

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

Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB

Rafael Farinassi Mendes

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

**Piracicaba
2010**

Rafael Farinassi Mendes
Engenheiro Florestal

Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB

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

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

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Mendes, Rafael Farinassi

Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB / Rafael Farinassi
Mendes. - - Piracicaba, 2010.
115 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Chapa de partículas 2. Painéis - Propriedades físicas - Propriedades mecânicas -
Tratamento térmico 3. Produtos derivados da madeira I. Título

CDD 674.835
M538e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

A Deus.

Aos meus pais Fátima e Luiz.

A minha irmã Juliana.

Aos meus parentes e amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais Fátima e Luiz, minha eterna gratidão pela vida, pela educação, pelo carinho, pelo exemplo de esforço e dignidade.

Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

À Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP pela oportunidade oferecida.

Ao professor Geraldo Bortoletto Júnior, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao professor José Otávio Brito pela contribuição dada ao trabalho e por ter aberto as portas do seu laboratório para a realização dos tratamentos térmicos das partículas.

A todos os professores e funcionários da área de tecnologia e utilização de produtos florestais do departamento de ciências florestais da ESALQ/USP.

A todos os amigos da pós-graduação do programa de recursos florestais e do LLAPAM. Em especial a Natalie, Isabela, Juliana, Paula, Saly, Alex e Udemilson.

Enfim, a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Características gerais da espécie e da madeira de <i>Pinus taeda</i> L.	23
3.2 Painéis OSB	24
3.2.1 Painéis de madeira	24
3.2.2 Conceito de painel OSB, suas utilizações e vantagens	26
3.2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB	27
3.2.3.1 Fatores inerentes a madeira	27
3.2.3.1.1 Espécies	27
3.2.3.1.2 Características anatômicas	29
3.2.3.1.3 Densidade da madeira	30
3.2.3.1.4 Teor de umidade	31
3.2.3.1.5 Extrativos	32
3.2.3.1.6 pH	32
3.2.3.2 Fatores inerentes ao processo	33
3.2.3.2.1 Densidade dos painéis	33
3.2.3.2.2 Razão de compactação	35
3.2.3.2.3 Composição dos painéis	36
3.2.3.2.4 Tipo e teores de adesivo	38
3.2.3.2.5 Parafina	40
3.2.3.2.6 Dimensões das partículas	41
3.2.3.2.7 Orientação das partículas	42
3.2.3.2.8 Umidade das partículas	43

3.2.3.2.9 Ciclo de prensagem	44
3.3 Tratamento térmico	46
3.3.1. Alterações químicas e físicas	47
3.3.2. Alterações anatômicas, na resistência biológica e na coloração	48
3.3.3. Alterações mecânicas	49
3.3.4 Pesquisas sobre o tratamento térmico de partículas e painéis de madeira ..	50
4 MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1 Matéria-prima	57
4.2 Determinação da densidade básica da madeira	57
4.3 Produção e secagem das partículas <i>strand</i>	58
4.4 Delineamento experimental	59
4.5 Tratamento térmico das partículas	60
4.6 Determinação do teor de umidade de equilíbrio das partículas	64
4.7 Manufatura dos painéis	65
4.7.1 Aplicação do adesivo e da parafina sobre as partículas de madeira	65
4.7.2 Orientação e formação do colchão de partículas	66
4.7.3 Prensagem dos painéis	67
4.8 Tratamento térmico dos painéis OSB	68
4.9 Obtenção de corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB	69
4.10 Análise estatística	71
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1 Densidade básica da madeira e razão de compactação nominal dos painéis OSB	73
5.2 Teor de umidade das partículas	73
5.3 Teor de umidade, densidade aparente e espessura dos painéis OSB	74
5.4 Absorção de água	79
5.5 Inchamento em espessura e Taxa de não-retorno em espessura	81
5.6 Módulo de ruptura à flexão estática.....	85
5.7 Módulo de elasticidade à flexão estática.....	87

5.8 Ligação interna	90
5.9 Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma CSA 0437 (1993)	92
6 CONCLUSÕES	93
7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
REFERÊNCIAS	97
ANEXO	107

RESUMO

Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB

O objetivo principal do presente estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico das partículas strand (pré-tratamento) e dos painéis (pós-tratamento) sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis, visando principalmente à melhoria de sua estabilidade dimensional. O delineamento experimental se constituiu de sete tratamentos, com a avaliação de: Duas temperaturas de tratamento das partículas (200 e 240°C) por um período de 60 minutos; do pós-tratamento térmico dos painéis produzidos com e sem a aplicação de parafina na temperatura de 220°C e por um período de 12 minutos; e do aumento do teor de adesivo e a aplicação de parafina em painéis sem tratamento térmico. Para cada tratamento foram produzidos três painéis com densidade nominal de 0,65 g/cm³, colados com adesivo à base de fenol-formaldeído. O ciclo de prensagem dos painéis foi o seguinte: pressão de 35 kgf/cm², temperatura de 160°C e tempo de 8 minutos. A partir dos painéis produzidos, corpos-de-prova foram obtidos para a realização de ensaios físicos (Teor de umidade, densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicos (Módulo de ruptura, Módulo de elasticidade e Ligação interna), conduzidos conforme as normas ASTM D 1037 (2006) e DIN 52362 (1982). Mediante à análise dos resultados dos ensaios foi possível extrair as seguintes conclusões: Os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente a 240°C apresentaram-se superiores aos outros tratamentos em todas as propriedades físicas avaliadas, sendo portanto o tratamento com a melhor estabilidade dimensional. O pós-tratamento térmico promoveu melhora significativa das propriedades físicas dos painéis sem comprometer as propriedades mecânicas. O pré-tratamento térmico teve efeito mais pronunciado sobre as propriedades dos painéis do que o pós-tratamento térmico, proporcionando a melhoria das propriedades físicas e a diminuição das propriedades mecânicas. O aumento do teor de adesivo e a aplicação de parafina não se mostraram tão eficientes na estabilidade dimensional dos painéis OSB quanto o tratamento térmico aplicado nas partículas na temperatura de 240°C.

Palavras-chave: OSB; Pós-tratamento térmico; Pré-tratamento térmico; Propriedades físico-mecânicas

ABSTRACT

Effect of thermal treatment on OSB panels properties

The main objective of this study was to evaluate the effect of thermal treatment of strand particles (pre treatment) and panels (post-treatment) on the physical and mechanical properties of the panels, aiming primarily to improve the dimensional stability. The experimental design was consisted of seven treatments, with the evaluation of: two temperatures of particle treatment (200 and 240 °C) during 60 minutes; thermal post-treatment of the panels produced with and without the application of paraffin at 220 ° C during 12 minutes; and the increase in adhesive content and application of paraffin on the panels without thermal treatment. Three panels were produced for each treatment with nominal density of 0.65 g/cm³, bonded with phenol-formaldehyde adhesive. The pressing cycle of the panels was as follows: 8- minute press time, pressure of 35 kgf/cm², and temperature of 160 °C. From the panels produced, specimens were obtained to conduct physical tests (moisture content, bulk density, water absorption and thickness swelling) and mechanical (Modulus of Rupture, Modulus of elasticity and internal bonding), tests according to ASTM D 1037 (2006) and DIN 52 362 (1982) standard. Through the analysis of test results it was possible to conclude: The panels produced with the particles thermally treated at 240°C were superior to the others for all physical properties evaluated, and therefore it was treatment with better dimensional stability. The post-thermal treatment caused a significant improvement of the physical properties of the panels without compromising the mechanical properties. The pre-thermal treatment had an effect on the properties of the panels that was more pronounced than the post-heat treatment, providing improved physical properties and lower mechanical properties. The increase in adhesive content and the application of paraffin were not as efficient in the dimensional stability of OSB as the thermal treatment applied on the particles at 240 ° C.

Keywords: OSB; Pos-thermal treatment; Pre-thermal treatment; Physical-mechanical properties

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de classificação dos painéis de madeira	25
Figura 2 – A) Gerador de partículas com um bloco de madeira a ser processado B) Geração das partículas: 1- Tábua; 2- Bloco; 3- Corte; 4- Partícula gerada ..	58
Figura 3 – A) Secagem das partículas ao ar livre B) Secagem das partículas em estufa com renovação e circulação de ar	59
Figura 4 – Estufa laboratorial com controle automático de tempo de aquecimento e de temperatura	61
Figura 5 – A) Caixas para tratamento térmico dentro da estufa (vista frontal) B) Termopares colocados em cada uma das bandejas e as mangueiras de injeção e saída de nitrogênio	62
Figura 6 - Sistema de aquisição de dados (Agilent)	62
Figura 7 – Monitoramento do tratamento térmico das partículas a 200°C	63
Figura 8 – Monitoramento do tratamento térmico das partículas a 240°C	64
Figura 9 – Balança determinadora de umidade	65
Figura 10 – Encoladeira	66
Figura 11 – Orientador de partículas: 1- Estrutura de madeira; 2- Tampa de descarga; 3- Lâminas de ferro; 4- Caixa formadora e 5- Colchão formado	67
Figura 12 - A) Prensa hidráulica manual, utilizada na pré-prensagem a frio dos colchões de partículas B) Prensa hidráulica motorizada, utilizada na prensagem a quente dos colchões de partículas	68
Figura 13 - Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis	70
Figura 14 - Coloração das partículas: A- Partículas sem tratamento; B- partículas tratadas termicamente a 200°C; e C- Partículas tratadas termicamente a 240°C	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos painéis utilizada na produção de OSB	37
Tabela 2 – Delineamento experimental para a produção dos painéis OSB	60
Tabela 3 – Valores médios do teor de umidade das partículas	73
Tabela 4 – Valores médios de teor de umidade, densidade aparente e espessura dos painéis OSB	75
Tabela 5 – Valores médios de absorção de água dos painéis OSB	79
Tabela 6- Valores médios de inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB	82
Tabela 7 – Valores médios de módulo de ruptura à flexão estática dos painéis OSB ...	85
Tabela 8 – Valores médios de módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis OSB	88
Tabela 9 – Valores médios de ligação interna dos painéis OSB	90
Tabela 10 - Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma CSA 0437 (1993).....	92

1 INTRODUÇÃO

O *Oriented Strand Board* (OSB) está no mercado mundial desde o início da década de 80, e é considerado como uma segunda geração dos painéis *Waferboard*. Os painéis OSB são produzidos a partir de partículas do tipo *strand* (fina e longa), sendo que a camada interna pode estar disposta aleatoriamente ou perpendicular às camadas externas (MENDES et al., 2003). No Brasil, a produção do OSB em escala industrial é relativamente recente e teve início no ano de 2002 (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004).

Os painéis OSB são utilizados em aplicações estruturais ou não estruturais tais como paredes, forros, pisos, componentes de vigas, embalagens, etc. A utilização desses painéis tem crescido significativamente e ocupado espaços antes exclusivos aos compensados. A possibilidade da sua produção a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial, bem como o fato de sua performance ser atualmente reconhecida por grupos normativos, construtores e consumidores, são alguns dos fatores que explicam o crescimento do uso dos painéis OSB (IWAKIRI, 2005). Uma vantagem que pode ser destacada na produção de OSB em relação aos painéis compensados é o alto grau de aproveitamento das toras, pois as perdas são mínimas e ocorrem nas fases de geração e secagem das partículas, na forma de finos (MENDES, 2005).

A principal limitação do OSB está em sua baixa estabilidade dimensional em comparação ao compensado, já que o OSB em contato com a umidade apresenta maior inchamento em espessura e expande linearmente muito mais.

Neste contexto, diversas pesquisas têm sido conduzidas no intuito de melhorar a estabilidade dimensional da madeira e conseqüentemente de seus subprodutos, dentre as quais, por exemplo: a modificação química (HILL, 1999; CHANG; CHANG, 2003); o preenchimento (ROWELL, 1981; CHEN et al., 1995; WINISTORFER et al., 1996; PAZ, 2000); e o tratamento térmico (GOHAR; GUYONET, 1998; KIM et al., 1998; DEL MENEZZI, 2004; BRITO et al., 2006; PESSOA, 2006). Além dessas, há outras formas de buscar a melhoria da estabilidade dimensional, as quais estão relacionadas à produção do painel, não sendo consideradas como tratamento específico, tais como uso de diferentes tipos e teores de adesivos (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY, 1993; MURAKAMI et al., 1999; WU, 1999; IWAKIRI et al., 2000;

MENDES, 2001) e adição de repelentes de água, como por exemplo a parafina (MENDES, 2001; IWAKIRI et al., 2003; GUIMARÃES JUNIOR et al., 2008).

O processo de termorreificação, sendo uma das formas de tratamento térmico, consiste em aplicar calor à madeira ou em produtos de madeira, em temperaturas entre 100 e 250 °C, a qual irá depender do grau de modificação que se pretende. O resultado é a obtenção de um produto sólido apresentando características diferenciadas, comparativamente à sua madeira original (BRITO et al., 2006).

Algumas pesquisas relativamente recentes vêm sendo desenvolvidas sobre o tratamento térmico de painéis OSB, sob dois modos distintos: pós e pré-tratamento. No pós-tratamento, o qual é aplicado ao painel já consolidado, os resultados têm se mostrado promissores quanto à melhoria da estabilidade dimensional e da resistência a ataque de xilófagos (DEL MENEZZI, 2004; DEL MENEZZI; TOMASELLI, 2006; OKINO et al., 2007; LÁRA SANTOS et al., 2009). Enquanto que no pré-tratamento, ao qual se refere ao tratamento das partículas strands antes da sua consolidação em painéis, poucos são os estudos realizados.

Considerando que os estudos sobre OSB no Brasil são ainda iniciais, e que o efeito do tratamento térmico de partículas *strand* e do painel já consolidado são ainda pouco abordados, o desenvolvimento de pesquisas nesse sentido é de grande importância, à medida que visa à melhoria da qualidade dos painéis OSB, principalmente em relação a sua estabilidade dimensional.

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar o efeito do pré-tratamento térmico em partículas do tipo *strand* e do pós-tratamento térmico em painéis já consolidados sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis OSB produzidas com a madeira de *Pinus taeda* L., visando principalmente à melhoria da estabilidade dimensional.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a) Avaliar o efeito do tratamento térmico das partículas *strand* (pré-tratamento) nas propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB e identificar a temperatura ótima, com vistas para a melhoria das suas propriedades;
- b) Avaliar o efeito do tratamento térmico aplicado nos painéis OSB já consolidados (pós-tratamento) sobre suas propriedades físico-mecânicas;
- c) Comparar o efeito dos tratamentos térmicos nas partículas (pré-tratamento) e nos painéis (pós-tratamento);
- d) Avaliar o efeito do aumento do teor de adesivo e da aplicação de parafina, em tratamentos distintos, sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis;
- e) Comparar o efeito do tratamento térmico das partículas e dos painéis com o do aumento do teor de adesivo e da aplicação de parafina, em tratamentos distintos, sobre a estabilidade dimensional dos painéis;
- f) Verificar os tratamentos cujos painéis atendem aos valores mínimos das propriedades requeridas em norma.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais da espécie e da madeira de *Pinus taeda* L.

A espécie *Pinus taeda* L. é nativa dos Estados Unidos e distribui-se naturalmente do sul de New Jersey e Delaware à região central da Florida e ao leste do Texas, e do Vale do Mississipi ao extremo sudeste de Oklahoma, Arkansas central e sul do Tennessee. Cresce em regiões ao nível do mar até 610 m de altitude, com precipitação média anual de 1000 a 1500 mm, temperaturas de -23 a 38°C e preferencialmente em solos com má drenagem superficial (ESTADOS UNIDOS, 2002).

O plantio com finalidades comerciais de *P. taeda* L. no Brasil iniciou-se em 1948, pelo Serviço Florestal de São Paulo, que introduziu neste estado áreas com quatro espécies de “pinheiros amarelos do sul dos Estados Unidos - Southern Yellow Pines” (*P. palustris*, *P. echinata*, *P. elliotii* e *P. taeda*). Os dois últimos, frente ao sucesso na adaptação e desenvolvimento, têm sido referenciais na plantação de florestas de coníferas na região sul do Brasil (PINUSLETTER, 2008).

O *Pinus taeda* L., quando árvore adulta em povoamentos comerciais, pode chegar a alturas de 30 a 40 metros. Possui casca caracteristicamente gretada, ramos acinzentados e acículas de coloração verde-escura. A estrutura reprodutiva masculina, também chamada de cone masculino, tem coloração amarelado-amarronzada e formato cilíndrico. Já os cones femininos são ovado-oblongos, sésseis ou subsésseis e muito persistentes na árvore. Por possuir sementes aladas muito pequenas e facilmente dispersadas pelo vento, cuidados na plantação devem ser tomados, como a construção de quebra-ventos ao redor do cultivo, a fim de evitar que as sementes se espalhem por outras áreas onde a espécie possa ser indesejada (ESTADOS UNIDOS, 2002).

A madeira dessa espécie apresenta o alburno com coloração amarelo-clara, enquanto que o cerne possui cor marrom-avermelhada. O alburno é geralmente largo no crescimento secundário. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de 20 anos. A madeira é pesada, resistente, macia a moderadamente dura e razoavelmente resistente a choques. Possui grã reta, textura média e valores de massa específica média aos 30 anos de idade entre 0,46 e 0,57 g/cm³ (MUÑIZ, 1993; ESTADOS UNIDOS, 2002; HASSEGAWA, 2003)

O *Pinus taeda* L. fornece madeira de qualidade para serraria, indústria de celulose e papel, indústria de painéis, dentre os quais o OSB.

3.2 Painéis OSB

3.2.1 Painéis de madeira

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

Os painéis de madeira mantêm algumas vantagens da madeira sólida e não se encontram restritos às dimensões dos fustes das árvores, agregam valor a materiais de baixa aceitação como resíduos de serrarias e desbastes, e possibilitam a eliminação de defeitos provenientes da anatomia da madeira tais como nós, medula e desvios da grã, conferindo ao produto final homogeneidade muito maior que a encontrada na madeira serrada. Adicionalmente, através da especificação da densidade dos painéis, pode-se controlar a maioria das suas propriedades. Além disso, durante o processo de manufatura dos painéis, é possível adicionar produtos específicos com a finalidade de aumentar a sua resistência ao fogo e à biodeterioração (IWAKIRI, 2005).

A importância do setor de painéis de madeira é crescente, devido a necessidade do uso racional dos recursos florestais, às restrições no uso e comercialização de madeiras nativas e ao melhor aproveitamento que proporciona à matéria-prima madeira no processamento, fatos que fortalecem as indústrias de painéis, as quais utilizam quase que exclusivamente madeiras de florestas plantadas, sendo na sua maioria do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* (SALDANHA, 2004).

Desde o início da produção de compensados no início do século XX nos Estados Unidos, diversos tipos de painéis de madeira foram surgindo até o presente, sempre com a preocupação de buscar novos produtos com melhor relação custo/benefício, para as finalidades específicas a que se destinam. De maneira simplificada, os painéis de madeira podem ser classificados conforme o esquema demonstrado na Figura 1.

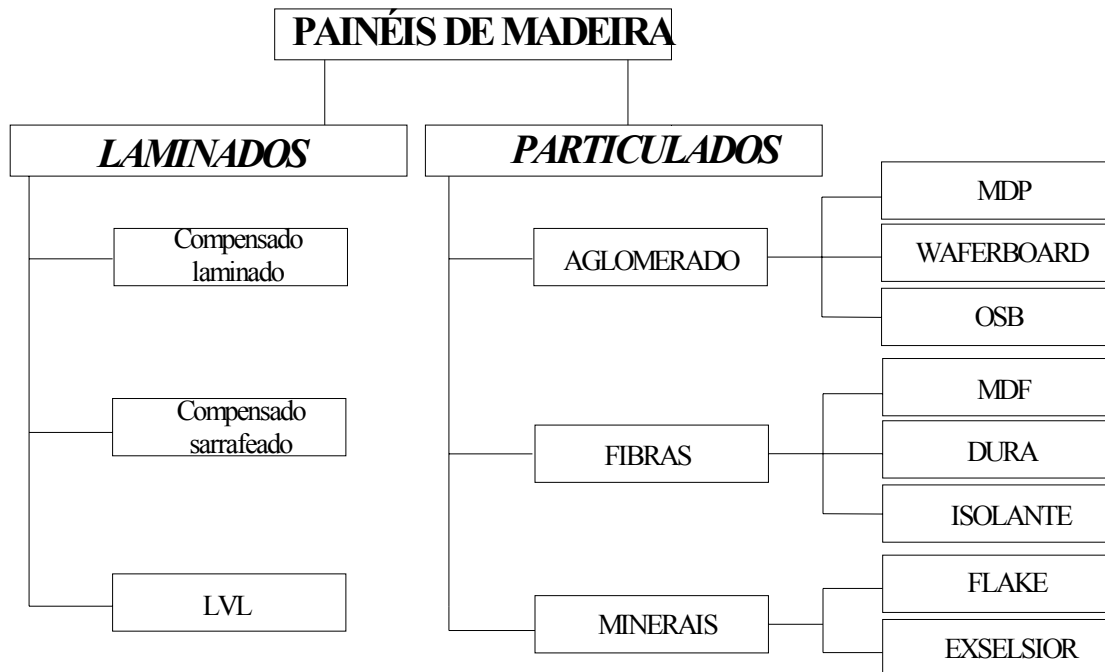


Figura 1 – Esquema de classificação dos painéis de madeira
(Adaptado de IWAKIRI, 2005)

O setor de painéis de madeira no Brasil tem expandido-se a altas taxas nos últimos anos, devido à estabilização da inflação, ao crescimento da economia e à disponibilidade de crédito, os quais proporcionam um ambiente propício para investimentos por parte da indústria visando ao atendimento de uma demanda de consumo crescente, antes reprimida por condições econômicas desfavoráveis. Segundo dados da ABIPA (2010), com investimentos previstos da ordem de US\$ 1,2 bilhão, para o período de 2007/2010, a capacidade instalada brasileira dará um salto extraordinário de 6,0 milhões de m³ em 2007, para 10,3 milhões de m³, em 2012. Tais investimentos são direcionados em grande parte à expansão das linhas de produção de MDP e MDF, cujos produtos atendem prioritariamente a indústria moveleira, mas também alguns segmentos da construção civil.

3.2.2 Conceito de painel OSB, suas utilizações e vantagens

O *Oriented Strand Board* (OSB) é um painel estrutural produzido a partir de partículas do tipo *strand* (fina e longa), sendo que a camada interna pode estar disposta aleatoriamente ou perpendicular as camadas externas (MENDES et al., 2003a). Sua produção iniciou-se na década de 70 nos Estados Unidos e Canadá, sendo uma segunda geração dos painéis *Waferboard*. No Brasil, a primeira e única unidade industrial de painéis OSB foi instalada no Município de Ponta Grossa - PR, em 2001, com a capacidade de produção de 350.000 m³/ano.

Os painéis OSB podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos, bem como de espécies de menor valor comercial. Competem com os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (WALKER, 1993, citado por BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004).

A resistência do painel OSB é similar à do compensado (TSOUMIS, 1991; ALBUQUERQUE, 2000). Entretanto, Bortoletto Júnior e Garcia (2004) encontraram propriedades mecânicas diferenciadas entre painéis OSB e compensados comerciais de mesma espessura. Os autores concluíram que a substituição direta desses dois tipos de materiais não é recomendável e deve ser precedida de estudos que levem em consideração a magnitude das propriedades requeridas pelos produtos em uso.

Os principais usos destinados aos painéis OSB são: forro para telhados; base para paredes e pisos em construções residenciais; empacotamento e engradamento; pallets para estocagem a seco; estandes para exibição; armações para mobília; assento e encosto de cadeira; base para tampo de escrivaninha; painéis de paredes decorativas; tampos de mesas industriais; miolo para composto destinado a piso de madeiras nobres; piso acabado; construção de depósitos e tanques; tapumes e divisórias; formas descartáveis para concreto; decks e plataformas; paredes de carroceria de caminhões; chalés rústicos; cercas e janelas; prateleiras e estantes; alma para vigas em I; painéis de apoio estrutural; painéis estruturais isolantes (miolo de espuma); garagens e barracões de ferramentas (JANSSENS, 1998).

Especialmente na América do Norte, o crescimento da indústria de OSB, cujo produto vêm ocupando nichos de mercado antes exclusivos ao compensado, deve-se a fatores tais como: (1) redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; (2) o OSB pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial; (3) Não

apresenta delaminação, espaços internos vazios ou buraco de nó; (4) a largura dos painéis OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras; (5) A performance do OSB é atualmente reconhecida pelos grupos normativos, construtores e consumidores (JANSSENS, 1998). Entretanto, a grande vantagem na produção de OSB está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem nas fases de geração e secagem das partículas na forma de finos (IWAKIRI, 1999). Segundo Rêgo (2008), o aproveitamento das toras de madeira na produção de OSB pode chegar a 96%.

Algumas pesquisas sobre OSB estão sendo desenvolvidas com enfoque na fabricação do produto e na melhoria do seu desempenho (WANG, 2004). De acordo com Albuquerque (2000), os projetos de pesquisa sobre OSB, os quais se encontravam em andamento nos institutos de pesquisa e universidades da América do Norte, concentravam atenção especial para a melhoria da estabilidade dimensional (expansão linear e inchamento em espessura) qualidade do acabamento superficial; proteção contra xilófagos e fogo e modelagem do comportamento mecânico dos painéis durante a prensagem a quente.

3.2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB

Vários fatores contribuem para a conformação das propriedades e da qualidade final dos painéis OSB. Dentre eles, podem ser destacados os inerentes à madeira tais como espécies, características anatômicas, densidade, teor de umidade, extrativo, pH; e os inerentes ao processo tais como densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, tipo e teores de adesivo, parafina, dimensão das partículas, orientação das partículas, umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem e pressão específica (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

3.2.3.1 Fatores inerentes a madeira

3.2.3.1.1 Espécies

Painéis OSB podem ser produzidos a partir de árvores de pequenos diâmetros e espécies de baixo valor comercial. Porém, determinadas características da madeira são requeridas.

São preferidas espécies de madeira com baixo teor de extrativos, pois em geral, espécies com alto teor de extrativos são propensas a causar problemas durante o ciclo de prensagem. Os extrativos podem interferir na cura do adesivo, provocando uma menor eficiência de colagem entre as partículas do tipo *strand* (CLOUTIER, 1998).

As espécies de madeira utilizadas também exercem influência sobre o tempo de prensagem. Suas características anatômicas particulares estão presentes nas partículas que são submetidas à compressão e influem na resistência oferecida à compactação sob condições de pressão e temperatura (MATOS, 1988).

De acordo com Wang e Winstorfer (2000) e Gouveia (2001), desde o início das indústrias de painéis de partículas orientadas (OSB), somente algumas poucas espécies de madeira tem sido utilizadas em grandes quantidades para a produção comercial, fato que abre a possibilidade para pesquisas com novas espécies.

Iwakiri et al. (2004) ressalta a importância da utilização de espécies alternativas de rápido crescimento, visando aumentar o volume de oferta de matéria-prima para uso industrial madeireiro.

No Brasil, os painéis OSB são produzidos utilizando madeiras do gênero *Pinus*. Esta matéria-prima confere aos painéis propriedades semelhantes às dos produzidos pelas indústrias americanas e canadenses, cujos países são os maiores produtores mundiais (Mendes et al., 2001). Segundo Iwakiri et al. (2004) o *Pinus taeda* L. é a espécie mais empregada na produção de chapas OSB no Brasil.

De acordo com Marto et al. (2006), as espécies de pinus que são indicadas para produção de painéis particulados são as seguintes: *P. taeda*, *P. oocarpa*, *P. pinea*, *P. palustris*, *P. pinaster*, *P. patula*, *P. caribaea*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi* e *P. tecunumannii*.

Gouveia et al. (2000), estudando o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na fabricação de chapas OSB, concluíram que o *Eucalyptus grandis* é uma espécie tecnicamente viável, principalmente quanto à sua resistência mecânica. Por outro lado, os autores afirmam que a utilização da madeira de *Eucalyptus urophylla* com idade superior a 18 anos é desaconselhável na fabricação de chapas OSB, em virtude de sua alta densidade.

Mendes et al. (2008) ressaltam a importância de estudos com diferentes tipos de madeira para a produção de OSB. Os mesmos autores concluíram em seu trabalho que a madeira de *Cunninghamia lanceolata* apresenta potencial para essa finalidade.

Brito (1984) e Keinert Júnior e Matos (1987), estudando o comportamento de painéis *waferboard* produzidos com várias espécies do gênero *Pinus*, plantados no Estado do Paraná, entre as quais o *Pinus taeda*, *P. elliottii*, *P. pinaster* e *P. patula*, obtiveram resultados amplamente satisfatórios.

Mendes et al. (2002), estudando o comportamento de cinco espécies de pinus tropicais, concluíram que as madeiras de *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus chiapensis* são potencialmente viáveis para utilização nas indústrias de chapas OSB. Adicionalmente, concluíram que a mistura das espécies não afetou as propriedades dos painéis, o que viabilizaria os seus usos em conjunto, aumentando a disponibilidade de matéria-prima.

Gouveia (2001) afirma que a mistura de espécies é uma prática possível de ser empregada e pode contribuir para garantia do abastecimento contínuo dos parques industriais florestais. Adicionalmente, a prática da mistura permite que espécies com massa específica mais elevada sejam combinadas com espécies de massa específica mais baixa, resultando em painéis resistentes e com boa taxa de compressão.

Iwakiri e Keinert júnior (1990), avaliando as propriedades físico-mecânicas de painéis *waferboard* produzidos com a madeira de *Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus glabra* e *Pinus palustris*, observou que todas as espécies avaliadas apresentam-se potencialmente viáveis para a produção dos painéis do tipo *waferboard*.

Iwakiri et al. (2008), avaliando a utilização das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* em associação com a madeira de *Pinus taeda* L. para produção de painéis OSB, concluíram que com a inclusão de partículas de *Pinus taeda* L. em proporção de 50% na camada interna, verificou-se uma tendência clara de aumento nos valores de MOE e MOR em relação aos painéis OSB produzidos apenas com eucalipto.

3.2.3.1.2 Características anatômicas

Uma das características anatômicas mais importantes da madeira é a proporção de cerne e alburno, a qual é dependente da espécie, idade, sítio, solo, clima, entre outros, e varia dentro da mesma árvore. O cerne, em relação ao alburno, é mais denso, menos permeável e apresenta maior

concentração de extrativos. Estas características reduzem a mobilidade do adesivo e podem prejudicar as reações químicas de cura do adesivo (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Albuquerque (2000), mudanças abruptas na densidade da madeira e alta porosidade, resultam em alta proporção de finos ao final do processo de produção das partículas. Portanto, folhosas com porosidade difusa e coníferas com transição gradual entre lenho juvenil e tardio são mais desejáveis para a produção de OSB.

Pecho et al. (2005) estudaram a influência da madeira juvenil de *Pinus radiata* sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB e chegaram à conclusão de que este tipo de madeira afetou algumas dessas propriedades, em função da largura dos anéis de crescimento e da espessura da parede celular. A ligação interna foi especialmente afetada e o seu valor reduzido. De outro lado, os valores de MOR foram independentes do tipo de madeira, juvenil ou adulta. O inchamento em espessura aumentou significativamente com o aumento da proporção de madeira juvenil. Os painéis produzidos com 70% de madeira juvenil apresentaram os melhores resultados para as propriedades físico-mecânicas e, com base neste resultado, os autores sugeriram ser esta uma combinação adequada para ser avaliada em escala industrial.

3.2.3.1.3 Densidade da madeira

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades dos painéis, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. A densidade da madeira é um importante fator na seleção das espécies que podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que as espécies de madeira com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais recomendadas para produção de painéis de partículas. Já segundo Cloutier (1998), de modo geral as densidades mais desejadas para a produção de painéis OSB variam de 0,25 a 0,45 g/cm³, e espécies de densidades entre 0,45 e 0,55 g/cm³ podem ser utilizadas, mas são menos desejadas e mais freqüentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

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

Outro efeito importante da densidade da madeira é no que se refere a sua alteração dimensional. Madeiras de alta densidade apresentam maiores alterações dimensionais com mudanças no conteúdo de umidade, gerando maiores tensões na colagem. Além disso, a densidade apresenta uma relação inversa com a porosidade e a ação de penetração de adesivos na estrutura lenhosa (IWAKIRI, 2005).

A densidade da madeira também afeta a relação entre pressão de prensagem e resistência do colchão de partículas durante a prensagem à quente e, como consequência disso, provoca mudanças na distribuição da densidade vertical, resultando num considerável impacto no processo de manufatura do painel e nas suas propriedades físico-mecânicas (WANG; WINSTORFER, 2000).

Madeiras de baixa densidade propiciam taxas de compressão altas, assim como maiores superfícies de contato entre as partículas de madeira; o contrário do que ocorre com madeiras de alta densidade. As madeiras de baixa densidade geram painéis mais uniformes, os quais possuem maior capacidade de distribuição de forças entre as partículas do tipo *strand*, melhorando suas propriedades de resistência a flexão e ligação interna (ALBUQUERQUE, 2000).

3.2.3.1.4 Teor de umidade

Para Albuquerque (2000), o teor de umidade recomendado para as madeiras na produção de OSB é em torno do ponto de saturação das fibras (28 a 30%), pois valores mais altos dificultam o corte da madeira. Segundo Maloney (1993), altos teores de umidade da madeira podem causar a obstrução do equipamento no momento da geração das partículas; aumentar o custo de secagem e gerar partículas do tipo *strand* felpudos, os quais dificultam a colagem e podem necessitar de maior quantidade de adesivo.

De outro lado, madeiras com elevado teor de umidade, normalmente, possuem um melhor rendimento em partículas úteis, devido a reduzida quantidade de finos produzida, pois naquela condição de umidade a quebra de fibras se reduz durante a produção das partículas (MALONEY, 1993).

Outro ponto importante em relação ao teor de umidade da matéria-prima está no planejamento de qualquer unidade industrial, tendo em vista o dimensionamento da capacidade necessária do secador (MENDES, 2001).

3.2.3.1.5 Extrativos

São considerados como extrativos elementos estranhos presentes no lúmen ou parede celular, os quais são constituídos de materiais orgânicos tais como graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, gomas e resinas. Estes materiais são produzidos principalmente durante a formação do cerne e seus efeitos predominantes estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira (MENDES, 2001).

Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de OSB. Em geral, as espécies com alto teor de extrativos são propensas à estouros do painel no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem, também, interferir na cura do adesivo e proporcionar uma ligação de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

De acordo com a espécie e as condições de secagem da madeira, pode ocorrer a migração e a concentração excessiva de extrativos na superfície, com a formação da chamada “superfície contaminada”, prejudicando o contato adesivo – madeira. A concentração de extrativos nas camadas superficiais da madeira pode bloquear a passagem da água e retardar a sua taxa de evaporação, aumentando o tempo de prensagem (MENDES, 2001).

3.2.3.1.6 pH

O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se normalmente na faixa de 3 a 6. Mudanças de pH, em função da migração de extrativos das camadas mais internas para as camadas superficiais das peças de madeira, podem ocorrer e inibir as reações químicas de endurecimento do adesivo, prejudicando o desenvolvimento da resistência e da coesão adequada durante o processo de colagem. Já o conteúdo de compostos inorgânicos presentes na madeira, o que após combustão completa são chamadas de cinzas na madeira, encontra-se geralmente abaixo de 0,5%, e não afeta diretamente a performance da ligação adesiva, no entanto pode alterar o pH e em decorrência disso acarretar prejuízo à colagem (IWAKIRI, 2005).

Na prática, um baixo valor de pH da madeira pode acelerar o processo de cura do adesivo e resultar na chamada “pré-cura”, cujo efeito altera a habilidade de fluidez, umectação e penetração do adesivo na madeira, comprometendo a qualidade da colagem do painel (IWAKIRI, 2005).

3.2.3.2 Fatores inerentes ao processo

3.2.3.2.1 Densidade dos painéis

A densidade do painel está relacionada a quantidade de partículas para uma determinada dimensão do painel, ou seja, quanto maior a quantidade de partículas, de uma mesma densidade, para uma dada dimensão, maior sua densidade. Densidade está que influência significativamente as propriedades físico-mecânicas dos painéis (MALONEY, 1993).

No Canadá, as indústrias produzem painéis OSB com densidade na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm³ (CLOUTIER, 1998).

Painéis de partículas de uma determinada densidade, produzidos com espécies de baixa densidade, apresentam maior resistência à flexão estática e ligação interna, embora a resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura sejam pouco afetadas. Isto ocorre porque uma determinada massa de partículas de uma espécie de baixa densidade ocupa um volume superior ao da mesma massa de partículas de iguais dimensões obtidas de uma espécie de maior densidade. Quando os colchões de partículas de madeira de baixa densidade são comprimidos, para as dimensões finais do painel, ocorre um contato relativamente maior entre as partículas, devido ao maior volume de partículas, maior área superficial de partículas e maior ou razão de compactação (*vide* item 3.2.3.2.2), resultando em melhor adesão entre as partículas. Por outro lado, para painéis de partículas de alta densidade, a quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas passa a ser o fator controlador da resistência do painel. Portanto, para se obter certo valor de resistência com madeira de maior densidade, a densidade do painel deve ser aumentada (MOSLEMI, 1974).

Entretanto, quanto mais elevada for a densidade dos painéis, maior será a dificuldade na usinagem, fato que pode se constituir como uma barreira na aceitação desses produtos junto ao

mercado convencional, já acostumado com a utilização de painéis de densidade menores (MALONEY, 1993).

Iwakiri et al. (2008), estudando a produção de painéis OSB com as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, concluiu que o aumento da densidade dos painéis de 0,70 g/cm³ para 1,0 g/cm³ acarretou o aumento dos valores de MOE e MOR para as duas espécies, assim como uma diminuição na taxa de absorção de água (AA) após 24 horas de imersão. Porém, o inchamento em espessura (IE) não foi afetado pelo aumento da densidade dos painéis.

Mendes et al. (2003b), avaliando o efeito da densidade sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., observaram que o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,80 g/cm³ causou um aumento da ligação interna e do MOE e do MOR à flexão estática, tanto na direção perpendicular como na paralela. O IE dos painéis não foi afetado após 02 horas de imersão, no entanto, houve um aumento do IE após 24 horas de imersão em água, como também da taxa de não-retorno em espessura (TNRE).

Sobral Filho (1982) concluiu que aumentando a densidade, na produção de painéis OSB da madeira de *Abies grandis* (Dougl.), de 0,67 para 0,73 g/cm³ houve aumento do MOR, do MOE e da ligação interna. No entanto, não se observou efeito da densidade dos painéis sobre o IE após 24 horas de imersão em água.

Mendes et al. (2008) observaram que o aumento da densidade nominal de 0,70 para 0,90 g/cm³, na produção de painéis OSB com a madeira de *Eucalyptus* spp., resultou em maiores valores de MOE e MOR em flexão estática, da resistência da ligação interna e da resistência à compressão paralela, os quais foram promovidos pelo aumento da quantidade de material lenhoso e do valor da razão de compactação. Não houve influência da densidade dos painéis sobre a AA e o IE.

Saldanha (2004), avaliando painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L. e com densidade de 0,65 e 0,90 g/cm³, observou que, conforme aumentou-se a densidade dos painéis, os valores do MOE e MOR, no sentido paralelo, e da ligação interna, aumentaram de forma estatisticamente significativa. No que diz respeito às propriedades físicas, o autor observou que o aumento da densidade dos painéis resultou em redução da AA, bem como em aumento do IE e também da TNRE.

Segundo estudo realizado por Zhou (1990), citado por Mendes (2001), avaliando a densidade dos painéis OSB (0,55; 0,68 e 0,81 g/cm³) produzidos com a madeira de *Populus euramericana*, concluiu que o aumento da densidade promove a melhora significativa do MOR, MOE, ligação interna e resistência ao arrancamento de pregos e parafusos. Enquanto que para AA e IE, houve um aumento dos valores médios obtidos, sendo atribuído ao aumento do número de partículas para a confecção de painéis de maior densidade, e conseqüentemente do número de sítios higroscópicos.

3.2.3.2.2 Razão de compactação

A relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, denominada razão de compactação, ou taxa de compressão, exerce um efeito marcante nas propriedades dos painéis particulados, tendo em vista o processo de densificação do material para consolidação do painel até a espessura final.

Kelly (1977), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Tsoumis (1991) recomendam que a razão de compactação deva estar na faixa de 1,3 a 1,6 para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada. Relatam, ainda, que painéis de mesma densidade nominal produzidos com material de baixa densidade, apresentam, normalmente, maior resistência à flexão e à ligação interna, quando comparados a painéis confeccionados com material de alta densidade, especialmente porque os painéis produzidos com a madeira de menor densidade possuem uma razão de compactação maior. Já as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores.

Partículas geradas de espécies de madeiras densas, quando compactadas durante a prensagem dos painéis, produzem uma baixa razão de compactação. Portanto, para apresentarem propriedades aceitáveis para a maioria das utilizações, há necessidade de se alterar outras variáveis do processo, como por exemplo, o aumento do teor de adesivo, o que aumenta o custo de produção. O motivo do emprego preferencial de espécies relativamente leves é devido ao fato de que tais espécies podem ser comprimidas em um painel de partículas de média densidade, com a garantia de que uma suficiente área de contato entre partículas é proporcionada durante a operação de prensagem, para realizar uma boa colagem (MENDES, 2000b).

Iwakiri (1989), analisando as propriedades de painéis waferboard produzidos a partir de diferentes espécies de madeira constatou que, na maioria dos casos, os painéis com menor razão de compactação foram os que apresentaram maior resistência da ligação interna, o que segundo ao autor deve estar relacionado a diminuição da quantidade de adesivo por partícula nos painéis produzidos com maior razão de compactação.

3.2.3.2.3 Composição dos painéis

De acordo com Iwakiri et al. (2003), a composição estrutural dos painéis em camadas cruzadas melhora a sua resistência mecânica e a estabilidade dimensional nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel.

Mendes et al. (2000a), produzindo painéis OSB em uma única camada e em camadas cruzadas, utilizando partículas de madeira de *Pinus taeda* L., concluíram que os painéis de três camadas apresentaram valores de MOE e MOR estatisticamente superiores, quando comparados aos painéis de uma única camada.

Mendes et al. (2008), avaliando a influência da composição em camadas nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB com madeira de *Eucalyptus* spp. concluíram que a composição do painel com uma camada (HO) e com três camadas cruzadas (HE) influenciou de forma significativa e positiva nos resultados de MOE, no sentido paralelo e perpendicular. Para o MOR, o mesmo foi verificado apenas no sentido perpendicular. Para a compressão paralela ao plano do painel, os painéis HO apresentaram melhores resultados para os ensaios no sentido paralelo à orientação das partículas da face do painel, enquanto que, no sentido perpendicular, os resultados foram inferiores em relação aos painéis HE. Explica-se o fato pela força nesse ensaio ser aplicada paralela à orientação das partículas.

Com relação à direção de orientação das partículas nas camadas superficiais e no centro do painel, Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal (face/miolo) está na faixa de 40:60 a 60:40, baseada no peso seco das partículas, em percentagem. Adicionalmente, o autor informa que estas proporções são as mais utilizadas pelas indústrias canadenses e americanas de OSB.

Iwakiri et al. (2003) afirma que os painéis produzidos com proporção de 40:60 (face/miolo) apresentam propriedades de flexão estática melhor balanceadas entre as direções paralela e perpendicular, em comparação às chapas com proporção de 60:40.

A Tabela 1 mostra exemplos de algumas das proporções face/miolo/face já experimentadas na manufatura de painéis OSB em diferentes laboratórios.

Tabela 1 – Composição dos painéis utilizada na produção de OSB

Proporção Face / Miolo / Face	Referência
Camada única	Sobral Filho, 1981
15/70/15*	Geimer, 1982
Camada única	Zhow, 1990
30/40/30 e 25/50/25*	Avramidis e Smith, 1989
33,3/33,3/33,3*	Au et al, 1992
33,3/33,3/33,3*	Macnatt et al, 1992
Camada única	Garcia et al, 1999
20/60/20 e 30/40/30*	Cloutier, 1998
5/90/5 e 10/80/10*	Zhang et al, 1998
Camada única	Wu, 1999
25/50/25, 15/70/15 e 10/80/10*	Murakami et al, 1999
Camada única	Gouveia et al, 2000
25/50/25*	Wang et al, 2000
5/90/5, 15/70/15, 25/50/25 e 25/30/35*	Suzuki e Takeda, 2000
Camada única e 33,3/33,3/33,3*	Mendes et al 2001
30/40/30 e 20/60/20*	Iwakiri et al, 2003
25/50/25*	Gouveia et al, 2003
60/40*	Pereira, 2003
20/60/20*	Iwakiri et al, 2004

* Valores numéricos em percentual da massa total dos painéis. Fonte: Mendes (2005)

Mendes et al. (2003) constataram que a diminuição da relação face/miolo provocou uma redução da diferença entre os valores na direção perpendicular e paralela de MOE e MOR, bem como o aumento dos valores de resistência à compressão paralela e perpendicular (em relação a superfície do painel).

Avramidis e Smith (1989) observaram que com o aumento da proporção face/miolo houve uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE, MOR e expansão linear). Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação das partículas das camadas da face,

enquanto que na posição perpendicular, observou-se o contrário, ocorrendo redução de MOE e MOR e aumento na expansão linear. Os mesmos autores não observaram efeito claro das proporções das camadas testadas nas propriedades de AA e IE. Por outro lado, observaram uma diminuição da ligação interna dos painéis OSB quando a relação face/miolo foi aumentada.

3.2.3.2.4 Tipos e teores de adesivo

A escolha do tipo e do teor de adesivo empregado na produção de painéis de partículas de madeira está relacionada às condições de uso do produto e aos custos. Por ser o componente de maior custo, torna-se muito importante a definição do tipo e quantidade de adesivo a ser utilizado, no sentido de se buscar uma otimização na relação custo-benefício (MENDES et al., 2010).

Os adesivos dos tipos fenol-formaldeído (FF) e difenilmetano di-isocianato (MDI) são os mais utilizados para a produção de painéis OSB, principalmente porque conferem ao produto alta resistência à umidade (CLOUTIER, 1998).

De acordo com Spelter et al. (2006), a maioria das indústrias de OSB na América do Norte utiliza o adesivo FF, enquanto que o adesivo MDI é usado para painéis que exigem melhor qualidade. O MDI em comparação ao adesivo FF apresenta cura mais rápida e tolera umidades mais elevadas do colchão, no entanto, apresentam como desvantagens o maior custo e o fato de aderirem em metais, o que faz com que eles sejam mais utilizados na camada interna dos painéis.

Iwakiri et al. (2003) afirmam que a quantidade do adesivo fenol-formaldeído utilizada em escala industrial na produção de painéis OSB pode variar de 3,0 a 6,0% (base peso seco das partículas).

Brochmann et al. (2004), avaliando o tipo de adesivo e sua posição em relação as camadas de partículas na manufatura de painéis OSB, com o objetivo principal de melhoria da estabilidade dimensional, observaram que o adesivo fenol-formaldeído quando aplicado nas faces e o MDI aplicado no miolo resultou em menores valores de IE e AA. Os autores atribuíram tais fatos a cura mais rápida e a uma maior ligação adesiva proporcionada pelo adesivo MDI em relação a fenol-formaldeído.

Mendes et al. (2003), avaliando o efeito do teor do adesivo fenol-formaldeído nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB de madeira de *Pinus* spp., verificaram que o

aumento do teor de 4 para 6% provocou a melhoria dos valores de compressão paralela, MOE e MOR no sentido perpendicular, redução dos valores de AA e IE e da TNRE, mas apesar disso, em relação a norma de comercialização CSA 0437 (1993), não foi observado diferença na classificação dos painéis.

Enquanto que Okino et al. (2009), avaliando o efeito do aumento do teor de adesivo em painéis OSB de 5 para 8%, produzidos com os adesivos uréia-formaldeído (UF) e FF e com as madeiras *Hevea brasilienses*, *Pinus taeda* L. e *Cupressus* spp., observaram que, no geral, o aumento do teor de adesivo proporciona aos painéis atenderem os valores estipulados pela norma CSA 0437 (1993), fazendo com houvesse o aumento no MOR e MOE (paralelo e perpendicular), ligação interna, arranque de parafuso e dureza janka.

Gouveia et al. (2003) avaliaram o efeito de três teores de adesivo (4, 6 e 8%) à base de fenol-formaldeído sobre a qualidade de painéis OSB e observaram que o aumento da quantidade de adesivo proporcionou a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, apesar de que, em relação a norma CSA 0437 (1993), não foi verificado diferença na classificação dos painéis. Os autores argumentaram que a adesão entre as camadas foi favorecida com os aumentos da quantidade de adesivo e, por consequência, da sua disponibilidade por área superficial de partículas, proporcionando, dessa maneira, melhoria da ligação entre elas.

Recentemente no Brasil, começaram a surgir como alternativas os adesivos compostos do tipo melamina-uréia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF), com a finalidade de melhorar a estabilidade dimensional dos painéis com menor custo de produção (SALDANHA, 2009).

Saldanha (2009), avaliando a utilização dos adesivos PMUF (fenol-melamina-uréia-formaldeído), FF (fenol-formaldeído) e MUF (melamina-uréia-formaldeído) na produção de painéis OSB, com partículas de madeira de *Pinus taeda* L., concluiu que os tipos alternativos de adesivo PMUF e MUF não contribuíram para melhorar as propriedades de MOE e MOR em ambos os sentidos de flexão estática e na ligação interna. Com relação à estabilidade dimensional, os painéis produzidos com PMUF apresentaram comportamento similar aos produzidos com FF, não ocorrendo o mesmo para MUF, o qual se mostrou inferior.

Mendes et al. (2007), avaliando a utilização de adesivos alternativos PMUF e MUF em comparação ao adesivo FF para a produção de painéis OSB com madeira de *Eucalyptus* spp., concluíram que os valores de ligação interna, compressão paralela, AA e IE não foram afetados

pelo tipo de adesivo, enquanto que para o MOR (paralelo e perpendicular) e MOE (perpendicular), os melhores resultados foram obtidos com os dois adesivos alternativos.

3.2.3.2.5 Parafina

A função da parafina é conferir ao painel repelência à água em estado líquido, sendo que esta redução da higroscopicidade promove a melhora das propriedades AA e IE, porém o efeito é significativo apenas em curto intervalo de tempo (MOSLEMI, 1974). De acordo com o mesmo autor, a quantidade de parafina adicionada ao painel pode variar para cada espécie de madeira utilizada, mas geralmente não é maior que 1%, sendo que após a aplicação de 0,6 a 0,8% de parafina já não se percebe a melhora das propriedades físicas.

Para Cloutier (1998), uma proporção mais elevada de parafina além de não ser eficiente na redução da AA e IE, pode ainda resultar na diminuição da resistência mecânica do painel. Kelly (1997) afirma que esta redução nas propriedades de resistência dos painéis é devida à influência da parafina sobre a reação de cura do adesivo.

Mendes (2001), estudando a influência das variáveis de produção nas propriedades de painéis OSB, concluiu que a adição de 1% de parafina acarretou aumento significativo do MOE no sentido perpendicular, enquanto que no sentido paralelo o MOE não foi afetado, bem como não foram também o MOR (paralelo e perpendicular) e a compressão paralela. Já para as propriedades ligação interna, AA, IE e TNRE, houve reduções dos seus valores.

Matos (1988) observou valores médios superiores tanto para o MOR como para o MOE, quando foi adicionado 1% de parafina na produção de painéis *wafboard*. O autor atribuiu tal fato ao acréscimo de umidade das partículas quando foi aplicada a solução aquosa de parafina, o que resultou em menor resistência do colchão de partículas à compactação, devida ao aumento da plasticização da madeira em função da maior umidade durante o processo de prensagem, contribuindo para melhorar o contato entre as partículas e também otimizar a polimerização do adesivo, pelo menos nas camadas superficiais.

Iwakiri et al. (2003), avaliando o efeito da aplicação de parafina em painéis OSB produzidos com *Eucalyptus grandis*, observaram que a incorporação de parafina melhorou a estabilidade dimensional dos painéis produzidos com 4,5% de adesivo, enquanto que nos produzidos com 6% de adesivo tal efeito não foi observado. Adicionalmente, os autores

concluíram que, de uma maneira geral, a incorporação da parafina não afetou significativamente os valores médios das propriedades MOR e MOE (paralelo e perpendicular) e ligação interna.

3.2.3.2.6 Dimensões das partículas

Dentre as variáveis de processamento que afetam as propriedades dos painéis OSB, a geometria das partículas é uma das mais importantes. No processo de geração de partículas, os elementos dimensionais a serem controlados são o comprimento, a largura e a espessura. A relação entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada razão de esbeltez, influencia diretamente a resistência do painel OSB à flexão estática, a qual aumenta com o aumento da razão de esbeltez. Por outro lado, com o aumento da espessura das partículas, mantendo-se o seu comprimento constante, e sem alterar o teor de adesivo aplicado, ocorre o aumento da disponibilidade de adesivo por unidade de área superficial, resultando em maiores valores de ligação interna (MALONEY, 1993).

As indústrias canadenses utilizam geometrias diferentes nas faces e no miolo do painel OSB. As faces são compostas por partículas com 25 mm de largura, 120 a 150 mm de comprimento e 0,5 mm de espessura, enquanto que no miolo as partículas apresentam 19 a 25 mm de largura, 100 a 120 mm de comprimento e 0,5 a 0,8 mm de espessura (CLOUTIER, 1998).

Segundo Bodig e Jayne (1982) citados por Iwakiri (1989), as dimensões e a forma das partículas são umas das variáveis que mais influenciam as propriedades mecânicas dos painéis. Partículas mais longas e mais finas produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, enquanto que partículas mais curtas e mais espessas produzem painéis com maior resistência de ligação adesiva e menor estabilidade dimensional. A geometria das partículas influi também no acabamento, colagem e aplicação de produtos laminados nas superfícies dos painéis (IWAKIRI, 1989).

A razão de esbeltez ideal para painéis estruturais de três camadas pode variar de 120 a 200 para partículas das camadas externas, e está em torno de 60 para partículas da camada interna do painel. O valor da razão de esbeltez influencia significativamente a qualidade dos painéis em termos de propriedades mecânicas e dimensionais, qualidade de acabamento e usinabilidade. A geometria das partículas apresenta interações diretas com a área de contato entre partículas e o consumo relativo de adesivo. As variações nas dimensões das partículas possibilitam a produção

de diferentes tipos de painéis, com propriedades adequadas para aplicações específicas (IWAKIRI, 2005).

Mendes (2001) produziu painéis OSB com três larguras de partículas (15, 20 e 25 mm) e observou que as diferentes larguras não influenciaram o MOE e o MOR à flexão estática na direção perpendicular as fibras. Na direção paralela verificou uma tendência de aumento do MOE e do MOR com a diminuição da largura das partículas, mas sem que houvesse diferença estatística significativa.

Saldanha (2004) avaliando a espessura de partículas (0,4; 0,7 e 1,0 mm), pressão de prensagem (40, 60 e 80 kgf/cm²) e tipos de adesivos (FF, MUF e PMUF) sobre as propriedades de painéis OSB de *Pinus taeda* L., relata que o aumento na espessura das partículas, de 0,4 à 1,0 mm, afetou significativamente apenas a propriedade ligação interna. Enquanto que para as propriedades MOE, MOR, AA, IE e TNRE, os painéis produzidos com as partículas de espessura de 0,7 mm apresentaram os melhores resultados.

3.2.3.2.7 Orientação das partículas

Pode-se dizer que a orientação das partículas é a variável mais importante na produção de painéis OSB, pois esta operação corresponde à concepção inicial que deu origem ao produto (JANSSENS, 1998).

Segundo Cloutier (1998) o comprimento e a largura das partículas do tipo *strand* são parâmetros que controlam o seu próprio grau de orientação na formação dos painéis OSB.

A relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo três, para possibilitar boa orientação das partículas no painel (MALONEY, 1993).

Segundo Suzuki e Takeda (2000) o ângulo formado na distribuição das partículas no colchão é altamente dependente da altura de queda das partículas. Alturas menores proporcionam melhor orientação devido ao ângulo formado ser menor. Os autores relatam também que o ângulo formado na distribuição das partículas no colchão é altamente dependente do comprimento das partículas, ou seja, partículas mais longas proporcionam melhor orientação, resultando em aumentando das propriedades de flexão.

Gouveia et al. (2000), estudando as propriedades de chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas, demonstraram que as primeiras apresentaram valores de MOE e de MOR

superiores. Enquanto que Zhou (1990), citado por Mendes (2001), afirma que a orientação das partículas causa um aumento no sentido paralelo de 40% no MOR e de 50% no MOE. Não foi observado efeito significativo da orientação das partículas sobre a ligação interna, condutibilidade térmica e as propriedades acústicas dos painéis OSB.

3.2.3.2.8 Umidade das partículas

O conteúdo de umidade final do colchão resulta da adição da umidade das partículas alcançada após a secagem e da umidade que elas absorvem do adesivo depois que o mesmo é aplicado sobre elas na forma líquida. A quantidade total de umidade e sua distribuição através da espessura do colchão de partículas exercem influência não somente sobre o tempo de prensagem, mas também sobre o desenvolvimento do gradiente vertical de densidade, o qual, por sua vez, afeta diretamente as propriedades de flexão estática e ligação interna dos painéis consolidados. As indústrias de OSB, no Canadá, utilizam conteúdo de umidade entre 6 e 8% para as partículas das camadas das faces e entre 4 e 6% para as partículas da camada interna (CLOUTIER, 1998).

De acordo com Matos (1988), a umidade e a temperatura em conjunto promovem a plasticização da madeira, fazendo com que a mesma ofereça menor resistência à compactação sob o efeito da pressão durante a prensagem. Colchões de partículas com teor de umidade elevado e sob pressão requerem um tempo menor para atingir uma determinada espessura final. Por outro lado, colchões de partículas com elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem para que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada, a fim de permitir a adesão entre as partículas das camadas interiores. Adicionalmente, esses elevados teores de umidade podem causar estouro dos painéis ao final da prensagem, momento no qual a pressão de prensagem é aliviada e a pressão do vapor é liberada.

Para Kelly (1977), a transferência de calor desde a superfície até o miolo do colchão de partículas é facilitada com teores de umidade mais elevados. Porém, se a umidade do colchão for excessiva pode interferir negativamente na reação de polimerização do adesivo, principalmente na camada interna do painel, pois na medida em que os pratos aquecidos entram em contato com o material, a umidade tende a migrar para o interior do colchão, o qual encontra-se menos aquecido, proporcionando assim maior dificuldade para a cura do adesivo, resultando em menores valores de ligação interna (KELLY, 1977).

3.2.3.2.9 Ciclo de prensagem

Os parâmetros do ciclo de prensagem podem ser divididos em: tempo de fechamento da prensa, temperatura, pressão de prensagem e tempo de prensagem.

Para Kelly (1977), o tempo de prensagem e a temperatura são os parâmetros mais importantes do ciclo de prensagem, os quais têm que ser cuidadosamente controlados para garantir que a temperatura do centro do painel atinja o nível necessário para a cura do adesivo, sem que para isso uma temperatura elevada promova a degradação da superfície do painel. Afirmando ainda, que a busca da redução do tempo de consolidação dos painéis, sem que ocorra o prejuízo de suas propriedades, é bastante desejável, pois implica em maior volume de produção por unidade de tempo e menor consumo de energia, constituindo ganhos importantes sob o ponto de vista econômico.

Segundo Iwakiri (1989), o tempo de prensagem depende, principalmente, da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, como também da distribuição da umidade no colchão de partículas. As indústrias de OSB do Canadá utilizam, para temperaturas de prensagem entre 200°C e 220°C, tempos de prensagem entre 3 e 6 minutos, dependendo da espessura do painel (CLOUTIER, 1998).

De acordo com Albuquerque (2000), o tempo de prensagem exerce influência sobre as propriedades físico-mecânicas do painel, sobre o controle da sua espessura e qualidade da sua superfície.

Matos (1988), avaliando o efeito de dois tempos de prensagem (8 e 15 minutos) para produção de painéis *wafersboard*, utilizando partículas com 5% de umidade, constatou que o tempo de 8 minutos resultou em painéis com maior IE e menores propriedades mecânicas.

Já a temperatura de prensagem depende principalmente do tipo de adesivo utilizado. Sendo sua principal função promover a cura do adesivo e a plasticização da madeira para facilitar a compressão do colchão de partículas até a espessura final do painel (CLOUTIER, 1998). De acordo com o mesmo autor, as indústrias de OSB no Canadá, as quais utilizam basicamente os adesivos fenol-formoldeído e difenilmetano di-isocianato (MDI), empregam temperatura de prensagem na faixa de 200°C a 220°C, dependendo da espessura do painel.

Brito (1984), Matos (1988) e Iwakiri (1989), utilizando madeira de *Pinus* spp. e adesivo fenol-formaldeído obtiveram, em laboratório, painéis *waferboard* com 15 mm de espessura, de boa qualidade utilizando temperatura de prensagem de 160 a 180°C.

De acordo com Iwakiri (1989) quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência em ligações interna e menor resistência à flexão estática.

Adicionalmente, a temperatura de prensagem em conjunto com a umidade do colchão de partículas e o tempo de fechamento da prensa exerce influência sobre o perfil de densidade dos painéis (MATOS, 1988).

De acordo com Kelly (1997), o perfil de densidade é a variação da densidade em relação a espessura do painel, sendo que quanto maior for a diferença entre as faces e o miolo, maior serão os valores de flexão estática e menor os valores de ligação interna. Segundo o mesmo autor, a avaliação do perfil de densidade é de suma importância, visto que este permite proporcionar parâmetro que possam adequar o ciclo de prensagem, visando favorecer a propriedade mais crítica.

Para Kelly (1977), um tempo muito longo de fechamento faz com que o adesivo nas partículas, em contato com os pratos aquecidos da prensa, polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, fazendo com que a densificação dessas partículas na formação do painel seja menor, o que promove a diminuição do perfil de densidade e por consequência as propriedades físico-mecânicas. Em contrapartida, com um menor tempo de fechamento da prensa, o gradiente vertical de densidade dos painéis será maior, pois o aquecimento das camadas superficiais do colchão ocorre rapidamente e permite a compressão das partículas destas camadas antes do aquecimento do miolo do painel, tornando assim as camadas superficiais do painel mais densificadas em relação ao centro, e o resultado será a formação de painéis com maior resistência à flexão estática, porém com menor ligação interna (ALBUQUERQUE, 2000).

Matos (1988), avaliando o tempo de fechamento da prensa (35 e 100 segundos) na produção de painéis *waferboard* de 15 mm, concluiu que as propriedades MOR, MOE e ligação interna estiveram estreitamente correlacionadas ao tempo de fechamento de prensa e ao gradiente vertical de densidade, com o aumento do MOR e MOE e a diminuição da ligação interna, conforme se aumentou o perfil de densidade.

Enquanto que a pressão de prensagem além de determinar a espessura e a densidade final, ainda ajuda na transferência do calor responsável pela cura do adesivo, proporcionando a consolidação do painel (CALEGARI, 2005). García et al. (2001) descrevem que o calor plasticiza a madeira e polimeriza o adesivo, enquanto a pressão exercida pelos pratos da prensa junta os flocos aderindo-os.

Matos (1988) e Iwakiri (1989), utilizando madeira de *Pinus* spp. e adesivo fenol-formaldeído, obtiveram painéis *waferboard* com 15 mm de espessura de boa qualidade utilizando pressão específica variando de 35 a 40 kgf/cm².

3.3 Tratamento térmico

O tratamento térmico da madeira, sob temperaturas relativamente elevadas, é um método eficaz para melhorar as suas estabilidade dimensional e resistência biológica frente a organismos xilófagos (STAMM, 1956; HILLIS, 1984; BOURGOIS; GUYONNET, 1988; HOMAN et al., 2000; MOMOHARA et al., 2003; ROUSSET et al., 2004). Segundo Homan et al. (2000), Momohara et al. (2003) e Rousset et al. (2004), os tratamentos térmicos da madeira maciça já vêm sendo atualmente aplicados em escala industrial na Finlândia (*Thermowood Process*), França (Termorreificação e *Le Bois Perdure*), Holanda (*Plato-process*) e Alemanha (*Oil-heat-treatment*).

Embora haja diferenças nas técnicas aplicadas nos tratamentos térmicos existentes, a base principal é a mesma, ou seja, a madeira é aquecida à alta temperatura em uma atmosfera pobre em oxigênio. O nível da temperatura utilizada irá depender do grau de modificação da madeira que se pretende, mas deverá exceder 200°C, sendo que temperaturas entre 230 e 240°C são comuns (IRLE, 2009). Burmester (1970) citado por Paul et al. (2006), afirma que o tratamento térmico a baixas temperaturas, por um longo período de duração, não produz o mesmo impacto na modificação da madeira em relação ao uso de temperaturas elevadas por curtos períodos.

A termorreificação é uma das formas de tratamento térmico, cujo processo consiste em aplicar calor à madeira em temperaturas entre 100 e 250 °C. O resultado seria a obtenção de um produto sólido apresentando características diferenciadas, comparativamente à sua madeira original (BRITO et al., 2006).

Del Menezzi (2004) relata que a madeira termicamente tratada pode apresentar alterações nas propriedades mecânicas, na estabilidade dimensional e na resistência biológica, as quais são provocadas principalmente pela degradação térmica dos componentes químicos da madeira, podendo ainda decorrer de mudanças sobre os componentes anatômicos da madeira.

3.3.1 Alterações químicas e físicas

As alterações na composição química da madeira tratada termicamente e também de seus produtos podem explicar muitas das alterações observadas em diversas de suas propriedades. Assim, quando a madeira é aquecida ocorrem mudanças na natureza de seus componentes (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos), sobretudo as hemiceluloses (ou polioses) que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor, o que pode modificar sua higroscopicidade, estabilidade dimensional e permeabilidade (HILLIS, 1984).

De acordo com Byrne e Nagle (1997), a degradação térmica mais intensa das polioses inicia-se à temperatura em torno de 200°C. Tal degradação causa mudanças na higroscopicidade, resistência da madeira aos fungos, na coloração e alteração das propriedades mecânicas.

Tjeerdsma et al. (1998) e Tjeerdsma e Militz (2005), afirmam que o decréscimo da higroscopicidade é proporcionado pela redução da acessibilidade aos grupos hidroxílicos livres (sítios de sorção) e pela formação de polímeros de furfural, os quais são resultados da degradação de açúcares (hemicelulose), que são menos higroscópicos.

Figuerola e Morais (2009), descrevendo o comportamento da madeira a temperaturas elevadas, afirmam que os polímeros da madeira apresentam estabilidade térmica diferenciada em função da rede cristalina de cada espécie. A degradação térmica da hemicelulose ocorre entre 160 e 260 °C, cujo componente é o primeiro carboidrato da madeira a se degradar, devido a sua estrutura heterogênea, à natureza não cristalina de sua estrutura e a seu baixo peso molecular em relação aos outros polímeros da madeira. A degradação térmica da celulose ocorre a temperaturas entre 200 e 280 °C, com uma degradação progressiva que inclui despolimerização e desidratação. A lignina é termicamente mais resistente que os demais carboidratos que compõem a madeira, sua degradação térmica está situada entre 225 e 450 °C, e ocorre na presença de reações exotérmicas.

Brito et al. (2008), analisando os resultados dos tratamentos térmicos das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna*, efetuados sob as temperaturas de 120°C, 140°C, 160°C e 180°C, observaram que as porcentagens de arabinose, manose, galactose e xylose decresceram nas duas espécies avaliadas após os tratamentos. No caso da lignina, houve um aumento significativo no seu conteúdo em relação aos outros constituintes, uma vez que esta apresenta uma maior resistência à temperatura. Quanto ao teor de extrativos, diferentes comportamentos foram observados para as duas espécies. Para o eucalipto, o teor de extrativos tendeu a aumentar, embora as diferenças entre as médias dos tratamentos foram estatisticamente significativas apenas para a madeira tratada termicamente a 180°C. Para o pinus, houve uma redução significativa no teor de extrativos.

3.3.2 Alterações anatômicas, na resistência biológica e na coloração

Boonstra et al. (2006), avaliando a modificação das características anatômicas da madeira de diferentes espécies de coníferas quando submetidas ao tratamento térmico nas temperaturas de 160 e 190°C, observaram que o alburno das madeiras termicamente tratadas mostrou alguns danos nas células do parênquima radial e nas células epiteliais, além de rupturas transversais, fatos que contribuíram para ocorrência de fraturas bruscas das madeiras tratadas quando as mesmas foram submetidas a ensaios de flexão estática.

Irle (2009) afirma que o aumento da resistência ao ataque de fungos é devido ao fato de que a madeira termorretificada apresenta o ponto de saturação das fibras próximo a 15%, percentual que corresponde à praticamente a metade da madeira não termorretificada. Como fungos e bactérias requerem um teor de umidade normalmente acima de 18% para encontrar as condições ideais para colonização e ataque, a madeira termorretificada torna-se menos susceptível a tais agentes.

Num estudo realizado por Pessoa et al. (2006) sobre a termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada sob temperaturas entre 120 e 200°C, observou-se que, embora não tenha havido total imunidade, houve um aumento da resistência da madeira ao ataque de cupins, bem como da mortalidade dos insetos, à medida em que a temperatura de termorretificação aumentou.

O tratamento térmico causa significativo escurecimento da madeira (IRLE, 2009). A mudança de coloração deve-se à degradação química da madeira resultante do tratamento térmico. Em certos casos, tal mudança de coloração pode vir a ser favorável e agregar valor a algumas espécies de madeira (PAVLO; NIEMZ, 2003).

3.3.3 Alterações mecânicas

De modo geral, as modificações químicas e anatômicas da madeira, resultantes do tratamento térmico, acarretam alterações das suas propriedades mecânicas, reduzindo os seus valores (SANTOS, 2000; KUBOJIMA et al., 2000; DEL MENEZZI, 2004; PAUL et al., 2007).

Vital e Della Lucia (1982), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna* aquecida a temperaturas de 105°C, 130°C e 155°C, por períodos de 10, 20, 40, 80 e 160 horas, observaram que o efeito da temperatura nas suas propriedades dependeu do tempo de aquecimento. A exposição da madeira às temperaturas mais elevadas, durante maior número de horas, acarretou maior perda de peso e aumento proporcional nas contrações tangencial, radial e volumétrica, bem como redução no teor de umidade de equilíbrio higroscópico e das expansões tangencial, radial e volumétrica.

Yildiza et al. (2006), avaliando o efeito do tratamento térmico em diferentes temperaturas (130°C, 150°C, 180°C e 200°C) e em diferentes tempos (2, 6 e 10 horas) sobre as propriedades mecânica e química da madeira de *Picea orientalis*, concluíram que os valores de resistência à compressão paralela da madeira tratada diminuíram com os aumentos do tempo de exposição e da temperatura. Os autores atribuíram este fato à ocorrência de alterações químicas na madeira em função do tratamento térmico, principalmente, sobre as hemiceluloses.

Shi et al. (2007), verificando o processo de termorretificação da madeira na temperatura de 200 °C para a avaliação de cinco espécies cultivadas em Québec – Canadá (*Picea* spp., *Pinus* spp., *Abies* spp., *Populus* spp., e *Betula* spp.), observaram que a redução do MOE foi menor do que a do MOR à flexão estática, sendo de até 28% e de até 49%, respectivamente. A dureza da madeira variou de acordo com a espécie. Em alguns casos, observou-se aumento da dureza em relação a madeira sem tratamento térmico.

Boonstra et al. (2007) avaliando o efeito do tratamento térmico (160 e 190°C) sobre as propriedades mecânicas da madeira de *Pseudotsuga menziessii*, *Pinus sylvestris* L., *Picea abies*, e

Pinus radiata D., concluíram que o tratamento térmico promoveu, em ambas as temperaturas, diminuição dos valores de tração paralela e da tenacidade, e aumento das propriedades compressão paralela, MOR e MOE na flexão estática. O motivo da melhora de algumas das propriedades mecânicas avaliadas foi relacionado pelos autores à ocorrência do amolecimento da lignina e de um possível aumento da região cristalina da celulose proporcionado pelo tratamento térmico. Afirmaram ainda, que em temperaturas mais elevadas, uma degradação mais acentuada dos componentes químicos provavelmente irá ocorrer, fazendo com que não seja observada a melhora dessas propriedades.

Pavlo e Niemz (2003) relataram uma diminuição importante do MOR à flexão estática da madeira de *Picea orientalis*, tratada a temperaturas entre 100°C e 200°C. Os autores também observaram que o MOE foi muito menos afetado pelo tratamento térmico do que o MOR.

Poncsak et al. (2009) afirmam que a madeira termicamente tratada apresenta uma tendência de diminuição do valor das suas propriedades mecânicas em relação à madeira não tratada, no entanto, a magnitude da diminuição depende fortemente de todos os parâmetros utilizados no processo e da propriedade avaliada.

3.3.4 Pesquisas sobre o tratamento térmico de partículas e painéis de madeira

Duas formas de tratamento térmico que visam à melhoria de algumas propriedades de painéis de madeira podem ser destacadas: pré-tratamento e pós-tratamento. A diferença básica entre essas duas formas deve-se ao fato que o pré-tratamento térmico é efetuado sobre a matéria-prima dos painéis, ou seja, sobre as partículas, e o pós-tratamento térmico é efetuado sobre os painéis depois de consolidados e estabilizados.

Conforme foi dito anteriormente, o tratamento térmico aplicado aos painéis OSB visa melhorar, principalmente, a sua estabilidade dimensional, pois estes em contato com a água diretamente, ou com a umidade, apresentam significativo inchamento em espessura. Parte do inchamento, intrínseco da madeira, deve-se à adsorção de água junto aos grupos hidroxílicos (sítios de sorção), presentes nos componentes químicos da parede celulósica. A outra parte do inchamento resulta da liberação das tensões de compressão, cujo fenômeno é conhecido como *springback*. O inchamento em espessura causado por esse fenômeno é irreversível e corresponde ao que se chama de taxa de não-retorno em espessura. O inchamento devido às

características intrínsecas da madeira pode ser parcialmente recuperado, quando o painel retorna ao seu teor de umidade inicial.

O benefício do pré-tratamento está relacionado a degradação química dos constituintes das partículas, o que promove a redução da higroscopicidade da madeira, e por consequência a diminuição da absorção de água e do inchamento em espessura. Enquanto que no pós-tratamento, a melhoria da estabilidade dimensional é obtida, principalmente, pela liberação das tensões de compressão.

De acordo com Del Menezzi (2004), as tensões de compressão se desenvolvem durante o processo de produção do painel, na etapa de prensagem, por consequência da compactação do colchão de partículas, e depois permanecem retidas no painel consolidado pela ação da ligação adesiva entre as partículas.

O pós-tratamento térmico promove a liberação das tensões de compressão antes que os painéis entrem em contato com a umidade, o que evita em parte o inchamento em espessura dos mesmos. O mecanismo da liberação das tensões de compressão é atribuído por Del Menezzi (2004), pelo comportamento viscoelástico da madeira, principalmente da lignina, que com o aumento da temperatura aplicada ao painel, faz com que a matriz formada pelos polímeros da madeira passe a apresentar menor resistência à deformação, permitindo que as tensões internas sejam liberadas ou minimizadas, através de um rearranjo da matriz.

Ayrilmis et al. (2009) afirma que vários estudos têm relatado as influências do pós-tratamento térmico em painéis de madeira do tipo aglomerado convencional, *flakeboard*, *waferboard* e OSB, sendo que estes estudos geralmente revelam que o tratamento térmico nos painéis já consolidados proporciona redução do inchamento em espessura, maior durabilidade, e diminuição na resistência e rigidez dos painéis.

Ayrilmis et al. (2009), aplicando um tratamento térmico em painéis MDF, concluíram que o método foi eficaz para reduzir o inchamento em espessura e o teor de umidade de equilíbrio dos painéis, sem resultar em grande efeito na propriedade de flexão estática (MOR e MOE). No entanto, a propriedade AA foi negativamente afetada pelo tratamento térmico.

Xiangquan (1997), avaliando duas temperaturas (190 e 220 °C) e cinco tempos de pós-tratamento térmico (5, 10, 15, 20 e 25 minutos) em painéis aglomerados, produzidos com madeira de rápido crescimento do gênero *Populus*, concluiu que o inchamento dos painéis diminuiu à medida que se aumentou o tempo e a temperatura de tratamento. Mediante ao

resultado obtido, o autor afirmou que a técnica aplicada mostrou-se efetiva para a melhoria da estabilidade dimensional dos painéis aglomerados do seu estudo.

HSU et al. (1989), verificando o efeito do pós-tratamento térmico em painéis *waferboard* e OSB com temperatura de 240 °C, observaram que o tratamento causou o aumento da espessura dos painéis após estes serem retirados da prensa e novamente climatizados. Os autores atribuíram esse resultado à liberação das tensões de prensagem, devida ao amolecimento da lignina e à degradação de alguns carboidratos. Adicionalmente, afirmaram que por consequência disso, os painéis tratados acabam se tornando mais estáveis que os não tratados, passando a apresentar maior capacidade de suportar condições severas de exposição.

Del Menezzi (2004), estudando os efeitos do pós-tratamento térmico, nas temperaturas de 190 e 220°C e tempos de 12, 16 e 20 minutos, sobre painéis OSB comerciais de 12,7 mm de espessura produzidos com a madeira de *Pinus* sp, observou reduções do teor de umidade de equilíbrio dos painéis, do inchamento em espessura, da absorção de água, do MOR paralelo e perpendicular e do MOE paralelo. De outro lado, pequenos aumentos do MOE perpendicular e da ligação interna foram observados em relação aos painéis testemunha. O autor atribuiu a redução do inchamento em espessura à liberação das tensões de compressão e a diminuição da higroscopicidade, proporcionada pelo tratamento térmico, resultando em melhoria da estabilidade dimensional dos painéis. Na análise das variáveis, temperatura e tempo, no tratamento térmico, foi observado que o efeito da temperatura foi muito mais significativo que o do tempo, afetando todas as propriedades; por outro lado, o tempo teve efeito apenas sobre algumas propriedades, principalmente as de estabilidade dimensional. Sendo, desta forma, recomendada a utilização de dois tratamentos: temperatura mais baixa (190°C) por período mais longo (20 minutos) e temperatura mais elevada (220°C) por um período mais curto (12 minutos); por implicarem melhoria significativa da estabilidade dimensional e não afetarem as propriedades mecânicas, quando se compara com os painéis não-tratados.

Ainda no mesmo estudo realizado por Del Menezzi (2004), foram observadas alteração da cor dos painéis OSB e alteração química, principalmente devida à degradação das hemiceluloses (sendo a galactose a mais afetada), proporcionadas pelo tratamento térmico aplicado. Além da viabilidade técnica, o autor também concluiu ser economicamente viável tal tratamento, de modo que a adoção de uma etapa de estabilização dimensional dos painéis (via pós-tratamento) em equipamento próprio, logo após o seu resfriamento, não implicaria em mudanças na

produtividade, na operacionalidade e na flexibilidade da produção, bem como não alteraria significativamente o *layout* da fábrica. Simulações indicaram que um prêmio de venda do painel tratado de apenas 7% já implicaria em variáveis econômicas vantajosas.

Lára Santos et al. (2009), avaliando o efeito do pós-tratamento térmico em painéis OSB com temperaturas de 190 e 220°C, por períodos de 12, 16 e 20 minutos, sobre a resistência da linha de cola ao cisalhamento, obtiveram como resultado uma leve diminuição do valor desta propriedade em relação aos painéis não tratados.

Okino et al. (2007), efetuando o pós-tratamento térmico com temperatura de 190°C e por um período de 12 minutos em painéis OSB produzidos o adesivo uréia-formaldeído e com a madeira de *Cupressus glauca* Lam, concluíram que as propriedades mecânicas (MOR, ligação interna, arrancamento de parafuso e dureza Janka) não foram afetadas pelo tratamento térmico. De outro lado, ocorreu a melhoria das propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional e também aumentou a durabilidade ao ataque de fungos.

Del Menezzi et al. (2008), observaram que o pós-tratamento térmico de painéis OSB em temperaturas de 190 e 220°C, por períodos de 12, 16 e 20 minutos, resultou em diferença significativa da estabilidade dimensional e da rugosidade da superfície. A temperatura foi o principal fator que proporcionou as modificações dessas propriedades, enquanto que a duração do tratamento teve efeito secundário. Os autores concluíram que o tratamento térmico melhorou significativamente a estabilidade dimensional e não afetou negativamente a capacidade de retenção de pregos e a rugosidade da superfície dos painéis OSB tratados.

Del Menezzi e Tomaselli (2006), efetuando o pós-tratamento térmico de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., sob a temperatura de 250°C e por períodos de 4, 7 e 10 minutos, concluíram que o tratamento térmico promoveu a redução do inchamento em espessura, da umidade de equilíbrio e da taxa de não-retorno em espessura dos painéis. Para a propriedade absorção de água não foi observado efeito significativo. Observou-se que quanto maior o tempo de tratamento, maior foi a melhoria da estabilidade dimensional, sendo que esta esteve relacionada com a perda de peso do painel, cuja perda pode ser utilizada como uma variável preditiva para a eficiência do tratamento.

Paul et al. (2006), trabalhando com o pré-tratamento térmico de partículas *strand* a temperaturas de 220 e 240°C por um tempo de 30 minutos, para posterior produção de painéis OSB, concluíram que os percentuais de absorção de água e de inchamento em espessura dos

painéis produzidos com as partículas pré-tratadas termicamente foram reduzidos. Os autores destacaram a importância de tal melhoria ter sido alcançada sem a necessidade de aplicação de uma maior quantidade de adesivos e/ou de agentes repelentes de água tal como a parafina, porém, admitiram que caberia uma análise econômica sobre a alternativa mais viável. Ainda no mesmo estudo, observaram que as propriedades mecânicas ligação interna, MOE e MOR sofreram reduções com o tratamento térmico, sendo o efeito mais pronunciado na temperatura de 220 °C. Adicionalmente, os autores afirmaram que o tempo de tratamento térmico de partículas de madeira é normalmente inferior ao tempo requerido para o tratamento térmico da madeira maciça, devido às reduzidas dimensões das partículas.

Paul et al. (2007) avaliaram painéis OSB produzidos com partículas tratadas termicamente a temperaturas de 180, 200, 220 e 240°C em tempos totais de processo de 30, 60 e 90 minutos e observaram um aumento da resistência dos painéis ao ataque de fungos, conforme aumentou a temperatura do tratamento térmico das partículas *strand*. De acordo com Weiland e Guyonnet (2003), citados por Paul et al. (2007), a melhoria da resistência ao ataque de fungos em consequência do tratamento térmico da madeira pode estar relacionada com os seguintes fatores: a eliminação das pentosanas, fonte primária de nutrientes, resultando em inibição da invasão inicial; a formação de furfural e a reticulação deste com a trama de lignina remanescente fazendo com que o sistema enzimático dos fungos perca a habilidade de identificar a madeira como um substrato; a formação de produtos tóxicos cujas substâncias podem atuar como fungicidas.

Goroyias e Hale (2002), avaliando o efeito do tratamento térmico de partículas *strand* a temperaturas de 200, 210, 220, 230, 240, 250 e 260°C por um período de 20 minutos, sobre as propriedades de painéis OSB, observaram que o aumento da temperatura de tratamento das partículas resultou em redução significativa do inchamento em espessura dos painéis, bem como em redução de 20% do MOR e do MOE à flexão estática.

De acordo com Irlle (2009), o tratamento térmico apresenta como vantagens a melhora da estabilidade dimensional, maior resistência biológica e diminuição da densidade. Em contrapartida, promove também um significativo escurecimento da madeira, redução do valor das suas propriedades mecânicas e aumento de custo em função da redução na eficiência do adesivo. Contudo, o autor relata que existe a potencialidade de se aplicar um tratamento térmico adequado às partículas e fibras de madeira, desde que de alguma forma estas devem ser previamente secas no processo de produção de painéis. As linhas de manufatura existentes poderiam ser

modificadas para obter alguns dos benefícios do tratamento térmico sem implicar em significativo aumento de custos.

Segundo Sernek et al. (2004) o tratamento térmico de partículas de madeira pode vir a prejudicar as propriedades de ligação interna do painel, em função da movimentação dos extrativos para a superfície das partículas e também de uma certa inativação da superfície das mesmas. Chow e Pickles (1971), citados por Del menezzi (2004), argumentam que durante o tratamento térmico da madeira podem ocorrer reações de polimerização dos extrativos e da lignina, gerando produtos com forte natureza adesiva, os quais viriam a contribuir para uma melhoria da resistência da ligação interna do painel.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

No presente estudo foram utilizadas oito árvores da espécie *Pinus taeda* L., aos 35 anos de idade, plantadas na Fazenda Ouro Verde, Projeto Ouro Verde 22, talhão 507351207353, situada no município de Jaguariaíva-PR, de propriedade da Empresa Valor Florestal.

Foram selecionadas aleatoriamente e abatidas árvores com DAP entre 40 e 45 cm. A partir da base de cada árvore abatida foi obtido, seqüencialmente, um disco de 3,0 cm de espessura, 03 toras de 2,5m de comprimento, e mais um disco de 3,0 cm de espessura. As toras obtidas de cada árvore foram codificadas pelas letras A, B e C, respectivamente, 1º tora, 2º tora e 3º tora, a partir da base.

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas 04 toras codificadas pela letra C, provenientes de 04 árvores. O restante do material foi destinado a outros estudos.

Todo o material obtido no campo foi transportado para o Departamento de Ciências Florestais – LCF da ESALQ/USP, para posteriormente ser processado.

4.2 Determinação da densidade básica da madeira

A determinação da densidade básica foi feita com os discos retirados da base e a 7,5 metros de altura das quatro árvores utilizadas nesse estudo. De cada disco foram retiradas duas cunhas opostas, as quais após serem mantidas em água até completa saturação tiveram o seu volume determinado pelo método de imersão em água, de acordo com a norma NBR 11941-02 (2003). Em seguida, foram levadas para uma estufa de circulação forçada de ar na temperatura de $102^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, até que atingissem massa constante, obtendo assim a sua massa seca. A densidade básica foi determinada pela expressão (1):

$$\text{Densidade básica} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Volume saturado}} \quad (1)$$

4.3 Produção e secagem das partículas *strand*

Inicialmente, na Serraria do LCF, as 04 toras codificadas pela letra C foram desdobradas em tábuas com 27 mm de espessura nominal, através de uma serra de fita dotada de carro portadora. Posteriormente, as tábuas obtidas foram processadas em uma desgrossadeira com a finalidade de ajustar as suas espessuras em 25 mm. Depois disso, as tábuas foram cortadas em blocos de madeira com dimensão de 90 mm na direção das fibras, mediante a utilização de uma serra circular esquadrejadeira.

Os blocos de madeira produzidos foram mantidos imersos em água até serem processados em um gerador de partículas, instalado no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira – LLAPAM do LCF. O gerador é dotado de um disco com quatro facas, as quais foram ajustadas para se obter partículas com espessura nominal de 0,65 mm. Em função das dimensões dos blocos e do ajuste das facas do gerador, foram obtidas partículas *strand* com dimensões de 0,65 x 25 x 90 mm (espessura, largura e comprimento, respectivamente), conforme ilustra a Figura 2.

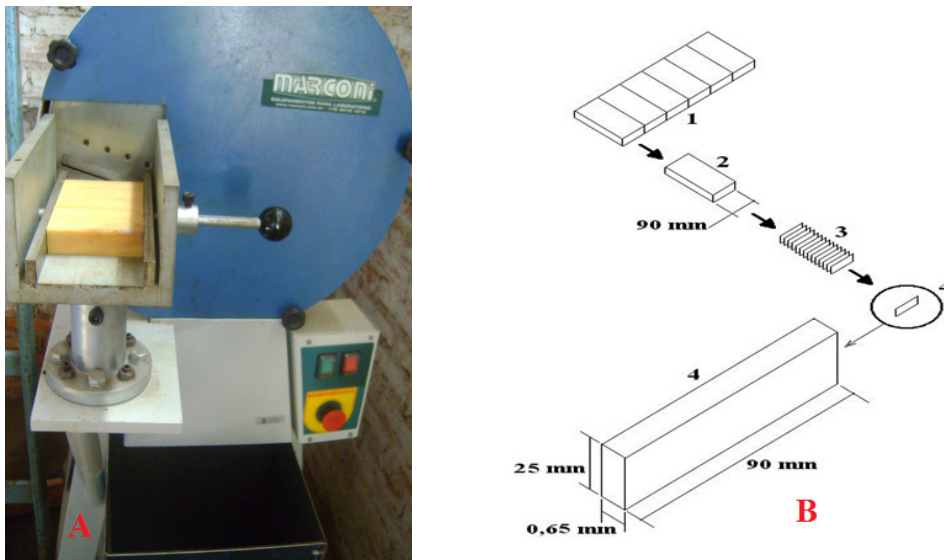


Figura 2 – A) Gerador de partículas com um bloco de madeira a ser processado B) Geração das partículas: 1- Tábua; 2- Bloco; 3- Corte; 4- Partícula gerada

Após serem geradas, as partículas foram dispostas sobre uma lona plástica e revolvidas periodicamente para secarem ao ar livre, permanecendo assim até alcançarem um teor de

umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (Figura 3 A). Posteriormente, as partículas foram levadas para o interior de uma estufa com renovação e circulação de ar forçada e temperatura ajustada em 80°C, permanecendo nessa condição até atingirem um teor de umidade final entre 3 e 4% (Figura 3 B). Depois da secagem em estufa as partículas secas foram peneiradas em uma malha de 16 x 16 mm para retirada de “finos”, e então acondicionadas em sacos plásticos que em seguida foram lacrados para homogeneizar e manter a umidade.



Figura 3 – A) Secagem das partículas ao ar livre B) Secagem das partículas em estufa com renovação e circulação de ar

4.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental se constituiu de sete tratamentos, conforme descrito na Tabela 2. Para cada um dos tratamentos foram produzidos três painéis OSB (repetições), com densidade nominal de 0,65 g/cm³ e dimensões de 560 x 560 x 15,7 mm, totalizando 21 painéis.

Tabela 2 – Delineamento experimental para a produção dos painéis OSB

Tratamentos	Tratamento térmico das partículas	Tratamento térmico dos painéis OSB	Teor de adesivo (%)	Teor de Parafina (%)
T1	–	–	6	–
T2	200°C	–	6	–
T3	240°C	–	6	–
T4	–	220°C/12min	6	–
T5	–	–	6	1
T6	–	–	8	–
T7	–	220°C/12min	6	1

4.5 Tratamento térmico das partículas

Para efetuar o tratamento térmico das partículas *strand* foi utilizada uma estufa elétrica laboratorial programável, com controle automático de tempo de aquecimento e de temperatura, instalada no Laboratório de Química, Celulose e Energia – LQCE do LCF.

As partículas previamente secas a um teor de umidade de 3 a 4% foram colocadas em bandejas, as quais foram inseridas dentro de duas caixas metálicas retangulares e independentes entre si, dotadas de tampas frontais destacáveis. As caixas, contendo cinco bandejas cada uma com as partículas devidamente acomodadas e os termopares instalados, após serem fechadas, foram inseridas dentro da estufa (Figura 4).

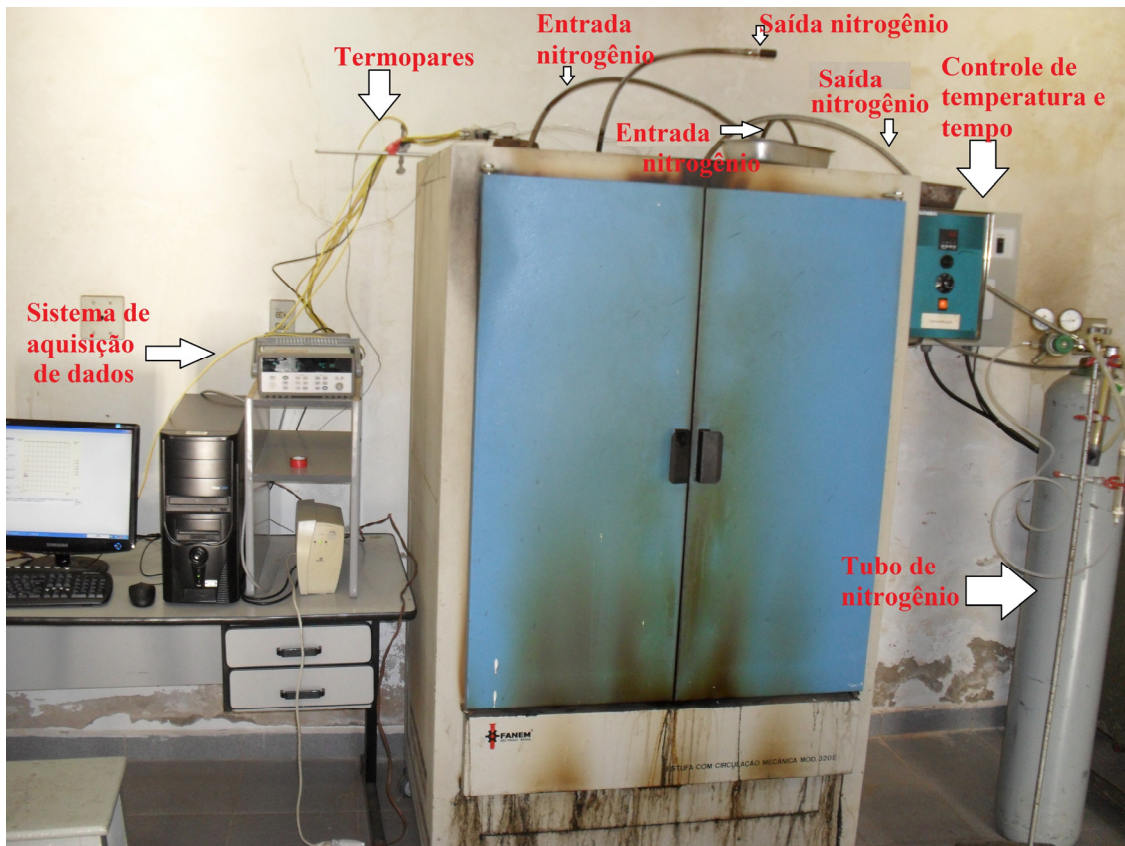


Figura 4 – Estufa laboratorial com controle automático de tempo de aquecimento e de temperatura

Cada uma das referidas caixas possui três orifícios independentes na sua parede superior. Um destes orifícios tem por finalidade permitir a injeção de nitrogênio para o interior da caixa através de uma mangueira conectada a um balão de nitrogênio externo à estufa. O outro orifício tem por finalidade permitir a saída de oxigênio para o exterior da caixa e da estufa, deslocado em função da injeção de nitrogênio, através de outra mangueira. O terceiro orifício, que pode ser vedado ou não, permite a eventual inserção de termopares para o acompanhamento da evolução da temperatura em diferentes pontos no interior da caixa. No caso do presente estudo tal orifício foi vedado e os termopares foram inseridos pela porta de uma das caixas, as quais continham uma borracha de silicone, o que evitou a quebra dos termopares e também proporcionou melhor vedação, permitindo uma adequada distribuição dos termopares dentro da caixa e assim o monitoramento das cinco bandejas de uma delas (Figura 5). A passagem das mangueiras e termopares foi viabilizada através de dois orifícios existentes na parede superior da estufa.

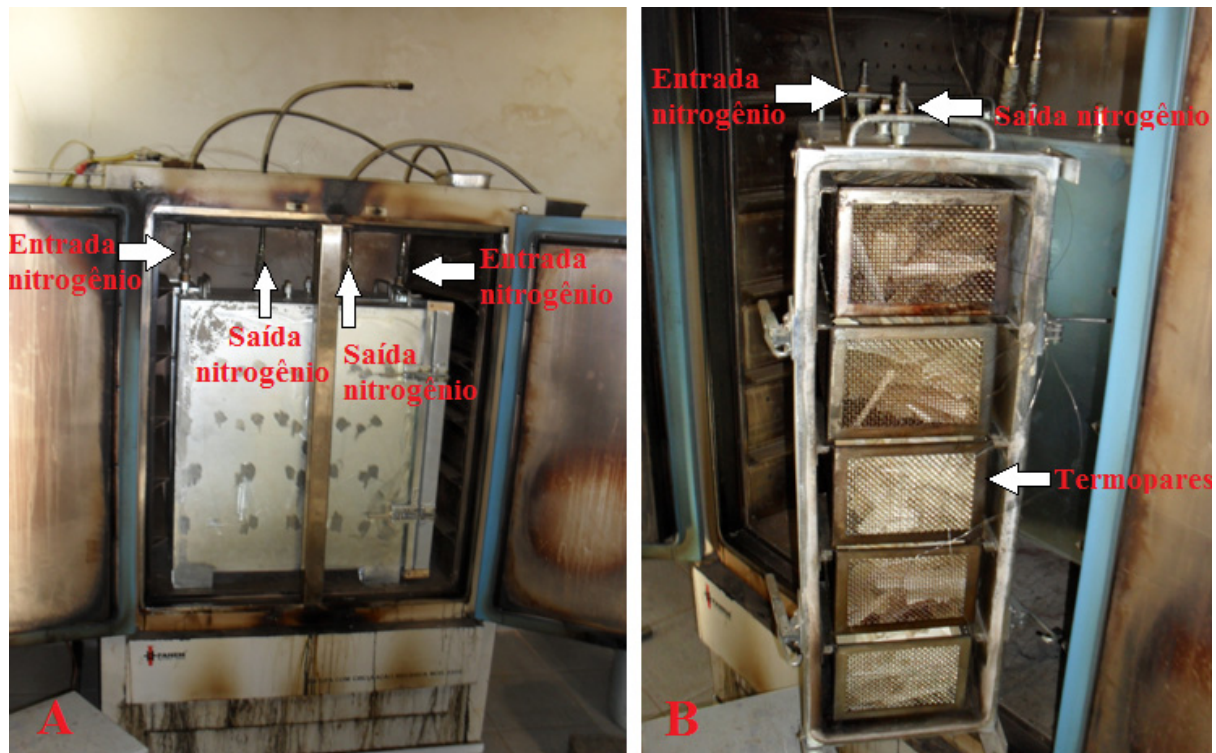


Figura 5 - A) Caixas para tratamento térmico dentro da estufa (vista frontal) B) Termopares colocados em cada uma das bandejas e as mangueiras de injeção e saída de nitrogênio

Os termopares utilizados foram do tipo K, os quais permitem leituras de temperatura na faixa de -200 a 1200 °C. Os termopares foram acoplados a um sistema de aquisição de dados da marca Agilent (Figura 6), através do qual efetuou-se o monitoramento da temperatura e do tempo do tratamento térmico, no interior de cada uma das 05 bandejas de uma das caixas, pois as bandejas da outra caixa não foram monitoradas.



Figura 6 – Sistema de aquisição de dados (Agilent)

Os tratamentos térmicos aplicados às partículas tiveram início com o aquecimento da estufa, da temperatura ambiente até 100 °C, a uma taxa de 3,33°C por minuto, consumindo aproximadamente 30 minutos nesta operação inicial. Após a estufa atingir 100°C, a taxa de aquecimento empregada foi de 1°C por minuto, até que a temperatura estipulada no tratamento (200 ou 240°C) fosse atingida. O tempo efetivo de tratamento térmico das partículas, para ambas as temperaturas, foi de 60 minutos, contado a partir do momento em que a temperatura estipulada foi atingida dentro das bandejas monitoradas, admitindo-se uma tolerância de diferença de temperatura entre elas de no máximo 5°C.

Durante o tratamento térmico das partículas, a ambas as temperaturas, e a partir de 160°C, efetuou-se a injeção contínua de nitrogênio para o interior das caixas até o final do processo, com a vazão de 40 mL/minuto. A injeção de nitrogênio teve por finalidade proporcionar uma atmosfera inerte no interior das caixas e reduzir o risco de incêndio das partículas em função das altas temperaturas que foram aplicadas.

As figuras 7 e 8 apresentam o monitoramento das temperaturas dentro das bandejas nos tratamentos térmicos das partículas a 200 e 240 °C, respectivamente.

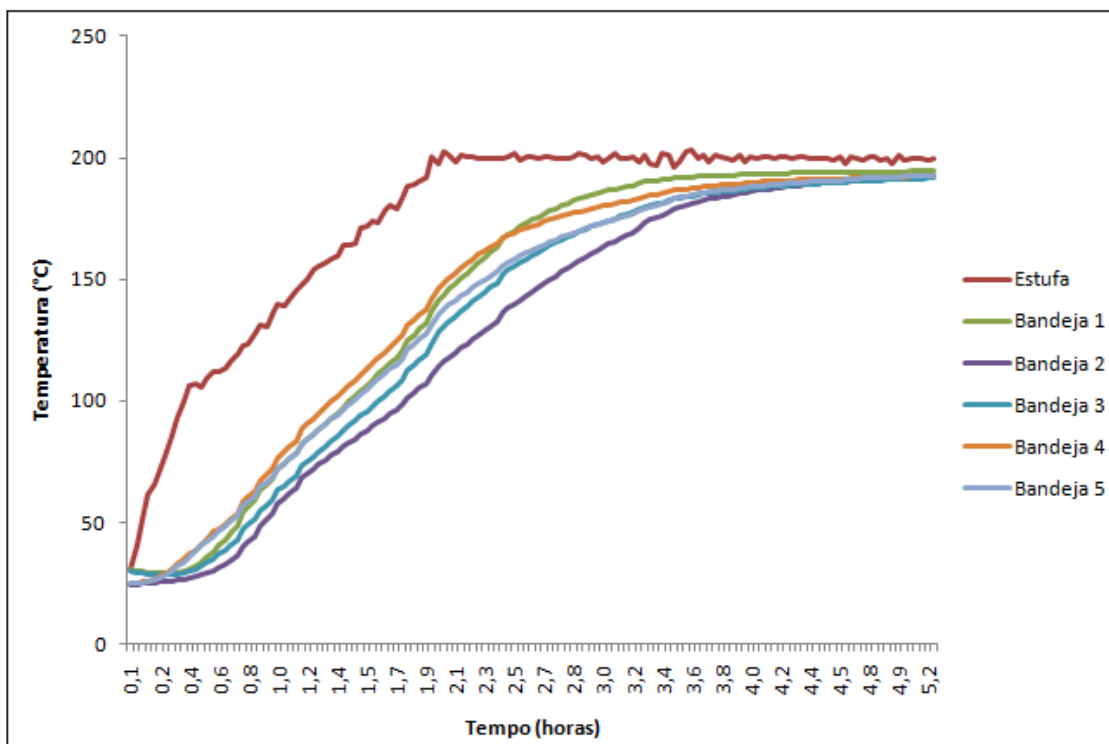


Figura 7 – Monitoramento do tratamento térmico das partículas a 200°C

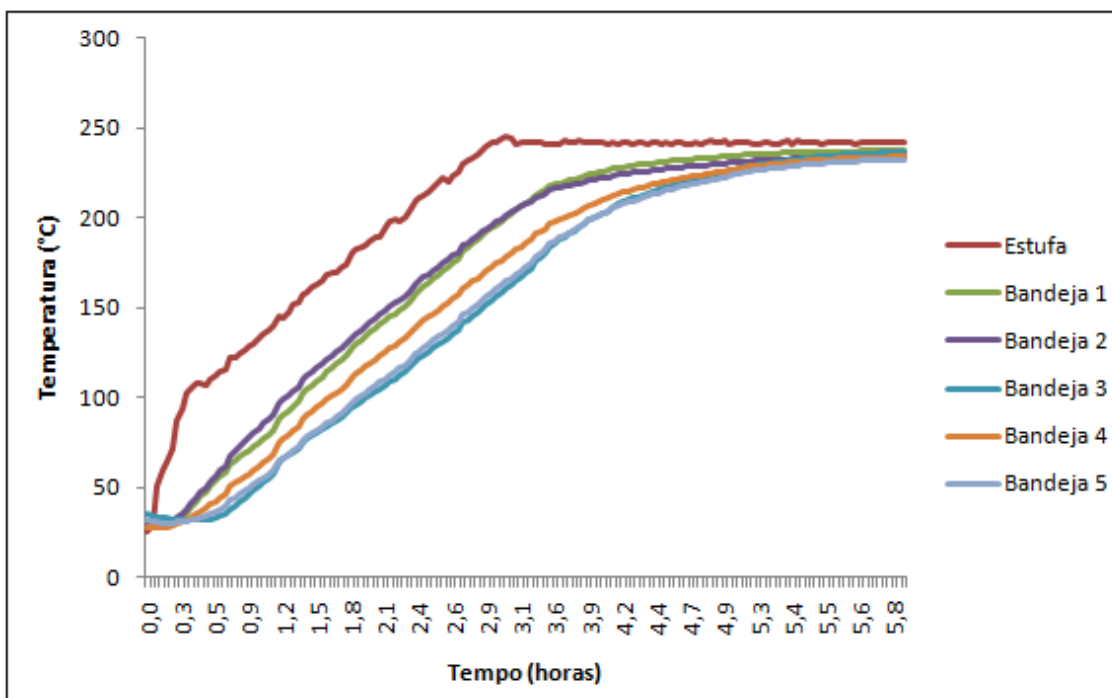


Figura 8 - Monitoramento do tratamento térmico das partículas a 240°C

Ao final de cada tratamento a estufa foi desligada e, após o seu resfriamento até a temperatura ambiente, as partículas foram retiradas e armazenadas em sacos plásticos, os quais em seguida foram lacrados.

4.6 Determinação do teor de umidade de equilíbrio

Após o tratamento térmico, e antes do armazenamento em sacos plásticos, foi coletado uma amostra aleatória, com aproximadamente 200 gramas de partículas, obtidas de cada uma das caixas utilizadas nos tratamentos efetuados. Amostras com aproximadamente 200 gramas de partículas (testemunhas), também foram coletadas antes do tratamento térmico efetuado. Todas as amostras coletadas foram fotografadas, com o intuito de verificar a variação da coloração das partículas, identificadas e colocadas separadamente em bandejas, as quais permaneceram depositadas em uma sala de climatização com temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$. Durante a climatização, pesagens periódicas dessas amostras foram efetuadas até se obter

massa constante. Posteriormente, os teores de umidade de equilíbrio das amostras de partículas foram avaliados, mediante a utilização de uma balança determinadora de umidade (Figura 9).



Figura 9 – Balança determinadora de umidade

4.7 Manufatura dos painéis

4.7.1 Aplicação do adesivo e da parafina sobre as partículas de madeira

O adesivo utilizado para a encolagem das partículas foi o fenol-formaldeído (FF), com teor de sólidos de 51,24 %, pH igual a 11,89, gel time de 8,41 minutos e viscosidade de 547 cP. A quantidade de adesivo e de parafina aplicada foi calculada com base no peso seco das partículas, e os seus respectivos teores, de acordo com cada tratamento, constam da Tabela 2.

A aplicação do adesivo e da parafina foi realizada separadamente em uma encoladeira do tipo tambor giratório (Figura 10), regulado para girar a 12 rpm, em cujo interior se encontrava acoplada uma pistola a ar comprimido, dotada de caneco superior, utilizada para aspersão do líquido sobre as partículas.



Figura 10 – Encoladeira

4.7.2 Orientação e formação do colchão de partículas

Os painéis OSB foram produzidos em três camadas, cujas proporções de partículas, em massa, foram de 30:40:30 (face, miolo e face, respectivamente). As partículas já encoladas foram lançadas à mão sobre uma caixa de madeira orientadora das partículas/formadora do colchão, ilustrada na Figura 11. As partículas da camada interna (miolo) do colchão foram orientadas com a sua maior dimensão perpendicular à maior dimensão das partículas das camadas externas (faces).

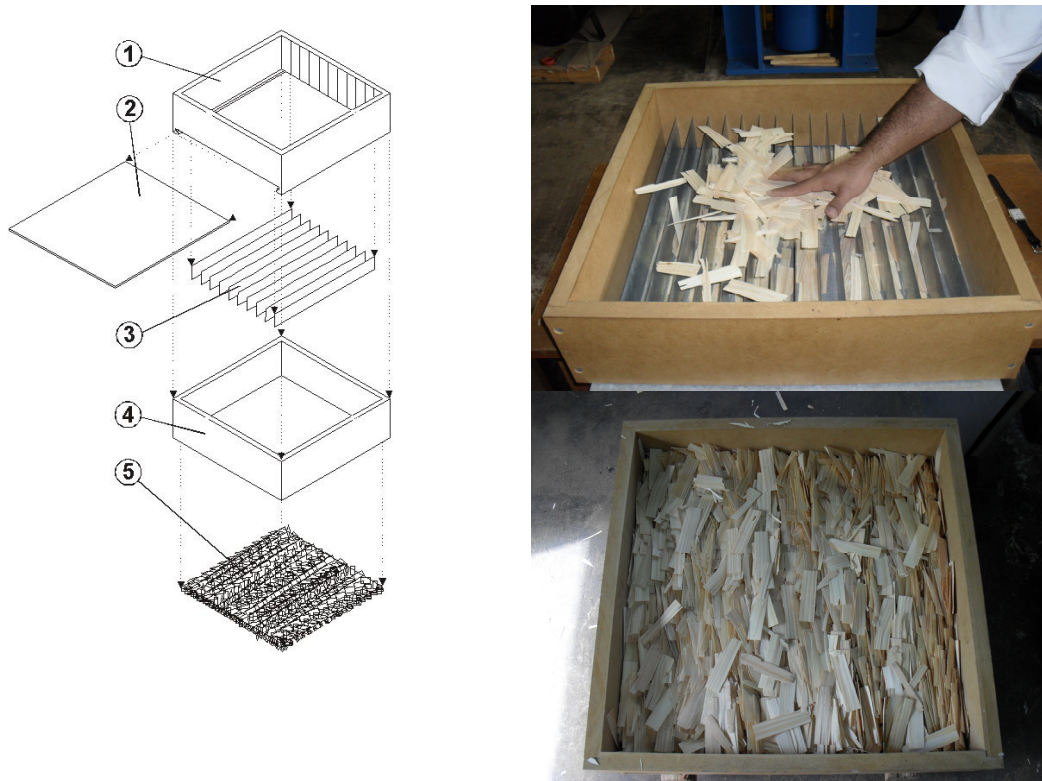


Figura 11 – Orientador de partículas: 1- Estrutura de madeira; 2- Tampa de descarga; 3- Lâminas de ferro; 4- Caixa formadora e 5- Colchão formado

4.7.3 Prensagem dos painéis

Inicialmente, depois de formado, o colchão de partículas foi levado para uma prensa hidráulica manual (Figura 12a), para efetuar a sua pré-prensagem a frio, com a finalidade de proporcionar-lhe melhor conformação e evitar a perda de partículas. Posteriormente, o colchão foi colocado entre os pratos aquecidos de uma prensa hidráulica motorizada, dotada de controles automáticos de temperatura, pressão e tempo (Figura 12b).



Figura 12 – A) Prensa hidráulica manual, utilizada na pré-prensagem a frio dos colchões de partículas B) Prensa hidráulica motorizada, utilizada na prensagem a quente dos colchões de partículas

O ciclo de prensagem a quente dos colchões de partículas foi o seguinte: temperatura de 180°C, pressão específica de 35 kgf/cm² e tempo de 8 minutos.

Após a prensagem, os painéis OSB já consolidados foram retirados da prensa e dispostos na posição vertical até restabelecerem a temperatura ambiente. Posteriormente, os painéis foram levados para uma sala de climatização do Laboratório de Ensaio Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF, empilhados e separados por tabiques de madeira, sob temperatura de 22 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5%.

4.8 Tratamento térmico dos painéis OSB

Depois de atingirem massa constante no interior da sala de climatização, os painéis OSB dos tratamentos designados T4 e T7 (Tabela 2) foram tratados termicamente. Para tanto, foi empregada a mesma prensa hidráulica motorizada descrita anteriormente.

Durante o tratamento foi aplicada uma leve pressão (0,5 kgf/cm²), apenas para promover contato adequado entre os pratos da prensa e o painel, com a finalidade de facilitar a condução da

temperatura. A temperatura de prensagem utilizada no tratamento térmico dos painéis OSB anteriormente consolidados e climatizados, conforme descrito na Tabela 2, foi de 220°C, e o tempo de tratamento igual a 12 minutos. Essas variáveis foram definidas com base no trabalho desenvolvido por Del Menezzi (2004).

Depois de tratados termicamente, os painéis foram novamente levados para uma sala de climatização do Laboratório de Ensaio Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF, empilhados e separados por tabiques de madeira, sob temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.

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

A obtenção de corpos-de-prova a partir dos painéis OSB, cujo esquema encontra-se ilustrado na Figura 13, deu-se mediante a utilização de uma serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, foram excluídos 55 mm de cada extremidade dos painéis, com a finalidade de prevenir os efeitos de borda. Após essa operação os painéis assumiram as dimensões de 450 x 450 mm.

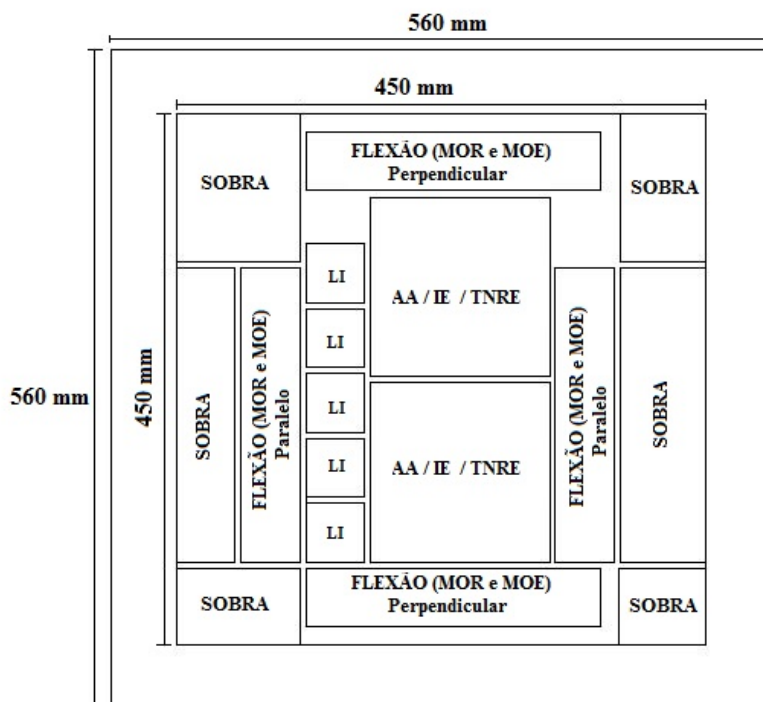


Figura 13 – Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis

As dimensões dos corpos-de-prova e os procedimentos de ensaio empregados na avaliação das propriedades e/ou parâmetros teor de umidade, absorção de água (AA) após duas e vinte e quatro horas de imersão, inchamento em espessura (IE) após duas e vinte e quatro horas de imersão, taxa de não-retorno em espessura (TNRE) e ligação interna (LI), foram definidos com base na norma americana ASTM D 1037 (2006). Para a avaliação das propriedades MOR e MOE à flexão estática, nas direções paralela e perpendicular, foi empregada a norma DIN 52362 (1982). A densidade do painel foi determinada através da média da densidade dos corpos de prova de todos os ensaios citados anteriormente.

Após obtidos, os corpos-de-prova foram encaminhados à sala de climatização do LEMMAD, local onde foram efetuados os ensaios.

Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de testes com capacidade para aplicação de força de até 30 toneladas, dirigida por um sistema eletromecânico controlado por computador, instrumentada com células de carga cambiáveis e sensores do tipo LVDT (*linear variable differential transformer*) conectados a um programa específico para aquisição de dados.

4.10 Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 03 repetições por tratamento. Para a comparação entre os tratamentos foram realizadas análises de variância e testes de médias de Tukey, a um nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores médios de cada propriedade físico-mecânica avaliada, por tratamento, foram comparados com os valores médios mínimos estipulados pela norma canadense CSA 0437.0 (1993), possibilitando inferir sobre a qualidade dos painéis produzidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade básica da madeira e razão de compactação nominal dos painéis OSB

A densidade básica média obtida para a madeira de *Pinus taeda* L. foi de 0,473 g/cm³.

Este valor foi utilizado para o cálculo de razão de compactação nominal dos painéis, através da expressão (2):

$$\text{Razão de Compactação} = \frac{\text{Densidade nominal do painel}}{\text{Densidade básica da madeira}} \quad (2)$$

Como a densidade aparente nominal dos painéis foi de 0,65 g/cm³, o valor determinado para a razão de compactação nominal foi de 1,37. Este valor está dentro da faixa ideal estipulada por Kelly (1977), Moslemi (1974), Tsoumis (1991) e Maloney (1993) que é entre 1,3 a 1,6.

5.2 Teor de umidade e mudança da coloração das partículas

Os valores médios do teor de umidade (TU) das partículas tratadas e não tratadas termicamente são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios do teor de umidade das partículas

Tratamento	TU partículas (%)	
Testemunha	11,25	A
Tratamento térmico a 200°C	8,37	B
Tratamento térmico a 240°C	5,73	C
Média geral	8,45	
CV (%)	3,99	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De acordo com a Tabela 3 verifica-se que houve diferenças significativas entre os teores de umidade das partículas de todos os tratamentos. As partículas tratadas a 240°C foram as que apresentaram o menor teor de umidade e as partículas tratadas a 200°C mostraram-se com teor de

umidade intermediário. Em relação à testemunha, as reduções do teor de umidade foram de 25,6 e 49,1% para as temperaturas de tratamento de 200 e 240°C, respectivamente.

O decréscimo do teor de umidade de equilíbrio das partículas pode ter sido proporcionado pela redução da acessibilidade aos grupos hidroxílicos livres (sítios de sorção), como também pela formação de polímeros de furfural, os quais são resultados da degradação de açúcares (hemicelulose) e apresentam menor higroscopicidade (TJEERDSMA et al., 1998; TJEERDSMA; MILITZ, 2005).

O tratamento térmico das partículas também proporcionou a modificação na sua coloração. Sendo observado o escurecimento das partículas à medida que a temperatura de tratamento térmico foi aumentada (Figura 14). Azevedo e Quirino (2006) avaliando o tratamento térmico em madeiras de *Eucalyptus grandis* nas temperaturas de 120, 140, 160 e 180°C também observou alteração da cor nas amostras tratadas termicamente, sendo que, assim como no presente trabalho, foi maior a alteração quanto maior a temperatura empregada.

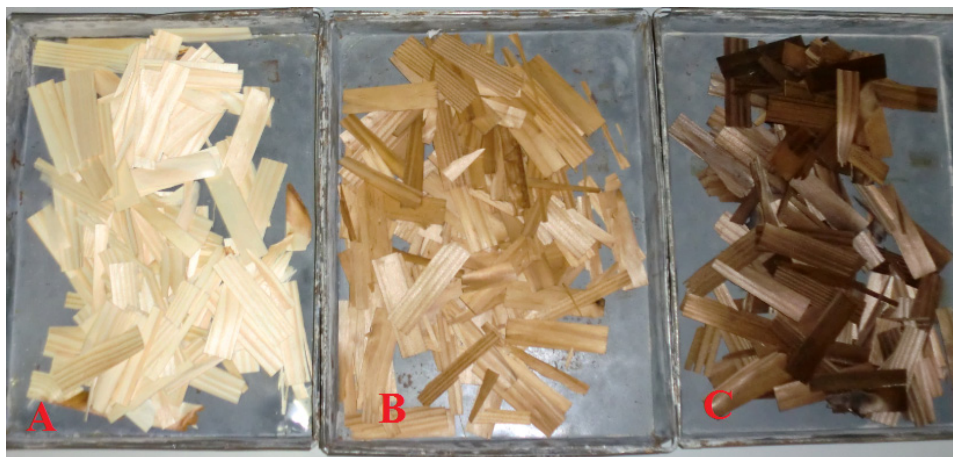


Figura 14 – Coloração das partículas: A- Partículas sem tratamento; B- partículas tratadas termicamente a 200°C; e C- Partículas tratadas termicamente a 240°C

5.3 Teor de umidade, densidade aparente e espessura dos painéis OSB

Os valores médios de teor de umidade, densidade aparente e espessura dos painéis, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de teor de umidade, densidade aparente e espessura dos painéis OSB

Tratamento	Teor de umidade (%)		Densidade aparente (g/cm³)		Espessura (mm)	
T1	8,55	CD	0,75	A	14,95	ABC
T2	7,64	B	0,72	AB	15,61	BCD
T3	5,98	A	0,69	B	15,96	CD
T4	8,53	CD	0,70	B	16,14	D
T5	8,65	DE	0,75	A	14,45	A
T6	8,76	E	0,75	A	14,58	AB
T7	8,44	C	0,72	AB	15,26	ABCD
Média geral	8,08		0,73		15,28	
CV (%)	0,78		1,83		2,48	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Através dos dados da Tabela 4 observa-se que o teor de umidade médio dos painéis produzidos com as partículas tratadas a 240°C (T3) foi inferior e diferiu significativamente do obtido para os painéis produzidos com as partículas tratadas a 200°C (T2). Os teores de umidade médios dos painéis dos tratamentos T2 e T3 foram significativamente inferiores aos obtidos para os painéis de todos os demais tratamentos, tornando evidente que o tratamento térmico das partículas, além de ter reduzido o seu próprio teor de umidade de equilíbrio (Tabela 3), reduziu o teor de umidade dos painéis produzidos com as mesmas.

A redução do teor de umidade dos painéis dos tratamentos T2 e T3, em relação aos painéis do tratamento T1 (testemunha), foi de 10,6% e 30,1%, respectivamente. Tal resultado está em acordo com o obtido por Paul et al. (2005), os quais observaram uma tendência de diminuição do teor de umidade médio dos painéis OSB, produzidos com partículas tratadas a 220°C e 240°C, a medida que aumentou-se a temperatura de tratamento.

De outro lado, não foram observadas diferenças significativas entre os valores médios do teor de umidade dos painéis tratados termicamente (T4 e T7), bem como entre estes e os painéis testemunha (T1). A igualdade estatística entre os tratamentos T4 e T7 sugere que a inclusão da parafina (T7) não teve efeito sobre os teores de umidade médios dos painéis. A igualdade estatística entre os tratamentos T4, T7 e T1, sugere que nem o tratamento térmico isolado e nem a inclusão da parafina em associação com o tratamento térmico tiveram efeito sobre os teores de umidade médios dos painéis.

Adicionalmente, observou-se que os painéis do tratamento T5, os quais foram produzidos com a parafina incorporada e não receberam tratamento térmico, apresentaram valor médio de teor de umidade estatisticamente equivalente ao obtido para os painéis do tratamento T1. Sendo assim, a parafina, dissociada do tratamento térmico, também não teve influência sobre o teor de umidade dos painéis. Esse resultado é concordante com o que Maloney (1997) enfatiza: a parafina incorporada aos painéis de madeira lhes provê resistência à absorção de água líquida, especialmente em curto tempo de exposição, mas não lhes provê resistência à absorção de vapor d'água.

O valor médio do teor de umidade dos painéis do tratamento T6, aos quais foram aplicados 8% de adesivo, foi estatisticamente superior ao obtido para os painéis do tratamento T1 (6% de adesivo), indicando que o aumento do teor de adesivo resultou em aumento do teor de umidade dos painéis.

Del Menezzi (2004), avaliando o efeito do tratamento térmico que efetuou sobre painéis OSB comerciais (densidade de 0,64 g/cm³, espessura nominal de 12,7 mm, colados com resina fenólica nas faces e isocianato no miolo, incorporados com aditivos tais como parafina e inseticida), observou diferença estatística entre o tratamento feito a 220°C por um período de 12 minutos e o tratamento testemunha, sendo que os painéis tratados termicamente apresentaram menor valor médio de teor de umidade, com uma redução correspondente a 27,4%. A divergência entre esse resultado e o obtido no presente estudo pode estar relacionada com as características dos painéis OSB de ambos os trabalhos, as quais foram diferentes (densidade, espessura, tipos e teores de adesivos e aditivos, teor de umidade de equilíbrio inicial, entre outros), embora a temperatura e o tempo de tratamento térmico tenham sido os mesmos.

Mendes et al. (2006), avaliando a influência do teor de adesivo, da temperatura e do tempo de prensagem sobre algumas propriedades de painéis OSB produzidos com a madeira de *Eucalyptus* spp., não observaram diferença significativa para a umidade de equilíbrio entre os painéis produzidos com o adesivo fenol-formaldeído aplicado a teores de 3%, 4,5% e 6%. A diferença entre esse resultado e o obtido no presente estudo pode estar relacionada com os níveis de adesivo aplicados aos painéis, os quais foram diferentes.

Observa-se na Tabela 4 que a densidade efetiva dos painéis foi algo superior à densidade nominal planejada (0,65g/cm³). Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que o colchão de partículas foi formado manualmente. É provável que de maneira sistemática, durante a formação,

houve maior concentração das partículas mais ao centro do colchão e menor concentração nas suas extremidades, resultando em maior massa de partículas mais ao centro do painel e por consequência disso maior densidade nessa região. As extremidades dos painéis (55 mm de cada lado) foram excluídas durante o esquadrejamento das chapas justamente para eliminar os chamados efeitos de borda, cuja região normalmente apresenta-se com menor massa de partículas e menor densidade.

Segundo Iwakiri (2005), painéis de partículas com densidade entre 0,59 e 0,80 g/cm³ são classificados como painéis de média densidade. Sendo assim, todos os painéis produzidos no presente estudo enquadraram-se nesta classe.

De acordo com os dados da Tabela 4 observa-se que houve diferença estatística entre os valores médios de densidade dos painéis.

Os painéis que receberam pré e pós-tratamento térmico (T2, T3, T4 e T7) equivaleram-se estatisticamente e apresentaram tendência de redução dos seus valores médios de densidade em relação aos demais. Essa tendência foi significativa para os painéis dos tratamentos T3 (tratamento térmico das partículas a 240°C) e T4 (tratamento térmico dos painéis, sem adição de parafina) em relação aos painéis dos tratamentos T1 (testemunha), T5 e T6, os quais, por sua vez, equivaleram-se estatisticamente entre si e aos tratamentos T2 e T7.

As tendências de redução da densidade dos painéis pré e pós-tratados termicamente, encontradas no presente estudo, são coerentes com as informações de Irle (2009), o qual afirma que o tratamento térmico da madeira resulta em redução da sua densidade. O autor explica que a redução da densidade da madeira tratada termicamente é parcialmente devida à redução do seu teor de umidade de equilíbrio e parcialmente devida à perda de vários compostos orgânicos, os quais evaporam ou são degradados durante o processo de aquecimento. Embora o autor não comente explicitamente, pode-se inferir que a perda desses compostos orgânicos resulta em perda de massa.

Paul et al. (2007) afirma que o tratamento térmico em partículas *strand* promove a perda de massa das mesmas. Na temperatura de 180°C e tempo de 50 minutos foi observada a perda de peso de até 0,5%, enquanto que na temperatura de 220°C e tempo de 15 minutos, a perda foi de cerca de 2%. Os autores atribuíram o fato a degradação térmica de alguns polímeros da madeira, especialmente as polioses.

Analisando os dados da Tabela 4 verifica-se que houve diferença significativa entre os valores médios de espessura dos painéis. Os painéis que receberam pré e pós-tratamento térmico (T2, T3, T4 e T7) equivaleram-se estatisticamente e apresentaram tendência de aumento dos seus valores médios de espessura em relação aos demais, sendo que tal tendência foi significativa em alguns casos e em outros não. Considerando-se todos os tratamentos avaliados, o único que diferiu significativamente da testemunha (T1) foi o tratamento T4 (painéis tratados termicamente, sem adição da parafina).

Levando-se em conta que o aumento da espessura implica em aumento do volume do painel e que a densidade do painel é dada pela relação entre massa e volume, é possível inferir que a tendência de redução da densidade dos painéis pré e pós-tratados termicamente decorreu, parcialmente, em função do aumento verificado em suas espessuras.

No caso dos painéis tratados termicamente, o aumento da espessura pode ter resultado do relaxamento parcial das tensões de compressão que se encontravam retidas no painel, geradas por ocasião da prensagem do colchão de partículas sob pressão de 35 kgf/cm² na fase de produção. Tal relaxamento foi proporcionado pelo amolecimento da lignina em função da temperatura (220°C) empregada no tratamento térmico do painel, cujo tratamento efetuou-se sem exercer pressão significativa sobre o mesmo.

No caso dos painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente, o aumento da espessura também pode ter resultado da liberação parcial das tensões de compressão, porém, ocorrida logo após o final da prensagem na fase de produção do painel. Apesar da massa de partículas ter sido a mesma para todos os painéis, verificou-se um aumento relativo do volume ocupado pelas partículas tratadas termicamente e, por consequência, da altura do colchão formado com essas partículas. O aumento de volume que foi verificado é um indicativo de que a densidade das partículas provavelmente foi reduzida em função do tratamento térmico.

Quanto maior a altura do colchão de partículas a ser comprimido para uma mesma espessura final, maiores serão as tensões de compressão às quais o painel estará sujeito durante a operação de prensagem. De acordo com Kelly (1977), imediatamente ao sair da prensa quente, devido ao alívio da pressão de prensagem, ocorre uma expansão da espessura do painel. Tal expansão, medida em termos de espessura, teria sido maior nos painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente, porque nestes tratamentos as tensões de compressão

desenvolvidas durante a prensagem foram mais elevadas que nos demais, esclarecendo-se assim a tendência de aumento da espessura dos painéis acompanhada de redução da densidade.

5.4 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis OSB após duas horas de imersão (AA2h) e após vinte e quatro horas de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios de absorção de água dos painéis OSB

Tratamento	AA 2h		AA 24h	
	%			
T1	33,0	CD	39,4	CD
T2	38,4	E	42,0	D
T3	25,0	AB	36,0	AB
T4	35,9	DE	39,8	CD
T5	23,7	AB	37,3	BC
T6	28,5	BC	36,5	AB
T7	21,7	A	34,4	A
Média geral	29,5		37,9	
CV (%)	6,56		2,65	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De acordo com os dados da Tabela 5 observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, tanto para os valores médios de AA2h como para AA24h.

Os tratamentos que exibiram o melhor desempenho, apresentando os menores valores médios de AA2h, foram o T3 (partículas tratadas a 240°C), o T5 (aplicação de parafina, sem tratamento térmico) e o T7 (aplicação de parafina e tratamento térmico do painel), os quais equivaleram-se estatisticamente e diferiram significativamente do tratamento T1 (testemunha). As reduções dos valores médios de AA2h desses tratamentos em relação à testemunha foram de 24,4%, 28,1% e 34,2%, respectivamente.

Para a AA24h, os tratamentos mais eficientes, porque apresentaram os menores valores médios dessa propriedade, foram o T3, o T6 (aumento do teor de adesivo de 6% para 8%) e o T7,

os quais equivaleram-se estatisticamente e diferiram significativamente do tratamento T1. As reduções dos valores médios de AA24h dos referidos tratamentos em relação à testemunha foram de 8,6%, 7,2% e 12,7%, respectivamente.

O bom desempenho dos painéis do tratamento T5 (aplicação de parafina, sem tratamento térmico) observado para AA2h, não se repetiu para AA24h, pois T5 equivaleu-se estatisticamente a testemunha nesse último caso. Esse resultado corrobora dados da literatura (Maloney, 1997; Moslemi, 1974) os quais informam que o efeito da parafina sobre o retardamento da absorção de água somente é significativo em curto intervalo de tempo. O tratamento T4 (tratamento térmico do painel, sem adição de parafina) equivaleu-se a testemunha para AA2h e AA24h. Porém, o tratamento T7 (aplicação de parafina e tratamento térmico do painel) mostrou bom desempenho e eficiência tanto para AA2h como para AA24h, conforme comentado anteriormente. A análise conjunta dos resultados dos tratamentos T1, T4, T5 e T7 sobre a AA2h e AA24h sugere que houve uma interação positiva entre a aplicação da parafina e o tratamento térmico do painel de modo a reduzir a absorção de água.

O motivo pelo qual aconteceu essa interação positiva entre a aplicação de parafina e o tratamento térmico dos painéis deve ser mais bem compreendido, sendo necessários mais estudos relacionados.

Del Menezzi et al. (2009) avaliando o efeito do tratamento térmico em painéis OSB comerciais de 12, 7 mm de espessura, produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L. e adesivo fenol-formaldeído nas faces e isocianato no miolo, também não observaram efeito significativo do tratamento a 220°C e por um período de 12 minutos sobre as propriedades AA2h e AA24h.

Na análise do efeito do teor de adesivo, foi observada diferença estatística entre os tratamentos T6 (8% de adesivo) e T1 (testemunha, com 6% de adesivo), apenas para AA24h, cujo valor médio foi inferior para o tratamento T6. Provavelmente, esse resultado está associado com o aumento da área de recobrimento das partículas com adesivo, proporcionado pela sua aplicação em maior quantidade. Maloney (1997) reporta que o aumento do teor de adesivo resulta em redução da absorção de água.

Apesar disso, o aumento do teor de adesivo (T6) não apresentou diferença significativa com a aplicação de parafina (T5) em nenhuma das duas propriedades. Assim como, também não foi observada diferença significativa entre os T6, T5 e T3 (tratamento térmico das partículas a 240°C).

Na comparação entre T6, T5 e T2 (tratamento térmico das partículas a 200°C) foi observada diferença significativa, sendo os T6 e T5 os que apresentaram os menores valores médios de AA2h e AA24h. Como o T2 também apresentou diferença significativa em relação ao tratamento testemunha, obtendo os maiores valores médios de AA2h e AA24h, pode-se inferir que este tratamento promoveu um efeito negativo para essas propriedades.

Quando comparado o aumento do teor de adesivo (T6) com os painéis que passaram por pós-tratamento térmico, foi observada diferença estatística entre o tratamento T6 e o T4 (pós-tratamento térmico e sem a aplicação de parafina) em ambas as propriedades, sendo os menores valores obtidos pelo tratamento T6. Enquanto que na comparação entre os tratamentos T6 e o T7 (pós-tratamento térmico e com a aplicação de parafina) foi observada diferença estatística apenas para a propriedade AA2h, sendo o tratamento T6 o que apresentou os menores valores médios.

Mendes et al. (2003) avaliando os efeitos da densidade dos painéis, composição dos painéis e teor de adesivo nas propriedades de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., obteve valores médios de AA2h e AA24h nas faixas de 25 a 37% e de 49 a 63%, respectivamente.

Iwakiri et al. (2009) estudando o efeito da espessura das partículas na produção de painéis OSB com a madeira de *Pinus taeda* L., 6% de adesivo fenol-formaldeído e sem a aplicação de parafina, obteve para os painéis produzidos com as partículas de 0,70 mm de espessura valores médios de AA2h e AA24h de 50,6% e 74,1%, respectivamente.

Cabe destacar que a norma CSA 0437 (1993) não especifica valores para a propriedade de AA2h e AA24h. Contudo, os valores médios dessas propriedades determinados no presente estudo (Tabela 5), podem ser considerados coerentes com os obtidos nos estudos dos autores anteriormente citados, resguardadas possíveis diferenças relativas às especificidades de cada caso.

5.5 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis OSB após duas horas de imersão em água (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), bem como da taxa de não-retorno em espessura (TNRE), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios de inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB

Tratamento	IE2h		IE24		TNRE	
			%			
T1	20,7	D	23,6	DE	17,3	C
T2	23,6	E	25,4	E	20,1	D
T3	8,5	A	11,8	A	8,4	A
T4	18,9	D	21,0	BC	13,7	B
T5	16,5	C	23,4	CDE	17,1	C
T6	19,0	D	21,8	BCD	15,2	BC
T7	12,5	B	19,5	B	13,1	B
Média geral	17,1		20,9		15,0	
CV (%)	4,55		4,45		6,43	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Analisando os dados da Tabela 6 observa-se que houve diferença significativa entre o tratamentos para o IE2h, o IE24h e para a TNRE.

Os painéis do tratamento T3 (partículas tratadas a 240°C) diferiram significativamente de todos os demais e foram os que mostraram o melhor desempenho, apresentando os menores valores médios de IE2h, IE24h e TNRE. As reduções dos valores médios dessas propriedades dos painéis do tratamento T3, em relação aos painéis do tratamento testemunha (T1), foram de 58,9%, 50,0% e de 51,2%, respectivamente.

Para as partículas tratadas termicamente na temperatura de 200°C (T2) o efeito acabou sendo negativo, fazendo com que este tratamento fosse diferente estatisticamente dos painéis testemunhas (T1) nas propriedades IE2h e TNRE, obtendo assim os maiores valores médios para essas propriedades.

Uma possível explicação do efeito negativo do T2 pode estar relacionada ao fato que a 200°C pode ter ocorrido a movimentação de alguns extrativos para a superfície das partículas, o que talvez tenha proporcionado uma menor penetração do adesivo fenol-formaldeído e por consequência uma menor resistência de ligação entre as partículas. Diminuição da ligação entre as partículas que realmente foi observada no teste de ligação interna (Tabela 9) onde se verificou que os tratamentos com as partículas tratadas termicamente foram os que apresentaram os menores valores médios, sendo o tratamento produzido com as partículas tratadas a 200°C o mais

afetado. Essa menor resistência de ligação entre as partículas do tratamento T2 pode ter ocasionado uma maior liberação das tensões de prensagem e por conseqüência um maior inchamento em espessura quando os painéis foram colocados em água. Enquanto que para o tratamento na temperatura de 240°C (T3) pode ter ocorrido uma maior degradação desses extrativos, o que possibilitou a melhora da ligação entre as partículas e conseqüentemente das propriedades IE e TNRE.

No entanto, diferentemente do obtido nesse estudo, Goroyias e Hale (2002) avaliando o efeito do tratamento térmico em partículas *strand* nas temperaturas de 200, 210, 220, 230, 240, 250 e 260°C por um período de 20 minutos, observaram que o aumento da temperatura promoveu redução significativa do inchamento em espessura. O motivo de tal diferença pode estar associado ao menor tempo de tratamento, além de outras variáveis de processo usadas na produção dos painéis OSB.

Com o intuito de compreender de melhor forma como o tratamento térmico aplicado as partículas promove as mudanças nas propriedades físico-mecânicas dos painéis, sugere-se que além da avaliação de diferentes tempos de tratamento e níveis de temperatura, estudos avaliando as mudanças químicas e anatômicas da madeira proporcionadas pelo tratamento térmico sejam realizados.

Em relação ao pós-tratamento térmico dos painéis, para o IE2h não foi constatado efeito significativo do tratamento T4 em relação ao painéis testemunha (T1). Apesar disso, quando comparado os painéis testemunhas com aqueles tratados termicamente e com a aplicação de parafina (T7) foi observada diferença estatística, com a melhora desta propriedade para os painéis tratados (redução de 39,7%).

Como apenas a aplicação de parafina (T5) também promoveu uma melhora significativa de tal propriedade em comparação com os painéis testemunhas (redução de 20,3%), e estes foram diferentes estatisticamente do T7, apresentado-se com qualidade inferior devido aos maiores valores médios de inchamento, pode-se afirmar que existe um efeito aditivo entre o tratamento térmico e a aplicação de parafina para esta propriedade.

Para o IE24h e TNRE, o pós-tratamento térmico (T4 e T7) promoveu a melhoria significativa de tais propriedades em relação ao tratamento testemunha (T1). As reduções do IE24h foram de 11,4 e 17,5% e da TNRE de 20,7 e 24,0% para os tratamentos T4 e T7, respectivamente.

Como não foi observada diferença significativa entre T4 e T7, e também entre o T5 (painéis com a aplicação de parafina e sem tratamento térmico) em relação aos painéis testemunha, isso permite afirmar que a parafina perdeu seu efeito após um período de exposição à água, assim como referenciado por Moslemi (1974) o qual afirma que o efeito da parafina, na absorção de água na forma líquida é significativa somente em curto intervalo de tempo, e esta absorção tem efeito sobre a propriedade de inchamento em espessura.

Del Menezzi (2004) avaliando o efeito do pós-tratamento em painéis OSB comercial de 12,7 mm de espessura observou diferença estatística entre o tratamento a 220°C por um período de 12 minutos e o tratamento testemunha (sem tratamento), sendo que os painéis tratados termicamente apresentaram os menores valores de IE2h, IE24h e TNRE (reduções de 43,2, 21,5 e 74,4%, respectivamente). A divergência observada para a propriedade IE2h entre o resultado deste trabalho e o obtido no presente estudo pode estar relacionada a algumas diferenças nas variáveis de produção dos painéis OSB.

No caso do aumento da quantidade de teor de adesivo (T6), não foi observado efeito significativo para nenhuma das três propriedades em relação aos painéis testemunhas (T1), apesar de se notar certa tendência de melhora das mesmas. Diferentemente do obtido por Mendes *et al.* (2003), que estudando o efeito dos teores de adesivo 4 e 6% nas propriedades de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., obteve diferença estatística para IE24h e TNRE. O autor atribuiu o fato ao aumento da disponibilidade de adesivo por área superficial de partículas, o que promoveu uma melhor ligação entre essas partículas e conseqüentemente das propriedades.

Apesar da não diferença estatística entre o painéis produzidos com 8% de adesivo (T6) e aqueles com 6% de adesivo (T1), o aumento do teor de adesivo proporcionou ao T6 não apresentar diferença significativa em relação aos tratamentos com os painéis tratados termicamente (T4 e T7) nas propriedades IE24h e TNRE, os quais, por sua vez diferiram estatisticamente do T1 em ambas as propriedades. Sendo assim, pode-se inferir que o ganho obtido para o IE24h e a TNRE com o tratamento térmico é igual ao obtido com a aplicação de uma maior quantidade de adesivo.

Na comparação entre o T6 e os tratamentos térmicos aplicados as partículas (T2 e T3), observou-se diferença estatística para as três propriedades (IE2h, IE24h e TNRE), sendo que em todas elas o T6 apresentou-se com qualidade inferior aos painéis do T3 e superior aos do T2.

Saldanha e Iwakiri (2009) obtiveram para painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus Taeda* L., sem a aplicação de parafina e 6% de adesivo fenol-formaldeído valores médios de 27,9 e 34,6% para IE2h e IE24h, respectivamente.

A norma CSA 0437 (1993) estipula o valor máximo de 10% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água para painéis com espessura superior a 12,7 mm.

Mediante o exposto, todos os tratamentos apresentaram valores médios de IE2h e IE24h abaixo dos encontrados em literatura. Em relação à norma CSA 0437 (1993), apenas os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente a 240°C (T3) chegaram próximos do valor máximo determinado, mas mesmo assim sem conseguir atendê-la.

5.6 Módulo de ruptura à flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura paralelo (MOR paralelo) e módulo de ruptura perpendicular (MOR perpendicular) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios de módulo de ruptura à flexão estática dos painéis OSB

Tratamento	MOR			
	Paralelo		Perpendicular	
	MPa			
T1	57,50	A	20,82	AB
T2	30,79	B	10,67	C
T3	27,84	B	13,07	BC
T4	49,54	A	20,65	AB
T5	45,67	AB	24,11	A
T6	57,59	A	25,86	A
T7	45,72	AB	19,01	AB
Média geral	44,95		19,17	
CV (%)	14,59		15,16	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De acordo com os dados da Tabela 7 observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, tanto para o MOR paralelo quanto para o MOR perpendicular.

O tratamento térmico aplicado as partículas (T2 e T3) promoveu a diminuição significativa do MOR paralelo em relação aos painéis testemunhas (T1). Enquanto que no MOR perpendicular, a redução se mostrou significativa apenas para o tratamento T2.

As reduções observadas dos tratamentos T2 e T3 em relação aos painéis testemunhas foram para o MOR paralelo de 46,5% e de 51,6%, respectivamente, enquanto que para o MOR perpendicular as reduções foram de 48,8% e de 37,2%, respectivamente. Paul et al. (2006) avaliando o efeito da tratamento térmico das partículas *strand* em temperaturas de 220 e 240°C também observou redução do módulo de ruptura na ordem de 35 a 50%.

Apesar disso, no MOR paralelo, os tratamentos produzidos com as partículas tratadas termicamente (T2 e T3), os quais não diferiram estatisticamente, não apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos T5 (aplicação de parafina) e T7 (painéis tratados termicamente e com aplicação de parafina). No MOR perpendicular, o T2 não diferiu estatisticamente apenas do T3, apresentando menores valores médios de resistência em relação aos demais tratamentos. Enquanto que o T3, também não diferiu estatisticamente dos tratamentos T1 (testemunha), T4 e T7 (painéis tratados termicamente).

O pós-tratamento térmico dos painéis (T4 e T7) não proporcionou diferença significativa entre estes tratamentos e o tratamento testemunha (T1) para ambas as propriedades. Okino et al. (2007) avaliando o efeito do pós-tratamento térmico nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB produzidos com a madeira de *Cupressus glauca* Lam. também não observou efeito significativo sobre as propriedades MOR paralelo e perpendicular. Assim como Del Menezzi (2004), o qual atribuiu o fato as condições relativamente amenas do processo, sendo estas: o curto período de tempo e o baixo teor de umidade, o que acaba proporcionando segundo o autor pequenas alterações nas características químicas dos constituintes do painel.

Quanto ao aumento do teor de adesivo (T6) e a aplicação de parafina (T5), não foi constatado diferença significativa em relação aos painéis testemunha (T1) e também em relação aos painéis tratados termicamente (T4 e T7).

Gouveia et al. (2003) avaliando três tipos de estrutura de colchão e três níveis de adesivo fenólico na produção de painéis OSB, também não observou diferença estatística significativa para os teores 6 e 8% de adesivo nas propriedades de MOR paralelo e perpendicular.

Enquanto que Iwakiri et al. (2002) verificando três teores de parafina (0; 0,5 e 1%) em painéis OSB produzidos com 6% de adesivo fenol-formaldeído também não observou efeito significativo para as propriedades MOR paralelo e perpendicular.

Bortoletto Júnior e Garcia (2004) comparando painéis compensados e OSB quanto suas propriedades de resistência e rigidez, obtiveram para os painéis OSB comerciais de 15 mm de espessura valores médios para o MOR paralelo e perpendicular de 25 e 16 MPa, respectivamente.

A norma CSA 0437-93 estipula como valores mínimos de MOR paralelo 28,4 e 22,9 MPa para as classificações O-2 e O-1, respectivamente. Enquanto que para o MOR perpendicular os valores são de 12,2 e 9,4 MPa, respectivamente.

Mediante o exposto, todos os tratamentos estão de acordo com os valores encontrados na literatura para a propriedade MOR paralelo, enquanto que para o MOR perpendicular apenas os tratamentos produzidos com o tratamento térmico das partículas ficaram abaixo dos valores referenciados. Em relação a norma CSA 0437 (1993), para o MOR paralelo todos os tratamentos ficaram acima do estipulado para a classificação O-2, com exceção do tratamento com as partículas tratadas a 240°C a qual atendeu apenas a classificação O-1. Para o MOR perpendicular, com exceção do tratamento com as partículas tratadas a 200°C que atendeu apenas a classificação O-1, todos os outros tratamentos ficaram acima dos valores mínimos determinados para a classificação O-2.

5.7 Módulo de elasticidade à flexão estática

Os valores médios de módulo de elasticidade paralelo (MOE paralelo) e módulo de elasticidade perpendicular (MOE perpendicular) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores médios de módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis OSB

Tratamento	MOE			
	Paralelo		Perpendicular	
	MPa			
T1	8061,18	AB	2022,31	AB
T2	5570,40	C	1293,78	B
T3	5934,29	C	1554,12	B
T4	6665,00	BC	1694,56	AB
T5	7525,71	ABC	1993,04	AB
T6	9401,30	A	2434,71	A
T7	7366,58	BC	1608,42	B
Média geral	7217,78		1800,13	
CV (%)	10,09		15,29	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De acordo com os dados da Tabela 8 observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, tanto para o MOE paralelo quanto para o MOE perpendicular.

Para o tratamento térmico aplicado nas partículas (T2 e T3) foi observado diferença estatística em relação aos painéis testemunhas (T1) apenas para o MOE paralelo, sendo a redução de 30,9 e 26,4%, respectivamente. Apesar disso, não foi observado diferença significativa entre os tratamentos T2 e T3, o tratamento T5 (painéis sem tratamento térmico e com a aplicação de parafina) e os tratamentos T4 e T7 (painéis com pós-tratamento térmico) tanto para o MOE paralelo como para o perpendicular

Paul et al. (2006) avaliando o efeito do tratamento térmico em temperaturas de 200 e 240°C aplicado nas partículas strand, verificou para os painéis OSB produzidos com fenol-formaldeído a diminuição do MOE nas duas temperaturas. Mas assim como o observado nesse estudo, foi constatada uma tendência de aumento dessa propriedade na temperatura de 240°C em relação à outra temperatura de tratamento.

Uma possível explicação, além daquela feita para as propriedades IE e TNRE quanto a movimentação e degradação dos extrativos, pode estar relacionada com uma maior degradação dos constituintes químicos, fazendo com que diminua a densidade das partículas e causando a necessidade do aumento do número dessas no momento da montagem do colchão para se obter

uma densidade pré-determinada do painel, vindo a ocasionar uma maior razão de compactação e por consequência a melhoria dessa propriedade.

Observa-se ainda que tanto no pós como no pré-tratamento térmico a tendência de diminuição do MOE é menor que a de diminuição do MOR, o que também foi observado por diversos autores (PAVLO; NIEMZ, 2003; Del MENEZZI, 2004; PAUL et al., 2006; SHI et al., 2007).

O pós-tratamento térmico (T4 e T7) não resultou em diferença significativa em relação aos painéis testemunha (T1) em nenhuma das duas propriedades. O mesmo foi verificado em estudos realizados por Del Menezzi (2004) e Okino et al. (2007), o que assim como relatado no MOR pode estar relacionado as condições relativamente amenas do processo.

Quanto ao aumento do teor de adesivo (T6) e aplicação de parafina (T5) não foi observado diferença estatística significativa entre esses tratamentos e o tratamento testemunha (T1).

Todavia, o aumento do teor de adesivo proporcionou, a este tratamento (T6), diferença estatística em relação aos painéis que sofreram pós-tratamento térmico (T4 e T7) na propriedade MOE paralelo, apresentando-se com valores médios superiores a estes. Enquanto que no MOE perpendicular a diferença significativa foi apenas em relação ao tratamento T7.

Gouveia et al. (2003) avaliando níveis de adesivo fenol-formaldeído (4, 6 e 8%) nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB também não constatou diferença estatística para o MOE paralelo e perpendicular. Mas assim como nesse estudo, obteve uma tendência do aumento dessas propriedades a medida que se aumentou o teor de adesivo.

Mendes et al. (2003) estudando o efeito da densidade e composição do painel e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânica de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., densidade de 0,65 g/cm³ e adesivo fenol-formaldeído, obtiveram valores médios de 4469,4 e 2357,4 MPa para o MOE paralelo e perpendicular, respectivamente.

A norma CSA 0437-93 estipula como valores mínimos de MOE paralelo 5393,7 e 4413,0 MPa para as classificações O-2 e O-1, respectivamente. Enquanto que para o MOE perpendicular os valores são de 1471,0 e 1274,9 MPa, respectivamente.

Mediante o exposto, todos os tratamentos estão acima do valor médio encontrado em literatura para a propriedade MOE paralelo, enquanto que para o MOE perpendicular apenas o tratamento com 8% de adesivo (T6) apresentou-se com valores acima do referenciado. Em

relação a norma CSA 0437-93, para o MOE paralelo todos os tratamentos ficaram acima do estipulado para a classificação O-2, enquanto que para o MOE perpendicular, com exceção do tratamento com as partículas tratadas a 200°C (T2) que atendeu apenas a classificação O-1, todos os outros tratamentos ficaram acima dos valores mínimos da classificação O-2.

5.8 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores médios de ligação interna dos painéis OSB

Tratamento	Ligação interna (MPa)	
T1	0,60	A
T2	0,23	B
T3	0,30	B
T4	0,63	A
T5	0,60	A
T6	0,64	A
T7	0,75	A
Média geral	0,54	
CV (%)	14,26	

Médias com letra igual não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

De acordo com os dados da Tabela 9 observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para a propriedade ligação interna.

Os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente (T2 e T3) não apresentaram diferença significativa entre si, porém diferiram de todos os outros tratamentos, obtendo os menores valores médios. As reduções em relação aos painéis testemunhas (T1) foram de 61,7 e 50,0%, respectivamente.

De acordo com Sernek et al. (2004) o motivo da diminuição de tal propriedade, em consequência da exposição ao calor, pode estar relacionado a movimentação dos extrativos para a superfície das partículas e pela inativação da superfície da madeira. O autor ainda afirma que o

efeito é mais pronunciado na madeira de espécies como *Pinus taeda* L. coladas com o adesivo fenol-formaldeído, o que foi justamente a situação desse estudo.

Não foi observada diferença estatística entre os painéis que sofreram pós-tratamento térmico (T4 e T7), os painéis testemunhas (T1), e os que sofreram aplicação de parafina sem tratamento térmico (T5) e aumento de teor de adesivo (T6).

Del Menezzi (2004) também não observou efeito significativo para a propriedade ligação interna, verificando ainda, assim como no presente trabalho, uma tendência de aumento da propriedade em relação aos painéis testemunha. O autor atribuiu o fato as condições relativamente amenas do processo e a boa resistência a degradação do adesivo fenólico empregado na fabricação dos painéis.

Enquanto que Chow e Pickles (1971) citados por Del Menezzi (2004) argumentam que durante o tratamento térmico da madeira podem ocorrer reações de polimerização dos extrativos e da lignina, o que pode gerar produtos com forte natureza adesiva, aumentando assim o número de uniões adesivas e em consequência a ligação interna dos painéis. Tal fato também pode ser levado em consideração para explicar o baixo impacto do pós-tratamento térmico sobre as demais propriedades mecânicas.

Iwakiri et al. (2002) verificando o efeito de três teores de parafina (0; 0,5 e 1%) na produção de painéis OSB com 6% de adesivo fenol-formaldeído também não observou efeito significativo para a propriedade ligação interna.

Mendes (2001) avaliando diferentes níveis de adesivo (4 e 6%), observou o aumento significativo de tal propriedade com o aumento do teor de adesivo fenol-formaldeído de 4 para 6%, o autor atribuiu o fato ao aumento da disponibilidade de adesivo por área superficial das partículas, o que provoca uma maior adesão entre as mesmas, tendo portanto relação direta com a propriedade ligação interna. Apesar disso, Gouveia *et al.* (2003) avaliando três níveis de adesivo fenol-formaldeído (4, 6 e 8%) também observou efeito significativo entre os teores de adesivo 4 e 6%, enquanto que tal diferença, assim como no presente estudo, também não foi observada entre os teores de 6 e 8%.

Saldanha e Iwakiri (2009) avaliando o efeito da densidade do painel e do tipo de adesivo (FF, MUF e PMUF) nas propriedades de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., densidade nominal de 0,65 g/cm³ e 6% de adesivo fenol-formaldeído, obteve o valor médio de 0,39 MPa para a propriedade ligação interna.

A norma CSA 0437-93 estipula o valor mínimo para a propriedade ligação interna de 0,34 MPa para a classificação O-2 e O-1.

Mediante o exposto, com exceção dos tratamentos produzidos com as partículas tratadas termicamente (T2 e T3), todos os outros tratamentos estão acima do valor médio encontrado em literatura e do mínimo estipulado pela norma CSA 0437 (1993) para a propriedade ligação interna.

5.9 Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma CSA 0437 (1993)

O resumo da classificação dos painéis dos tratamentos avaliados no presente estudo, em conformidade com a norma CSA 0437 (1993), encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Classificação dos painéis OSB de acordo com a norma CSA 0437 (1993)

Tratamentos	Propriedades					
	MOR		MOE		Ligação interna	IE24h
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular		
T1	O2	O2	O2	O2	O2	X
T2	O2	O1	O2	O1	X	X
T3	O1	O1	O2	O1	X	X
T4	O2	O2	O2	O2	O2	X
T5	O2	O2	O2	O2	O2	X
T6	O2	O2	O2	O2	O2	X
T7	O2	O2	O2	O2	O2	X

Classificação: O2 mais exigente que a classe O1; as classificações O2 e O1 estabelecem o mesmo valor para ligação interna e IE24h. X – indica não atendimento da norma

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e discutidos no presente estudo, conclui-se o seguinte:

O tratamento térmico das partículas (pré-tratamento) a 240°C resultou em painéis com melhor desempenho nas propriedades físicas em comparação aos painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente a 200°C. Para as propriedades mecânicas dos painéis não foi observada diferença significativa entre essas duas temperaturas de pré-tratamento;

Com exceção das propriedades AA2h, IE2h e TNRE dos painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente a 200°C, os pré-tratamentos térmicos (200°C e 240°C), em relação ao tratamento testemunha, promoveram significativas melhoras das propriedades físicas e redução das propriedades mecânicas. De modo geral, os painéis com as partículas tratadas a 240°C foram os que apresentaram a melhor estabilidade dimensional;

O tratamento térmico dos painéis (pós-tratamento), em relação ao tratamento testemunha, promoveu melhorias significativas em todas as propriedades físicas avaliadas, com exceção do IE2h. Para as propriedades mecânicas não foi observada diferença significativa entre os painéis pós-tratados termicamente e os painéis testemunhas. Houve interação positiva entre a aplicação de parafina e o pós-tratamento térmico, resultando em melhoria das propriedades AA2h, AA24h e IE2h dos painéis;

Na comparação entre os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente (pré-tratamento) e os painéis tratados termicamente após sua consolidação (pós-tratamento), observou-se que o pré-tratamento foi o que promoveu efeito mais pronunciado sobre as propriedades dos painéis, resultando em melhoria das propriedades físicas e redução das propriedades mecânicas;

O aumento do teor de adesivo e a aplicação de parafina, em relação ao tratamento testemunha, não promoveram melhoria significativa de nenhuma das propriedades mecânicas dos painéis. No entanto, para as propriedades físicas, o aumento do teor de adesivo resultou em melhoria significativa da AA24h, e a aplicação de parafina em melhoria da AA2h e do IE2h dos painéis;

Na comparação entre o pré-tratamento térmico e as variáveis de produção (aumento do teor de adesivo e aplicação de parafina) sobre a estabilidade dimensional dos painéis, observou-se que o aumento do teor de adesivo e a aplicação de parafina não proporcionaram melhoria tão

pronunciada da estabilidade dos painéis quanto à obtida com o tratamento térmico aplicado às partículas a 240°C. Na comparação das variáveis de produção com o pós-tratamento térmico dos painéis, não foi observado destaque para nenhum dos dois casos, sendo que na maioria das propriedades avaliadas os tratamentos equivaleram-se estatisticamente;

Os painéis de todos os tratamentos adotados no presente estudo revelaram valores médios de IE24h acima do máximo (10%) especificado na norma CSA 0437 (1993), todavia, os painéis produzidos com as partículas tratadas a 240°C foram os que apresentaram o valor mais próximo (11,79%) ao requerido para esta propriedade. Para a flexão estática, o MOE paralelo dos painéis de todos os tratamentos atendeu a classificação O-2, ou seja, a mais exigente da norma em referência. Para as propriedades MOR e MOE perpendicular os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente atenderam apenas a classificação O1, enquanto que os demais atenderam a classificação O2. Na propriedade ligação interna, apenas os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente não atenderam a norma. Na propriedade MOR paralelo os painéis produzidos com as partículas tratadas a 240°C atenderam apenas a classificação O1, sendo que os demais tratamentos atenderam a classificação O2.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a finalidade de aumentar ainda mais o conhecimento sobre o efeito do tratamento térmico (pós e pré-tratamento) nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB em trabalhos futuros, recomenda-se o seguinte:

Avaliar temperaturas intermediárias às utilizadas no presente estudo para o pré-tratamento térmico das partículas; avaliar diferentes tempos de pré-tratamento das partículas; avaliar diferentes tempos e temperaturas no pós-tratamento térmico dos painéis; avaliar possíveis modificações nas características anatômicas e químicas das partículas de madeira e dos painéis tratados termicamente; esclarecer o mecanismo pelo qual se dá a interação entre a aplicação de parafina e o tratamento térmico dos painéis (pós-tratamento), através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) ou de outras ferramentas que se mostrarem adequadas para tanto.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.E.C. OSB: alternativa para uso estrutural. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 50, p. 60-66, jul. 2000.

ALBUQUERQUE, C.E.C.; MENDES, L.M. OSB: processo industrial e considerações. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 8, n. 46, ano 8, p. 56–66, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. In: _____. **Annual book of ASTM standard**. Philadelphia, 2002. p. 1-30.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/>>. Acesso em: 05 out. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

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.

AYRILMIS, N.; LAUFENBERG, T.L.; WINANDY, J.E. Dimensional stability and creep behavior of heat-treated exterior medium density fiberboard. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 67, p. 287–295, 2009.

AZEVEDO, A.C.S.; QUIRINO, W.F. Aumento da estabilidade na madeira de eucalipto através de tratamento térmico. **Revista da madeira**. Edição N°98, Agosto de 2006.

BOONSTRA, M.J.; VAN ACKER, J.; TJEERDSMA, B.F.; KEGEL, E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 64, p. 679-690, 2007.

BOONSTRA, M.J.; RIJSDIJK, J. F.; SANDER, C.; KEGEL, E.; TJEERDSMA, B.; MILITZ, J.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M. Microstructural and physical aspects of heat treated wood. Part 1. Softwoods. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 8, n. 3, p. 193-208, 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J.N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

BOURGOIS, J.; GUYONNET, R. Characterization and analysis of torrified wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 22, p. 143-155, 1988.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécie de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais waferboards**. 1984. 104 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, J.O.; SILVA, F.G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, p. 8545–8548, 2008.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PESSOA, A.M.C.; SILVA, P.H.M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, Submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.

BROCHMANN, J.; EDWARDSON, C.; SHMULSKY, R. Influence of resin type and flake thickness on properties of OSB. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 3, p. 51-55, 2004.

BYRNE, C.E.; NAGLE, D.C. Carbonization of wood for advanced materials applications. **Carbon**, Elmsford, v. 35, n. 2, p. 259-266, 1997.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; HACK, C.; GATTO, D.A.; BARROS, M.V.; SANTINI, E.J. Monitoramento da temperatura no interior de chapas aglomeradas durante o processo de prensagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 157-166.2005.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: CSA 0437-0**. Ontario, 1993.18 p.

CHANG, H.T.; CHANG, S.T. Improvements in dimensional stability and lightdastness of wood by butyrylation using microwave heating. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 49, n. 5, p. 455-460, 2003.

CHEN, Y.; CHOONG, E.T.; BARNES, H.M. Effect of selected water - soluble bulking chemicals on moisture diffusion and dimensional stability of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 45, n. 5, p. 84-90, 1995.

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

DEL MENEZZI, C.H.S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DEL MENEZZI, C.H.S.; TOMASELLI, I. Contact thermal post-treatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: a preliminary study. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 64, p. 212–217, 2006.

DEL MENEZZI, C.H.S.; RIBEIRO, R.B.; STERNADT, G.H.; TEIXEIRA, D.E.; OKINO, E.Y.A. Effect of thermal post-treatment on some surface-related properties of oriented strandboards. **Drvna Industrija**, Hrvatska, v. 59, n. 2, p. 61-67, 2008.

DIN - NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength: DIN 52362**. Berlin, 1982. 40 p.

ESPÉCIES de Pinus úteis ao Brasil – *Pinus taeda*. **PinusLetter**, n. 3, mar. 2008. Disponível em: << http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_03.html#seis>. Acesso em: 15 out. 2010.

ESTADOS UNIDOS. Economic Commission for Europe. **Forest products annual market review**. Geneva, 2001. 185 p.

FIGUEROA, M.J.M.; MORAES, P.D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

GARCÍA, P.J.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. Internal temperature and pressure responses to flake alignment during hot-pressing. **Holz als Roh und Werkstoff**, Berlin, v. 59, n. 4, p.272-275, 2001.

GOHAR, P.; GUYONET, R. Development of wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., 1998, Cannes. **Proceedings...** Cannes: IRG, 1998. p. 173-178.

GOROYIAS, G.J.; HALE, M.D.C. **Heat treatment of wood strands for OSB production: effect on the mechanical properties, water absorption and dimensional stability**. Cardiff: International Research Group on Wood Protection, 2002. 1 p.

GOUVEIA, F.N. **Produção de Chapas de Partículas Orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm.** 2001. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GOUVEIA, N.F.; 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 chapas de partículas orientadas (OSB) e não orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 7-12, jan./mar. 2000.

GUIMARÃES JUNIOR, J.B.; MENDES, R.F.; ALMEIDA, N.F.; MENDES, L.M.; ALVARENGA, H.L. Influencia do teor de parafina na variação dimensional em painéis aglomerados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Editora Ibramem, 2008. p. 251-251.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

HILL, C.A.S.; MALLON, S. The chemical modification of scots pine with succinic anhydride or octenyl succinic anhydride. I. Dimensional stabilization. **Holzforschung**, Berlin, v. 52, n. 4, p. 427-433, 1999.

HILLIS, W.E. High temperature and chemical effects on wood stability. Part 1: General considerations. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 18, n. 4, p. 281-293. 1984.

HOMAN, W.; TJEERSDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000. British Columbia. **Proceedings...** British Columbia: World Conference Timber Engineering, 2000. p. 1-8.

HSU, W.E.; SCHWALD, W.; SHIELDS, J.A. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood – based composite. Part 2: Heat post-treatment. **Wood Science and Technology**, New York, v. 23, p. 281-288, 1989.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Annual review and assessment of the world timber situation, 2000**. Yokohama, 2001. 196 p.

IRLE, M. Technically speaking. **Wood Based Panels**, June/July 2009. Disponível em: <[http://www.wbpionline.com/Technically speaking](http://www.wbpionline.com/Technically%20speaking)>. Acesso em: 15 ago. 2009.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

_____. Painéis de partículas orientadas “OSB”. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 41, p. 52-53, 1999.

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

IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis “waferboard”. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 65-69, jan./dez. 1990.

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

_____. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, jan./jun. 2004.

- IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; PRATA, J.G.; COSTA, A.C.B. Utilização de madeira 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.
- IWAKIRI, S.; CUNHA, A.B.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; GORNIK, E.; MENDES, L.M. Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 1, n. 1/2, p. 23-28, 2000.
- 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., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 169-172.
- KEINERT Jr. S.; MATOS, J.L.M. Utilização de *Pinus pinaster* para fabricação de chapas de partículas. **Floresta**, Curitiba, v. 17, n. 1/2, p. 113-120, 1987.
- KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: U.S. For. Prod. Lab., 1977. 66 p. (General Technical Report, FPL-10).
- KIM, G-H.; YUN, K-E.; KIM, J-J. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. **Material und Organism**, Berlin, v. 32, n.2, p. 101-108. 1998.
- KUBOJIMA, Y.; OKANO, T.; OHTA, M. Bending strength and toughness of heat-treated wood. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 46, n. 1, p. 8-15, 2000.
- LÁRA SANTOS, A.M.; SOUZA, F.; COSTA, M.A.; TELES, R.F.; PAZETTO, V.M.F.; DEL MENEZZI, C.H.S. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da Linha de cola em painéis OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 31-40, 2009.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977. 672 p.
- _____. The development in the United States and Canada of Waferboard, oriented strand board, and medium density fibreboard. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 42, n. 10, p. 361-365, 1984.
- _____. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2nd ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.
- MARTO, G.B.T.; BARRICHELO, L.E.G.; MÜLLER, P.H. **Indicações para escolha de espécies de Pinus**. 2006. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/escolha_pinus.asp>. Acesso em: 01 nov. 2009.

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

_____. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L.M. ; ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. OSB: uma nova opção no mercado de painéis de madeira. In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2.; 6 SIMPÓSIO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, ENCONTRO BRASILEIRO DE TÉCNICAS PARA HABITAÇÃO E ESTRUTURAS, 6., 2001, Caxias do Sul. Caxias do Sul: UCS Gráfica, 2001. v. 1, p. 87-98.

_____. OSB – opção no mercado. **Revista da Madeira**, Curitiba, p. 82-87. 2003. Edição Especial.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; SALDANHA, L.K. Qualidade da madeira para produção de painéis OSB. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2000, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 2000b. p. 620 - 627.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; KEINERT JÚNIOR, 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, 2000a.

_____. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, dez. 2002.

_____. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1-17, jan./jul. 2003b.

MENDES, L.M.; MENDES, S.A.; IWAKIRI, S.; CHAVES, M.D.; MORI, F.A.; MENDES, R.F. Influência da densidade do painel de da composição em camadas nas propriedades físico-mecânicas de painéis OSB de clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 379-385, out./dez. 2008.

MENDES, R.F.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, L.M. Utilização de *Cunninghamia lanceolata* na confecção de painéis OSB. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Editora Ibramem, 2008. p. 242-242.

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

MENDES, S.A. **Estudos de variáveis de produção de painéis OSB manufacturados com misturas de madeiras de clones de *Eucalyptus spp.*** 2005. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MENDES, S.A.; MENDES, L.M.; CHAVES, M.D.; MORI, F.A.; SILVA, J.R.M.; TRUGILHO, P.F. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, jul./set. 2007.

MOMOHRA, I.; OHMURA, W.; KATO, H.; KUBOJIMA, Y. Effect of high-temperature treatment on wood durability against the Brown-rot fungus, *Fomitopsis palustris*, and the térmite, *Coptotermes formosanus*. In: INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 8., 2003, Kanazawa. **Proceedings...** Kanazawa: IUFRO, 2003. p. 284-287.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 2 v.

MUÑIZ, G.I.B. de. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MURAKAMI, K.; UEDA, M.; MATSUDA, H.; ZHANG, M.; KAWASAKI, T.; KAWAI, S. 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.

OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D.E.; DEL MENEZZI, C.H.S. Post-thermal treatment of oriented strandboard (OSB) made from cypress (*Cupressus glauca* Lam.). **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 9, n. 3, p. 199-210, 2007.

OKINO, E.Y.A.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; SILVA, C.B.G.; TOMAZ, R.B.; SOUSA, M.E. Uso das madeiras de seringueira, pinus e cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 457-468, abr./jun. 2009.

PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H. Thermal modification of OSB-strands by a one-step heat pre-treatment – Influence of temperature on weight loss, hygroscopicity and improved fungal resistance. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 57–63, 2007.

PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H.; BOONSTRA, M.J.; PIZZI, A. Optimising the properties of OSB by a one-step heat pre-treatment process. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.64, p. 227–234, 2006.

PAVLO, B.; NIEMZ, P. Effect of temperature on color and strength of spruce wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 57, p. 539-546, 2003.

PAZ, J.J.; SANABRIA, E.O. Dimensional stabilization of *Aspidosperma quebracho* blanco with polyethylene glycol. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 21., Kuala Lumpur, 2000.

Proceedings... Kuala Lumpur: IUFRO, 2000. v. 3, p. 236.

PECHO, R.; ANANIAS, R.A.; BALLERINI, A.; CLOUTIER, A. Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros OSB. **Bosque**, Concepción, v. 26, n. 1, p. 123-132. 2005.

PESSOA, A.M.C.; BERTI FILHO, E.; BRITO, J.O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*.

Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 72, p. 11-16, 2006.

PONCSAK, S.; KOCAEFE, D.; YOUNSI, R. Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using thermowood technology. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 1- 6, 2010.

RÊGO, R.M. **Utilização de materiais alternativos à base de madeira na construção civil**. 2008. 56 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARSD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 62, n. 2, p. 113-119, 2004.

ROWELL, R.M.; YOUNGS, R.L. **Dimensional stabilization of wood in use**. Madison: U. S. For. Serv., 1981. (For. Prod. Lab. Rep., 0243).

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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

SANTOS, J.A. Mechanical behaviour of eucalyptus wood modified by heat. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, p. 39–43, 2000.

SERNEK, M.; KAMKE, A.F.; GLASSER, W.G. Comparative analysis of inactivated wood surface. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, p. 22–31, 2004.

SHI, J.L.; KOCAEFE, D.; ZHANG, J. Mechanical behaviour of Québec wood species heat-treated using thermo wood process. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 255–259, 2007.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 31, n. 9, p. 43-52, 1982.

STAMM, A.J. Thermal degradation of wood and cellulose. **Industrial and Engineering Chemistry**, Madison, v. 48, n. 3, p. 413-417, 1956.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 289-295, 2000.

TJEERDSMA, B.F.; MILITZ, H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 63, p. 102–111, 2005.

TJEERDSMA, B.F.; BOONSTRA, M.; PIZZI, A.; TEKELY, P.; MILITZ, H. Characterization of Thermally Modified Wood: Molecular Reasons for Wood Performance Improvement. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 56, p. 149–153, 1998.

TOMASELLI, I. A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF; UFV, DEF, 1998. p. 55-64.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M. Efeito do aquecimento na estabilidade dimensional e na higroscopicidade da madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 2, p. 150-161, 1982.

WANG, S.; WINISTORFER, P.M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 37-44, 2000.

WANG, S.; GU, H.; NEIMSUWAN, T. Understanding properties of commercial OSB Products In: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 7., 2004, Nanjing. **Proceedings...** Nanjing: Pacific Rim Bio-based Composites, 2004. v. 2, p. 397-399.

WINISTORFER, P.M.; XU, W.; HELTON, C.M. Influence of three wax formulations and three application rates on thickness swell performance of southern pine flakeboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 3, p. 63-67, 1996.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 28–40, 1999.

XIANGQUAN, Z.; RENSHU, L.; WEIHONG, W.; ANBIN, P. Heat post-treatment to reduce thickness swelling of particleboard from fast-growing poplars. **Journal of Forestry Research**, Kudankita, v. 8, n. 3, p. 1-3, Sept. 1997.

YILDIZA, S.; GEZERB, E.D.; YILDIZA, U.C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 41, p. 1762–1766, 2006.

ANEXO

Análise estatística

Variável analisada: **Densidade**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	0.010248	0.001708	9.694	0.0003
erro	14	0.002467	0.000176		
Total corrigido	20	0.012714			
CV (%) =	1.83				
Média geral:	0.7257143	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Espessura**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	7.827674	1.304612	9.108	0.0004
erro	14	2.005237	0.143231		
Total corrigido	20	9.832910			
CV (%) =	2.48				
Média geral:	15.2774714	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Teor de umidade das partículas**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	61.085000	30.54250	268.178	0.0000
erro	9	1.025000	0.113889		
Total corrigido	11	62.110000			
CV (%) =	3.99				
Média geral:	8.4500000	Número de observações: 12			

Variável analisada: **Teor de umidade do painel**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	17.788229	2.964705	742.945	0.0000
erro	14	0.055867	0.003990		
Total corrigido	20	17.844095			
CV (%) =	0.78				
Média geral:	8.0804762	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Absorção de água após duas horas de imersão**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	742.005333	123.667556	33.155	0.0000
erro	14	52.219344	3.729953		
Total corrigido	20	794.224677			
CV (%) =	6.56				
Média geral:	29.4612810	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Absorção de água após vinte e quatro horas de imersão**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	123.229499	20.538250	20.356	0.0000
erro	14	14.125662	1.008976		
Total corrigido	20	137.355161			
CV (%) =	2.65				
Média geral:	37.9087762	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Inchamento em espessura após duas horas de imersão**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	472.448018	78.741336	130.311	0.0000
erro	14	8.459590	0.604256		
Total corrigido	20	480.907607			
CV (%) =	4.55				
Média geral:	17.0744238	Número de observações:		21	

Variável analisada: **Inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	357.099886	59.516648	68.915	0.0000
erro	14	12.090675	0.863620		
Total corrigido	20	369.190561			
CV (%) =	4.45				
Média geral:	20.9019095	Número de observações:		21	

Variável analisada: **Taxa de não-retorno em espessura**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	251.753984	41.958997	45.213	0.0000
erro	14	12.992536	0.928038		
Total corrigido	20	264.746520			
CV (%) =	6.43				
Média geral:	14.9806238				Número de observações: 21

Variável analisada: **Módulo de ruptura paralelo**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	2504.527162	417.421194	9.696	0.0003
erro	14	602.710267	43.050733		
Total corrigido	20	3107.237429			
CV (%) =	14.59				
Média geral:	44.9628571				Número de observações: 21

Variável analisada: **Módulo de ruptura perpendicular**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	550.653324	91.775554	10.863	0.0001
erro	14	118.282800	8.448771		
Total corrigido	20	668.936124			
CV (%) =	15.16				
Média geral:	19.1680952	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Módulo de elasticidade paralelo**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	30788382.109	5131397.018	9.672	0.0003
erro	14	7427223.524	530515.966		
Total corrigido	20	38215605.634			
CV (%) =	10.09				
Média geral:	7217.7785714	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Módulo de elasticidade perpendicular**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	2562223.330	427037.221	5.639	0.0037
erro	14	1060184.242	75727.445		
Total corrigido	20	3622407.573			
CV (%) =	15.29				
Média geral:	1800.1338095	Número de observações: 21			

Variável analisada: **Ligação interna**

Tabela de análise de variância

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	69.405848	11.567641	18.948	0.0000
erro	14	8.546933	0.610495		
Total corrigido	20	77.952781			
CV (%) =	14.26				
Média geral:	5.4809524	Número de observações: 21			