o pessoal da manutenção.

À todos os colegas de pesquisa que passaram pelo do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, em especial à Pamela Lau Sozim, companheira de laboratório e amiga de longa data.

Aos meus colegas e amigos Bruna Cabral, Matheus Moraes, Nayara Ribanski, Rayssa Braga, Damaris Billo, Leandro Berude, Fábio Monteiro, Alysson Martins, Rafael Roque, Edson, que compartilharam as mesmas angústias e, principalmente, alegrias do mestrado.

Aos amigos de longa data, aos quais diversas vezes tive que explicar do que se tratava meu trabalho e que sempre me incentivaram, as vezes de forma árdua mas muitas vezes com muito bom humor. Millana Pagnussat, João Azileiro, Anita Fadel, Rafael Jacobs, Bruna Braga, Carlos Contieri, Egriselda Santos, Juliana Okubo, Joéverton Lurk Pereira e Kassiane Farias.

À todos que de uma forma ou outra se envolveram na realização deste trabalho e também àqueles que se fizeram presentes na minha vida durante esta etapa. Meus sinceros agradecimentos.

“A ferrovia que leva ao sucesso é construída em cima de um solo de humildade com pesados trilhos chamados erros que somente são fixados numa linha reta com maciços pregos de perseverança.”

Eduardo Siqueira Filho

v

## RESUMO

**NAPOLI, L. M. Efeito dos tipos de adesivos e das composições de camadas nas propriedades de painéis OSB.**

O objetivo do presente trabalho consistiu em produzir e caracterizar painéis OSB com diferentes adesivos e também com diferentes composições de camadas orientadas, de modo a verificar a influência destes nas propriedades físico-mecânicas. Inicialmente, desenvolveu-se um orientador de partículas para uso em laboratório. Na sequência, foram planejados dois experimentos, o experimento 1 com finalidade de avaliar a influência dos adesivos fenol-formaldeído e tanino-formaldeído, usados puros e em mistura na proporção de 50% cada e o experimento 2 com finalidade de avaliar a influência de diferentes composições de camadas nas propriedades físico-mecânicas dos painéis. Os painéis foram produzidos com partículas de madeira de *Pinus taeda*, densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e três camadas. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas ASTM D1037/06 para o experimento 1 e EN 300 (2006) para experimento 2.

Os resultados demonstraram que utilizando a mistura do adesivo fenol e tanino houve melhores resultados para as propriedades de inchamento e absorção de água e para as propriedades mecânicas os melhores resultados foram para painéis utilizando a mistura dos adesivos tanino.

A composição 20/60S/20 apresentou os melhores resultados para estabilidade dimensional. Quanto ao fator composição das camadas, a proporção 30/40/30 favoreceu as propriedades de flexão estática na direção paralela, a proporção 10/80/10, a direção perpendicular. Ainda, o resultado obtido para este fator, indica que a proporção 20-60-20 apresentou melhor balanceamento das propriedades de flexão estática nas diferentes direções

Palavras-chave: Painéis de madeira. Tanino-formaldeído. Composição de camadas.

## ABSTRACT

NAPOLI, L. M. **Study of the effect of different layer compositions and particle orientation on the physical-mechanical properties of OSB panels.**

The objective of the present study was to produce and characterize OSB panels with different adhesives and also with different oriented layer compositions, in order to verify their influence on physical and mechanical properties. Initially, a particle advisor was developed for laboratory use. Following, two experiments were planned, experiment 1 to evaluate the influence of phenol-formaldehyde and tannin-formaldehyde adhesives, used pure and in a mixture of 50% each, and experiment 2 to evaluate the influence of different layer compositions on the physical-mechanical properties of the panels. The panels were made with *Pinus taeda* wood particles, nominal density of 0.65 g / cm<sup>3</sup> and three layers. The tests were performed according to ASTM D1037 / 06 for Experiment 1 and EN 300 (2006) for Experiment 2. The results demonstrated were using a phenolic and tannin filter mixture of the same type for the use of a tannin adhesive mixture. Composition 20 / 60S / 20 presented the results for dimensional stability. As for the composition factor of the layers, the ratio 30/40/30 provided flexible properties in parallel relation, a ratio 10/80/10, a perpendicular orientation. Also, what is produced for this factor indicates that the 20-60-20 ratio is better than the static bending properties in different directions

Keywords: Wood Panels. Formaldehyde tannin. Layer composition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Processo de produção industrial de painéis OSB. (a) descascamento das toras; (b) e (c) toras descascadas seguindo para geração de partículas; (d) resíduos do processo armazenados para posterior queima para geração de energia; (e) colchão de partículas orientadas; (f) prensagem do colchão em prensa contínua; (g) painel OSB pós prensagem; (h) painel OSB esquadrejado.....	27
<b>Figura 2</b> - Orientações das partículas em painéis OSB.....	30
<b>Figura 3</b> - Fluxograma das etapas adotadas para o desenvolvimento do presente trabalho. ....	411
<b>Figura 4</b> - Orientador de partículas construído para laboratório. ....	42
<b>Figura 5</b> - Processo de manufatura dos painéis. (a) Aplicação de adesivo; (b) Formação do colchão utilizando orientador de partículas; (c) colchão com partículas orientadas pronto para pré-prensagem; (d) prensagem a quente em prensa hidráulica. ....	46
<b>Figura 6</b> - Croqui utilizado para corte dos corpos de prova nos painéis do experimento 1. 1: Densidade básica ao teor de umidade e teor de umidade de equilíbrio; 3: Flexão estática paralela; 4: Flexão estática perpendicular 5: Absorção de água em peso e inchamento em espessura. Valores apresentados em mm.....	4747
<b>Figura 7</b> - Croqui utilizado para corte dos corpos de prova nos painéis do experimento 2. (1): Densidade básica ao teor de umidade e teor de umidade de equilíbrio; (2): Ligação interna; (3): Flexão estática paralela; (4): Flexão estática perpendicular (5): Absorção de água em peso e inchamento em espessura. Valores apresentados em mm.....	48
<b>Figura 8</b> - Ensaio de flexão estática. ....	51
<b>Figura 9</b> - Ensaio de tração perpendicular à face do painel. ....	53
<b>Figura 10</b> - MOR e MOE paralelos em função à proporção de partículas orientadas paralelamente às camadas externas dos painéis.....	69
<b>Figura 11</b> - MOR e MOE perpendiculares em função à proporção de partículas orientadas paralelamente às camadas externas dos painéis.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Informações técnicas dos adesivos e aditivos.....	39
<b>Tabela 2</b> - Características dos tratamentos do modelo experimental 1. ....	43
<b>Tabela 3</b> - Características dos tratamentos do modelo experimental 2. ....	44
<b>Tabela 4</b> - Valores médios da porcentagem de orientação das partículas. ....	55
<b>Tabela 5</b> - Valores médios das propriedades físicas dos painéis OSB. ....	56
<b>Tabela 6</b> - Influência do tipo de adesivo nas propriedades físicas dos painéis OSB.....	59
<b>Tabela 7</b> - Valores médios para as propriedades de densidade, teor de umidade e razão de compactação.....	562
<b>Tabela 1</b> – Valores médios de MOR e MOE dos painéis OSB por tipo de adesivo usados.....	61
<b>Tabela 9</b> - Valores médios e para as propriedades de massa específica e teor de umidade .....	63
<b>Tabela 10</b> - Valores médios para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24h.....	665
<b>Tabela 11</b> - Valores médios para as propriedades de ligação interna e flexão estática paralela e perpendicular à face do painel.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - Absorção de água

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

COPANT - Comisión Panamericana de Normas Técnicas

CSA - Canadian Performance Standard

DIN - Deutsche Industrie Normen

EN – European Norms

EN - European Standard

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FF - Resina Fenol-Formaldeído

IE - Inchamento em espessura

LI - Ligação interna

MDF - Medium Density Fiber board, painéis de fibras de média densidade

MDI - Difenil-Metano Di-Isocianato

MOE - Módulo de Elasticidade

MOR - Módulo de Ruptura

OSB - Oriented Strand Board (painéis de partículas "*strand*" orientadas)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivo Geral.....	18
1.2	Objetivos Específicos .....	18
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	Panorama brasileiro de florestas .....	19
2.1.1	Características gerais da espécie e da madeira de <i>Pinus taeda</i> .....	19
2.2	Painéis a base de madeira .....	20
2.2.1.	<i>Oriented strand board - OSB</i> .....	22
2.2.2.	Processo de produção do <i>OSB</i> .....	24
2.2.3.	Fatores que afetam as propriedades dos painéis <i>OSB</i> .....	27
2.2.4.	Adesivos e aditivos para painéis <i>OSB</i> .....	32
2.2.4.1.	Fenol-formaldeído.....	33
2.2.4.2.	Tanino-formaldeído.....	34
2.2.5.	Composição estrutural do <i>OSB</i> .....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	39
3.1	Materiais utilizados .....	39
3.2	Métodos.....	40
3.2.1	Desenvolvimento do orientador de partículas.....	41
3.2.2	Delineamento experimental .....	42
3.2.2.1	Experimento 1.....	43
3.2.2.2	Experimento 2.....	43
3.2.3	Produção dos painéis dos experimentos 1 e 2 .....	44
3.2.4	Caracterização dos painéis .....	46
3.3	Análise dos resultados.....	544

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
4.1	Orientador de partículas.....	55
4.2	Experimento 1.....	55
4.2.1	Propriedades físicas dos painéis OSB.....	56
4.2.2	Propriedades mecânicas dos painéis OSB.....	58
4.3	Experimento 2 .....	61
4.3.1	Propriedades físicas dos painéis OSB.....	61
4.3.2	Propriedades mecânicas dos painéis OSB.....	64
5	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de painéis de madeira vem se destacando e crescendo continuamente dentro do setor florestal, tendo produzido 7,3 milhões de m<sup>3</sup> no ano de 2016 e alcançado a 8<sup>a</sup> colocação no ranking mundial dos maiores produtores do segmento. Estes resultados são de relevante importância para a economia brasileira e podem ser justificados pelo fato de o país ser detentor de tecnologias que permitem a utilização das extensas plantações de florestas de rápido crescimento, como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. (IBÁ, 2017).

Diversos são os produtos produzidos pela indústria de painéis, entre os quais pode-se citar os compensados, painéis de fibra de média densidade (Medium Density Fiberboard - MDF) e de alta densidade (High Density Fiberboard HDF), painéis isolantes, painéis de partículas do tipo sliver (Medium Density Particleboard - MDP) e painéis de partículas tipo *strands* (Oriented Strand Board - OSB).

Dentre estes produtos mencionados, o mercado do OSB vem crescendo mundialmente, com uma perspectiva de expansão de 28% até 2022 (GRAN VIEW RESERCH 2015). O OSB é produzido a partir de partículas finas, estreitas e longas de formato retangular, chamadas *strand*, que são unidas por meio de adesivo, pressão e altas temperaturas. São constituídos de 3 camadas onde as partículas são orientadas - a camada interna posicionada perpendicularmente às camadas externas.

O processo de formação do colchão é de suma importância, pois a composição estrutural em camadas cruzadas (face/miolo/face) apresenta forte influência na resistência à flexão estática e na estabilidade dimensional dos painéis. Há diversos estudos que abordam a influência direta deste parâmetro de produção nas propriedades físico-mecânicas, confirmando a sua importância. Esta composição varia entre 20/60/20 a 30/40/30, de acordo com a porcentagem de peso seco de partículas encoladas, nas indústrias canadenses e americanas (CLOUTIER, 1998). Há também estudos que relatam que as propriedades de flexão estática podem ser igualadas na proporção 25/50/25; e que aumentando essa proporção face/miolo, as propriedades mecânicas tendem a aumentar e as físicas a diminuir.

Outro importante componente na fabricação de painéis são os adesivos. Os adesivos sintéticos, como o de base fenólica, são hoje amplamente utilizados,

entretanto os adesivos naturais, tais como os a base de tanino, vêm ganhando espaço no mercado. No Brasil, tem-se produção significativa de tanino provindo da casca de Acácia negra (*Acacia mearnsii*), demandando, porém, mais pesquisas para seu uso em painéis OSB.

Portanto, considerando a crescente ascensão dos adesivos naturais, bem como a forte influência da composição das camadas nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, ressalta-se a importância de estudos avaliando estas variáveis. Deste modo o presente trabalho, objetivou gerar embasamento a indústria brasileira de painéis de madeira por meio da produção e avaliação de painéis OSB com diferentes adesivos e também diferentes composições de camadas orientadas, de modo a demonstrar a influência destes fatores nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente estudo consistiu em avaliar a influência de importantes parâmetros de produção nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a influência dos tipos de adesivo, fenol-formaldeído e tanino-formaldeído, bem como a mistura de ambos, sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB;
- Avaliar a influência das diferentes composições de camadas sob as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Panorama brasileiro de florestas

O setor brasileiro de árvores plantadas é atualmente uma referência mundial por sua atuação pautada pela sustentabilidade, competitividade e inovação. As florestas plantadas são responsáveis por mais de 90% de toda a madeira produzida para fins industriais e também por 6,1% do PIB Industrial no País (IBÁ, 2018), considerado um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde.

O Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal, com média anual de 35,7 m<sup>3</sup>/ha para os plantios de eucalipto e 30,5 m<sup>3</sup>/ha para os plantios de pinus, totalizando uma área de árvores plantadas de 7,84 milhões de hectares em 2017. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas no país, e está concentrado nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste. Já os plantios de pinus ocupam 1,6 milhões de hectares e se concentram na região Sul, principalmente no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%). A distribuição territorial destas espécies está associada a ampla adaptação de espécies do gênero à estas regiões, bem como ao desenvolvimento de uma indústria de base florestal diversificada e consumidora de matéria-prima florestal (APRE, 2017; IBÁ, 2017).

Segundo as fontes supracitadas, outras espécies também são plantadas comercialmente no Brasil para fins industriais, como a Acácia (*Acacia mearnsii*), Seringueira (*Hevea* spp.), Teca (*Tectona grandis*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*), Araucária (*Araucaria angustifolia*), Álamo (*Populus* sp.) entre outras. Embora sejam empregadas nos mais diversos usos, os plantios dessas espécies são menos representativos e representam 7,5% das áreas totais plantadas no país, que representa aproximadamente 590.000 hectares.

#### 2.1.1 Características gerais da espécie e da madeira de *Pinus taeda*

As plantas do gênero *Pinus* ocorrem naturalmente nos continentes da Europa, Ásia, América do Norte e Central, não ocorrendo de forma natural na América do Sul.

No Brasil, as espécies de *Pinus* vêm sendo cultivadas em escala comercial há mais de 30 anos, sendo as espécies mais plantadas *Pinus taeda*, *Pinus elliotti*, *Pinus caribaea var. hondurensis*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* (CENTRO DE INTELIGENCIA EM FLORESTAS – CIFLORESTAS, 2008; SHIMIZU E MEDRADO, 2005).

Atualmente, os plantios de *Pinus* ocupam uma área de aproximadamente 1,58 milhão de hectares e concentram-se principalmente no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) devido as condições climáticas serem favoráveis ao cultivo -invernos mais acentuados e temperatura média anual mais baixa em relação às outras regiões. Conseqüentemente, empresas e segmentos florestais associados ao consumo e produção de madeira de pinus em seus processos industriais estão localizados nesta região do País (APRE, 2017; IBÁ, 2017)

A densidade básica da madeira de *Pinus taeda* é de 0,41 a 0,51 g/cm<sup>3</sup> (SANTINI *et al.*, 2000; BORTOLETO, 2008) e pode ser destinada para diversas finalidades como confecção de embalagens, tábuas, ripas, caibros, estacas, sarrafos, móveis, batentes etc., na indústria de celulose e papel e de painéis de madeira reconstituída (SINCOL, 2008). Segundo Marto (2009), além dessas aplicações, os resíduos da madeira também podem ser aproveitados como biomassa para geração de vapor e energia.

Devido a sua baixa densidade, segundo Moslemi (1974), a madeira de *Pinus* é considerada excelente para a produção de painéis aglomerados, pois os painéis produzidos apresentam alta razão de compactação, influenciando suas propriedades físico-mecânicas.

## **2.2 Painéis a base de madeira**

Segundo Iwakiri (2005), os painéis a base de madeira são definidos como produtos compostos por elementos de madeira na forma de lâminas, sarrafos, partículas ou fibras, os quais são reconstituídos por intermédio de adesivos.

Os painéis à base de madeira podem ser classificados a partir do processamento da madeira: painéis de madeira reconstituída e painéis de madeira processada mecanicamente. Os painéis de madeira reconstituída são formados por partículas ou fibras de madeira sendo seus principais produtos os aglomerados

*Medium Density Particleboard (MDP)*, *Oriented Strand Board (OSB)*, painéis de fibra *Medium Density Fiberboard (MDF)* e *Hard Density Fiberboard (HDF)*. Já os painéis de madeira processada mecanicamente são formados por lâminas ou sarrafos de madeira, tendo os painéis compensados, laminados *Laminated Vanner Lumber (LVL)* e o *Edge Glued Panel (EGP)* como produtos (BIAZUS, 2010; MATTOS, 2008; VIDAL & HORA, 2014).

O uso de painéis de madeira reconstituída apresenta inúmeras vantagens em relação à madeira serrada, uma vez que possibilita a produção de peças mais homogêneas e com maiores dimensões, redução da anisotropia, melhor aproveitamento da matéria-prima, além da utilização de madeira de florestas plantadas e de rápido crescimento, bem como toras provenientes de desbastes e de menores diâmetros (KLINGSPOR, 2011; LIMA et al. 2004).

A indústria de painéis utiliza como matéria-prima a madeira de espécies plantadas, principalmente de pinus e de eucalipto, além do paricá (APRE, 2017).

Em 2016, a produção brasileira de painéis de madeira reconstituída registrou redução de 2,4% em relação ao ano anterior. Parte dessa retração deve-se à diminuição do consumo das famílias, o que levou à redução da compra de diversos produtos, incluindo móveis, o principal segmento consumidor de painéis de madeira no Brasil. Para compensar a redução no mercado interno, o setor alocou a produção no mercado externo e as exportações atingiram 1,1 milhão de m<sup>3</sup>, alta de 64,0% em relação a 2015 (IBA, 2017).

Neste sentido, um painel de partículas reconstituídas que vem se destacando mundialmente é o OSB. A perspectiva de crescimento mundial de produção de OSB é de aproximadamente 28% até 2022. Além disso, avanços tecnológicos para desenvolver novos produtos na Índia, Rússia, China e Brasil, são esperados para criar oportunidades de crescimento de mercado desses painéis ao longo dos próximos anos (GRAND VIEW RESEARCH, 2015)

Diante deste panorama mundial promissor ao desenvolvimento de painéis OSB, evidencia-se o potencial produtivo e de mercado que o Brasil representa. Além disso, o OSB se insere na área habitacional como uma excelente opção, através do sistema de construção *Wood Frame*, que já pode ser financiado pela Caixa Econômica Federal através do programa federal Minha Casa Minha Vida. Tal alternativa

apresenta um potencial para gerar muitos empregos, pois implica no desenvolvimento de atividades em cadeia envolvendo desde a silvicultura, passando pela fábrica de OSB, até chegar ao marceneiro ou montador final (REMADE, 2004; TECVERDE, 2016).

### **2.2.1. *Oriented strand board - OSB***

O Oriented Strand Board - OSB, também conhecido como painéis de partículas orientadas, surgiu após a Segunda Guerra Mundial. Nesse período, devido a escassez da matéria-prima madeira de boa qualidade para fabricação de compensados, resíduos madeireiros foram utilizados como forma de suprir a falta desse material, iniciando a produção de painéis aglomerados. Os Estados Unidos aperfeiçoaram os equipamentos e o processo produtivo para estes painéis e em meados dos anos 70 iniciou-se o desenvolvimento dos painéis estruturais do tipo *waferboard* e posteriormente OSB (IWAKIRI, 2005).

Segundo Mendes (2010) o painel OSB é considerado a 2ª geração do painel *waferboard*, sendo as principais diferenças entre eles o tamanho das partículas, a formação do colchão e, conseqüentemente, o desempenho físico-mecânico desses painéis.

No *waferboard* utiliza-se partículas denominadas *wafer* as quais são mais curtas e mais largas (na dimensão aproximada de 40 x 40 mm) em relação as partículas utilizadas na confecção do OSB, chamadas de *strands* (em torno de 25 x 80-150 mm). No *waferboard* as partículas não seguem uma orientação, sendo distribuídas de forma aleatória em uma camada homogênea. No OSB as partículas estão distribuídas de forma orientada em múltiplas camadas, sendo que as partículas das camadas externas estão alinhadas e dispostas na direção paralelo ao comprimento ou à largura do painel, enquanto as partículas das camadas internas podem ser aleatórias ou alinhadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas das camadas externas. Estas diferenças resultam no incremento e melhor balanço em termos de resistência mecânica e estabilidade dimensional nas direções do comprimento e largura do painel OSB (JANSSENS, 1998; SALDANHA, 2004).

No Brasil, a primeira unidade fabril de OSB entrou em operação no ano de 2002, e o produto começou a ser difundido como painéis estruturais de usos múltiplos (IWAKIRI, 2003). No entanto, antes de ser produzido em escala industrial, estudos já haviam sido realizados no país. Por exemplo Mendes et al. em 2000, avaliaram o sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB; Gouveia, no mesmo ano (2000), avaliou a utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB) e não orientadas; Mendes em 2001, estudou sobre o uso de *Pinus* sp. na produção de painéis OSB.

O painel de partículas orientadas pode ser produzido a partir de madeira de reflorestamento e de menor qualidade, como madeiras provenientes de desbastes, troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial. Dessa forma, competem com o painel compensado, ao maior rendimento em relação ao volume das toras e por possuírem propriedades físico-mecânicas que permitem seu emprego no âmbito estrutural (IWAKIRI, 2003; WALKER, 1993).

Os painéis são aplicados principalmente como base para paredes, pisos e forros em construções residenciais, embalagens, estandes para exibição, armações para mobília, assento e encosto de cadeira, miolo para composto destinado a pisos de madeiras nobres, piso acabado, tapumes e divisórias, formas descartáveis para concreto, decks e plataformas, paredes de carrocerias de caminhões, prateleiras e estantes, almas para vigas em I, painéis estruturais isolantes, entre outros (IWAKIRI, 2005; JANSSENS, 1998).

Segundo a norma EN 300 (2006) os painéis têm sua classificação em função do seu emprego final, sendo eles:

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

### 2.2.2. Processo de produção do OSB

O produto brasileiro, o qual é fabricado de maneira 100% mecanizada, é constituído de três camadas, sendo as camadas externas orientadas na direção longitudinal e a interna na direção perpendicular do painel. São produzidos a partir de toras de madeira do gênero *Pinus* de plantios florestais. Os produtos comercializados no mercado interno e externo seguem normas internacionais de qualidade, entre elas a norma europeia EN 300.

O processo produtivo do OSB varia de uma fábrica para outra, mas envolve basicamente as seguintes etapas: descascamento das toras; geração das partículas *strand*; secagem das partículas; classificação das partículas; aplicação de adesivos e aditivos; formação do colchão; pré-prensagem; prensagem a quente; acabamento; classificação; armazenagem e expedição.

Com base na literatura, bem como nas visitas realizadas a indústria brasileira de painéis OSB, segue-se nos próximos itens a descrição das etapas de fabricação deste tipo específico de produto.

#### *Descascamento das toras*

O descascamento é realizado em um tambor rotativo, por meio da fricção entre as toras e entre essas nas ranhuras do tambor. A remoção da casca é necessária, pois influencia negativamente nas propriedades físico-mecânicas do painel. O material retirado é utilizado principalmente na geração de energia térmica para secadores e prensas (IWAKIRI, 2005).

#### *Geração das partículas*

A geração de partículas é uma das etapas mais importantes na fabricação do painel OSB, pois é onde ocorre o controle da geometria das partículas. As partículas *strand* são produzidas em picadores de discos ou em cilindro, nas dimensões nominais de 120 mm de comprimento, 35 mm de largura e 0,65 mm de espessura.

Após serem geradas, as partículas são armazenadas em um silo até o momento de seguirem para o secador.

#### *Secagem e classificação das partículas*

Após serem geradas, as partículas são secas até atingirem teor de umidade entre 3 e 6%, recomendado para que ocorra boa cura do adesivo, tempo de prensagem e pressão necessária para uma boa consolidação do colchão de partículas (IWAKIRI, 2005).

Segue-se então para a etapa de classificação das mesmas por peneiras, onde as partículas de menor dimensão, também denominados finos, são removidas e enviadas a unidade de geração de calor para queima. Tais partículas são removidas, pois interferem na qualidade final do painel. Nessas peneiras também são separadas as partículas *oversizes*, ou seja, de grandes dimensões, daquelas que serão utilizadas nas camadas externas e interna do painel. Após serem removidas, as partículas *oversizes* retornam ao picador.

#### *Aplicação do adesivo e aditivos químicos*

Nesta etapa, a resina líquida juntamente com parafina e inseticida à base de piretróide, são pulverizados na aplicação do adesivo e dos aditivos químicos, as partículas. O tipo de resina empregada é conforme definido de acordo com a finalidade do painel, sendo principalmente empregada as resinas são utilizados adesivos fenólicos e à base de isocianatos (MDI), parafina e aditivos contra insetos e xilófagos. Além disso, a aplicação da parafina e do inseticida visam melhorar a higroscopicidade e a resistência do painel ao ataque de organismos deterioradores, respectivamente.

#### *Formação do colchão e prensagem dos painéis*

As partículas já misturadas com o adesivo e aditivos são então dispostas orientadas em três camadas sobre uma esteira móvel. As partículas das camadas externas são dispostas de forma perpendicular à camada interna.

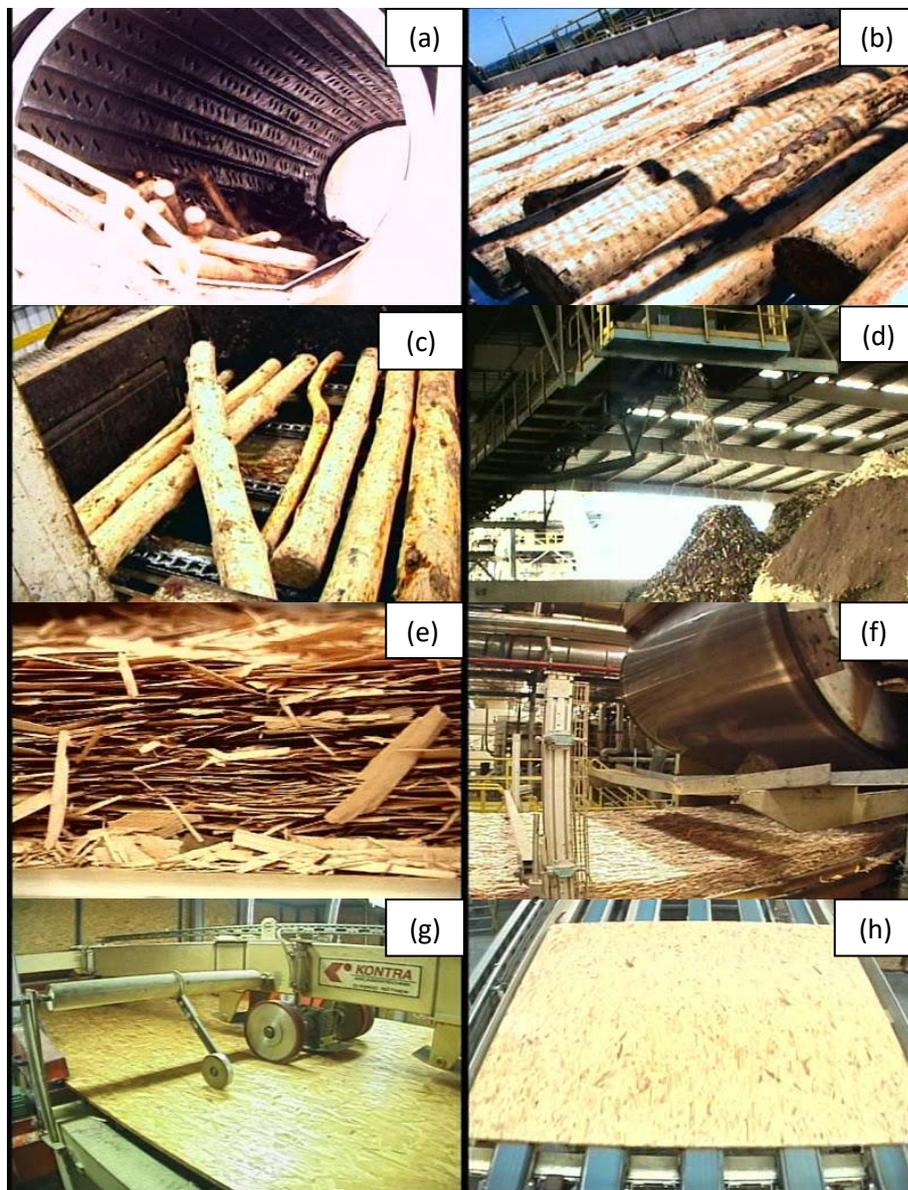
A pré-prensagem se faz necessária para reduzir o volume do colchão e compactar as partículas, evitando que se movam durante a prensagem (POBLETE, 2001). Após a pré-prensagem, o colchão segue para a prensagem a quente, na qual ocorre a cura do adesivo, densificação e consolidação do painel até a espessura final definida para o produto desejado. Os parâmetros destacados neste ciclo são: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem.

#### *Acabamento, classificação, armazenagem e expedição*

Para finalizar o processo de produção do OSB, os painéis são seccionados e lixados para uniformização da espessura e remoção das irregularidades das suas superfícies. Em geral os OSB são comercializados pela indústria *in natura*, ou seja, sem nenhum tipo de revestimento. Posteriormente são levados para área de expedição -a qual ocorre por meio de trem e caminhões- ou permanecem estocados na área de armazenagem até ser demandado por clientes.

Na Figura 1 estão apresentadas algumas etapas do processo de produção dos painéis OSB.

**Figura 1** - Processo de produção industrial de painéis OSB. (a) descascamento das toras; (b) e (c) toras descascadas seguindo para geração de partículas; (d) resíduos do processo armazenados para posterior queima para geração de energia; (e) colchão de partículas orientadas; (f) prensagem do colchão em prensa contínua; (g) painel OSB pós prensagem; (h) painel OSB esquadrejado.



Fonte: Portal da madeira, 2010.

### 2.2.3. Principais fatores que afetam as propriedades do OSB

A produção de painéis de madeira encontra-se em contínua evolução tecnológica. Diante essa realidade, é importante prosseguir estudando os fatores que podem afetar a produção do painel OSB e a sua qualidade final (SURDI, 2012). Alguns

autores como Mendes (2011), Surdi (2012) e Souza (2012), afirmam que os principais fatores que podem afetar a qualidade do painel são classificados em relação à madeira e ao processo.

Em relação à madeira são citadas as espécies de madeira e sua respectiva densidade, teor de umidade, extrativos, local de crescimento da árvore, características anatômicas. No que se refere ao processo podem ser citados densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, adesivo, parafina, geometria e orientação das partículas, umidade das partículas e ciclo de prensagem.

A espécie botânica da madeira é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis. Ela interage com todas as outras variáveis, determinando a densidade do painel, o tipo de partícula produzida, a formulação do adesivo (devido ao teor de extrativos e pH) e também influenciando no controle da umidade das partículas (MENDES *et al.*, 2002).

Outra variável importante é densidade da madeira, que causa influência nas propriedades físico-mecânicas finais dos painéis e nos parâmetros do processo de produção. Espécies que possuem densidade de até 0,55 g/cm<sup>3</sup> são as mais adequadas, pois atingem razão de compactação entre 1,3 e 1,6, a qual é considerada ideal para o processo de densificação e consolidação do painel. Já o uso de madeiras mais densas pode resultar em baixa razão de compactação. Deste modo, ocorre o comprometimento da qualidade do painel e fazendo com que seja necessário aumento da proporção de adesivo, o que eleva o custo de produção (MALONYE, 1993; MENDES, 2002; MOSLEMI, 1974).

Estudando painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus chiapensis*, Mendes et al. (2002), atestaram que os painéis estouraram após o fim do ciclo de prensagem, atribuindo este fato ao alto teor de extrativos e algumas propriedades anatômicas da madeira. Ainda, segundo Pecho et al. (1995), o aumento da porcentagem da madeira do lenho juvenil de *Pinus radiata* na produção de painéis OSB, acarreta na redução de valores de ligação interna e aumento do inchamento em espessura.

Brito (1984) em seu estudo, confirmou a viabilidade da utilização da madeira de *P. taeda*, *P. elliotii* e *P. patula* para a produção de painéis *waferboard*, encontrando

resultados para as propriedades mecânicas e físicas consideradas excelentes, uma vez que atenderam aos valores mínimos exigidos pela norma comercial CS 236-66.

Segundo Iwakiri *et al.* (2003), a geometria da partícula *strand*, no que se refere ao seu comprimento e largura, é um dos parâmetros que controla o grau de orientação durante a formação dos painéis *OSB*. Os elementos dimensionais das partículas, considerados como variáveis do processo são a espessura, largura e comprimento (SALDANHA, 2004). As dimensões médias para as partículas *strand* definidas por Iwakiri (2005), são de 90 a 150 mm de comprimento, 25 mm de largura e 0,50 a 0,75 mm de espessura. Estas partículas proporcionam melhor orientação em comparação às partículas menores e com menor relação comprimento/largura, como a dos tipos *sliver*, *flake* e *wafer* (GUIMER, 1976).

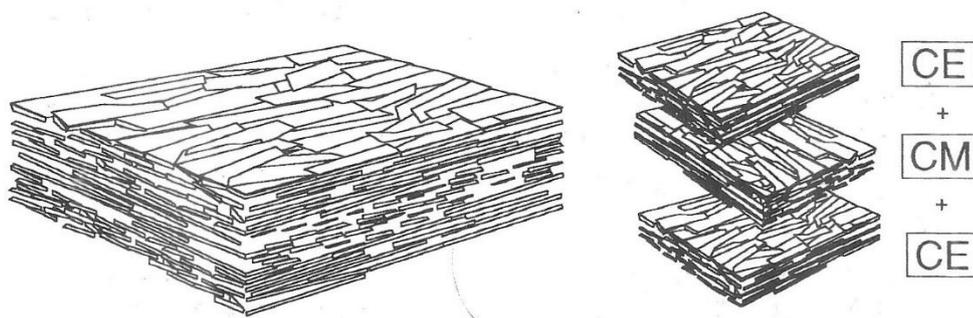
As dimensões e a geometria das partículas também são reconhecidas por Sobral Filho (1979) como fatores principais que determinam o grau de orientação. Estes influenciam diretamente no gradiente de densidade, na flexão estática, ligação interna, expansão linear e inchamento em espessura dos painéis produzidos.

Outra relação importante é aquela entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de Esbeltez. Segundo Maloney (1993) maior razão de esbeltez, ou seja, elevada relação comprimento/espessura das partículas, resulta em painéis com maior resistência à flexão estática. De modo contrário, com o aumento da espessura das partículas mantendo-se o mesmo comprimento, ocorre o aumento da disponibilidade de resina por área superficial de partículas, o que resulta em uma melhora da propriedade de ligação interna.

Outros fatores que afetam significativamente a orientação das partículas, são a altura de queda das partículas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador. Segundo SUZUKI e TAKEDA (2000), o ângulo formado na distribuição das partículas no colchão é dependente do comprimento das partículas, bem como da altura da queda das mesmas. Eles afirmam que alturas menores proporcionam melhor orientação devido ao menor ângulo formado, fato que proporciona melhor orientação e conseqüentemente eleva as propriedades relacionadas à flexão.

No que tange a orientação das partículas, esta é a concepção inicial que deu origem ao painel *OSB*. A Figura 2 ilustra essas duas configurações.

**Figura 2** - Orientações das partículas em painéis OSB.



Nota: CE: Camada externa; CM: camada interna  
Fonte: Poblete, 2001.

Segundo McNATT *et al.* (1992) a orientação das partículas das camadas externas melhora significativamente as propriedades de flexão estática e rigidez, na direção paralela à orientação. Entretanto, na direção perpendicular, essas propriedades são prejudicadas. Os autores ainda afirmam que a orientação das partículas não afeta as propriedades de ligação interna e estabilidade dimensional.

A orientação das partículas proporciona aumento de 40% para o módulo de ruptura (MOR) a 50% para módulo de elasticidade (MOE) na direção paralela à orientação, em comparação com os painéis de partículas sem orientação. O autor afirma ainda que estas propriedades são de 2 a 3 vezes maiores na direção paralela à orientação do que na direção perpendicular. Contudo, as propriedades de ligação interna, condutibilidade térmica, nem as propriedades acústicas dos painéis OSB não são afetadas. Ao observar que a disposição das partículas em uma mesma direção causa efeito negativo nas propriedades de arrancamento de pregos e parafusos se recomenda orientar as partículas das camadas internas na direção perpendicular das camadas externas (ZHOU, 1990)

Ao comparar os valores de MOR e MOE de painéis sem orientação em relação aos painéis de camada única orientados, WU (1999) observou que estas propriedades variam significativamente, aumentando os valores quando as partículas são orientadas. Os valores de MOR e MOE encontrados na pesquisa realizada por Gouveia *et al.* (2000) para painéis de partículas orientadas de *Eucalyptus grandis* foram superiores aos valores dos respectivos painéis de partículas sem orientação, resultados esses que confirmam a influência da orientação de partículas nas propriedades de flexão estática.

Considerando-se o fator teor de umidade, Iwakiri (2005) afirma que o mesmo exerce influência sobre o ciclo de prensagem. Teores de umidade elevados podem gerar alto valor de pressão interna, causando a delaminação ou estouro do painel na abertura da prensa. A umidade é importante no que se refere à facilitação da transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel, realizando a cura do adesivo. Convém ressaltar que com altos teores de umidade, necessitam-se maiores tempos de prensagem, resultando em uma colagem inferior (Matos, 1988).

O ciclo de prensagem tem por função consolidar o colchão de partículas em um painel de densidade e espessura desejada. As variáveis envolvidas neste processo são: tempo de fechamento da prensa, temperatura, pressão e tempo de prensagem (SALDANHA, 2004).

Segundo o mesmo autor, o nível de pressão influencia diretamente no tempo de fechamento da prensa, ou seja, quanto maior a pressão, menor o tempo de fechamento da prensa. O resultado é uma maior densificação das camadas externas do painel. Este fator provoca um gradiente vertical de densidade bem perceptível, enfraquecendo as ligações internas das partículas. Segundo Iwakiri (2005), a pressão se dá em função do grau de densificação do material e pode variar entre 12 a 40 kgf/cm<sup>2</sup>. Já a temperatura de prensagem tem a função de polimerizar o adesivo entre as partículas e a plastização da madeira. Quanto maior a temperatura, maior o fluxo de calor e conseqüentemente melhor densificação das camadas internas, o que resulta em maior resistência das ligações internas (MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989).

Alguns aditivos ainda podem ser adicionados às partículas, juntamente com o adesivo, para diversos fins. Usualmente são usados inseticidas, fungicidas, retardantes de fogo e retardantes de absorção de água (HILLIG, 2000). A parafina é o aditivo mais utilizado, a fim de proporcionar uma melhoria na resistência do painel quanto à absorção de água na forma líquida e sua quantidade aplicada é baseada no peso seco das partículas e varia de 0,5% a 1,5% (MENDES *et al.*, 2002; CLOUTIER, 1998). Quando aplicadas em quantidades maiores que 1%, baseado no peso seco das partículas, podem resultar em uma deterioração das propriedades dos painéis pela influência na cura do adesivo (KELLY, 1997; MARRA, 1992). Avaliando o efeito da aplicação de parafina ao teor de 1% sobre as propriedades dos painéis OSB,

Mendes (2001) observou melhora na absorção de água após duas horas e no inchamento em espessura após 24 horas.

O adesivo, juntamente com a composição estrutural dos painéis OSB, são fatores de extrema importância para determinação das propriedades dos painéis. Estes são abordados mais especificamente nas próximas seções.

#### **2.2.4. Adesivos e aditivos para painéis OSB**

No processo de produção dos painéis OSB, é através da cura do adesivo que se aglutinam as partículas, de forma a consolidar o painel. O tipo de adesivo, a quantidade e a composição da mistura de adesivo com aditivo, determinam as propriedades e a finalidade de uso que se dará ao painel. Sabe-se que o adesivo é um dos elementos mais caros na produção, dessa forma, torna-se importante a definição do tipo e a quantidade de adesivo a ser utilizado (POBLETE, 2001; IWAKIRI *et al.*, 2003).

Na produção de painéis OSB, os adesivos mais utilizados são o fenol-formaldeído (FF) e o isocianato (MDI - difenil metano di-isocianato). A escolha do adesivo adequado se dá em função do grau de necessidade de resistência à umidade conforme o ambiente no qual são empregados (CLOUTIER, 1998).

Segundo Spelter *et al.* (2006), a maioria das indústrias de painéis OSB na América do Norte utilizam o adesivo fenol, empregando o adesivo MDI apenas para painéis que exigem qualidade superior.

O adesivo MDI apresenta uma adesão mais forte em relação aos demais adesivos devido a ligação mecânica e química que desenvolve, apresentando cura mais rápida e tolerância a umidade mais elevada no colchão. Em contrapartida, seu custo é elevado e o fato de apresentar fácil adesão em metais, faz com que ele seja aplicado apenas na camada interna dos painéis (CLOUTIER, 1998; SURDI, 2012). No trabalho de Brochmann *et al.* (2004), foi realizada uma avaliação da estabilidade dimensional de painéis OSB, variando-se o tipo e a posição do adesivo nas camadas dos painéis. Observou-se que quando aplica-se o adesivo fenol-formaldeído nas camadas externas e o MDI na camada interna, ocorrem menores valores para absorção de água e inchamento em espessura. Isto se deve, segundo os autores, à

cura mais rápida e a uma maior ligação adesiva proporcionada pelo adesivo MDI em relação a fenol-formaldeído.

Alguns aditivos ainda podem ser adicionados às partículas, juntamente com o adesivo, para diversos fins. Usualmente são usados inseticidas, fungicidas, retardantes de fogo e retardantes de absorção de água (HILLIG, 2000).

A parafina é o aditivo mais utilizado, a fim de proporcionar uma melhoria na resistência do painel quanto à absorção de água na forma líquida e sua quantidade aplicada é baseada no peso seco das partículas e varia de 0,5% a 1,5% (MENDES *et al.*, 2002; CLOUTIER, 1998). Quando aplicadas em quantidades maiores que 1%, baseado no peso seco das partículas, podem resultar em uma deterioração das propriedades dos painéis pela influência na cura do adesivo (KELLY, 1997; MARRA, 1992). Avaliando o efeito da aplicação de parafina ao teor de 1% sobre as propriedades dos painéis OSB, Mendes (2001) observou melhora na absorção de água após duas horas e no inchamento em espessura após 24 horas.

Atualmente no Brasil, é crescente o interesse pelo desenvolvimento de adesivos naturais, sendo relatado por Surdi (2012) que estão ocorrendo pesquisas com o uso de taninos extraídos de espécies florestais. Nos itens subsequentes, serão apresentados os adesivos utilizados nesse trabalho.

#### 2.2.4.1. Fenol-formaldeído

Este adesivo foi introduzido comercialmente na década de 30, apresentando como principal característica a alta resistência à umidade. Dessa forma, considerado como de uso exterior. É utilizado principalmente para a produção de compensados navais (à prova d'água), painéis de fibras duras, *waferboard* e OSB. (IWAKIRI, 2005). Sua coloração é de vermelha a avermelhado escuro, e disponibilizado na forma de líquido, pó ou em película. Em escala industrial a quantidade do adesivo fenol-formaldeído pode variar de 3 a 6% base peso seco das partículas e quando misturado com extensores e catalisadores, produz ligações com alta resistência, mesmo submetido a condições severas de exposição (intempéries). (IWAKIRI *et al.*, 2003; ECKELMAN, 1997).

No estudo de Gouveia *et al.* (2003), foi avaliado o resultado da variação dos teores de adesivo fenol-formaldeído (4%, 6% e 8%) na produção de painéis OSB. Observou-se que, de modo geral os painéis com 8% de adesivo apresentaram melhores resultados que os demais. De acordo com a norma CSA 0437-93, os painéis atenderam os requisitos para a maioria das propriedades mecânicas. No entanto, para o inchamento em espessura os valores foram superiores ao máximo permitido.

Em outro estudo, sobre o efeito do teor de adesivo fenol-formaldeído nas propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB de *Pinus spp.*, realizado por Mendes *et al.* (2003), verificou-se um aumento nos módulos de elasticidade e de ruptura no sentido perpendicular, melhorando a ligação interna e a redução dos valores de absorção de água e inchamento em espessura. Este resultado se deu com um aumento do teor do adesivo de 4 para 6%.

Iwakiri *et al.* (2003), em sua pesquisa sobre a influência de diferentes teores (3%, 4,5% e 6%) de adesivo fenol-formaldeído, parafina e composição em camadas na produção de painéis OSB de *Eucalyptus grandis*, observou que, de forma geral, o teor de 6% de adesivo foi o que resultou em melhores propriedades físico-mecânicas. Em termos de propriedades mecânicas, os painéis se enquadraram dentro dos limites mínimos exigidos da norma CSA 0437-93.

Na avaliação da influência de três diferentes tipos de resinas nas propriedades de painéis OSB realizada na pesquisa de Saldanha *et al.* (2008), concluiu-se que os painéis produzidos com resina fenol-formaldeído apresentaram melhores resultados para quase todas as propriedades avaliadas, exceto para os valores de MOE e MOR na direção perpendicular.

#### 2.2.4.2. Tanino-formaldeído

A primeira patente requerida para a fabricação de adesivos a base de tanino foi em 1914, porém apenas a partir da década de 1950 que se obtiveram pesquisas bem-sucedidas a respeito do produto. Foi devido a crise do petróleo na década de 1970, que o estudo sobre o emprego do tanino na substituição de resinas sintéticas teve impulso (Pizzi & Mittal, 1994). O interesse principal era substituir os fenóis

sintéticos, obtidos do petróleo, por fenóis naturais com estruturas semelhantes aos sintéticos.

Os taninos são substâncias naturais produzidas pelas plantas, com função de proteção contra ataques de insetos, microrganismos e outros herbívoros. Estão distribuídos em diversas partes dos vegetais como folhas, frutos, ramos e troncos em diferentes épocas conforme sua fisiologia variando a quantidade de acordo com o gênero e espécie. Desta forma, confere-se maior ou menor resistência ao ataque de patógenos ou pragas. (PAES et al., 2010).

A obtenção dos taninos se dá a partir de várias fontes renováveis, como por exemplo, da casca de Acácia negra (*Acacia mearnsii*), *Pinus radiata* e da madeira do cerne de quebracho (*Schinopsis* sp.) (GONÇALVES & LELIS, 2001). Há outras fontes de taninos como, *Stryphnodendron adstringens* (CARVALHO et al. 2015), *Mimosa caesalpiniaefolia* (GONÇALVES et al., 2003), *Eucalyptus* spp. (VITAL et al., 2004), *Acacia mearnsii* (GONÇALVES; LELIS, 2009), *Anadenanthera peregrina* (CARNEIRO et al., 2009), *Anadenanthera colubrina* (PAES et al., 2010; PAES et al., 2013), *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa arenosa* (PAES et al., 2006), *Pinus oocarpa* (FERREIRA et al., 2009; VIEIRA et al., 2011; VIEIRA et al., 2014) e *Acacia mangium* (HONG et al., 2009).

Dentre as espécies utilizadas para a obtenção de tanino, destaca-se a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) e o quebracho (*Schinopsis* sp.), que são as mais utilizadas (TEODORO, 2008).

O adesivo é comercializado na forma de pó ou líquida. Em pó, sua vida útil é relativamente longa (IWAKIRI 2005). Os adesivos a base de tanino formaldeído (TF) podem ser empregados na fabricação de painéis de madeira aglomerada apresentando propriedades tecnológicas adequadas como, por exemplo, uma boa resistência à umidade. Essa propriedade em particular permite que o painel produzido com tal adesivo possa ser utilizado em áreas externas sujeitas à variação de umidade (ROFFAEL; DIX, 1994).

De um modo geral, os adesivos a base de tanino têm boa resistência à água e são mais baratos que os adesivos a base de fenol. Todavia tem como desvantagens a alta umidade requerida para a manta de partículas e a necessidade de utilização de alta proporção de adesivo (HILLIG, 2000).

Almeida (2010) afirma que a resina tanino-formaldeído endurece em meio levemente alcalino, e quando usado para a produção de painéis aglomerados as partículas podem apresentar-se com umidade entre 7 e 8%. O que se encontra na literatura, de forma geral, é que uma adição de até 10% de taninos em adesivos sintéticos não altera negativamente as propriedades da colagem (FERREIRA et al., 2009; SILVA et al., 2012).

No estudo de Melo (2009), sobre a avaliação das propriedades de painéis aglomerados de *E. grandis* e casca de arroz, observou-se que painéis colados com tanino-formaldeído apresentaram qualidade superior quando comparados àqueles em que foi utilizado ureia-formaldeído.

Vital et al. (2004) realizaram um estudo do emprego de adesivos de taninos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* na produção de painéis OSB. As propriedades físico-mecânicas dos painéis foram superiores ao mínimo exigido pela norma comercial ANSI/A 208.1-93.

Em seus estudos sobre a utilização de taninos de Acácia Negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB, Sousa (2006) concluiu que a utilização do tanino de acácia e a mistura de fenol com tanino de acácia apresenta excelentes propriedades de resistência mecânica, atendendo os requisitos das normas canadenses e americanas.

No trabalho de Carvalho et al. (2015), avaliou-se o desempenho de painéis OSB produzidos com adesivos comerciais e tânico de *Stryphnodendron adstringens* (Barbatimão). Os resultados obtidos demonstraram que o uso do tanino de barbatimão é promissor, já que os seus painéis mostraram propriedades estatisticamente iguais às dos painéis produzidos com os adesivos comerciais uréia-formaldeído e fenol-formaldeído no que concerne às propriedades físico-mecânicas. Apenas os resultados de ligação interna e módulo de ruptura paralelo não se mostraram estatisticamente equivalentes, entretanto, os painéis atenderam ao mínimo requerido pelas normas europeias.

Teodoro (2008) pesquisou sobre as propriedades de painéis OSB produzidos com o adesivo de tanino de acácia negra (*Acacia mearnsii*) e de sua mistura com tanino da casca de *E. pellita* e adesivo Fenol-Formaldeído. Os painéis apresentaram boas propriedades físicas, sendo possível substituir o adesivo fenol-formaldeído em

até 20% pelo tanino de acácia negra sem alterar negativamente as propriedades dos painéis de resistência à flexão, absorção de água e inchamento em espessura após duas horas de imersão em água.

### **2.2.5. Composição estrutural do OSB**

Além da geometria e a orientação das partículas, a composição estrutural em camadas cruzadas (face/miolo/face) é também fator de forte influência na resistência mecânica e estabilidade dimensional dos painéis OSB.

Em um estudo de Mendes et al. (2000), sobre a produção de painéis de uma única camada e em camadas cruzadas, demonstrou-se que estatisticamente os valores de MOR e MOE foram superiores para os painéis de três camadas em comparação com os de uma única camada. Segundo Cloutier (1998), a proporção ideal da face/miolo/face é na faixa de 20/60/20 a 30/40/30, baseado na percentagem de peso seco de partículas.

No trabalho de Avramidis & Smith (1989), um aumento de proporção face/miolo/face de 25:50:25 para 30:40:30 aumentou os valores de MOE, MOR e expansão linear na direção paralela à orientação das partículas, ocorrendo o oposto na posição perpendicular para estas propriedades. Já para a estabilidade dimensional e ligação interna, a composição do painel não influenciou de maneira significativa.

Similarmente, na pesquisa de Murakami et al. (1999) sobre a proporção face/miolo, ocorreu um acréscimo nos valores de MOR e MOE dos painéis com o aumento desta relação. Por outro lado, o inchamento em espessura e a expansão linear diminuíram e a ligação interna não foi afetada pelo aumento da relação face/miolo.

Suzuki e Takeda (2000) encontraram resultados em que as propriedades de flexão estática podem ser igualadas nas direções paralela e perpendicular com 25% de camada externa (25:50:25).

Na tentativa de Mendes et al. (2003) em diminuir a relação face/miolo/face de 1:1:1 para 1:3:1, resultou no aumento dos valores MOE e MOR na direção perpendicular e redução destas propriedades na direção paralela. A absorção de água

e inchamento em espessura também tiveram seus valores reduzidos com a diminuição da proporção face/miolo.

No trabalho realizado por Iwakiri *et al.* (2003), comparando-se duas composições de face/miolo/face, os resultados demonstraram que a composição 20/60/20 apresentou melhor balanço de resistência a flexão estática na direção paralelo e perpendicular às partículas da camada externa. Os autores também concluíram que ao aumentar a proporção da camada interna de 0 para 40 e 60 partes, houve uma redução na diferença dos valores de MOR E MOE entre as direções paralelo e perpendicular.

Já no trabalho de Gorski (2014), variando-se duas composições, obteve-se valores maiores de MOE e MOR na direção paralela na proporção 30:40:30 e na direção perpendicular houve aumento nos valores das mesmas propriedades na proporção 20:60:20.

Analogamente ao trabalho de Gorski (2014), Trianoski *et al.* (2016) também avaliaram as composições 20/60/20 e 30/40/30. Os autores observaram melhora nas propriedades de flexão na direção perpendicular para a composição 20/60/20 e melhora na flexão na direção paralela para composição 30/40/30. A tração perpendicular não foi afetada pelas composições. De forma geral, a composição 20/60/20 gerou melhor balanceamento das propriedades de flexão.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados e os métodos adotados para produção e caracterização dos painéis OSB. O desenvolvimento da pesquisa foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais na Universidade Estadual do Centro-Oeste, *campus* Irati, Paraná.

#### 3.1 Materiais utilizados

Na produção dos painéis foram utilizadas partículas *strand* da madeira de *Pinus taeda*, advindas de florestas plantadas. O material foi fornecido por uma empresa de painéis OSB da região dos Campos Gerais no Paraná.

Para a adesão das partículas foram utilizados os adesivos fenol-formaldeído e tanino-formaldeído. Os adesivos e a emulsão de parafina também foram fornecidos por empresas colaboradoras. O adesivo tanino-formaldeído foi recebido na forma de pó e sua solução preparada em laboratório adicionando-se água, álcool etílico e formalina na proporção de 45, 5 e 10% respectivamente, sob o peso seco do adesivo.

Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades dos adesivos e da emulsão de parafina obtidas pelas respectivas fichas de informação das empresas fabricantes.

**Tabela 1** – Propriedades dos adesivos e da emulsão de parafina.

<b>Informações Técnicas</b>	<b>Adesivo fenólico</b>	<b>Adesivo tanino</b>	<b>Emulsão de parafina</b>
<b>Ph</b>	11 – 12	6,60 – 6,90	10,20
<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,23	1,29	0,95
<b>Teor de sólidos (%)</b>	52	45	50
<b>Viscosidade (Brookfield)</b>	165	700	420

Fonte: Adaptado da ficha de informação dos produtos químicos utilizados.

## 3.2 Métodos

O presente trabalho foi planejado em quatro etapas principais, organizadas de forma a permitir o desenvolvimento do estudo, sendo detalhados nos itens seguintes.

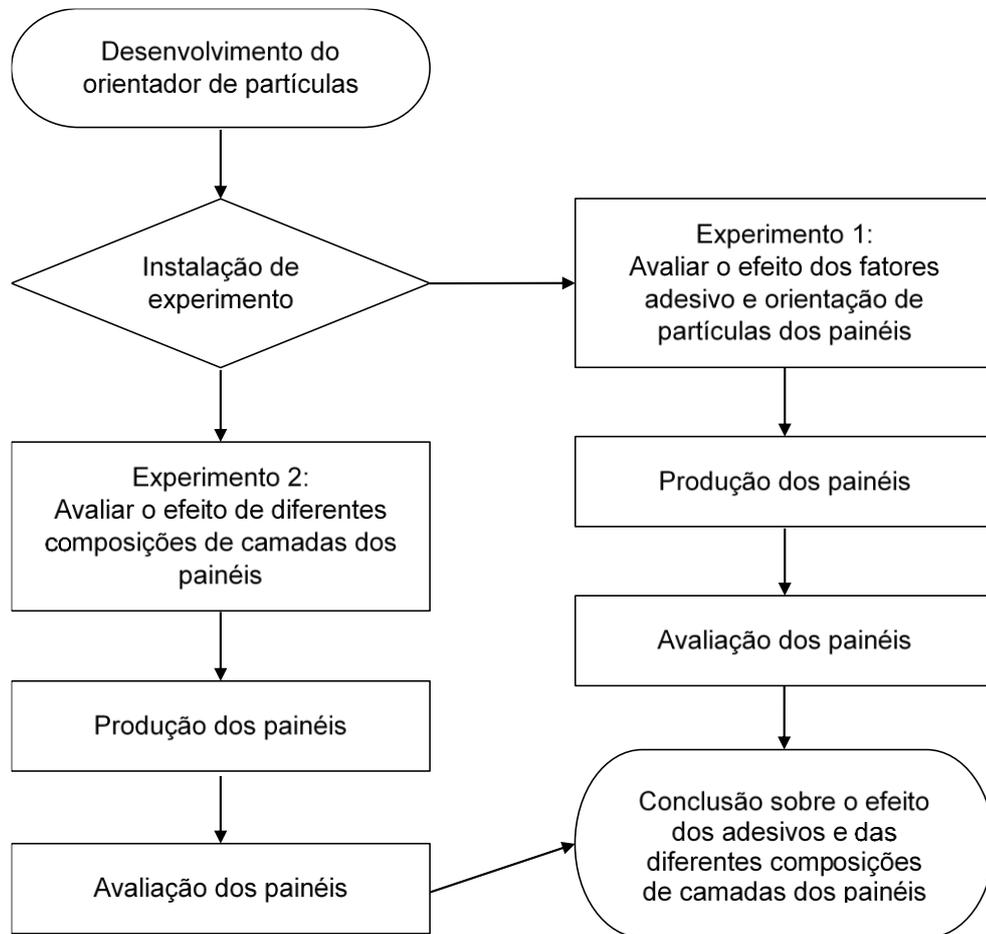
Inicialmente como primeira etapa, desenvolveu-se um orientador de partículas para uso em laboratório, que foi construído e submetido a avaliação de eficiência da orientação das partículas.

Na segunda etapa, foram planejados os dois experimentos, com finalidade de avaliar a influência dos adesivos e da composição de camadas nas propriedades físico-mecânicas dos painéis.

A produção dos painéis é a terceira etapa do trabalho. Foram produzidos os painéis de acordo com os parâmetros de cada delineamento experimental.

Na quarta etapa, determinou-se as propriedades físico-mecânicas dos painéis, as quais resultaram em dados que foram analisados por meio de testes estatísticos e comparados com padrões normativos e com a literatura. O fluxograma apresentado na Figura 3 ilustra as etapas desenvolvidas neste estudo.

**Figura 3** - Fluxograma das etapas adotadas para o desenvolvimento do presente trabalho.



Fonte: a autora.

### 3.2.1 Desenvolvimento do orientador de partículas

Para realizar a orientação das partículas *strands* foi necessário projetar e construir um orientador de partículas de laboratório (

**Figura 4**). O orientador de partículas foi projetado com base no modelo utilizado na indústria brasileira de painéis OSB. A caixa do orientador teve dimensões de 500 x 500 x 200 mm, onde foram dispostos em dois eixos horizontais 22 discos de 300 mm de diâmetro e na distância de 30 mm entre cada disco.

**Figura 4** - Orientador de partículas construído para laboratório.



Fonte: a Autora.

O diâmetro dos discos e a distância entre eles foram baseados no comprimento e na largura das partículas, de uma forma a permitir sua passagem pelos discos e possibilitar sua orientação para a formação do colchão.

Para determinar a eficiência do orientador, foram medidas as proporções de partículas orientadas quando submetidas ao equipamento. Para isso, foi realizado um ensaio onde foram pesadas 10 amostras de 300g de partículas *strands*, sendo cinco amostras submetidas ao orientador e cinco amostras espalhadas aleatoriamente na caixa formadora. Foram medidos os ângulos de orientação de cada partícula em relação à direção paralela da caixa formadora utilizando-se um transferidor. Cada partícula recebeu um grau de orientação (de 0 a 100%) em função do ângulo em relação à direção paralelo de orientação, sendo calculado a média de proporção percentual de orientação dos colchões.

### 3.2.2 Delineamento experimental

Para este estudo foram instalados dois experimentos. Nos itens seguintes são detalhados os modelos experimentais utilizados afim de atender os objetivos propostos no estudo.

### 3.2.2.1 Experimento 1

Foram produzidos painéis sem orientação das partículas e painéis com orientação das partículas na composição face/miolo/face de 20/60/20. Utilizou-se partículas *strand* aderidas com os adesivos fenol-formaldeído e tanino-formaldeído, usados puros e em mistura na proporção de 50% cada. A Tabela 2 mostra as características do delineamento experimental no que concerne aos tipos de adesivos e à distribuição das partículas.

**Tabela 2** - Características dos tratamentos do modelo experimental 1.

<b>Painel</b>	<b>Adesivo</b>	<b>Distribuição de partículas</b>
1	Fenol	Aleatórias
2	Fenol	20/60/20*
3	Tanino	Aleatórias
4	Tanino	20/60/20*
5	Fenol/tanino	Aleatórias
6	Fenol/tanino	20/60/20*

Nota: \* Camadas perpendiculares, com base no peso seco, utilizando o orientador de laboratório.

### 3.2.2.2 Experimento 2

Para este experimento foi utilizado adesivo fenol-formaldeído e partículas *strand*, orientadas em diferentes composições de camadas. O delineamento experimental no que diz respeito às composições das camadas é mostrado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Características dos tratamentos do modelo experimental 2.

<b>Painel</b>	<b>Composição de camadas (%*)</b>
1	100 Pa
2	10/80/10
3	20/60/20
4	30/40/30
5	40/20/40
6	20/ 60 S /20
7	100 S

Nota: %\* - proporção de cada camada sob peso seco das partículas, sendo as camadas perpendiculares entre si; Pa: orientação paralela; S: orientação aleatória.

### 3.2.3 Produção dos painéis dos experimentos 1 e 2

Para a produção dos painéis elaborou-se uma planilha de cálculos onde foram determinadas as proporções de cada camada de partículas e as quantidades de adesivo, parafina e água, quando necessária, a serem aplicados. A densidade e a espessura nominal dos painéis foram estabelecidas em 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 10 mm, respectivamente, sendo produzidos três painéis por tratamento aplicado. A produção dos painéis foi dividida nas seguintes etapas: preparação das partículas, aplicação dos adesivos e aditivo, formação do colchão, pré-prensagem e prensagem do colchão. Tais etapas são descritas nos próximos itens.

#### 3.2.3.1 Preparação das partículas

As partículas foram fornecidas previamente secas ao ar livre. No entanto, a secagem destas foi complementada em uma estufa laboratorial com ventilação de ar forçada a 60 ± 5°C, sendo revolvidas e amostradas para verificar se atingiram o teor de umidade entre 3 a 5%. Após a secagem as partículas foram acondicionadas em

sacos plásticos lacrados para manter o teor de umidade, permanecendo assim até o momento da manufatura dos painéis.

#### 3.2.3.2 Aplicação dos adesivos

De acordo com cada condição experimental, as partículas e os adesivos foram pesados em quantidades específicas. As partículas foram colocadas em uma encoladeira adaptada, onde foram aplicados os adesivos e a parafina utilizando uma pistola de ar comprimido e de um compressor de ar. Os adesivos fenol-formaldeído e tanino-formaldeído foram aplicados, respectivamente, na proporção de 6% e 10% de sólidos sobre o peso seco das partículas. Também foi aplicada parafina na proporção de 1% de sólidos sobre o peso seco das partículas, afim de reduzir a higroscopicidade.

#### 3.2.3.3 Formação do colchão

Consistiu em distribuir de forma manual a mistura em uma caixa formadora com dimensões de 500 x 500 mm. Os painéis foram produzidos com partícula distribuídas aleatoriamente ou em três camadas, sendo que quando necessária a orientação das partículas, utilizou-se o orientador de laboratório acoplada à caixa formadora.

#### 3.2.3.4 Pré-prensagem e prensagem

Após a formação do colchão, este foi pré-prensado a frio para fazer sua compactação. Na sequência, o colchão foi conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico juntamente com as barras de 10 mm de espessura, colocadas em lados opostos do colchão, as quais limitaram o fechamento total da prensa, delimitando a espessura do painel. A prensagem a quente foi realizada em prensa hidráulica de marca M.H. Equipamentos, com pressão específica de prensagem de 40 kgf/cm<sup>2</sup>.

Para os colchões manufaturados com adesivo fenol, a temperatura e o tempo de prensagem adotado foi de 160°C durante 10 minutos. Já para os colchões

manufaturados com adesivo tanino e a mistura de ambos os adesivos, a temperatura adotada foi de 160°C e o tempo de prensagem de 8 minutos.

Posteriormente, os painéis foram armazenados em uma câmara de climatização a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  de temperatura e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa por aproximadamente 7 dias para estabilização do teor de umidade. As principais etapas de produção dos painéis estão apresentadas na Figura 5.

**Figura 5** - Processo de manufatura dos painéis. (a) Aplicação de adesivo; (b) Formação do colchão utilizando orientador de partículas; (c) colchão com partículas orientadas pronto para pré-prensagem; (d) prensagem a quente em prensa hidráulica.



Fonte: a Autora.

### 3.2.4 Caracterização dos painéis

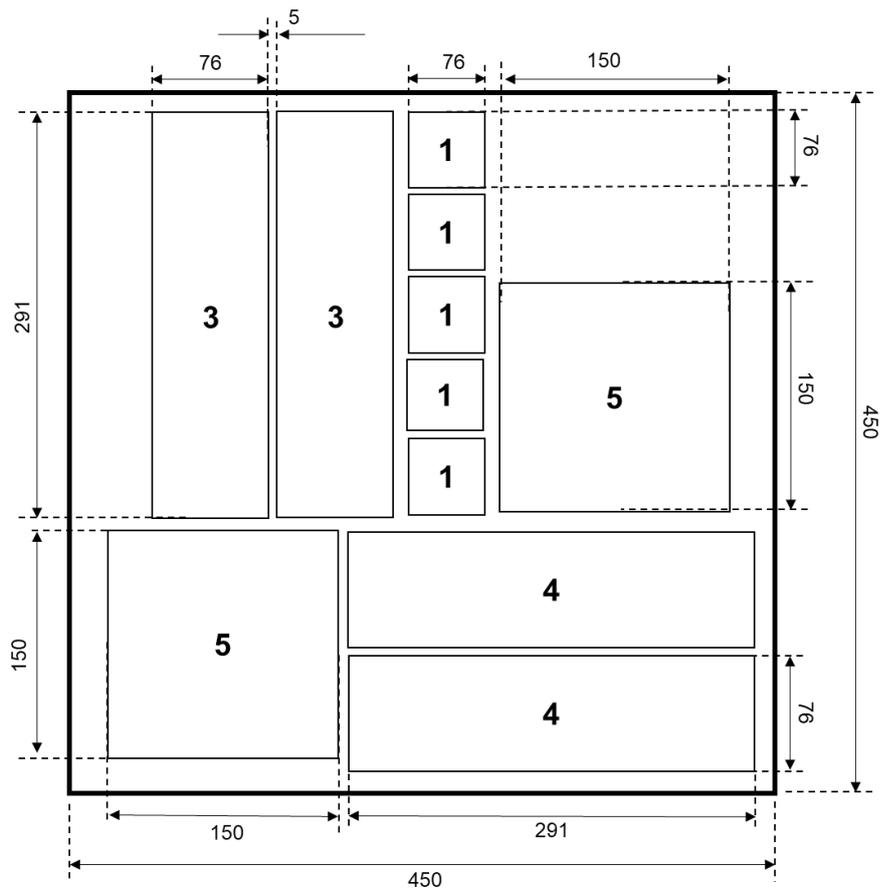
Na etapa de caracterização dos painéis foram confeccionados corpos de prova e submetidos a testes físico-mecânicos. A seguir são apresentados os ensaios e a metodologia utilizada para cada teste.

Os corpos de prova a serem testados foram confeccionados após o período de climatização, seguindo as dimensões recomendadas pelas normas ASTM D1037/06a para o experimento 1 e EN 300:2006 e normas complementares para o experimento 2. Usando os croquis apresentados na Figura 6 e

Figura 7, foram cortados os corpos de prova de cada painel. Após o corte, foram levados à câmara de climatização até a realização dos ensaios.

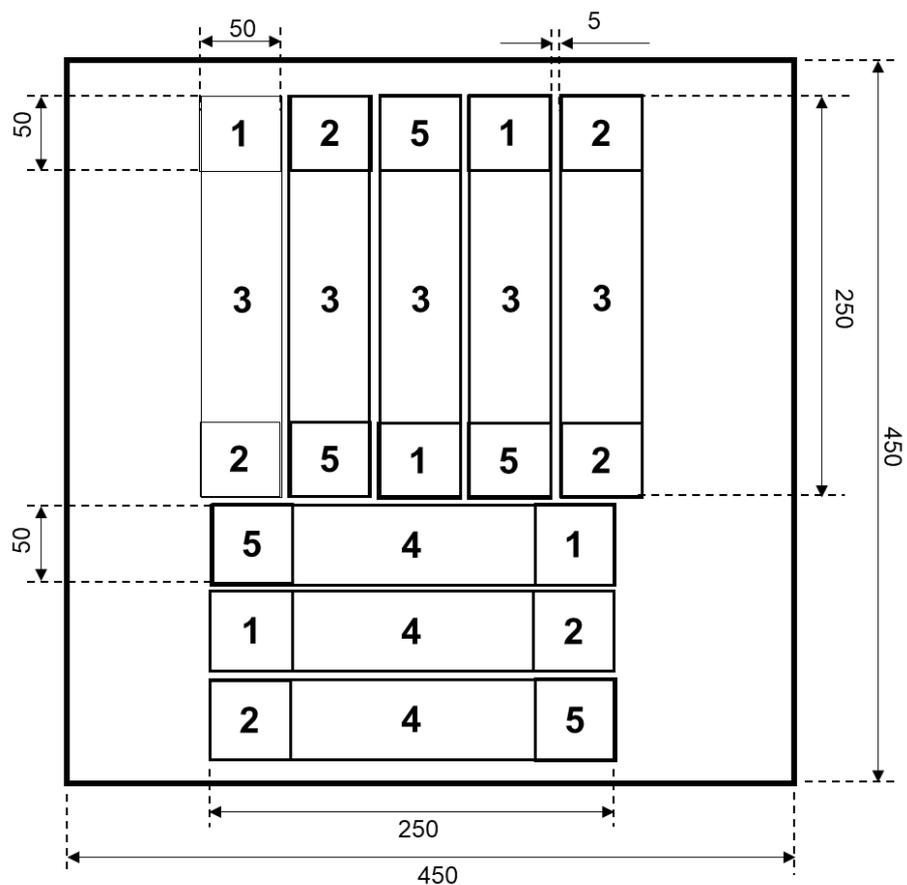
A mudança da utilização da norma ASTM D1037-06a para a norma EN 300:2006 no segundo experimento deu-se pelo fato das menores dimensões dos corpos de prova determinados nessa norma que favorecem a obtenção de um maior número de corpos de prova por painel, tendo em vista que se procurou com isso diminuir o coeficiente de variação deste experimento. Em especial, na análise dos testes de flexão estática onde são necessários corpos de prova nas direções paralela e perpendicular à orientação das partículas de face do painel.

**Figura 6** - Croqui utilizado para corte dos corpos de prova nos painéis do experimento 1. (1): Densidade básica ao teor de umidade e teor de umidade de equilíbrio; (3): Flexão estática paralela; (4): Flexão estática perpendicular (5): Absorção de água em peso e inchamento em espessura. Valores apresentados em mm.



Fonte: a Autora.

**Figura 7** - Croqui utilizado para corte dos corpos de prova nos painéis do experimento 2. (1): Densidade básica ao teor de umidade e teor de umidade de equilíbrio; (2): Ligação interna; (3): Flexão estática paralela; (4): Flexão estática perpendicular (5): Absorção de água em peso e inchamento em espessura. Valores apresentados em mm.



Fonte: a Autora.

Os testes realizados para a avaliação das propriedades físicas dos painéis foram densidade básica ao teor de umidade de equilíbrio (D), teor de umidade (TU) e estabilidade dimensional após 2 e 24h - que resulta em propriedades de absorção de água em peso (AA) e inchamento em espessura (IE). Na determinação das propriedades mecânicas, os testes realizados foram flexão estática na direção paralela e na direção perpendicular às partículas das camadas de face do painel e tração perpendicular às faces do painel, os quais permitiram obter os valores de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e ligação interna (LI), respectivamente. Para a realização dos ensaios mecânicos utilizou-se a Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC modelo DL 30.000.

Os testes realizados seguiram as recomendações da norma ASTM D1037-06a no experimento 1 e europeia EN 300:2006 no experimento 2. A diferença em relação às duas normas utilizadas está especialmente nas dimensões dos corpos de prova,

sendo que a metodologia dos ensaios físicos e mecânicos é semelhante e está detalhada nos próximos tópicos.

#### 3.2.4.1 Densidade básica ao teor de umidade e teor de umidade

Para determinação dessas propriedades foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 7,6 x 7,6 mm no experimento 1 (norma ASTM D1037-06a) e de 50 x 50 mm no experimento 2 (norma EN 323:1993 para densidade e EN 322:1993 para teor de umidade). Estes foram pesados em balança analítica e tiveram suas dimensões medidas com paquímetro digital, obtendo-se desta maneira a massa inicial (massa úmida) e o volume. Em seguida, as amostras foram secas a uma temperatura de 105 ±3 °C em estufa de circulação de ar forçada e posteriormente pesadas a cada hora até atingirem peso constante, determinando-se assim a massa seca.

Determinou-se a densidade básica ao teor de umidade de equilíbrio (D) e o teor de umidade de equilíbrio (TU), para cada corpo de prova, utilizando-se as equações 1 e 2, respectivamente.

$$D(\text{g/cm}^3) = \frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$\text{TU (\%)} = \left( \frac{\text{Peso ao teor de umidade de equilíbrio (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso seco (g)}} \right) * 100 \quad (2)$$

#### 3.2.4.2 Estabilidade dimensional

Na obtenção dos valores de absorção de água e de inchamento em espessura, foram utilizados corpos de prova nas dimensões nominais de 150 x 150 mm no experimento 1 (norma ASTM D1037-06a) e de 50 x 50 mm no experimento 2 (norma EN 317:1993).

As medidas foram tomadas antes e após os períodos de 2 e 24h imersos em água, utilizando-se relógio comparador para a medida da espessura e balança

analítica para a determinação do peso. Os cálculos de absorção de água em peso [AA(%)] e de inchamento em espessura [IE(%)] após 2 e 24 horas imersos em água foram realizados segundo as equações 3 e 4, respectivamente:

$$AA(\%) = \frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (3)$$

$$IE(\%) = \frac{\text{Espessura final} - \text{espessura inicial}}{\text{Espessura inicial}} * 100 \quad (4)$$

#### 3.2.4.3 Flexão estática

Os valores do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram obtidos por intermédio do ensaio de flexão estática, que está representado na Figura 8. As dimensões nominais dos corpos de prova utilizados foram: 291 mm x 76 mm no experimento 1 (norma ASTM D1037-06a) e 250 mm de comprimento x 50 mm de largura no experimento 2 (norma EN 310:1994), confeccionados na direção paralela e perpendicular às partículas das camadas da face do painel.

**Figura 8** - Ensaio de flexão estática.



Fonte: a Autora.

Os cálculos de MOR e MOE foram realizados através das equações 5 e 6 respectivamente.

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot F_{\text{max}} \cdot L}{2 \cdot b \cdot t^2} \quad (5)$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura (Mpa);

$F_{\text{max}}$  = Máxima força (N);

L= distância entre os apoios (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm).

$$MOE = \frac{L^3 \cdot b_1}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot b_1} \quad (6)$$

Onde:

MOE = Modulo de elasticidade (Mpa);

P = carga máxima aplicada (MPa);

L= distância entre os apoios (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

t = espessura do corpo de prova (mm);

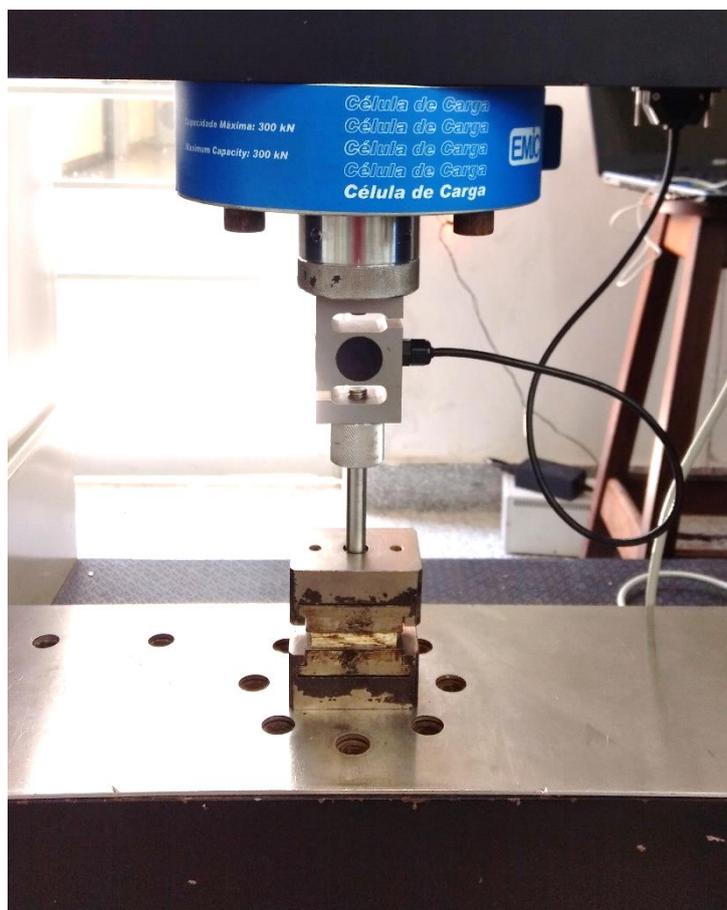
b1 = coeficiente de inclinação da reta de regressão.

#### 3.2.4.4 Tração perpendicular à face do painel

Este ensaio visa à obtenção dos valores de ligação interna, também denominada adesão interna. Os corpos de prova utilizados tiveram suas dimensões nominais estabelecidas em 50 x 50 mm em ambos experimentos. A medição de tais dimensões foi realizada através de paquímetro digital e determinada a área real. As amostras foram coladas nos blocos de metal (*grips*) com cola *hot melt*. A

**Figura 9** representa o ensaio de tração perpendicular à face do painel.

**Figura 9** - Ensaio de tração perpendicular à face do painel.



Fonte: a Autora.

Os valores de ligação interna (LI) foram determinados conforme a equação 7.

$$LI = \frac{F_{\max}}{a*b} \quad (7)$$

Onde:

LI = ligação interna (MPa);

$F_{\max}$  = Máxima força (N);

a, b = comprimento e largura do corpo de prova (mm);

### 3.3 Análise dos resultados

A análise dos dados de cada um dos experimentos foi realizada em dois momentos. Confirmada a normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias, as médias obtidas para cada tipo de painel foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e teste de médias (Tukey), sendo os resultados comparados com os de outros trabalhos e com os padrões normativos internacionais. Quando os dados não apresentaram normalidade e variância homogênea, foram transformados. Em um segundo momento, realizou-se análise fatorial dos dados do experimento 1 afim de verificar a influência do adesivo e da forma de orientação nas propriedades físicas e mecânicas; e análise de regressão dos dados de modulo de ruptura e modulo de elasticidade, ambos nas direções paralela e perpendicular, do experimento 2 no intuito de verificar a influência da composição das camadas nestas propriedades. Para as análises estatísticas fez-se uso do software IBM SPSS STATISTICS 22 - disponível para teste.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos da eficiência do orientador de partículas, os resultados das propriedades físico-mecânicas dos experimentos avaliados, bem como a interpretação destes, comparando-os com a literatura e os documentos normativos.

### 4.1 Orientador de partículas

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios encontrados da porcentagem de orientação das partículas das amostras de 300 g utilizadas para montagem de colchão utilizando o orientador.

**Tabela 4** - Valores médios da porcentagem de orientação das partículas.

Amostra	Média com orientador (%)	Média sem orientador (%)
1	70,6	54,2
2	70,3	55,3
3	75,5	54,2
4	77,6	56,2
5	78,2	54,1
<b>Média</b>	74,4	54,8

Os valores demonstram aumento de 19,6% em média na orientação das partículas com o uso do orientador de laboratório em relação ao colchão formado com partículas dispostas aleatoriamente, confirmando assim, sua eficácia.

### 4.2 Experimento 1

Neste experimento foi avaliada a qualidade de painéis *Oriented Strand Board* (OSB) produzidos com partículas de *Pinus taeda* aderidas com adesivos fenol e tanino, puros e em mistura, com camadas sem orientação e com orientação das partículas na composição face/miolo/face de 20/60/20.

#### 4.2.1 Propriedades físicas dos painéis OSB

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades físicas dos painéis OSB produzidos com os adesivos fenol-formaldeído e tanino-formaldeído em diferentes composições de camadas. Pode-se observar que houve diferença estatística entre os valores médios da densidade nos diferentes tipos de painéis produzidos, havendo assim a necessidade do ajuste dos valores por meio da covariância para a análise das demais propriedades dos painéis.

**Tabela 3** - Valores médios das propriedades físicas dos painéis OSB.

P	Adesivo	Orientação	D (g/cm <sup>3</sup> )	TU %	AA %	IE %
1	F	Aleatória	0,63 A	10,0 E	60,1 A	24,2 BC
2	F	Orientada	0,59 AB	10,8 D	65,6 A	26,3 BC
3	T	Aleatória	0,61 AB	12,2 A	39,0 B	22,1 ABC
4	T	Orientada	0,58 B	12,0 B	39,4 B	17,5 C
5	F+T	Aleatória	0,62 AB	11,7 C	60,1 A	26,5 A
6	F+T	Orientada	0,62 AB	11,7 C	49,3 B	19,8 BC
<b>CV médio (%)</b>			6,7	9,6	29,0	31,6

Notas: P: Painel; F: adesivo fenol; T: adesivo tanino; F+T: adesivo fenol + tanino; D: Densidade básica ao teor de umidade; TU: Teor de umidade; AA: Absorção de água em peso; IE: Inchamento em espessura; CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A densidade nominal dos painéis foi estabelecida em 0,65 g/cm<sup>3</sup>, no entanto os valores médios observados foram inferiores variando de 0,59 a 0,63 g/cm<sup>3</sup>, o que pode ser atribuído às perdas de partículas e adesivo no processo de produção dos painéis. Os valores médios de densidade encontrados para todos os tratamentos se enquadram na classificação de painéis de média densidade por estarem entre os intervalos de 0,55 a 0,75 g/cm<sup>3</sup> e 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> estabelecidos pelas normas NBR 14810-2 (2018) e ANSI A280.1 (1993), respectivamente.

O teor de umidade médio encontrado foi de 11,4%, também apresentando diferença estatística significativa entre os tipos de painéis, fato atribuído ao tipo de adesivo utilizado. Os painéis produzidos com fenol (painéis 1 e 2) apresentaram os

menores valores, enquanto os produzidos com adesivo tanino (painéis 3 e 4) apresentaram valores superiores.

Mesmo com uma diferença estatística significativa, os valores médios de teor de umidade encontram-se em torno da faixa recomendada pela norma. Segundo a norma EN 312 (2003) os painéis devem apresentar teor médio entre 5 e 13%.

O valor médio para absorção de água e inchamento em espessura foram de 52,3 e 22,7%, respectivamente, apresentando diferença significativa entre os tipos de painéis produzidos. Os valores de absorção de água variaram de 39,0 a 65,6%, observando-se que os painéis produzidos com adesivo tanino (painéis 3 e 4) apresentaram os menores percentuais de absorção de água (AA); os painéis produzidos com adesivo fenol (painéis 1 e 2) apresentaram os maiores percentuais, entretanto não apresentaram diferença estatística com o painel 5 produzido com a mistura de ambos adesivos (50% fenol + 50% tanino) e sem orientação das partículas.

Quanto ao inchamento em espessura, observa-se que o painel 4, produzido com adesivo tanino e com orientação das partículas, apresentou o menor percentual de inchamento em espessura, no entanto não apresentou diferença significativa estatisticamente com o painel 3 (adesivo tanino, sem orientação das partículas). Este ensaio apresentou tendência semelhante ao de absorção de água para os maiores valores, que foram encontrados no painel 2.

Comparando os valores médios de inchamento em espessura dos painéis com os recomendados da norma EN 300 (2006), observa-se que, com exceção dos painéis 2 e 5, os valores médios acima dos demais tipos de painéis produzidos estão dentro da faixa de valores permitidos para OSB tipo I e II (20 e 25% respectivamente). Os resultados para absorção de água foram comparados somente com a literatura devido ao fato de não haver normas que mencionam valores máximos requeridos para esta propriedade.

Teodoro (2008), avaliou o uso de adesivos a base de diferentes taninos, puros e em mistura com fenol-formaldeído na produção de OSB. Os valores de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis manufaturados com a mistura dos adesivos tanino e fenol não foram afetadas negativamente, o que condiz com o presente trabalho. No entanto, a diferença nas propriedades de AA e IE utilizando diferentes tipos de adesivos ficou mais evidenciado no presente estudo.

Utilizando a madeira de *Pinus elliottii*, densidade aparente média de 0,56 g/cm<sup>3</sup> e com adesivos tânicos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* na confecção de painéis, Vital et al (2004) obtiveram valores de AA24h e IE 24H dos painéis produzidos com adesivo de *E. grandis* foi de 68,7 e 85%, respectivamente, e com o adesivo de *E. pellita* de 88 e 108,9%, respectivamente.

Carvalho et al (2015), produziram OSB utilizando madeira de *Pinus oocarpa*, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e adesivos comerciais e tânico de barbatimão e acácia. Os valores de AA e IE foram de 127% e 28%, respectivamente, utilizando o adesivo tânico de acácia, valores estes superiores ao encontrado no presente estudo.

O teste de médias (Tukey) para o efeito dos fatores adesivo na densidade e nas propriedades de estabilidade dimensional dos painéis (Tabela 4) demonstrou que o tipo de adesivo influenciou de maneira significativa no teor de umidade, na absorção de água e no inchamento em espessura.

**Tabela 4** - Influência do tipo de adesivo nas propriedades físicas dos painéis OSB.

Adesivo	D (g/cm <sup>3</sup> )	TU (%)	AA (%)	IE (%)
F	0,61 A	10,4 A	62,8 C	25,6 B
T	0,60 A	11,7 B	54,7 B	23,1 AB
F+T	0,59 A	12,1 C	39,2 A	19,8 A

Notas: F: adesivo fenol; F+T: adesivo fenol + tanino; T: adesivo tanino; TU: Teor de umidade; AA: Absorção de água em peso; IE: Inchamento em espessura; Pa: direção paralelo; Pe: direção perpendicular. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os resultados para a absorção de água e inchamento utilizando o adesivo fenol podem ser explicados devido à dificuldade de trabalhar com o mesmo em laboratório, resultando em uma distribuição ineficiente do adesivo sobre as partículas, conferindo estes valores superiores.

#### 4.2.2 Propriedades mecânicas dos painéis OSB

Neste experimento foram avaliadas as propriedades mecânicas obtidas no teste de flexão estática, sendo obtidos os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura

(MOR) dos painéis. Os ensaios foram realizados em ambas as direções: paralela e perpendicular às camadas da face dos painéis. Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de MOR E MOE dos painéis.

**Tabela 5** - Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis OSB.

P	Adesivo	Distribuição das partículas	Paralelo (MPa)		Perpendicular (MPa)	
			MOR	MOE	MOR	MOE
1	F	Aleatória	16,8 AB	1633,5 A	20,8 A	2075,2 AB
2	F	Orientada	15,0 AB	1545,3 A	15,6 BC	1440,3 C
3	T	Aleatória	19,0 A	1861,0 A	15,9 BC	1596,8 BC
4	T	Orientada	13,1 B	1491,0 A	14,8 C	1562,5 BC
5	F+T	Aleatória	17,9 A	1828,2 A	20,8 A	2156,0 A
6	F+T	Orientada	15,8 AB	1872,1 A	19,2 AB	2162,1 A
<b>CV médio (%)</b>			19,6	18,4	18,9	23,2

Notas: P: Tratamento; F: Adesivo fenol; F+T: adesivo fenol e tanino; T: Adesivo tanino; MOR: Módulo de Ruptura Paralelo; MOE: Módulo de Elasticidade Paralelo; CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Foram observadas diferenças estatísticas nos valores das propriedades de flexão estática entre os diferentes tipos de painéis produzidos, exceto para MOE paralelo. Nesta propriedade, embora os valores médios tenham variado de 1491,0 à 1872,1 MPa, o fato de ter ocorrido uma variação dessa propriedade entre os corpos de prova do mesmo tipo de painel ocasionou equivalência estatística entre as médias. Os valores médios de MOR e MOE paralelo estão abaixo do valor mínimo exigido pela norma EN 300 (2006)

Comparando-se com os requisitos da norma (EN 300, 2003) os valores médios de MOR na direção perpendicular dos painéis 2, 3 e 4 atendem os requisitos de classificação de painéis OSB do tipo I, II e III, e os painéis 1, 5 e 6 como do tipo IV. Já os valores de MOE para os painéis 2, 3 e 4 entraram na classificação como painéis do tipo I, II e III; já os tratamentos T1, T5 e T6 como do tipo IV. Observa-se que para as duas propriedades as classificações dos tratamentos são as mesmas.

Carvalho et al (2015), ao estudarem a qualidade produziram OSB utilizando madeira de *Pinus oocarpa*, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e adesivos comerciais e tânico de barbatimão e acácia, obtiveram valores médios de 15,1 MPa para o MOR paralelo e 2986 MPa para o MOE paralelo; e para MOR perpendicular 11,7 MPa e MOE 1212 MPa. Estes valores condizem com os resultados obtidos no presente estudo, com exceção de MOE paralelo.

Teodoro (2008), avaliou o uso de adesivos a base de diferentes taninos, puros e em mistura com fenol-formaldeído na produção de OSB. Para OSB produzidos com acácia, obtiveram para MOR e MOE paralelos, valores médios de 44 MPa e 3577 MPa respectivamente. Na direção perpendicular, os valores encontrados foram 34 MPa e 2663 MPa para MOR e MOE, respectivamente. Valores estes superiores ao encontrado no presente estudo, entretanto, confirmando potencial de uso deste adesivo.

Convém ressaltar que as diferenças mais relevantes se deram nos valores de módulo de elasticidade. Os valores mais baixos encontrados neste experimento podem ter origem na existência de rachaduras internas nos painéis, que ocorreu durante o processo, além de bolhas e má distribuição dos adesivos.

Foi verificado que quando utilizada a mistura de ambos os adesivos, o MOR paralelo dos painéis produzidos com distribuição de partículas aleatórias foi maior do que o obtido com partículas orientadas. Além disso, para os painéis produzidos com cada tipo de adesivo puro, não houve diferença estatística entre o MOR paralelo dos painéis de partículas aleatórias em relação aos de partículas orientadas, sendo estes de valor nominal inferior. Estes resultados não eram esperados, pois a orientação de partículas com 20% na direção paralela em cada face externa do painel deveria melhorar o MOR paralelo destes painéis.

Dessa forma, devido aos problemas experimentais ocorridos, neste experimento a análise se concentrou no efeito do adesivo sobre as propriedades dos painéis. Na Tabela 6 são apresentados os valores médios obtidos por tipo de adesivo, independente da composição de camadas (orientadas ou aleatórias), para as propriedades de flexão estática

**Tabela 6** – Valores médios de MOR e MOE dos painéis OSB por tipo de adesivo usados.

<b>Adesivo</b>	<b>MOR // (MPa)</b>	<b>MOE // (MPa)</b>	<b>MOR ⊥ (MPa)</b>	<b>MOE ⊥ (MPa)</b>
F	15,9 A	1589,4 A	18,2 B	1757,7 A
T	16,8 A	1850,1 A	20,0 B	2163,5 B
F+T	16,03 A	1675,9 A	15,3 A	1757,7 A

Notas: F: Adesivo fenol; F+T: adesivo fenol e tanino; T: Adesivo tanino; MOR Pa: Módulo de Ruptura ; MOE: Módulo de Elasticidade; //: Paralelo; ⊥: Perpendicular. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se que somente quando foi usada a mistura dos dois adesivos houve diferença estatística de MOR e MOE perpendicular em relação aos adesivos puros. Nas demais propriedades não foram observadas diferenças estatísticas.

Dessa forma, de modo geral, os resultados verificados no experimento 1 demonstraram uma equivalência entre os dois tipos de adesivos utilizados, bem como da mistura entre ambos, quando utilizados em condições experimentais. Como não foi possível determinar o melhor tipo de adesivo a ser utilizado experimentalmente, em especial no que se refere ao teste de flexão estática, optou-se por utilizar o adesivo fenol-formaldeído no experimento 2, por ser este adesivo o mais comumente utilizado na indústria de painéis OSB.

## **4.3 Experimento 2**

### **4.3.1 Propriedades físicas dos painéis OSB**

Na Tabela 7 são apresentados os resultados de densidade (D) e teor de umidade dos painéis (TU) produzidos com diferentes composições de camadas orientadas.

Os painéis produzidos se enquadraram na classificação de painéis de média densidade por apresentarem valores entre os intervalos de 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> e 0,55 a 0,75 g/cm<sup>3</sup> estabelecidos pelas normas ANSI A280.1 (1993) e NBR 14810-2 (2018), respectivamente. Essas normas foram utilizadas para classificar tal propriedade pois a norma EN 300:2006 não classifica os painéis quanto a densidade.

**Tabela 7** - Valores médios e para as propriedades de massa específica e teor de umidade.

<b>P</b>	<b>Composição de camadas (%*)</b>	<b>D (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
1	100 Pa	0,68 A	7,7 A
2	10/80/10	0,67 A	7,6 A
3	20/60/20	0,67 A	8,2 A
4	30/40/30	0,69 A	8,3 A
5	40/20/40	0,69 A	8,3 A
6	20/60 S/20	0,68 A	8,0 A
7	100 S	0,67 A	8,4 A
<b>CV médio (%)</b>		6,43	10,25

Notas: P: painel; %\* - proporção de cada camada sob peso seco das partículas, sendo as camadas perpendiculares entre si; Pa: Orientação paralela; S: distribuição aleatória; D: Densidade; TU: Teor de umidade de equilíbrio. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Não houve diferença estatística entre as médias de densidade, embora com densidade acima da nominal determinada, e de teor de umidade dos diferentes tipos de painéis produzidos. O fato de a densidade dos painéis ter sido superior à nominal estabelecida se deve ao cálculo de produção dos painéis, que previu um percentual de 8% de perdas de material, que não ocorreram na sua totalidade durante o processo produtivo. As normas NBR 14810-2 (2018) e EN 300:2006 determinam a tolerância de  $\pm 7\%$  e  $\pm 15\%$  respectivamente, para essa propriedade e, desta forma, os painéis ficaram dentro dos padrões normativos.

O teor de umidade apresentou valores médios para cada tipo de painel produzido dentro da faixa recomendada pelas normas EN 312 (2003) e NBR 14810-2 (2013). Tais normas determinam que o teor de umidade deve permanecer dentro de uma faixa de 5 a 13% e entre 5 e 11%, respectivamente.

Outras propriedades físicas de importância medidas foram a absorção de água e o inchamento em espessura. As medições das amostras foram realizadas após um período de 2 e de 24 horas imersas em água. Os valores médios obtidos para estas propriedades são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** - Valores médios para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24h.

P	Composição de camadas (%*)	AA %		IE %	
		2h	24h	2h	24h
1	100 Pa	68,0 ab	84,8 b	34,1 a	45,3 a
2	10/80/10	72,4 b	86,0 b	36,5 a	44,2 a
3	20/60/20	67,8 ab	83,3 ab	30,8 a	45,1 a
4	30/40/30	59,3 a	76,4 ab	28,0 a	37,5 a
5	40/20/40	63,5 ab	82,0 ab	32,2 a	43,9 a
6	20/60 S/20	60,6 ab	74,7 a	27,5 a	33,5 a
7	100 S	64,0 ab	76,3 ab	28,2 a	39,0 a
<b>CV Médio (%)</b>		17,9	12,2	37,1	28,8

Notas: T: Tratamento; %\* - proporção de cada camada sob peso seco das partículas, sendo as camadas perpendiculares entre si; Pa: Orientação paralela; S: orientação aleatória P: Painel; AA: Absorção de água; IE: Inchamento em espessura; CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os painéis produzidos com diferentes composições de camadas apresentaram-se na maioria dos casos equivalentes estatisticamente nas médias de absorção de água e inchamento em espessura. No entanto, foi verificada uma tendência de diminuição dos valores médios destas propriedades da composição com 100% de partículas orientadas na mesma direção (100 Pa) para a composição 30/40/30, voltando a aumentar na composição 40/20/40. Os painéis que continham partículas aleatórias apresentaram valores médios intermediários. Embora essa tendência tenha sido confirmada estatisticamente somente para absorção de água, ela também foi verificada para inchamento em espessura, tanto em 2h como em 24 horas de imersão em água.

A norma EN 300:2006 não especifica valores máximos para as propriedades físicas de absorção de água (2 e 24h) e de inchamento em espessura após 2h de imersão em água. Entretanto, pode-se inferir que os valores encontrados para os painéis produzidos foram compatíveis com dados da literatura.

Porcentagens semelhantes foram encontradas em outros trabalhos, como o de

Saldanha e Iwakiri (2009), que obtiveram para OSB produzido com madeira de *Pinus taeda*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25, valores médios de AA2h de 50,58%, AA24h de 74,17% e IE2h de 27,95%.

Produzindo OSB com mistura de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* com adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65g/cm<sup>3</sup> e composição de 20/60/20, Gorski et al (2015) obtiveram valores médios para AA2h de 53,1%, AA24h de 88,7% e IE2h de 20,6%.

Mendes et al. (2012), para o OSB produzido com madeira de *Pinus oocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade média de 0,63 g/cm<sup>3</sup> e composição 25/50/25, obtiveram valores para AA2h de 91,5%, AA24h de 102,4% e IE2h de 31,9%.

Bufalino et al. (2015) obtiveram valores médios de AA2h de 66%, AA24h de 84% e IE2h de 25% produzindo OSB com madeira de *Pinus ocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25.

Comparando os valores médios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água com os recomendados pela norma EN 300 (2006), máximo de 25%, observa-se que os resultados obtidos não foram satisfatórios. Contudo, assim como para a absorção de água, as porcentagens de inchamento em espessura foram compatíveis aos resultados encontrados na literatura. Os valores médios de IE24h encontrados por Saldanha e Iwakiri (2009) foi de 34,65%; Gorski, et al. (2015) de 34,5%; Mendes et al. (2012) de 34,5% e Bufalino et al. (2015) de 30%.

Analisando os resultados das propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, num contexto geral, nota-se que o painel de composição 20/60S/20 foi o que apresentou melhores resultados, ou seja, melhor estabilidade dimensional, seguido pela composição 30/40/30.

#### 4.3.2 Propriedades mecânicas dos painéis OSB

Na etapa final de testes foram realizados os ensaios de flexão estática, no intuito de obter o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, bem como os ensaios de tração perpendicular a face do painel, para avaliar a ligação interna (Tabela 9).

**Tabela 9** – Valores médios para as propriedades de ligação interna e flexão estática paralela e perpendicular à face do painel.

T	Composição de camadas (%*)	LI	Paralelo // (MPa)		Perpendicular ⊥ (MPa)	
			MOR	MOE	MOR	MOE
T1	100 Pa	0,17 A	37,6 C	4551,5 C	13,1 AB	1550,8 B
T2	10/80/10	0,21 AB	16,4 A	2130,7 A	25,1 D	2560,7 D
T3	20/60/20	0,23 AB	25,3 BC	3301,5 BC	23,7 CD	2268,6 CD
T4	30/40/30	0,33 B	34,1 C	4284,6 C	17,4 BC	1712,5 BC
T5	40/20/40	0,30 B	29,2 BC	4044,2 C	12,0 A	1137,4 A
T6	20/60S/20	0,21 AB	31,0 BC	4151,5 C	21,4 CD	2133,5 CD
T7	100 S	0,31 B	23,2 AB	2659,8 AB	23,2 CD	2546,4 D
<b>CV Médio (%)</b>		46,2	12,1	13,2	4,4	4,8

Notas: T: Tratamento; %\* - proporção de cada camada sob peso seco das partículas, sendo as camadas perpendiculares entre si; Pa: Orientação paralela das partículas; S: orientação aleatória P: Painel; LI: Ligação interna; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Modulo de elasticidade; CV: Coeficiente de variação; //: Paralelo; ⊥: Perpendicular. Médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores médios de ligação interna dos painéis tiveram a tendência de aumentar da composição 100 Pa para a composição 30/40/30, voltando a diminuir na composição 40/20/40. A composição 20/60S/20 apresentou valor médio intermediário e a 100 S foi equivalente às composições 30/40/30 e 40/20/40.

Verificou-se um alto coeficiente de variação nos valores de tração perpendicular à superfície do painel (ligação interna), o que não permitiu detectar diferenças estatísticas entre as médias. Esse fato foi devido à presença de bolhas que foram observadas em determinadas regiões de cada painel e que foram ocasionadas por uma concentração de umidade/adetivo nestas regiões. Confirmou-se que a distribuição do adesivo não alcançou a eficiência desejada e, assim, os valores dos ensaios de tração perpendicular tiveram variações de um corpo de prova para outro do mesmo painel.

Em comparação com a norma EN 300 (2006), apenas os painéis de composição 30/40/30, 40/20/40 e sem orientação (100 S) atingiram o requisito mínimo de 0,30 MPa para painéis OSB tipo I. Porcentagem semelhante foi encontrada no

estudo de Bufalino et al. (2015), que obtiveram valor médio de 0,33 Mpa para OSB produzido com madeira de *Pinus oocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25.

Os valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade, tanto na direção paralela quanto na perpendicular apresentaram baixo coeficiente de variação, demonstrando uma boa homogeneidade entre as amostras. Observa-se também que existe diferença estatística entre alguns tipos de painéis, indicando que houve influência das composições das camadas nos valores de módulo de ruptura e módulo de elasticidade em ambas direções, paralelo e perpendicular.

Para MOR e MOE na direção paralela, apenas o painel de composição 10/80/10 apresentou média inferior ao mínimo exigido para ser classificado como OSB tipo I (20 MPa para MOR paralelo e 2500 MPa para MOE paralelo) segundo a norma EN 300:2003.

O MOR e o MOE na direção paralela apresentam valor máximo para os painéis com as partículas dispostas paralelamente em uma única direção (painel 100 Pa), seguido do painel com composição 30/40/30. Os painéis com composição 40/20/40 e 20/60 S/20 apresentaram valores inferiores, porém equivalentes estatisticamente. As composições 30/40/30 e 20/60/20 são as mais utilizadas industrialmente, sugerindo que os resultados foram condizentes com utilizado comercialmente. Os menores valores apresentados para MOR e MOE na direção paralela foram na composição 10/80/10.

Com relação aos resultados encontrados na literatura, os valores de MOR e MOE na direção paralela se apresentaram próximos aos encontrados na literatura. Trianoski et al. (2016), produzindo painéis OSB com madeira de *Cryptomeria japonica* e avaliado as composições 20/60/20, obtiveram valores médios de 26,76 MPa para MOR na direção paralela e 4387 MPa para MOE na direção paralela; e para 30/40/30 valores médios de 31,69 MPa e 4560 MPa.

Saldanha e Iwakiri (2009), que obtiveram para OSB produzido com madeira de *Pinus taeda*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25, valores médios para MOR e MOE de 43,6 MPa e 5127,8 MPa, respectivamente.

Bufalino et al. (2015), obtiveram valores médios de MOR e MOE na direção paralela de 34 MPa e 4882,3 MPa, respectivamente, produzindo OSB com madeira de *Pinus oocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25.

Produzindo OSB com mistura de *Pinus taeda* e *Pinus ellioti* com adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65g/cm<sup>3</sup> e composição de 20/60/20, Gorski et al (2015) obtiveram valores médios para AA2h de 53,1%, AA24h de 88,7% e IE2h de 20,6%.

Mendes et al. (2012), para o OSB produzido com madeira de *Pinus oocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade média de 0,63 g/cm<sup>3</sup> e composição 25/50/25, obtiveram valores para AA2h de 91,5%, AA24h de 102,4% e IE2h de 31,9%.

Os valores médios de MOR e MOE perpendicular atenderam os requisitos da norma, com exceção do valor médio de MOE do painel de composição 40/20/40. Comparando-se com os requisitos da norma EN 300:2003 os valores médios de MOR dos painéis T1 e T5 atenderam aos requisitos para painéis OSB do tipo I (10 MPa), II e III (ambos 11 MPa), e os tratamentos T2, T3, T4 e T6 e T7 do tipo IV (16 MPa). I; os tratamentos 1 e 4 atenderam os requisitos para classificação como painéis do tipo II e III (ambos 1400 MPa) e os tratamentos 2, 3, 6 e 7 para o tipo IV (1900 MPa).

Conforme o esperado, observou-se uma tendência de aumento das médias de MOR e MOE na direção perpendicular à medida que a proporção das camadas externas diminui.

Bufalino et al. (2015), obtiveram valores médios de MOR e MOE na direção perpendicular de 33,7 MPa e 3866,3 MPa, respectivamente, produzindo OSB com madeira de *Pinus ocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e composição de 25/50/25.

Mendes (2010), para o OSB produzido com madeira de *Pinus oocarpa*, adesivo fenol-formaldeído, densidade média de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e composição 25/50/25, obtiveram valores para MOR e MOE na direção perpendicular de 20,82 MPa e de 2022,3 MPa, respectivamente.

Para efeitos de uma verificação mais acurada da influência das composições das camadas nas propriedades de módulo de ruptura e módulo de elasticidade, efetuou-se a análise de regressão. Através do ajuste dos valores de MOR e MOE (paralelo e perpendicular) por meio de um modelo de regressão quadrática, obteve-

se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa ( $S_{xy}$ ) para estas propriedades.

Na Os coeficientes de determinação encontrados para o MOR e MOE na direção paralela foram de 0,60 com erro padrão de estimativa de 13,2% e de 0,75 com erro de 10%, respectivamente.

Pode-se visualizar que houve um aumento do valor de MOR e de MOE na direção paralela até a proporção de 60% de camadas externas orientadas, com tendência de estabilização a partir desta proporção. A proporção de 60% de camadas orientadas corresponde à composição 30/40/30 e, embora na composição 100 Pa se observou um aumento da média destas propriedades, mas sem diferença estatística, na composição 20/60/20 ocorreu uma diminuição (ver Tabela 4.11).

Desta forma, foi considerado que a melhor composição de camadas para maximizar o MOR e o MOE na direção paralela dos painéis foi a 30/40/30. Conseguiu-se com essa composição um aumento de MOR de 31% em relação à composição de camadas aleatórias (100 S) e 8% em relação à composição 20/60S/20. Da mesma forma, para MOE os aumentos foram de 37% e de 3%, respectivamente.

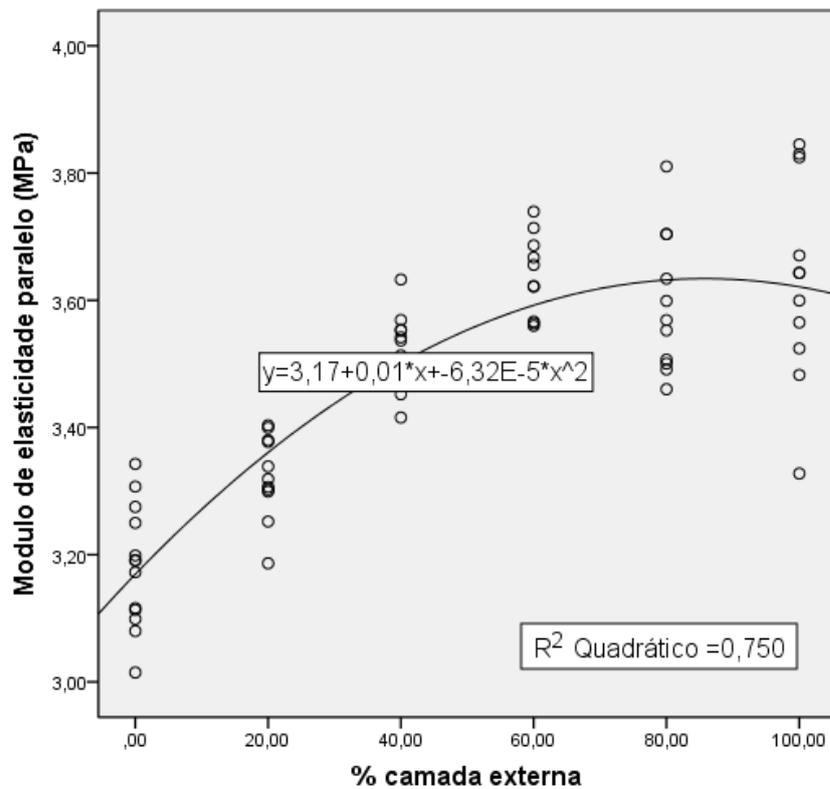
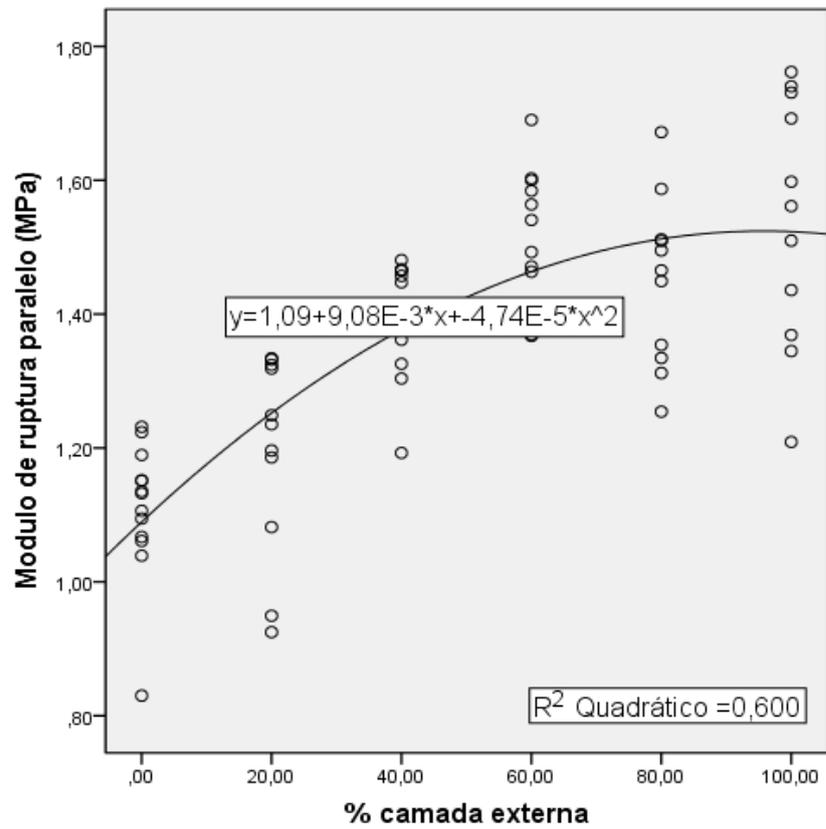
**Figura 10** e na Figura 11 são apresentados os gráficos de MOR e de MOE na direção paralela e perpendicular, respectivamente, ambos em função da porcentagem da composição das camadas externas, juntamente com a linha obtida por regressão quadrática. Para elaboração dos gráficos foram usados os dados transformados por logaritmo de base 10, para obter homogeneidade de variâncias.

Os coeficientes de determinação encontrados para o MOR e MOE na direção paralela foram de 0,60 com erro padrão de estimativa de 13,2% e de 0,75 com erro de 10%, respectivamente.

Pode-se visualizar que houve um aumento do valor de MOR e de MOE na direção paralela até a proporção de 60% de camadas externas orientadas, com tendência de estabilização a partir desta proporção. A proporção de 60% de camadas orientadas corresponde à composição 30/40/30 e, embora na composição 100 Pa se observou um aumento da média destas propriedades, mas sem diferença estatística, na composição 20/60/20 ocorreu uma diminuição (ver Tabela 4.11).

Desta forma, foi considerado que a melhor composição de camadas para maximizar o MOR e o MOE na direção paralela dos painéis foi a 30/40/30. Conseguiu-se com essa composição um aumento de MOR de 31% em relação à composição de camadas aleatórias (100 S) e 8% em relação à composição 20/60S/20. Da mesma forma, para MOE os aumentos foram de 37% e de 3%, respectivamente.

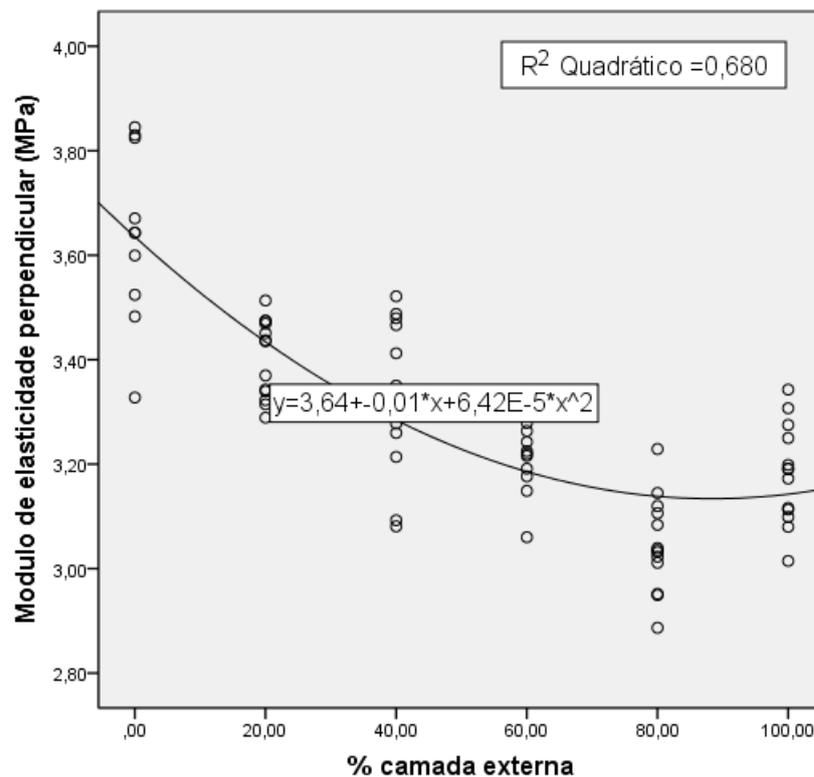
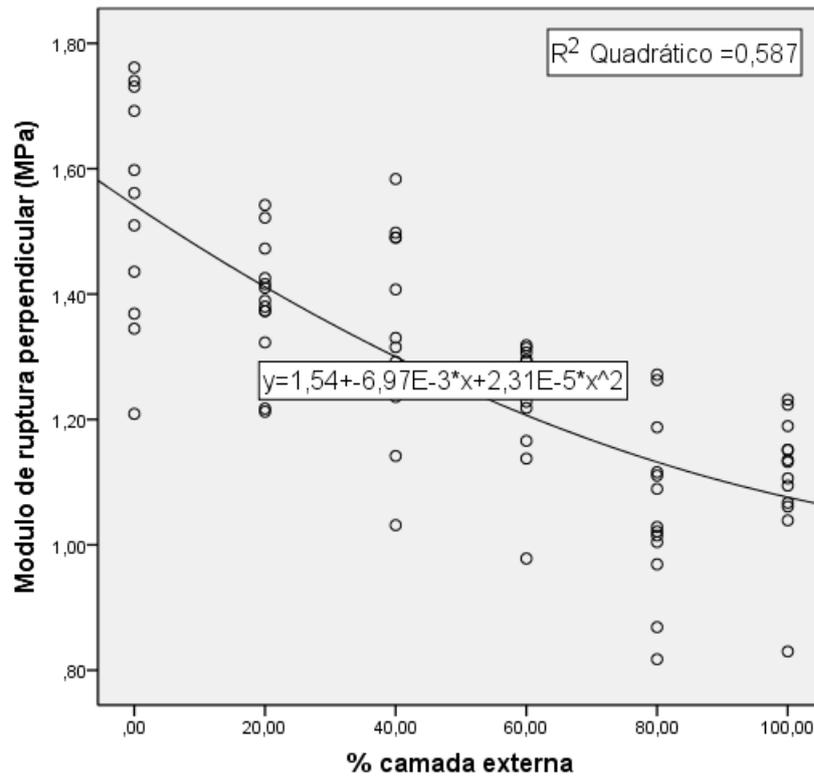
**Figura 10** - MOR e MOE paralelos em função à proporção de partículas orientadas paralelamente às camadas externas dos painéis.



Nota: Dados transformados por logaritmo de base 10.

Fonte: a autora.

**Figura 11** - MOR e MOE perpendiculares em função à proporção de partículas orientadas paralelamente às camadas externas dos painéis.



Nota: Dados transformados por logaritmo de base 10.

Fonte: a autora.

Na direção perpendicular, para MOR e MOE verificou-se que o coeficiente de determinação explica 58% da variação dos dados para MOR com erro de 10% e 68% para MOE com erro de 12,1%. Também observou-se a existência de uma relação

significativa entre essas propriedades e a porcentagem da composição das camadas externas, dispostas em ambas direções do painel.

À medida que a proporção da camada externa se eleva, os valores dos módulos de ruptura e elasticidade na direção perpendicular diminuem, ou seja, possuem correlação negativa. Observa-se também que apenas para o MOE ocorre um ponto em que estas propriedades atingem o valor mínimo e voltam a se elevar.

Pode-se visualizar que houve diminuição de MOE perpendicular até a proporção de 80% de camadas externas orientadas, com tendência de se elevar a partir desta proporção. A proporção de 80% de camadas orientadas corresponde à composição 40/20/40 (ver Tabela 4.11).

Desta forma, foi considerado que a melhor composição de camadas para maximizar o MOR e o MOE na direção perpendicular dos painéis foi a 10/80/10. Conseguiu-se com essa composição um aumento de MOR de 7% em relação à composição de camadas aleatórias (100 S) e 14% em relação à composição 20/60S/20. Da mesma forma, para MOE os aumentos foram de 0,5% e de 16%, respectivamente.

Quanto ao fator composição das camadas, a proporção face-miolo-face 30-40-30 favoreceu as propriedades de flexão estática na direção paralela, a proporção 10-80-10, a direção perpendicular. Este comportamento é justificado, principalmente, pela disposição das partículas em relação ao plano do painel e o respectivo plano de ensaio. Mendes et al. (2003) complementam que este fato ocorre porque o aumento da espessura da camada interna favorece o comportamento do MOE na direção perpendicular, em função das partículas da camada interna estarem também nesta direção

Analisando os resultados de flexão estática em ambas direções afim de obter o melhor balanceamento do OSB, nota-se que o painel sem orientação (100 S) apresentou melhor balanço das propriedades. No entanto, estes não apresentaram diferença estatística significativa da composição 20/60/20, que apresentou valores superiores. Desta forma, considerou-se a composição 20/60/20 a mais adequada para obter um melhor balanço entre MOR e MOE. Analogamente, Iwakiri et al. (2003) encontraram melhor balanço das propriedades de flexão estática entre os sentidos de ensaios paralelo e perpendicular na composição dos painéis com a relação 20/60/20.



## 5 CONCLUSÕES

Com relação ao experimento 1:

Analisando os resultados da estabilidade dimensional -absorção de água e inchamento em espessura-, o uso da mistura dos adesivos feno-formaldeído e tanino-formaldeído confere bons resultados para estas propriedades.

Quanto à flexão estática, não foi possível determinar o melhor tipo de adesivo a ser utilizado, pois os resultados demonstraram uma equivalência entre os dois tipos de adesivos utilizados, bem como da mistura entre ambos, quando utilizados em condições experimentais.

Com relação ao experimento 2:

Analisando os resultados das propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, num contexto geral, o painel de composição 20/60S/20 foi o que apresentou melhores resultados, ou seja, melhor estabilidade dimensional.

Quanto ao fator composição das camadas, a proporção face-miolo-face 30-40-30 favoreceu as propriedades de flexão estática na direção paralela, a proporção 10-80-10, a direção perpendicular. Ainda, o resultado obtido para este fator, indica que a proporção 20-60-20 apresentou melhor balanceamento das propriedades de flexão estática nas diferentes direções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS– (ABRAF). **Anuário Estatístico da ABRAF 2017** – Ano base 2016. Brasília 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS– (ABRAF). **Anuário Estatístico da ABRAF 2017** – Ano base 2016. Brasília 2011.

ASTM. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. D1037 – 06a. Philadelphia, PA. 2006.

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.

BARRICHELO, L. E. G., KAGEYAMA, P. Y., SPELTZ, R. M., BONISH, H. J., BRITO, J. O., FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **Ipef, Piracicaba**, v. 15, p. 1-14, 1977.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p

CÉSAR, A. A. S. **Estudo da Interação Adesivo – Partícula em Painéis OSB (Oriented Strand Board)**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Setor de Processamento e utilização da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. Lavras, 2011.

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.

DURIGAN, G.; FIGLIOLIA, M.B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M.A.O. & BAITELLO, J.B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 1997. 65p.

ECKELMAN, C. A. Brief survey of wood adhesives. **Forestry & Natural Resources**, Report 154, 10 pp. 1997.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard EN 300- Particleboards and Fiberboards. Bruxelas, 2006.

GOUVEIA, F.N.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake na fabricação

de painéis de partículas orientadas (*OSB*) e não orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 7-12. 2000.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – *OSB*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 365-370, 2003.

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

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.. Produção de painéis de partículas orientadas “*OSB*” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 89-94, 2003.

IWAKIRI, S.; MENDES, S. A.; IWAKIRI, S.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – *OSB*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, abr./jun. 2008.

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

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 368p

MACEDO, Laurenn Borges de. **Painéis *OSB* de madeira *Pinus* sp. e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)**. 84 f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & Dry Fiberboard Manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publication, 1977. 672p

McNATT, J.D.; BACH, L.; WELLWOOD, R.W. Contribution of flake alignment to performance of *strandboard*. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 45-50. 1992.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JUNIOR, S.; SALDANHA, L. K. Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis *OSB* (Oriented *Strand* Board). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2000.

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

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

MENDES, L. M.; 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**, v. 10, n. 1, p. 01-17, jan./jul. 2003.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis produzidos com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.38, n86, p. 285-295, jun. 2010.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; CARVALHO, A. G.; SILVA, F. A.; GUIMARÃES JR., J. B. Efeito da inclusão laminar e do tipo de adesivo sobre as propriedades de painéis OSB de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 116-127, nov. 2012.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: technology**. London: Southern Illinois University, 1974. V.2, 245p.

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

POBLETE, H. *Tableros de Partículas*. Valdivia: El Kultrún, 2001.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul./set. 2009.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F.. Painéis de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 37, p. 437-446, 2009.

SINCOL. Uso do *Pinus* em portas, batentes e guarnições. **Relatório técnico**. Caçador – SC, 2008.

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

SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var.**

***hondurensis***. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. Production and properties of Japanese oriented *strand* board I: effect of *strand* length and orientation on strength properties of oriented *strand* board. **Journal of wood science**, v. 46, n. 4, p. 289-295, 2000.

TECVERDE. **OSB**. Disponível em <http://www.tecverde.com.br/>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

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

VIDAURRE, G. B., SILVA, A. N., ROCHA, J. D., BRITO, E. O. Produção de painéis de partículas de madeira de duas espécies nativas da Mata Atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 235-242, 2004.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n.4, p.471-582, 2004.

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

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p. 227 - 239, 1999.