

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

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Paula Gabriella Surdi

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

**Piracicaba
2012**

Paula Gabriella Surdi
Engenheira Florestal

**Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de
Pinus elliottii var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

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
2012**

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

Surdi, Paula Gabriella

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* / Paula Gabriella Surdi. - - Piracicaba, 2012.

99 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Chapa de partículas - Propriedades 2. Madeira - Qualidade 3. Mistura de madeiras
4. Ciclo de prensagem 5. Pinus híbrido I. Título

CDD 674.836
S964p

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

A minha mãe e a minha avó, Carmem e Aurora.

Ao meu padrasto Glaico.

Ao meu amor Vinícius.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP pela oportunidade oferecida na realização do curso de mestrado.

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

Ao professor Geraldo Bortoletto Júnior, pela dedicação e apoio na orientação deste trabalho.

Ao professor Mario Tomazello Filho, pela contribuição dada aos trabalhos paralelos à dissertação.

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais que auxiliaram na execução deste trabalho.

Aos amigos e técnicos, Alex Canale e Luis Eduardo Facco, pelo apoio nas etapas experimentais.

Aos amigos do programa de pós-graduação em Recursos Florestais. Em especial ao Rafael, Natalie, Saly, Marco Aurelio, Juliana, Camila, Ariel e Victor.

Às amigas Iara, Aline, Marina e Tânia, pelo companheirismo e incentivo.

Ao meu namorado Vinícius, pelo carinho e paciência.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Características gerais do híbrido <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	23
3.2 Características gerais da espécie e da madeira de <i>Pinus taeda</i>	24
3.3 Painéis OSB	26
3.3.1 Conceito, características da produção e utilizações dos painéis OSB	26
3.3.2 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB	28
3.3.2.1 Fatores inerentes à madeira.....	28
3.3.2.1.1 Espécie	28
3.3.2.1.2 Características anatômicas	29
3.3.2.1.3 Densidade da madeira.....	30
3.3.2.1.4 Teor de umidade	31
3.3.2.1.5 Extrativos	31
3.3.2.2 Fatores inerentes ao processo.....	32
3.3.2.2.1 Densidade dos painéis	32
3.3.2.2.2 Razão de compactação.....	33
3.3.2.2.3 Composição dos painéis.....	34
3.3.2.2.4 Adesivo	35
3.3.2.2.5 Parafina	37
3.3.2.2.6 Geometria e orientação das partículas	37
3.3.2.2.7 Ciclo de prensagem	39
3.3.3 Propriedades dos painéis OSB	41
3.3.3.1 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática	41

3.3.3.2 Ligação interna (LI).....	41
3.3.3.3 Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)	42
3.3.3.4 Taxa de não-retorno em espessura (TNRE).....	42
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1 Matéria-prima	43
4.2 Determinação da densidade básica da madeira e das misturas das madeiras	44
4.3 Desdobro das Toras.....	45
4.4 Produção e secagem das partículas <i>strand</i>	45
4.5 Manufatura dos painéis OSB	47
4.5.1 Aplicação do adesivo e da parafina sobre as partículas de madeira.....	47
4.5.2 Orientação e formação do colchão de partículas	48
4.5.3 Prensagem e climatização dos painéis.....	49
4.6 Obtenção de corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.....	51
4.7 Determinação da razão de compactação dos painéis	52
4.8 Delineamento experimental e análise estatística.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 Densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras de PECH e PT.....	55
5.2 Razão de compactação dos painéis OSB	56
5.3 Massa específica, teor de umidade e espessura dos painéis OSB	57
5.4 Absorção de água.....	61
5.5 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura	63
5.6 Módulo de ruptura à flexão estática	68
5.7 Módulo de elasticidade à flexão estática	71
5.8 Ligação interna.....	74
6 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXOS.....	87

RESUMO

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

O estudo sobre a qualidade da madeira de híbridos do gênero *Pinus* no Brasil é recente. Por outro lado, alguns dados disponíveis indicam que o material apresenta rápido crescimento e pode ser considerado promissor sob o ponto de vista silvicultural. O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o potencial de utilização da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de painéis de partículas orientadas (*Oriented Strand Board* – OSB). Para a realização do estudo foram utilizadas 10 toras (2,5 m de comprimento), sendo 05 delas provenientes de árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) e as outras 05 de árvores de *Pinus taeda* L. (PT). O delineamento experimental adotado na fase de manufatura dos painéis OSB constituiu-se de 08 tratamentos, arranjados em esquema fatorial, por meio dos quais foram analisados os efeitos de 02 ciclos de prensagem e 04 proporções de mistura de partículas de madeira de PECH e de PT. A partir dos painéis produzidos foram confeccionados corpos-de-prova para a realização de ensaios físicos (teor de umidade, densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática e ligação interna), conduzidos conforme as normas ASTM D 1037 (2006) e DIN 52362 (1982). Mediante a análise dos resultados dos ensaios concluiu-se que: O aumento da proporção de partículas da madeira de PECH na manufatura experimental do OSB resultou em tendência de redução dos valores da massa específica e da maioria das propriedades mecânicas (MOR paralelo e MOE paralelo e perpendicular) dos painéis. A estabilidade dimensional foi influenciada negativamente com a alteração do ciclo de prensagem e a utilização de PECH em diferentes proporções, resultando em tendência de aumento dos valores de absorção de água e inchamento em espessura. Apesar das tendências observadas, os painéis OSB manufaturados com as partículas de madeira de PECH nas proporções 50% e 75% de mistura com as partículas de madeira de PT (tratamentos T4 e T3, ciclo de prensagem convencional), foram os que apresentaram o maior potencial de uso da madeira do híbrido, uma vez que atenderam aos requisitos mínimos indicados pela norma CSA (1993) para todas as propriedades mecânicas avaliadas.

Palavras-chave: Painéis de partículas orientadas; Produção; Mistura de madeiras; Ciclo de prensagem; Propriedades

ABSTRACT

Production of oriented strand board (OSB) from a hybrid of *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

The study about the quality of the wood of *Pinus* hybrids in Brazil is still recent. On the other hand, some data indicate that the material can be considered promising from the point of view silvicultural. This study aimed to evaluate the potential use of wood hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* for the production of oriented strand boards (OSB). To conduct the study, 10 logs (2.5 m long) were used, from 05 trees of *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) and 05 trees of *Pinus taeda* L. (PT). The experiment consisted of eight treatments arranged in a factorial way, where the effects of 02 pressing cycles and 04 mixing ratios of wood particles of PECH and PT were analyzed. From the panels produced, samples 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 52362 (1982) standards. Through the analysis of test results it was possible to conclude: Increasing the proportion of particles of PECH wood in the OSB manufacture experimental result in reduced trend in the values of density and most of the mechanical properties (MOR parallel and MOE parallel and perpendicular) of the panels. The dimensional stability was negatively affected by changing the pressing cycle and use of PECH in different proportions, resulting in increase trend of the values of water absorption and thickness swelling. Despite the trends, the OSB manufactured with particles of PECH wood in the proportions 50% and 75% mixed with particles of PT (treatments T4 and T3, conventional cycle), were the ones with the greatest potential for the use of hybrid wood, as they meet the minimum requirements specified by the standard CSA (1993) for all mechanical properties.

Keywords: OSB; Production; Wood mix; Pressing cycle; Properties

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área e distribuição de plantios florestais com Pinus no Brasil em 2010 (ABRAF, 2011)	25
Figura 2 – Esquema com as etapas do processo industrial de chapas OSB (Fonte: SBA, 2010)...	27
Figura 3 – Produção e secagem das partículas <i>strand</i> . A) Gerador de partículas com um bloco a ser processado; B) Geração das partículas: 1 – Tábua; 2 – Bloco; 3 – Corte; 4 – Partícula gerada; C) Secagem das partículas ao ar livre; D) Secagem das partículas em estufa com renovação e circulação de ar	46
Figura 4 – Encolagem das partículas. A) Encoladeira do tipo tambor rotativo; B) Detalhe da pistola a ar comprimido utilizada para aspersão dos líquidos sobre as partículas	47
Figura 5 – Colchão de partículas <i>strand</i> . A) Caixa formadora com tampa de descarga removível; B) Orientação das partículas na caixa; C) Colchão formado após prensagem a frio	49
Figura 6 – Processo de prensagem dos painéis. A) Prensa hidráulica manual, utilizada na pré-prensagem a frio; B) Prensa hidráulica motorizada, utilizada na prensagem a quente	50
Figura 7 – Ciclos de prensagem: A) Ciclo de prensagem convencional; B) Ciclo de prensagem modificado	50
Figura 8 – Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis OSB. Adaptado de Mendes, 2011. Legenda: AA = absorção de água; IE = inchamento em espessura; TNRE = taxa de não-retorno em espessura; LI = ligação interna; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos adotados na manufatura dos painéis OSB.....	53
Tabela 2 – Valores médios de densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras de PECH e PT	55
Tabela 3 – Valores das razões de compactação nominal e efetiva para cada tratamento	56
Tabela 4 – Valores médios de massa específica, teor de umidade e espessura dos painéis OSB para cada tratamento	57
Tabela 5 – Teste de médias da massa específica dos painéis OSB para o fator proporção de partículas	59
Tabela 6 – Teste de médias da espessura dos painéis OSB para o fator proporção de partículas..	60
Tabela 7 – Valores médios de absorção de água dos painéis OSB	61
Tabela 8 – Teste de médias para a variável AA24h para o fator proporção de partículas.....	63
Tabela 9 – Teste de médias para a variável AA24h para o fator ciclo de prensagem	63
Tabela 10 – Valores médios de inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB	64
Tabela 11 – Teste de médias para a variável IE2h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem.....	66
Tabela 12 – Teste de médias para a variável IE24h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem.....	66
Tabela 13 – Teste de médias para a variável TNRE da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem.....	67
Tabela 14 – Valores médios de módulo de ruptura à flexão estática dos painéis OSB	69
Tabela 15 – Teste de médias para a variável MOR paralelo à flexão estática do fator proporção de partículas	70
Tabela 16 – Teste de médias para a variável MOR perpendicular à flexão estática da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem	70
Tabela 17 – Valores médios de módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis OSB	71
Tabela 18 – Teste de médias para a variável MOE paralelo à flexão estática do fator proporção de partículas	73
Tabela 19 – Teste de médias para a variável MOE perpendicular à flexão estática do fator proporção de partículas	73

Tabela 20 – Valores médios de ligação interna dos painéis OSB	74
Tabela 21 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável massa específica dos painéis OSB	89
Tabela 22 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável espessura dos painéis OSB	89
Tabela 23 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável AA2h dos painéis OSB	90
Tabela 24 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável AA24h dos painéis OSB	90
Tabela 25 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável IE2h dos painéis OSB0	91
Tabela 26 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável IE24h dos painéis OSB	91
Tabela 27 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável TNRE dos painéis OSB	92
Tabela 28 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável IE2h dos painéis OSB	92
Tabela 29 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável IE2h dos painéis OSB	92
Tabela 30 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável IE24h dos painéis OSB	93
Tabela 31 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável IE24h dos painéis OSB	93
Tabela 32 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável TNRE dos painéis OSB.....	93
Tabela 33 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável TNRE dos painéis OSB.....	94
Tabela 34 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOR paralelo à flexão estática dos painéis OSB	95
Tabela 35 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB.....	95

Tabela 36 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB	96
Tabela 37 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB	96
Tabela 38 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOE paralelo à flexão estática dos painéis OSB	97
Tabela 39 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOE perpendicular à flexão estática dos painéis OSB	97
Tabela 40 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável ligação interna dos painéis OSB	98
Tabela 41 – Correlação de Pearson entre as propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB.....	99

1 INTRODUÇÃO

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

De acordo com Janssens (1998), o painel OSB é um produto utilizado para aplicações estruturais, tais como paredes, suportes para forros e pisos, componentes de vigas estruturais, estrutura de móveis, embalagens, entre outras.

A qualidade da madeira desejada para painéis OSB difere daquela requerida para produção de compensados. Os painéis OSB podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, 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 e GARCIA, 2004).

A possibilidade de o painel OSB ser produzido a partir de toras de qualidade inferior, bem como apresentar menor custo de produção e possuir propriedades suficientes para os diversos usos, são fatores que fazem com que os painéis OSB ocupem nichos de mercado antes exclusivos aos compensados (JANSSENS, 1998).

A grande vantagem na produção de OSB está no grau de aproveitamento das toras, sendo que as perdas são mínimas e ocorrem na forma de finos nas fases de geração e secagem das partículas (IWAKIRI, 1999).

No Brasil, a produção do OSB em escala industrial teve início em 2002 (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). Estudos sobre propriedades, bem como a produção e a influência de variáveis de processamento de painéis OSB a partir de espécies do gênero *Pinus* plantadas no país foram realizados por autores tais como Iwakiri (1989); Brito (1995); Mendes (2001); Mendes et al. (2002); Bortoletto Júnior e Garcia (2004); Saldanha (2004); Del Menezzi (2004); Iwakiri et al. (2009); Saldanha e Iwakiri (2009).

No ano de 2000, a empresa Pinus Brasil deu início à implantação de talhões experimentais com o híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F2). Estudos

conduzidos até o momento pela empresa sobre o desenvolvimento do híbrido revelaram que o mesmo apresentou alta precocidade relativa e que seu material genético seria adequado para plantios nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, confirmando a viabilidade de investimento (PINUS BRASIL, 2010).

Considerando a necessidade crescente de suprimento de matéria-prima para a indústria madeireira, ampliar o número de espécies com potencial de utilização é desejável e possível por meio de pesquisas. Apesar de serem escassas as referências na literatura sobre a qualidade da madeira do híbrido em questão e do seu potencial de aplicação tecnológico para geração de produtos madeireiros específicos especialmente no Brasil, estudos sobre propriedades físicas e mecânicas, produção de lâminas e manufatura de painéis compensados (ALMEIDA, 2011) com a madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* têm sido conduzidos na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Nesse sentido, a fim de aumentar o conhecimento tecnológico sobre esse material promissor, destaca-se a importância de avaliar o potencial da madeira do híbrido para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o potencial da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de painéis de partículas orientadas (OSB).

Para atingir o objetivo principal, o desenvolvimento do trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

I) Produzir painéis OSB com partículas de madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e com partículas de madeira de *Pinus taeda*, sem mistura e em diferentes proporções de mistura;

II) Utilizar dois diferentes ciclos de prensagem na fase de produção dos painéis OSB;

III) Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos e avaliar os efeitos dos dois tipos de madeira, das proporções de misturas das madeiras, bem como dos dois ciclos de prensagem sobre essas propriedades;

IV) Comparar o valor médio das propriedades dos painéis OSB produzidos com os valores mínimos estabelecidos na norma CSA 0437 (1993) e verificar o potencial da madeira do híbrido para produção desse tipo de painel.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

De acordo com Nikles (1996), em meados de 1950 já se sabia que as espécies *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* (PEE) e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (PCH) possuíam características complementares. As árvores de PEE possuem fustes mais retos, madeira mais densa, são resistentes a ventos fortes e são mais tolerantes a lugares úmidos, enquanto as de PCH possuem crescimento mais acelerado, apresentam fustes com poucas ramificações e sua madeira é mais uniforme.

Em 1955 foram tentados os primeiros cruzamentos (PEE x PCH) com a expectativa de produzir um híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) com qualidades superiores às dos parentais e, com tal finalidade, extensivos testes de campo foram instalados no sudeste de Queensland e em Byfield na Austrália. Constatou-se que o crescimento do híbrido PECH foi superior em relação ao parental PEE, em quase todos os locais de plantio, principalmente, nas planícies costeiras do sudeste e na região central de Queensland (NIKLES et al., 1987; DIETERS, 1999; POWELL e NIKLES, 1996). O híbrido demonstrou superioridade em crescimento, adaptação a uma ampla variedade de sítios e retilidade do tronco igual ou superior a ambas as espécies parentais, porém, devido ao número reduzido de sementes viáveis por cone a partir do cruzamento controlado e da dificuldade de propagação vegetativa das mudas, teve tardia implantação comercial. Essa restrição permitiu, a partir de 1980, a realização de tentativas de retrocruzamento e autocruzamento do híbrido PECH F1, no qual o híbrido PECH F2 resultante mostrou-se como uma alternativa para superar os problemas iniciais de implantação (NIKLES e ROBINSON, 1989; NIKLES, 2000). Além de Queensland, plantios experimentais com híbridos PECH e outros híbridos de *Pinus* foram implantados também nos Estados Unidos, Zimbábue, Argentina e no Brasil, apresentando, na maioria dos casos, bons resultados (NIKLES, 1996; ANALÍA, 2010; ALMEIDA, 2011).

O híbrido PECH F2 foi introduzido no Brasil em 2000, devidamente registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e seu material genético mostrou-se adequado para plantios nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do país (PINUS BRASIL, 2010).

Levantamentos técnicos, realizados pela Empresa Pinus Brasil em 2007, confirmaram a viabilidade do investimento no híbrido devido a alta precocidade dessa espécie em relação às demais do gênero *Pinus*. Neste ano, o incremento médio anual dos plantios da empresa foi 181,3% superior em relação ao *Pinus elliottii* e 120,4% em relação ao *Pinus taeda*, todos com 3,5 anos de idade (PINUS BRASIL, 2010).

Harding e Copley (2000), citados por Almeida (2011), analisando as variações das propriedades da madeira de híbridos de *Pinus* e seus parentais em diferentes idades e sítios, observaram que a madeira do híbrido PECH F1 apresentou valores médios intermediários de densidade básica (0,41 a 0,51 g/cm³) em relação aos parentais. A densidade da madeira do parental PEE foi superior (0,42 a 0,53 g/cm³), enquanto que a madeira do parental PCH apresentou densidade inferior (0,42 a 0,48 g/cm³).

3.2 Características gerais da espécie e da madeira de *Pinus taeda*

Segundo Barrichelo et al. (1977) o *Pinus taeda* é uma das principais espécies de coníferas, ocorrendo naturalmente em toda a região sudeste dos Estados Unidos da América. No Brasil, as espécies de *Pinus* são plantadas em escala comercial há mais de 30 anos. Inicialmente, os plantios mais extensos foram estabelecidos nas regiões Sul e Sudeste com as espécies *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm (SHIMIZU e MEDRADO, 2005). Atualmente, os plantios de *Pinus* ocupam uma área de aproximadamente 1,8 milhões de hectares, distribuídos nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (ABRAF, 2011).

A Figura 1 ilustra a distribuição geográfica da área dos plantios de *Pinus* no Brasil.

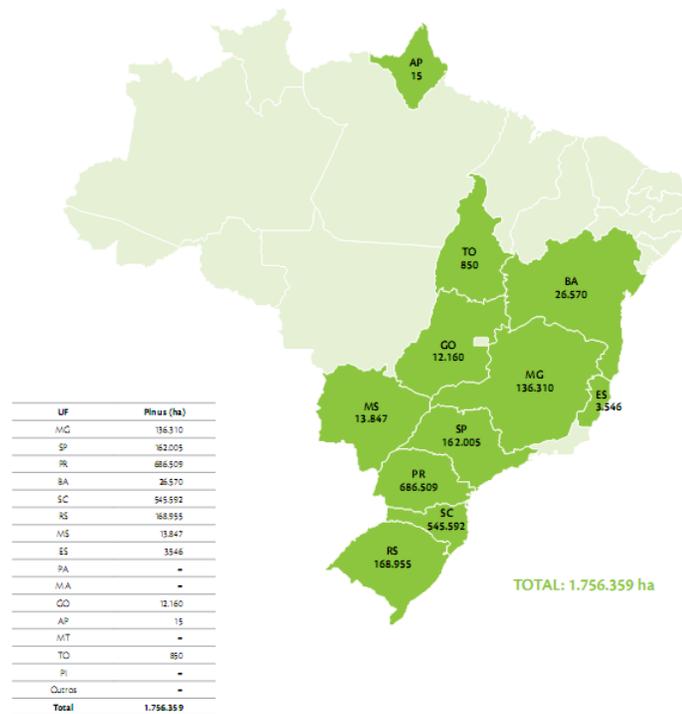


Figura 1 – Área e distribuição de plantios florestais com *Pinus* no Brasil em 2010 (ABRAF, 2011)

Bassa (2006) relata que plantios de *Pinus* spp. no Brasil apresentam crescimento volumétrico entre 20 e 30 m³/ha/ano e sua rotação é cerca de 20 anos, sendo que desbastes são realizados nos plantios aos 8 e 14 anos de idade.

De acordo com Klock (2000), o alburno da madeira de *Pinus taeda* é amarelado claro, enquanto que o cerne é de coloração marrom avermelhada. O alburno é usualmente largo quando em crescimento secundário. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de vinte anos. Em árvores velhas de crescimento lento o alburno chega a ter apenas 2 a 5 cm de largura.

A madeira de *Pinus taeda* 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, 2001; HASSEGAWA, 2003).

A diversidade de utilização do *Pinus taeda* faz desta uma espécie importante para o setor florestal, pois sua madeira pode ser destinada para diversas finalidades: i) indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; ii) para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; iii) para a indústria de papel e celulose; iv) para a indústria de painéis de madeira reconstituída (chapas de fibra de média e de alta densidade - MDF e HDF, chapas de partículas de média densidade - MDP, chapas de partículas orientadas -

OSB, etc.). Além disso, os resíduos de madeira de todas essas indústrias podem ser aproveitados como biomassa para geração de vapor e energia (MARTO, 2009).

3.3 Painéis OSB

3.3.1 Conceito, características da produção e utilizações dos painéis OSB

A utilização de madeira reconstituída é uma tendência atual que traz consigo inúmeras vantagens: pré-fabricação, industrialização, homogeneidade, redução da anisotropia e utilização de madeira de rápido crescimento proveniente de florestas plantadas (LIMA et al., 2004).

O OSB é um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas, conhecidas como *strands*, consolidado pelo uso de resinas, calor e pressão (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004). Foi desenvolvido para aplicações estruturais, sendo considerado como uma segunda geração dos painéis *waferboard* (MENDES et al, 2002). No Brasil, a produção do OSB em escala industrial teve início em 2002 (BORTOLETTO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

Segundo Tsoumis (1991), esse tipo de painel é tipicamente formado por três camadas, sendo nas externas as partículas de madeira orientadas paralelamente na direção de formação do painel e na interna, a orientação é perpendicular.

A geometria das partículas *strands*, a sua orientação e formação em três camadas (face/centro/face) conferem às chapas OSB maior resistência mecânica (flexão estática) e melhor estabilidade dimensional (CLOUTIER, 1998)

Os painéis OSB podem ser confeccionados a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, 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 e GARCIA, 2004).

Cloutier (1998) informa que o processo industrial de chapas OSB pode ser dividido em onze etapas: (i) toragem e acondicionamento das toras; (ii) descascamento das toras; (iii) geração das partículas “strand”; (iv) armazenamento das partículas úmidas; (v) secagem das partículas; (vi) classificação e peneiramento; (vii) mistura dos componentes do colchão; (viii) formação do

colchão; (ix) prensagem a quente; (x) acabamento e esquadrejamento; (xi) expedição. Essas etapas encontram-se ilustradas no esquema da Figura 2.

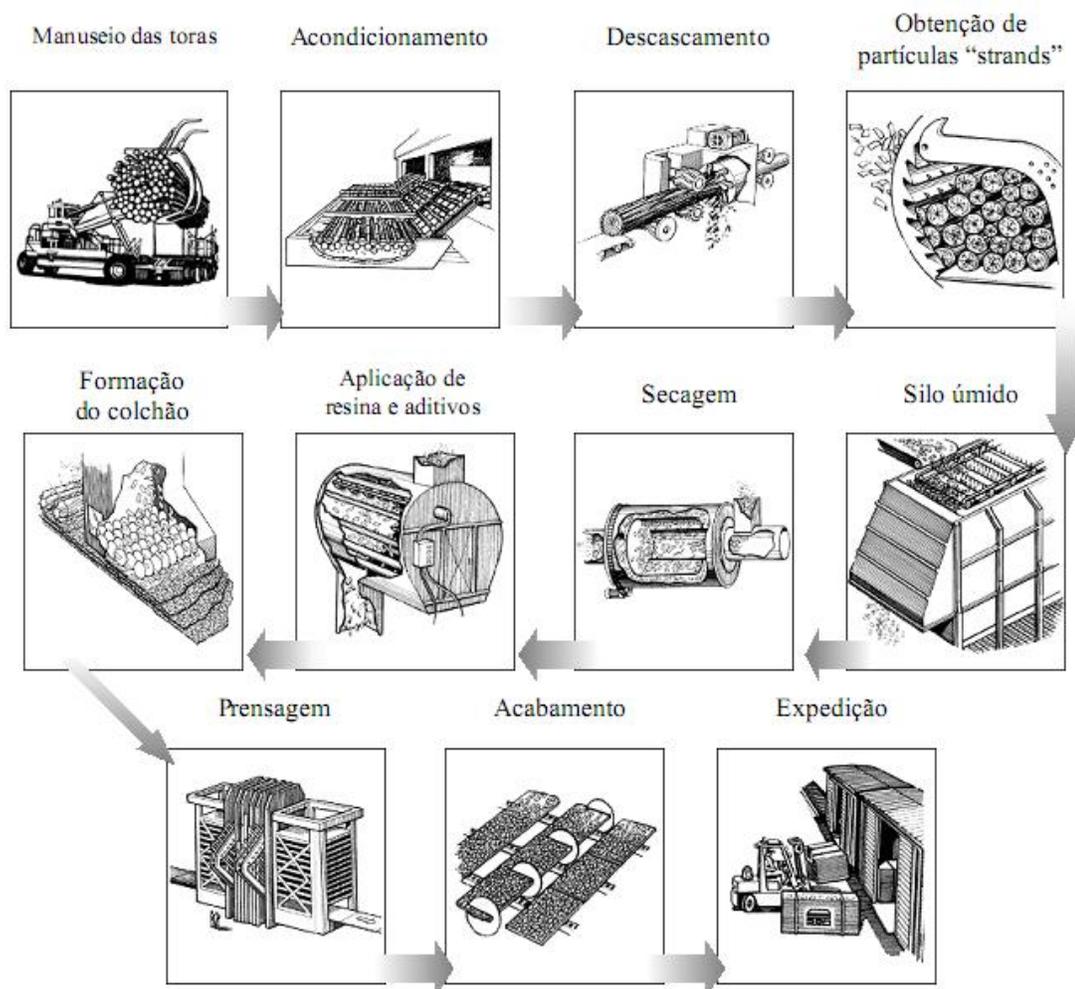


Figura 2 – Esquema com as etapas do processo industrial de chapas OSB (Fonte: SBA, 2010)

De acordo com Janssens (1998) 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 pisos de madeiras nobres; piso acabado; construção de depósitos e tanques; tapumes e divisórias; formas descartáveis para concreto; decks e plataformas; paredes de carrocerias 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.

3.3.2 Fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB

A produção de painéis particulados à base de madeira encontra-se em contínua evolução tecnológica, portanto, é de grande importância o estudo dos fatores que possam afetar a produção do painel OSB e a sua qualidade final. Diversos fatores influenciam na adequação das propriedades requeridas, merecendo destaque os fatores inerentes à madeira, tais como espécies, densidade, teor de umidade, extrativos, local de crescimento, características anatômicas; e os inerentes ao processo, tais como densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, adesivo, parafina, geometria e orientação das partículas, umidade das partículas, ciclo de prensagem (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1977; MENDES, 2001; MENDES, 2011).

3.3.2.1 Fatores inerentes à madeira

3.3.2.1.1 Espécie

A maioria dos processos tecnológicos adotados pelas indústrias de produtos florestais possui rígidas exigências em relação à espécie, tamanho e qualidade da matéria-prima, pois tais processos foram quase que totalmente desenvolvidos em países com grandes reservas de florestas homogêneas (NAKAMURA e SOBRAL FILHO, 1982).

De acordo com Mendes (2001) a espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis, pois, interage com todas as outras variáveis no processo. Além de determinar a massa específica do painel, a espécie influencia na formulação do adesivo utilizado, fato atribuído a presença de extrativos e variação do Ph. Nesse mesmo sentido, algumas espécies requerem um maior controle da umidade das partículas, em decorrência da possibilidade de ocorrência de estouro, ou separação de camadas, durante a prensagem final do painel (MENDES, 2001, citado por MENDES et al., 2002).

Zhow (1990), ao produzir painéis OSB com partículas de *Populus euramericana*, concluiu que tal tipo de madeira apresenta problemas de alteração de cor e baixa resistência ao ataque de

fungos, podendo afetar a qualidade dos painéis, reforçando a influência das características da espécie na qualidade dos painéis.

Au et al. (1992), verificando a possibilidade de utilização de *Betula papyrifera* na camada interna e *Populus tremuloides* nas camadas externas de painéis OSB, concluíram que o uso de espécies de média densidade levam à diminuição do consumo de resina, e conseqüentemente, reduzem os custos de produção, além de ocorrer um aproveitamento mais racional dos recursos florestais disponíveis.

Yusoff e Horie (1997), estudando novas espécies para produção de OSB, comprovaram que a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta um grande potencial de utilização, pois os painéis produzidos a partir dela apresentaram propriedades dentro dos níveis aceitáveis para aplicação estrutural.

Zhang (1998), utilizando diferentes proporções de misturas entre Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) e Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) na produção de painéis OSB, concluiu que a incorporação de partículas *strands* de Hinoki nas camadas externas, com baixa proporção de face/miolo, melhora as propriedades mecânicas no sentido paralelo à orientação.

Wang e Winistorfer (2000) observaram que painéis OSB produzidos com *Populus* spp. e *Pinus* spp. podem ser utilizados com diferentes misturas e alternados em face/miolo, sem prejuízo na qualidade.

Iwakiri et al. (2008), avaliando o potencial de utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* como matéria-prima para produção de painéis OSB, concluíram que os painéis apresentaram resultados de propriedades mecânicas satisfatórias quando comparadas aos painéis OSB de *Pinus taeda*, além disso, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou potencial de utilização como espécie alternativa para a produção de painéis OSB no Brasil.

3.3.2.1.2 Características anatômicas

De acordo com Zegarra (2011), as características da madeira consideradas como as mais importantes na manufatura e qualidade dos painéis OSB relacionam-se à proporção do lenho inicial-tardio, largura dos anéis de crescimento, proporção cerne-alburno, porcentagem de extrativos, porosidade e dimensões dos traqueídes. Zobel e Sprague (1998) atentam para a

proporção de madeira juvenil, que confere ao produto uma maior instabilidade dimensional quando comparada à madeira adulta.

Pecho et al. (1995), analisando a influência da madeira juvenil de *Pinus radiata* sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis OSB, verificaram que com o aumento da porcentagem de madeira juvenil, ocorreu redução dos valores de ligação interna e aumento significativo do inchamento em espessura dos painéis.

Cloutier (1998) explica que mudanças abruptas na densidade e porosidade da madeira resultam em partículas *strands* mais estreitas, além de uma maior produção de finos. Entretanto, de acordo com o autor, a presença de porosidade difusa em folhosas e coníferas, com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio, é mais indicada para a produção de OSB.

Zegarra (2011), caracterizando a estrutura anatômica de árvores de *Pinus taeda* L. e verificando seu efeito nas propriedades tecnológicas de painéis OSB, verificou que os traqueídes do lenho tardio apresentam maior espessura de parede e maior comprimento em relação aos do lenho inicial dos anéis de crescimento. Segundo o autor, esse modelo de variação radial relaciona-se a formação do lenho, onde a madeira juvenil, a qual compõe a região interna, influencia nas características anatômico-físicas das partículas de madeira, originando um lenho de qualidade inferior em relação à madeira adulta.

3.3.2.1.3 Densidade da madeira

A densidade da madeira é considerada uma das variáveis mais importantes, por ser um dos componentes da razão de compactação (*vide* item 3.3.2.2.2) (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY, 1993; SALDANHA, 2004).

As espécies de madeira com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais adequadas para a produção de painéis de partículas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993). No entanto, segundo Cloutier (1998), as densidades ideais variam de 0,25 a 0,45 g/cm³, porém o autor afirma que espécies de densidades entre 0,45 e 0,55 g/cm³ podem ser utilizadas, sendo menos desejadas e mais frequentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

Segundo Kelly (1977), as espécies de menor densidade possibilitam a produção de painéis de média densidade, assegurando uma área de contato satisfatória entre as partículas. O colchão produz um produto mais uniforme com uma capacidade maior de transmitir esforços entre as

partículas, o que resulta em propriedades de flexão e ligação interna mais elevada para chapas confeccionadas com madeira de baixa densidade (SALDANHA, 2004).

De acordo com Maloney (1993), variações na densidade do material a ser processado podem provocar severos problemas nas operações de moagem e secagem, no consumo de resinas, nas operações de prensagem e nas propriedades físicas do produto final.

A densidade da madeira 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 e WINISTORFER, 2000, citados por MENDES, 2011).

3.3.2.1.4 Teor de umidade

É importante mencionar que grandes variações no conteúdo de umidade do material que entra em uma unidade industrial causam problemas na produção (MALONEY, 1993).

Segundo Mendes (2001) a madeira com teor de umidade muito elevado, apesar de resistir menos ao corte, tem tendência a produzir uma superfície felpuda, o que pode levar a uma adesão pobre, e por consequência, necessitar de maior quantidade de resina.

De acordo com Albuquerque (2002), a condição úmida ideal das toras deve se situar pouco acima do ponto de saturação das fibras.

Altos teores de umidade podem dificultar a picagem ou moagem do material, por causa da obstrução do equipamento, além de elevar os custos de secagem. No entanto, madeiras com elevado teor de umidade possuem, normalmente, um melhor rendimento em partículas devido a reduzida quantidade de finos produzida, pois, nessa condição, a quebra de fibras se reduz durante a geração de partículas (MALONEY, 1993).

3.3.2.1.5 Extrativos

Os materiais extrativos podem estar contidos tanto na parede celular como no lume da célula e são substâncias de natureza variada: óleos, resinas, gomas, taninos, substâncias, carboidratos (KOLLMANN e COTË, 1968). São responsáveis por determinadas características

da madeira como: cor, cheiro, gosto, resistência natural ao apodrecimento e propriedades abrasivas (KLOCK et al., 2005). 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. Os extrativos podem interferir na cura da resina, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

Adicionalmente podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados com o estouro de painéis durante a prensagem. Tais problemas devem ser avaliados, quando do uso de espécies que possuam extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (MALONEY, 1993).

3.3.2.2 Fatores inerentes ao processo

3.3.2.2.1 Densidade dos painéis

A densidade do painel está relacionada a quantidade de partículas para uma determinada dimensão do painel e influencia significativamente as suas propriedades físico-mecânicas (MALONEY, 1993; MENDES, 2011).

No Canadá, as indústrias produzem painéis OSB com densidade na faixa de 0,63 a 0,67 g/cm³ (CLOUTIER, 1998). No Brasil, a única indústria de OSB produz painéis com densidade entre 0,60 e 0,65 g/cm³, variando de acordo com a dimensão do produto (LP BRASIL, 2012).

Zhow (1990) verificou alta correlação entre a densidade dos painéis e as propriedades de absorção de água e de inchamento em espessura; o autor atribuiu o aumento destas propriedades ao maior número de partículas necessárias para confecção de painéis de maior densidade, o que, conseqüentemente, gerou um aumento do número de sítios higroscópicos e, provavelmente, influenciou quimicamente.

García et al. (1999) encontraram relação positiva entre densidade dos painéis e condutibilidade térmica, e relação negativa com permeabilidade lateral/transversal e convecção térmica dos painéis OSB.

A perda de materiais durante a formação do colchão e prensagem dos painéis, além do retorno em espessura do painel após a sua retirada da prensa, são fatores que influenciam

diretamente na redução da densidade do painel em função da redução do peso de partículas do colchão e aumento da espessura e volume do painel (IWAKIRI et al., 2008).

Segundo estudo realizado por Saldanha (2004), avaliando painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L. e com densidade de 0,65 e 0,90 g/cm³, constatou-se que, conforme se aumentou 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 absorção de água, bem como em aumento do inchamento em espessura e também da taxa de não-retorno em espessura.

3.3.2.2 Razão de compactação

A relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada é denominada de razão de compactação e exerce uma influência acentuada nas propriedades dos painéis particulados de madeira (MOSLEMI, 1974).

De acordo com Kelly (1977), painéis de mesma densidade nominal produzidos com madeira de baixa densidade, apresentam maior razão de compactação do colchão de partículas e consequente aumento nas propriedades mecânicas dos painéis. Entretanto, as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores. Portanto, há uma interdependência entre os parâmetros de processamento nas propriedades da chapa produzida.

Sendo a madeira um material viscoelástico, o colchão de partículas exibe um comportamento mecânico dependente do tempo. O seu comportamento reológico durante a prensagem é bastante complexo; as tensões desenvolvidas durante a densificação podem ser relaxadas, provocarem deformação elástica, ficarem bloqueadas na estrutura sólida ou serem liberadas. Estes processos físicos estão intimamente ligados à distribuição de temperatura, umidade e densidade. Por outro lado, à medida que a resina cura pode esperar-se uma aceleração do relaxamento das tensões, dado que a estrutura reticulada que se forma promove uma uniformização das tensões no painel (CARVALHO et al., 2001).

No momento de consolidar-se uma chapa, as partículas mais secas tornar-se-ão menos plásticas e oferecerão maior resistência a compactação. Deste modo, as tensões finais de

prensagem serão maiores nesta condição e quando o material for exposto à água ou absorver umidade do ambiente apresentará tendência a liberar estas tensões (MATOS, 1988).

Saldanha (2004) avaliando painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., verificou, no que diz respeito ao inchamento em espessura, que o aumento da densidade de 0,65 para 0,90 g/cm³ acarretou um aumento estatisticamente significativo no inchamento após as 24 horas de imersão em água, efeito este, decorrente da maior liberação das tensões de compressão impostas na prensagem, pois chapas mais densas possuem maior quantidade de massa lenhosa por volume, e assim maior razão de compactação.

3.3.2.2.3 Composição dos painéis

Entre os fatores que afetam as propriedades dos painéis OSB, a densidade do painel e a composição estrutural em camadas cruzadas (face/centro/face) são os que apresentam forte influência na resistência à flexão estática e estabilidade dimensional.

Avramidis e Smith (1989) observaram uma significativa melhora nas propriedades dos painéis OSB (MOE, MOR e expansão linear), quando se aumentou a proporção face/miolo. Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação, enquanto que na posição perpendicular, observou-se o contrário, ocorrendo uma redução de MOE e MOR e aumento na expansão linear. Os mesmos autores não observaram um efeito claro da influência das proporções das camadas, nas propriedades de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE). Por outro lado, observaram uma diminuição da LI (ligação interna) dos painéis OSB, quando a relação face/miolo foi aumentada.

Murakami et al. (1999) constataram um incremento no MOR e MOE dos painéis OSB, com o aumento da relação face/miolo. Por outro lado, verificaram uma diminuição no inchamento em espessura e na expansão linear, enquanto que a ligação interna não foi afetada pelo aumento da relação face/miolo.

Cloutier (1998) afirma que a proporção face/miolo ideal está na faixa de 40/60 a 60/40, com base na porcentagem de peso seco das partículas encoladas. Essas proporções são as mais utilizadas pelas Indústrias Canadenses e Americanas de OSB.

Suzuki e Takeda (2000) relatam que as propriedades de flexão estática são altamente afetadas pela proporção das camadas e que estas propriedades podem ser igualadas no sentido paralelo e perpendicular com 25% de camada externa (25/50/25).

Iwakiri et al. (2003b) afirmam que a composição do painel em camadas cruzadas, com a relação face/miolo/face de 20/60/20, apresentou melhor balanço de resistência à flexão estática nos sentidos paralelo e perpendicular, quando comparados aos painéis com proporção de 30:40:30.

3.3.2.2.4 Adesivo

Na produção de chapas de partículas de madeira, o adesivo é o componente de maior custo de produção, portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada, em função das propriedades requeridas para a finalidade de uso a que se destina a chapa.

Segundo Cloutier (1998), os adesivos fenol-formaldeído (FF) e difenilmetano diisocianato (MDI) são os mais utilizados para a produção de painéis OSB. De acordo com Iwakiri et al. (2003b) a quantidade de resina fenol-formaldeído utilizada na produção de painéis OSB pode variar de 3,0% a 6,0%, base peso seco das partículas.

Spelter et al. (2006), citado por Mendes (2011), mencionam que 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, apresenta como desvantagens o maior custo e o fato de aderir em metais, o que faz com que ele seja mais utilizado na camada interna dos painéis (MENDES, 2011).

Recentemente, a busca por resinas alternativas para a fabricação de painéis também perfaz uma demanda. Nesse sentido, o uso de taninos extraídos de espécies florestais é uma dessas alternativas. Pastore Junior (1977) relata que o tanino é uma substância amplamente distribuída entre as plantas, principalmente na casca, onde a concentração pode atingir 40% em algumas espécies, permitindo desta forma, a exploração comercial. Jorge et al. (2002), relatam que o extrato comercial da casca de acácia tem mostrado não ser adequado para a preparação de resinas de taninos/formaldeído, por questões tecnológicas; porém, segundo o mesmo autor,

pesquisas têm sido realizadas no intuito de melhorar o desempenho das resinas a base de tanino de acácia.

Teodoro (2008) avaliando as propriedades de painéis OSB fabricados com os adesivos fenol-formaldeído (FF), FF modificado com 10% e 20% de tanino de acácia negra, tanino-formaldeído (TF) da acácia negra e TF da acácia negra modificado com 10% e 20% de taninos da casca de *Eucalyptus pellita*, observou que os painéis OSB apresentaram boas propriedades físicas, mesmo sem adição de produtos na sua composição para diminuir a absorção de umidade. De acordo com o autor, a adição de tanino de acácia negra ao adesivo FF não influenciou negativamente nos valores de IE e AA dos painéis nas duas primeiras horas de imersão em água e também foi possível substituir o adesivo FF em até 20% por tanino de acácia negra sem alterar negativamente os valores das propriedades de resistência à flexão dos painéis.

Outra preocupação que está sendo motivo de estudo refere-se à incorporação de lignina (resíduo da polpação e hidrólise ácida da madeira) às formulações tradicionais de resinas utilizadas na colagem de painéis OSB. Neste sentido Calvé et al. (1988), concluíram que uma grande economia pode ser alcançada, incorporando até 50% de lignina à resina fenol-formaldeído (FF), podendo ser utilizada nas camadas externas de painéis OSB, sem haver a necessidade de mudanças nas condições de prensagem e sem afetar a qualidade dos painéis produzidos.

Mendes et al. (2007), avaliando a utilização das resinas melamina-ureia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-ureia-formaldeído (PMUF) na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp, observaram que no sentido perpendicular, os valores de MOE e MOR para as resinas PMUF e MUF foram superiores aos apresentados pela resina FF, no entanto, não afetaram de forma significativa os valores de ligação interna.

Saldanha e Iwakiri (2009) avaliando a influência das resinas FF, MUF e PMUF nas propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB produzidos com madeira de *Pinus taeda* L., concluíram que, entre as resinas alternativas, a PMUF foi a que apresentou resultados satisfatórios para o MOE no sentido paralelo, absorção de água e inchamento em espessura 24 horas e que os painéis produzidos com resina FF apresentaram melhores resultados para todas as propriedades avaliadas, com exceção de MOE e MOR no sentido perpendicular.

3.3.2.2.5 Parafina

A parafina é adicionada a fim de proporcionar uma melhora no painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida. Contudo, não melhora o desempenho do painel quanto à absorção de vapor d'água. O efeito da parafina é significativo sobre a absorção de água líquida e o inchamento em espessura do painel, somente em curto intervalo de tempo (MENDES et al., 2002).

A quantidade de parafina utilizada na produção de chapas OSB pode variar de 0,5% a 1,5%, baseada no peso seco das partículas. Quantidades maiores de parafina poderão resultar em redução na resistência mecânica da chapa (CLOUTIER, 1998; MARRA, 1992). Kelly (1977) analisando a influência das variáveis de processamento nas propriedades de painéis particulados, ressalva que aplicações de parafina acima de 1%, baseadas no peso seco das partículas de madeira, causam reduções nas propriedades de resistência mecânica dos painéis. Mendes (2001) menciona que a adição excessiva de parafina na chapa, promove a redução da ligação interna, devido à interferência da parafina sobre a polimerização da resina.

Iwakiri et al. (2003b) produzindo painéis OSB de *Eucalyptus grandis* com incorporação de 0,5 e 1,0% de emulsão de parafina, verificaram que, para os painéis produzidos com 4,5% de resina, a adição de parafina reduziu significativamente o inchamento em espessura e a ligação interna.

Mendes (2011) avaliando o efeito da aplicação de parafina ao teor de 1% sobre as propriedades dos painéis OSB, verificou que esta não promoveu melhoria significativa das propriedades mecânicas dos painéis, no entanto, para as propriedades físicas, resultou em melhora da AA2h e IE2h.

3.3.2.2.6 Geometria e orientação das partículas

Dentre as variáveis de processamento que afetam as propriedades dos painéis OSB, a geometria das partículas é citada por Maloney (1993) como uma das mais importantes. No processo de geração de partículas, os elementos dimensionais a serem controlados são: comprimento, largura e espessura. O formato das partículas do tipo *strand* com maior

comprimento e largura em comparação às partículas do tipo *sliver*, *flake* e *wafer*, proporcionam melhores condições de orientação na formação dos painéis OSB (MOSLEMI, 1974).

O comprimento e a largura das partículas são parâmetros que controlam o grau de orientação na formação dos painéis OSB. Segundo Maloney (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo três para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas *strand*.

De acordo com Mendes (2001), os fatores que afetam significativamente a orientação das partículas são a altura de queda das partículas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador.

A geometria das partículas representa uma função particular em facilitar ou dificultar a transferência do calor através da espessura do painel submetido a prensagem (MATOS, 1988, citado por SALDANHA, 2004).

A relação entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de esbeltez, influencia diretamente no aumento da resistência do painel OSB à flexão estática. Por outro lado, com o aumento da espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, ocorre o aumento da disponibilidade de resina por unidade de área superficial para um mesmo teor de resina, resultando em maiores valores de ligação interna (MALONEY, 1993). 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 (IWAKIRI, 2005).

Iwakiri et al. (2009) avaliando a influência da espessura de partículas de 0,4, 0,7 e 1,0 mm sobre as propriedades dos painéis OSB de *Pinus taeda* L., concluíram que os painéis OSB produzidos com partículas com espessura de 1,0 mm apresentaram menores valores de MOE e MOR, tanto no sentido paralelo, quanto no perpendicular, em comparação aos painéis produzidos com partículas de espessuras menores. Por outro lado, o aumento na espessura das partículas resultou em valores significativamente superiores de ligação interna dos painéis.

3.3.2.2.7 Ciclo de prensagem

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de painéis de madeira. É nesta operação que muitas das propriedades físicas são definidas, especialmente aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de densidade do painel. As condições de prensagem mais importantes que afetam as propriedades dos painéis de madeira são o teor de umidade do colchão de partículas, a velocidade de fechamento da prensa, o tempo e a temperatura de prensagem (KELLY, 1977).

De acordo com Matos (1988), o teor de umidade do material no ciclo da prensa exerce influência sobre a resistência da madeira à compressão. Partículas com teor de umidade elevado requerem um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. Também a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel é facilitada com maiores teores de umidade do material. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas facilitando o aquecimento e a cura da resina. O mesmo autor relata que, por outro lado, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores.

O teor de umidade da matéria-prima é um dos mais importantes fatores na manufatura de chapas de partículas. Na indústria, as partículas de madeira são secas a um teor de umidade entre 3 e 6% dependendo do tipo e do teor da resina (MOSLEMI, 1974; KOLLMANN et al., 1975; TSOUMIS, 1991). Após a mistura das partículas secas com a resina, o teor de umidade eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14% (TSOUMIS, 1991). Heebink et al. (1972) citado por Kelly (1977) , afirmou que 12% representa o teor de umidade ótimo para um colchão de partículas com distribuição uniforme.

Outra variável importante é o tempo de fechamento da prensa, que, segundo Matos (1988), equivale ao tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada. Um tempo muito longo de fechamento faz com que a resina nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do

material e ocasionando a pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência das chapas (KELLY, 1977).

Quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa, até a abertura da prensa (MATOS, 1988). Segundo esse mesmo autor, reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis, pois implicam em uma maior produção por unidade de tempo, bem como provocam uma redução no consumo de energia. Ele relata também, que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

Segundo Iwakiri (1989), o tempo mínimo de prensagem depende, principalmente, da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, assim como da distribuição da umidade no colchão de partículas.

Considerando a temperatura de prensagem, Matos (1988), afirma que a sua principal função, na produção de painéis de partículas, é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira.

Iwakiri (1989) menciona que 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 das ligações internas e menor resistência à flexão estática.

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 et al., 2005). García et al. (2001) comentam que o calor plasticiza a madeira e polimeriza o adesivo, enquanto a pressão exercida pelos pratos da prensa junta as partículas aderindo-as.

Matos (1988), Iwakiri (1989) e Mendes (2001), obtiveram painéis estruturais de boa qualidade para espécies de *Pinus* spp e resina fenólica, utilizando pressão específica de 40 kgf/cm².

3.3.3 Propriedades dos painéis OSB

3.3.3.1 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática

Parker (1979), citado por Klock (2000), relata que o módulo de elasticidade (MOE) expressa a carga necessária para estender um corpo de 1 cm² de área transversal a uma distância igual ao seu próprio comprimento. O MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço.

O módulo de ruptura (MOR) é uma propriedade muito importante e determina a aplicabilidade das chapas de partículas para uso estrutural (IWAKIRI, 1989).

Matos (1997) relata que o módulo de ruptura (MOR) é a medida da resistência oferecida pela madeira a esforços de flexão e que os valores obtidos são utilizados para obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira.

Segundo Kelly (1977), os módulos de elasticidade e de ruptura são afetados de forma similar pelas diversas variáveis de processamento. O aumento da massa específica dos painéis, orientação das partículas e conteúdo de resina geralmente afetam ambas as propriedades simultaneamente.

O código canadense 0437-1993 (*Canadian Standards Association – Test Methods for OSB and Waferboard*) apresenta os valores mínimos de MOR paralelo 28,4 e 22,9 MPa para as classificações O2 e O1, respectivamente. Enquanto que para MOR perpendicular os valores são de 12,2 e 9,4 MPa, respectivamente. Já para os valores mínimos de MOE paralelo tem-se 5393,7 e 4413,0 MPa para as classificações O2 e O1, respectivamente. Enquanto que para o MOE perpendicular os valores são de 1471,0 e 1274,9 MPa, respectivamente.

3.3.3.2 Ligação interna (LI)

A resistência da ligação interna é uma propriedade amplamente estudada em todas as pesquisas de chapas de partículas. Quando uma amostra é testada em tração perpendicular normalmente ocorre a ruptura na porção média da sua espessura, que corresponde a região de menor densidade e ligação entre partículas (IWAKIRI, 1989).

Para Matos (1988), a ligação interna serve como parâmetro para avaliação da agregação interna das partículas e da eficiência da colagem das chapas.

3.3.3.3 Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)

Absorção de água é a expressão percentual da quantidade de água absorvida a qual ocorre quando uma amostra acondicionada a 20°C e 65% de umidade relativa (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 2 e 24 horas, de acordo com a Norma ASTM (2002).

Segundo Brito (1995), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, massa específica dos painéis, nível de resina, nível de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem.

3.3.3.4 Taxa de não-retorno em espessura (TNRE)

Segundo Iwakiri (1989), a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa, em que ocorre primeiro o inchamento e depois a contração, resulta em um inchamento residual por causa da liberação das tensões de compressão impostas aos painéis durante a prensagem, e é denominada de taxa de não-retorno em espessura. Esse efeito pode ser reduzido ou eliminado por meio de tratamentos especiais tais como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora esses métodos tenham aplicações limitadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

No presente estudo foram utilizadas as madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PECH) e *Pinus taeda* L. (PT).

As árvores de PECH, aos 07 anos e 10 meses de idade, foram cedidas pela empresa Pinus Brasil Agro Florestal LTDA e coletadas nos plantios da Fazenda Pedra Maria, localizada na região de Buri – SP. A implantação do talhão no qual se deu a seleção foi realizada em fevereiro de 2002, com um espaçamento de 3 x 3 m a partir de aproximadamente 1.111 mudas provenientes de sementes. Antes da coleta do material, realizada em outubro de 2009, o plantio já havia passado por dois desbastes. O primeiro foi em 2006 com o corte de 166 árvores por hectare. O segundo desbaste ocorreu em 2009 com o corte de 236 árvores por hectare, com diâmetro a altura do peito (DAP) e altura médios de 23 cm e 14,1 m, respectivamente. Segundo os dados do inventário realizado em janeiro de 2009, fornecidos pela referida empresa, o incremento médio anual (IMA) das árvores do talhão foi de 52,84 m³/ha/ano.

As árvores de PT, aos 35 anos de idade, foram provenientes da Fazenda Ouro Verde, Projeto Ouro Verde 22, talhão 507351207353, situada no município de Jaguariaíva-PR, de propriedade da Empresa Valor Florestal. Antes da coleta, realizada em novembro de 2008, o referido talhão já havia passado por dois desbastes e se encontrava com 256 árvores/ha, com DAP médio de 46,2cm e altura média de 32,3m.

Nos talhões descritos, foram selecionadas 05 árvores de PECH com DAP de aproximadamente 30 cm e 08 árvores de PT com DAP de aproximadamente 40 cm. Na seleção das árvores foi dada preferência para aquelas com tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou outros defeitos visuais que poderiam incompatibilizar o material com o seu processamento.

As árvores selecionadas foram abatidas e a partir da base de cada uma delas amostrados sequencialmente 01 disco e 03 toras (A, B e C) de 2,5 metros. Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas somente as toras codificadas pela letra C, provenientes de 04 árvores de PT e de 05 árvores de PECH. O restante das toras foi destinado a outros estudos. No entanto, para determinação da densidade básica das madeiras, os discos da base de todas as árvores originalmente selecionadas foram considerados.

Todo o material coletado foi transportado para o Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira – LLAPAM do Departamento de Ciências Florestais – LCF da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba – SP.

4.2 Determinação da densidade básica da madeira e das misturas das madeiras

Conforme mencionado anteriormente, a determinação da densidade básica das madeiras utilizadas no presente estudo foi feita com os discos retirados da base de todas as árvores originalmente selecionadas. 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, as cunhas foram levadas para uma estufa com circulação forçada de ar na temperatura de $102^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, permanecendo na mesma até que atingissem massa constante (0% de umidade), momento em que foram retiradas da estufa a fim de obter as suas massas através de uma balança de precisão. A densidade básica foi determinada pela seguinte Equação (1):

$$DB = \frac{m_0}{v_s}$$

onde:

DB = densidade básica da madeira (g/cm^3);

m_0 = massa da madeira a 0% de umidade (g);

v_s = volume da madeira saturada em água (cm^3).

As densidades básicas das misturas das madeiras de PECH e PT foram obtidas através da seguinte Equação (2):

$$DB_M = \frac{(P_{PECH} \times DB_{PECH}) + (P_{PT} \times DB_{PT})}{100}$$

onde:

DB_M = Densidade básica da mistura (g/cm^3);

P_{PECH} e P_{PT} = porcentagens de PECH e PT (%);

DB_{PECH} e DB_{PT} = densidade básica de PECH e PT (g/cm^3), determinadas conforme a Equação 1, anteriormente descrita.

4.3 Desdobro das Toras

Na Serraria do LCF as toras C de PECH foram desdobradas, com a utilização de uma serra de fita dotada de carro porta-toras, em tábuas com espessura nominal de 27 mm, valor posteriormente ajustado para 25 mm por meio de uma desengrossadeira. As tábuas geradas foram então processadas em serra circular destopadeira/esquadrejadeira dando origem a blocos de madeira com dimensão de 90 mm na direção das fibras. Essas peças obtidas foram mantidas imersas em água fria até o momento em que foram transformadas em partículas do tipo *strand*.

4.4 Produção e secagem das partículas *strand*

As partículas *strands* provenientes da madeira de PT já se encontravam disponíveis no LLAPAM, resultantes da sobra de trabalhos realizados anteriormente. Contudo, a metodologia de obtenção, bem como as dimensões das partículas foram as mesmas das descritas aqui.

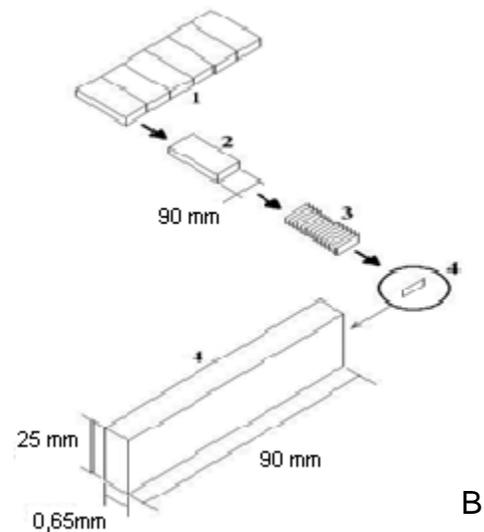
Os *strands* de PECH foram produzidos a partir dos blocos de madeira num gerador de partículas (Figura 3A) instalado no LLAPAM. O equipamento é composto por um disco com quatro facas que foram ajustadas para se obter partículas com espessura nominal de 0,65 mm. Em função das dimensões dos blocos e do 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 3B.

As partículas, depois de obtidas, inicialmente foram secas ao ar livre sobre uma lona plástica (Figura 3C), até alcançarem um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Posteriormente, a secagem das partículas foi complementada numa estufa laboratorial (Figura 3D), com renovação de ar e circulação forçada, a temperatura de 90°C. Durante a secagem, as partículas eram revolvidas e amostras retiradas para serem avaliadas numa balança determinadora

de umidade. A secagem era finalizada quando as partículas se encontravam com teor de umidade de 3 a 5%.



A



B



C



D

Figura 3 – Produção e secagem das partículas *strand*. A) Gerador de partículas com um bloco a ser processado; B) Geração das partículas: 1 – Tábua; 2 – Bloco; 3 – Corte; 4 – Partícula gerada; C) Secagem das partículas ao ar livre; D) Secagem das partículas em estufa com renovação e circulação de ar

Depois da secagem em estufa as partículas foram peneiradas através de uma malha de 16 x 16 mm para retirada de “finos” e então acondicionadas em sacos plásticos lacrados para homogeneizar e manter a umidade, permanecendo assim até o momento da manufatura dos painéis.

4.5 Manufatura dos painéis OSB

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

O adesivo utilizado para a encolagem das partículas de madeira dos painéis OSB foi o fenol-formaldeído (FF) líquido, com teor de sólidos de 53,2%, pH igual a 11,74, gel time a 121°C de 8,33 minutos e viscosidade a 25°C de 620 cP. A quantidade de adesivo empregada foi de 6% de sólidos resinosos, calculada sobre a massa seca das partículas a 0% de umidade. Parafina líquida, também, foi adicionada às partículas na quantidade de 1% de sólidos, calculada sobre a mesma base citada para o adesivo.

A aplicação do adesivo e da parafina foi realizada separadamente, nessa mesma ordem, em uma encoladeira do tipo tambor rotativo (Figura 4), regulada para girar a 12 RPM, no interior da qual se encontrava acoplada uma pistola a ar comprimido, dotada de caneco superior, utilizada para aspersão dos líquidos sobre as partículas.

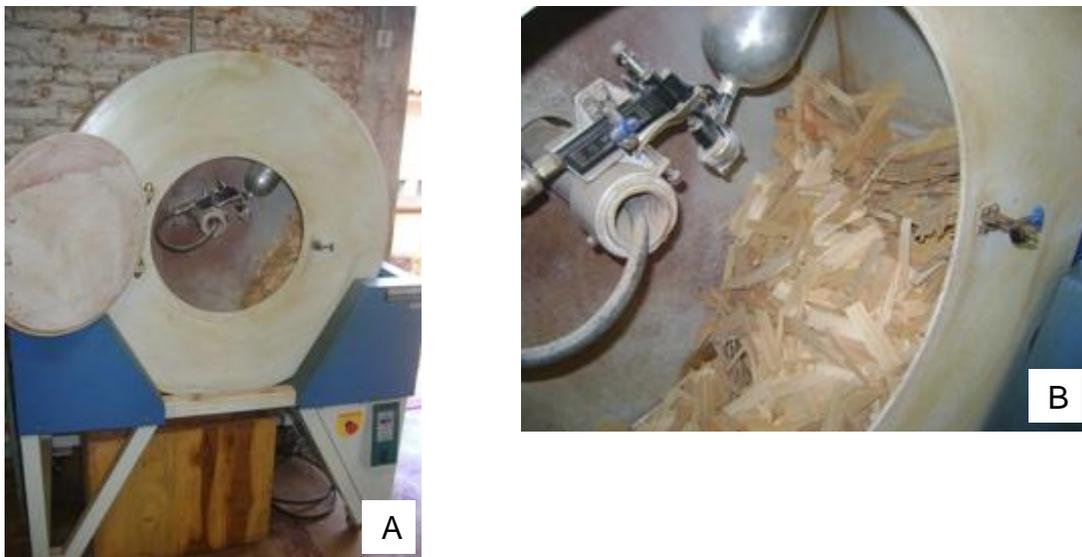


Figura 4 – Encolagem das partículas. A) Encoladeira do tipo tambor rotativo; B) Detalhe da pistola a ar comprimido utilizada para aspersão dos líquidos sobre as partículas

4.5.2 Orientação e formação do colchão de partículas

Os painéis foram compostos por partículas geradas a partir de ambas as madeiras (PECH e PT), sem mistura e em diferentes proporções (%) de mistura, as quais constituíram um dos fatores a serem experimentados e se encontram discriminadas no item 4.8, Tabela 1.

Todos os painéis OSB foram produzidos com três camadas, constituídas por face, miolo e face, nas respectivas proporções de 30:40:30, baseadas na massa de partículas. As partículas já encoladas foram lançadas à mão sobre uma caixa de madeira, orientadora das partículas/formadora do colchão, com dimensões de 560 mm de aresta interna e 200 mm de altura, com 15 subdivisões confeccionadas em lâminas de ferro e 16 espaços vazios distantes 35 mm entre si, ilustrada nas Figuras 5A e 5B. As partículas da camada interna (miolo) foram orientadas com seu comprimento perpendicular ao das partículas das faces adjacentes (Figura 5C).

A massa específica nominal dos painéis foi de $0,65 \text{ g/cm}^3$ e suas dimensões nominais de $560 \times 560 \times 15,7 \text{ mm}$. O cálculo da massa de partículas necessária para atingir a densidade nominal dos painéis que foram produzidos, bem como das quantidades de adesivo e parafina incorporadas ao painel, foi baseado na metodologia descrita no trabalho de Brito (1995).

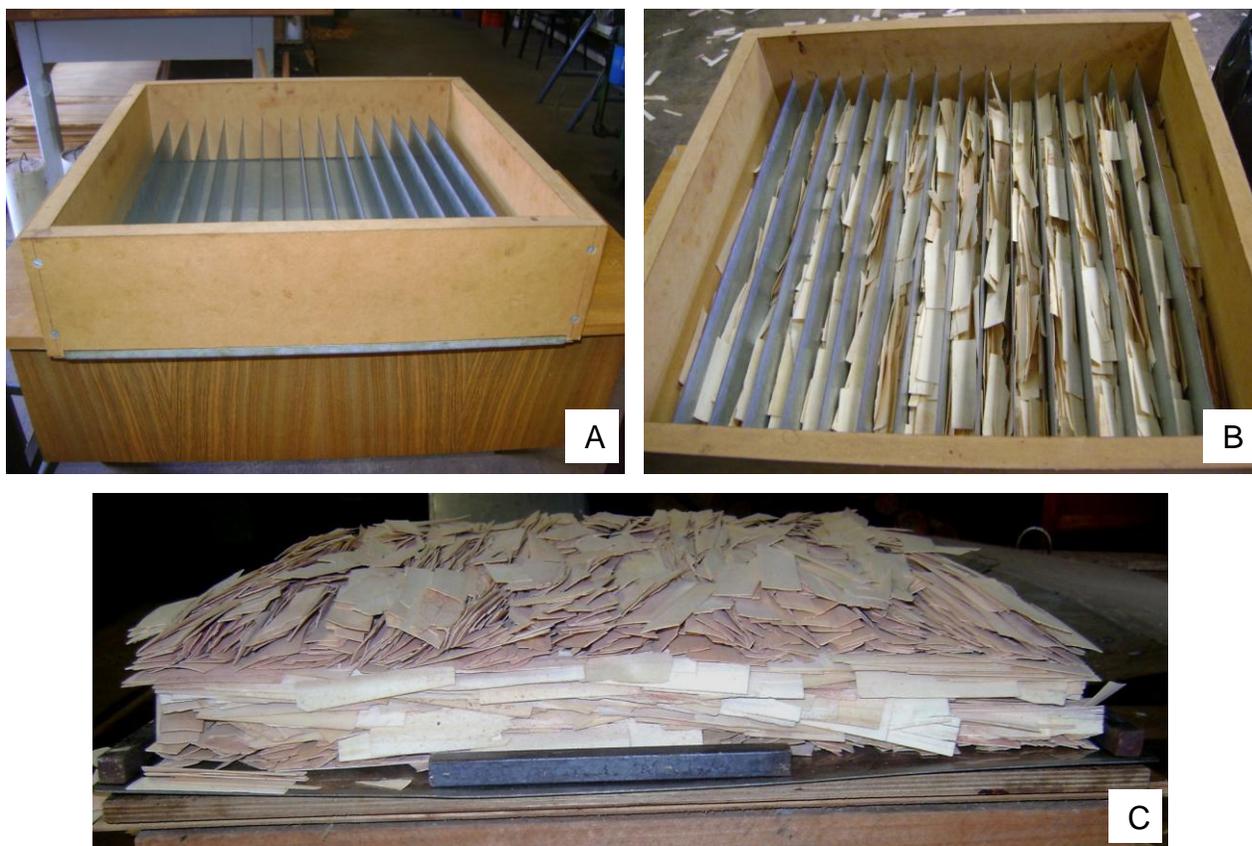


Figura 5 – Colchão de partículas *strand*. A) Caixa formadora com tampa de descarga removível; B) Orientação das partículas na caixa; C) Colchão formado após prensagem a frio

4.5.3 Prensagem e climatização dos painéis

Depois de formado, inicialmente o colchão de partículas foi levado para uma prensa hidráulica manual (Figura 6A) para efetuar a sua pré-prensagem a frio, com a finalidade de proporcionar-lhe melhor conformação, minimizar a perda de partículas e facilitar o carregamento da prensa quente. Posteriormente, o colchão de partículas foi colocado numa prensa hidráulica motorizada, com controle automático de temperatura, pressão e tempos de abertura e fechamento dos pratos (Figura 6B), para consolidação do painel.

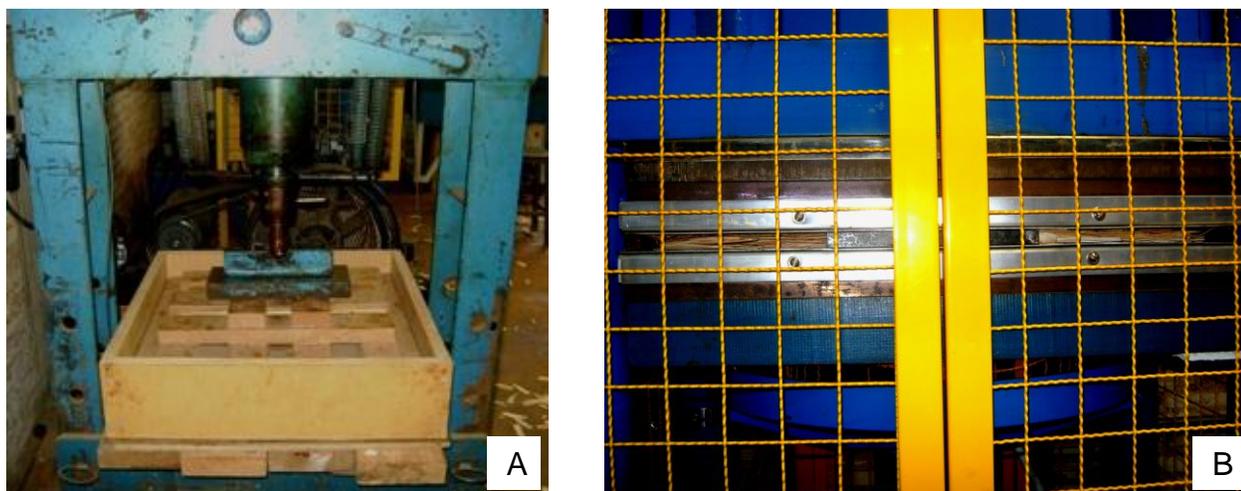


Figura 6 – Processo de prensagem dos painéis. A) Prensa hidráulica manual, utilizada na pré-prensagem a frio; B) Prensa hidráulica motorizada, utilizada na prensagem a quente.

Além da proporção de mistura entre as madeiras, outro fator experimentado na manufatura dos painéis foi o ciclo de prensagem, visando principalmente à melhoria de sua estabilidade dimensional. A Figura 7 ilustra os dois ciclos de prensagem (convencional e modificado) adotados. Em ambos os ciclos de prensagem a pressão máxima foi de 35 kgf/cm², a temperatura de 180°C, o tempo total igual a 10 minutos, utilizando separadores (também conhecidos como *stops* ou limitadores) entre os pratos da prensa, com espessura de 15,7 mm. Porém, no ciclo modificado (Figura 7B) a pressão de prensagem máxima foi reduzida paulatinamente a patamares inferiores ao longo do tempo até a abertura total da prensa.

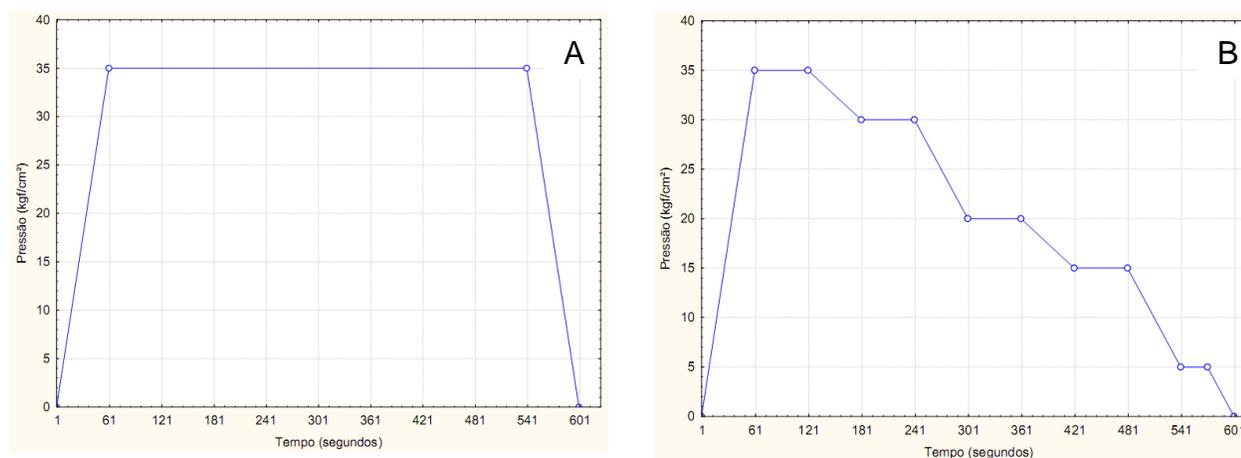


Figura 7 – Ciclos de prensagem: A) Ciclo de prensagem convencional; B) Ciclo de prensagem modificado

Depois de serem produzidos e após restabelecerem a temperatura ambiente, os painéis foram mantidos em sala de climatização do Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF, com temperatura e umidade relativa controlada ($22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$) até atingirem a umidade de equilíbrio com esse ambiente. Tal condição foi verificada através de pesagens periódicas (dois em dois dias) dos painéis até o momento em que estes apresentaram massa constante.

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

Após o período de climatização, os painéis foram esquadrejados em serra circular, excluindo-se 55 mm de cada uma de suas extremidades, visando eliminar os efeitos de borda. Posteriormente, foram retirados os corpos-de-prova, conforme ilustra a Figura 8, para determinação das propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão; taxa de não-retorno em espessura) e das propriedades mecânicas (módulos de ruptura e de elasticidade à flexão estática paralela e perpendicular; resistência a tração perpendicular ou ligação interna) dos painéis OSB.

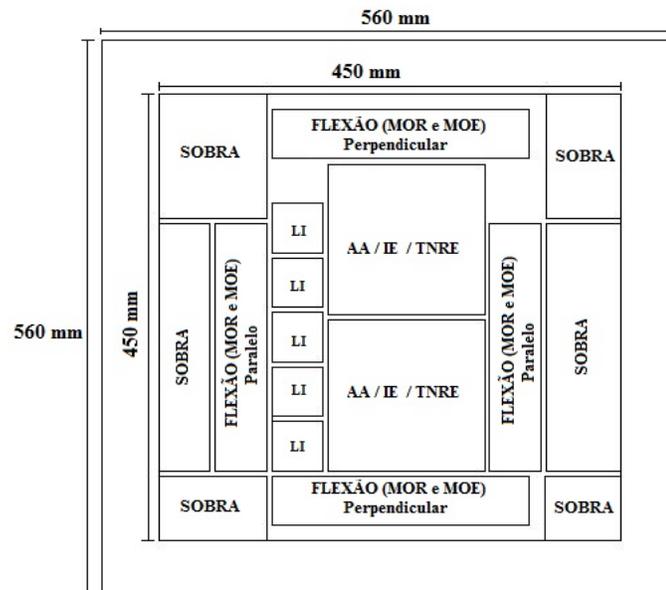


Figura 8 – Esquema da retirada dos corpos-de-prova dos painéis OSB. Adaptado de Mendes, 2011. Legenda: AA = absorção de água; IE = inchamento em espessura; TNRE = taxa de não-retorno em espessura; LI = ligação interna; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.

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

As dimensões dos corpos-de-prova e os procedimentos de ensaio empregados na determinação das propriedades absorção de água e inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão e taxa de não-retorno em espessura dos painéis foram baseados na norma ASTM D 1037 (2002). No caso dos ensaios de flexão estática paralela e perpendicular foi utilizada a norma DIN 52362 (1982).

A massa específica de cada painel produzido foi determinada através da medição direta de todos os corpos-de-prova ilustrados na Figura 8, obtendo-se as suas massas (g) através de balança de precisão e suas dimensões (largura, comprimento e espessura) através de paquímetro e micrômetro. Por meio da multiplicação das dimensões dos corpos-de-prova, foram obtidos os seus volumes (cm³). Finalmente, a massa específica (g/cm³) de cada corpo-de-prova foi obtida pela divisão da sua massa pelo volume correspondente. Para representar a massa específica de cada painel, utilizou-se a média das massas específicas dos corpos-de-prova retirados do painel.

Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios 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.

4.7 Determinação da razão de compactação dos painéis

A razão de compactação dos painéis, também denominada razão de compressão ou taxa de compressão, foi determinada através da seguinte Equação (3):

$$R_c = \frac{ME_P}{D_B}$$

onde:

R_c = Razão de compactação;

ME_P = Massa específica nominal (0,65 g/cm³) ou massa específica efetiva do painel (g/cm³);

D_B = densidade básica da madeira (DB) ou densidade básica da mistura (DB_M), em g/cm³.

4.8 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial do tipo 4 x 2 para os tratamentos (Tabela 1), cujos fatores foram a proporção de partículas das diferentes madeiras (PECH e PT) e os ciclos de prensagem (convencional e modificado), respectivamente. Para cada tratamento foram adotadas 3 repetições, totalizando 24 painéis OSB produzidos.

Para verificar o efeito dos fatores proporção de partículas e ciclo de prensagem foi realizada uma análise de variância e, posteriormente, o teste de *Tukey*, conduzido ao nível de 5% de probabilidade de erro, com a utilização do programa SISVAR. Para auxiliar na interpretação dos dados obtidos pelos ensaios físico-mecânicos, as médias das repetições de todas as propriedades foram correlacionadas entre si através do coeficiente de correlação de Pearson.

Os valores médios de cada propriedade avaliada, por tratamento, foram obtidos e então confrontados com os valores mínimos especificados na norma canadense CSA 0437 (1993), visando adquirir subsídio para inferir sobre a qualidade dos painéis produzidos.

Tabela 1 – Tratamentos adotados na manufatura dos painéis OSB

Tratamentos	Proporção de partículas de PECH (%)	Proporção de partículas de PT (%)	Ciclo de Prensagem
T1	0	100	Convencional
T2	100	0	
T3	75	25	
T4	50	50	
T5	0	100	Modificado
T6	100	0	
T7	75	25	
T8	50	50	

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras de PECH e PT

A Tabela 2 apresenta a densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras de PECH e PT.

Tabela 2 – Valores médios de densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras de PECH e PT

Madeira	Mistura	Densidade Básica (g/cm ³)
PT	-----	0,50
PECH	-----	0,34
-----	75% PECH + 25% PT	0,38
-----	50% PECH + 50% PT	0,42

O valor médio de densidade básica determinado para a madeira do híbrido PECH (Tabela 2) foi de 0,34 g/cm³. De acordo com Harding e Copley (2000), o valor médio de densidade básica encontrado para o híbrido F2 de PECH foi de 0,432 g/cm³ e de 0,430 g/cm³ para o F1. Considerando que a madeira utilizada no presente estudo corresponde ao híbrido F2, pode-se dizer que o valor médio de sua densidade básica foi inferior ao valor encontrado por aqueles autores. Tal diferença pode ser atribuída à idade, constituição genética, fisiologia das árvores, taxa de crescimento, entre outras.

Em relação às espécies parentais do híbrido em estudo, registra-se que Iwakiri et al. (2001) encontraram para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* densidade básica de 0,43 g/cm³ aos 10 anos de idade, e Carpanezi et al. (1986) encontraram para a mesma madeira valores variando entre 0,35 a 0,50 g/cm³. De acordo com Carpanezi et al. (1986) a madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, em idades mais avançadas, possui densidade básica variando entre 0,50 e 0,56 g/cm³. Com base nestes dados de literatura, observa-se que o valor médio de densidade básica da madeira do híbrido estudado foi mais próximo ao da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

O valor médio de densidade básica determinado para a madeira de *Pinus taeda* (Tabela 2) foi de 0,50 g/cm³. Mendes (2001), avaliando o potencial de *Pinus* spp. na produção de painéis OSB, encontrou para a madeira de *Pinus taeda* densidade básica de 0,40 g/cm³ aos 11 anos de

idade. Iwakiri et al. (2001) encontraram para a mesma madeira o valor médio de 0,44 g/cm³ aos 10 anos de idade. Saldanha (2004) encontrou densidade básica de 0,475 g/cm³ para madeira de *Pinus taeda* aos 30 anos de idade, e MUÑIZ (1993), estudando a madeira da mesma espécie e idade, encontrou valores entre 0,42 e 0,52 g/cm³, sendo este último valor o mais compatível com o obtido no presente estudo.

Maloney (1977) informa que as espécies de madeira mais utilizadas para produção de chapas de partículas, nos Estados Unidos da America e no Canadá, apresentam densidade básica entre 0,30 e 0,50 g/cm³. De acordo com Cloutier (1998), as espécies de madeira mais desejáveis para produção de OSB possuem densidade entre 0,25 e 0,45 g/cm³. Segundo o mesmo autor, espécies com densidade entre 0,45 e 0,55 podem ser utilizadas, porém, são menos desejáveis e na maioria dos casos empregadas em misturas com madeira de menor densidade. Com base nessas citações, pode-se dizer que as densidades das madeiras de PECH e de PT, e a densidade das suas misturas (Tabela 2), são compatíveis com aquelas informadas pelos autores.

5.2 Razão de compactação dos painéis OSB

A Tabela 3 apresenta os valores das razões de compactação calculadas em função da proporção de cada madeira por tratamento.

Tabela 3 – Valores das razões de compactação nominal e efetiva para cada tratamento

Tratamentos	Razão de compactação	
	Nominal	Efetiva
T1	1,30	1,40
T2	1,92	1,80
T3	1,71	1,77
T4	1,55	1,62
T5	1,30	1,40
T6	1,92	1,95
T7	1,71	1,77
T8	1,55	1,62

Conforme pode ser observado na Tabela 3, o valor da razão de compactação nominal e efetiva dos painéis produzidos variou de 1,30 a 1,95. Considerando a razão de compactação efetiva dos painéis, observa-se que todos resultaram em valores superiores a 1,3, cujo valor é

considerado, por autores tais como Maloney (1977) e Iwakiri (2005), o mínimo para que ocorra a compactação necessária do colchão de partículas para a formação de um painel de média densidade, ou seja, condição mínima na qual é possível assegurar que haverá suficiente área de contato entre partículas durante a operação de prensagem a fim de obter-se uma boa colagem.

Kelly (1977) afirma que, painéis de mesma densidade, produzidos com madeira de baixa densidade, terão propriedades mecânicas superiores, entretanto, a estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior densidade. Segundo o autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, ocorre um aumento dos sítios higroscópicos, resultando em maior inchamento do painel e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

5.3 Massa específica, teor de umidade e espessura dos painéis OSB

Os valores médios de massa específica, teor de umidade e espessura dos painéis OSB de cada tratamento encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de massa específica, teor de umidade e espessura dos painéis OSB para cada tratamento

Tratamentos	Massa específica (g/cm³)	Teor de Umidade (%)	Espessura (mm)
T1	0,70	9,8	15,78
T2	0,61	10,3	17,48
T3	0,67	10,1	15,95
T4	0,68	10,2	15,96
T5	0,70	9,4	15,86
T6	0,66	9,4	16,45
T7	0,67	10,1	16,32
T8	0,68	9,7	15,87
Média Geral	0,67	9,9	16,21
CV (%)	3,47	3,46	2,98

A partir dos dados da Tabela 4 observa-se que a média geral da massa específica (0,67 g/cm³) dos tratamentos foi próxima da massa específica nominal (0,65 g/cm³) planejada para os

painéis, além de que o coeficiente de variação foi baixo (3,47%), fatos que demonstram ter sido bem conduzida a etapa de manufatura.

Segundo Iwakiri (2005) painéis de partículas com massa específica entre 0,59 e 0,80 g/cm³ são classificados como painéis de média densidade. Conforme tal classificação, todos os painéis produzidos no presente trabalho, com massa específica variando entre 0,61 e 0,70 g/cm³, enquadram-se na classe indicada pelo autor.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 4) variaram de 9,4 a 10,3% e a média geral foi de 9,9%, cujos valores podem ser considerados compatíveis com os dados de literatura. Bortoletto Júnior e Garcia (2004) determinaram o teor de umidade de painéis OSB comerciais (15 e 18 mm de espessura) e encontraram teores de umidade médios variando entre 8,5 e 9,0%. Informação da LP *Building Products*, fabricante de painéis OSB nos Estados Unidos, Canadá, Chile e Brasil, indica que o teor de umidade médio desses painéis encontra-se na faixa de $8 \pm 3\%$ (LP BRASIL, 2012).

Os valores médios da espessura dos painéis (Tabela 4) variaram de 15,78 a 17,48 mm, sendo que a média geral foi de 16,21 mm. Considerando que os separadores utilizados na etapa de prensagem dos colchões de partículas possuíam 15,7 mm de espessura, denota-se que todos os painéis resultaram em espessura próxima, porém, algo superior à espessura do limitador, com diferentes magnitudes. De acordo com Kelly (1977), um aumento ou expansão da espessura ocorre para maioria dos painéis de partículas em seguida à abertura da prensa quente, ou seja, ao final da prensagem, em seguida ao relaxamento da pressão de prensagem. Neusser (1967), citado por Kelly (1977), utilizou esta expansão inicial da espessura como uma medida da taxa de cura de vários adesivos e observou que quanto mais completa foi a cura da resina durante a prensagem a quente, menor foi a expansão imediata da espessura dos painéis. Deppe e Ernst (1965), citados por Kelly (1977), relacionaram a ocorrência da expansão inicial com um tempo de prensagem muito curto do colchão de partículas com teor de umidade acima de 10%, cujo tempo teria sido insuficiente para a cura da resina a um nível adequado.

O menor e o maior valor numérico de espessura média dos painéis corresponderam, respectivamente, aos tratamentos T1 (15,78 mm, 100% PT) e T2 (17,48 mm, 100% PECH), sendo que a mesma tendência pode ser observada para a razão de compactação nominal (Tabela 3). De outro lado, verifica-se que o contrário ocorreu para a massa específica média dos painéis desses dois tratamentos (T1 e T2), pois foram os que exibiram o maior e o menor valor numérico

desta propriedade. Diante destes fatos, é possível supor que a razão de compactação nominal exerceu influência sobre a espessura, a qual por sua vez influenciou os resultados da massa específica dos painéis e das suas razões de compactação efetivas. De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica dos painéis OSB (ANEXO A, Tabela 21), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de partículas, mas não houve diferença para o fator ciclo de prensagem, nem interação significativa entre os dois fatores analisados.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a massa específica do fator proporção de partículas, encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste de médias da massa específica dos painéis OSB para o fator proporção de partículas

Proporção de Partículas	Massa específica
	(g/cm ³)
100% PT	0,70 b
100% PECH	0,64 a
75% PECH + 25% PT	0,67 ab
50% PECH + 50% PT	0,68 ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$)

Analisando os resultados da Tabela 5 verifica-se que todas as proporções constituídas por PECH equivaleram-se estatisticamente, no entanto, apenas a proporção de 100% PECH diferiu significativamente da proporção constituída por 100% de partículas de PT, apresentando o menor valor médio de massa específica.

De acordo com a análise de variância efetuada para a espessura dos painéis OSB (ANEXO A, TABELA 22), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de partículas, mas não houve diferença para o fator ciclo de prensagem, nem interação significativa entre os dois fatores analisados.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a espessura do fator proporção de partículas, encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste de médias da espessura dos painéis OSB para o fator proporção de partículas

Proporção de Partículas	Espessura (mm)
100% PT	15,82 a
100% PECH	16,97 b
75% PECH + 25% PT	16,14 ab
50% PECH + 50% PT	15,92 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Analisando os resultados apresentados na Tabela 6 verifica-se que todas as proporções constituídas por PT revelaram espessuras estatisticamente equivalentes. Com exceção da proporção de 75% PECH + 25% PT, as demais diferiram da proporção constituída por 100% de partículas de madeira de PECH. Sendo assim, comprova-se do ponto de vista estatístico, que as proporções cujos painéis foram compostos por 100% e 75% de madeira de PECH, em que os painéis revelaram as maiores espessuras médias, foram também as que mostraram os menores valores de massa específica (Tabela 5).

Levando-se em consideração que o aumento da espessura implica em aumento do volume do painel e que a massa específica do painel é dada pela relação entre massa e volume, é possível inferir que a tendência de redução da massa específica dos painéis compostos por PECH se explique, parcialmente, em função do aumento verificado em sua espessura.

De acordo com a correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41), observa-se correlação inversa altamente significativa entre espessura e massa específica, indicando que 92% da variância da espessura é explicada pela variância da massa específica.

A menor densidade da madeira faz com que ocorra um aumento da altura do colchão para a mesma massa de partículas, conseqüentemente, ocorre um aumento da área superficial específica, que por sua vez pode alterar a disponibilidade de adesivo. Além disso, madeiras com densidades menores farão com que os painéis tenham maior razão de compactação nominal e liberem as tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem de forma mais acentuada, resultando no aumento da espessura do painel após esse processo. Como mencionado anteriormente, ocorre um aumento dos sítios higroscópicos, resultando num efeito aditivo de ganho de umidade até atingir a umidade de equilíbrio em ambiente climatizado. Esses fatores causam a redução da massa específica e também da razão de compactação efetiva, promovendo

implicações sobre as demais propriedades dos painéis. Eleotério (2000), avaliando propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina, verificou que muitos painéis apresentaram, após a prensagem, espessura maior que a nominal, de 16 mm, com clara influência sobre a densidade. O autor concluiu que ajustes deveriam ser feitos ou no ciclo de prensagem ou no teor de umidade do colchão de partículas para permitir uma melhor consolidação dos painéis.

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 hora de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios de absorção de água dos painéis OSB

Tratamentos	AA 2h	AA 24h
	%	
T1	40,8	65,4
T2	37,0	84,5
T3	32,8	79,4
T4	34,8	72,9
T5	38,2	63,0
T6	38,4	93,6
T7	42,1	90,0
T8	45,2	88,3
Média	38,7	79,6
CV (%)	17,29	9,79

Cabe destacar que a norma CSA 0437 (1993) não especifica valores para a propriedade física de absorção de água, contudo, pode-se inferir que os valores encontrados para os painéis produzidos com 100% PT foram compatíveis com dados de literatura. Mendes (2001), estudando painéis OSB com densidade nominal de 0,65 g/cm³, manufaturados com madeira de *Pinus taeda*, encontrou valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas iguais a 37% e 64%, respectivamente. Iwakiri et al (2003a), produziram painéis OSB de *Pinus taeda* com densidade nominal de 0,70 g/cm³ e encontraram valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas iguais a 38% e 55%, respectivamente.

Os painéis com aumento da proporção de partículas de PECH mostraram tendência para valores mais elevados, especialmente para absorção de água após 24 horas de imersão.

Kerh e Schilling, citados por Vital (1973), estudando a possibilidade de utilização de várias espécies de madeira na produção de painéis aglomerados de três camadas, concluíram que as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura foram influenciadas, principalmente, pela espécie de madeira.

De acordo com Del Menezzi (2004) a absorção de água é um fenômeno muito mais físico do que químico e está relacionado à porosidade (espaços vazios) dos painéis e da madeira propriamente dita. Quando o painel está submerso a água líquida ocupa os espaços vazios formados entre as partículas e o interior das células da madeira, onde permanece pela ação de forças capilares. Segundo Vital e Wilson (1980), a absorção de água decresce com o aumento da massa específica do painel.

Considerando que a madeira de PECH apresentou baixa densidade, normalmente resultante de células de paredes delgadas e lumes espessos, bem como que o volume de partículas utilizadas na manufatura do painel aumentou com o aumento da proporção dessa madeira, pode-se deduzir que os espaços vazios disponíveis para serem ocupados pela água também aumentaram relativamente. De outro lado, a correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41) entre a massa específica do painel e a AA24 horas mostrou um valor igual à - 0,66, com alta significância estatística. Com base nestas considerações é possível supor que o aumento relativo dos espaços vazios (lumes), bem como a menor massa específica dos painéis produzidos com maiores proporções de partículas de madeira de PECH, contribuiu para a tendência de aumento da absorção de água.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h (ANEXO B, Tabelas 23 e 24, respectivamente), verificou-se que somente para AA24h, houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de partículas e ciclo de prensagem. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável AA24h para o fator proporção de partículas, encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Teste de médias para a variável AA24h para o fator proporção de partículas

Proporção de partículas	Absorção de água 24h
	%
100% PT	64,21 a
100% PECH	89,05 b
75% PECH + 25% PT	84,70 b
50% PECH + 50% PT	80,60 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a Tabela 8, a proporção constituída por 100% de partículas de PT diferiu significativamente das demais e foi a mais eficiente para a AA24h, porque apresentou o menor valor médio para essa propriedade.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável AA24h para o fator ciclo de prensagem, encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Teste de médias para a variável AA24h para o fator ciclo de prensagem

Ciclo de prensagem	Absorção de água 24h
	%
Convencional	75,57 a
Modificado	83,71 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Considerando o fator ciclo de prensagem, observa-se que houve diferença significativa entre os ciclos, caso no qual o ciclo modificado promoveu um efeito negativo sobre os painéis, resultando em maior absorção de água. Presume-se que a consolidação do painel tenha sido menos efetiva para o ciclo modificado, facilitando a penetração da água. Para obter mais esclarecimentos sobre essa questão, seriam necessários estudos complementares, por exemplo, a determinação da porosidade dos painéis, algo recomendável para trabalhos futuros.

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 10.

Tabela 10 – Valores médios de inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura dos painéis OSB

Tratamentos	IE 2h	IE 24h	TNRE
	%		
T1	16,50	22,63	15,48
T2	23,94	41,20	37,45
T3	22,38	38,18	30,90
T4	21,80	33,71	27,44
T5	17,37	27,80	19,95
T6	30,63	49,75	42,48
T7	28,04	43,99	36,25
T8	33,63	46,45	38,25
Média	24,28	37,96	31,02
CV (%)	7,76	5,29	5,77

Quando o painel é submerso em água, ocorre a absorção da água líquida e subsequentemente o inchamento em espessura, cuja variável apresenta duas componentes: o inchamento da madeira devido à adsorção de moléculas de água junto aos sítios de sorção que provoca o afastamento das cadeias de celulose e hemicelulose; e o inchamento devido à liberação das tensões de compressão impostas ao painel durante a prensagem. Quando o painel é retirado da água e colocado nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ambiente em que foi acondicionado anteriormente à imersão, ocorre a desorção, acompanhada da retração (fenômeno inverso ao inchamento) da madeira, que se prolonga até o momento em que o painel atinge a umidade de equilíbrio com aquele ambiente e, então, as suas dimensões se estabilizam. Ao final deste processo de perda de umidade, o inchamento devido às características higroscópicas da madeira pode ser recuperado. Porém, o inchamento em espessura resultante da liberação das tensões de compressão é irreversível. Tal irreversibilidade também é conhecida como *springback* ou taxa de não-retorno em espessura (BORTOLETTO JÚNIOR, 2010).

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. Pode-se observar através dos dados da Tabela 10 que os painéis de todos os tratamentos exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma não puderam atendê-la.

De outro lado pode-se dizer que os valores de IE2h, IE24h e TNRE dos painéis produzidos com partículas 100% de PT são condizentes com os dados de literatura. No entanto,

os painéis OSB que incorporaram partículas de PECH mostraram valores médios mais elevados que os dispostos na literatura.

Mendes (2011) manufacturou painéis OSB com massa específica nominal de 0,65 g/cm³, colados com resina FF, adicionando 1% de parafina, utilizando partículas de *Pinus taeda* e encontrou valores médios de 16,5% (IE2h), 23,4% (IE24h) e 17,1% (TNRE).

Golveia et al. (2003), manufacturaram painéis OSB com massa específica de 0,7 g/cm³, a partir da madeira de *Pinus elliottii*, com adição de 1% de parafina e os valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão foram de 18% e 33%, respectivamente.

Mendes (2001) estudou o efeito da adição de parafina na manufactura de painéis OSB produzidos com seis diferentes espécies de pinus (*P. maximinoi*, *P. tecunumanii*, *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. chiapensis* e *P. taeda*) e com uma mistura de todas essas espécies. A média geral de todos os tratamentos para o IE24h dos painéis com 1% de parafina foi de 21%.

Com base nos dados dessas literaturas que foram citadas, observa-se que o problema de não atendimento da norma CSA 0437 (1993) para o IE24h é recorrente e demonstra que a norma é bastante exigente quanto a esse requisito. Em função disso, diversos trabalhos têm sido conduzidos no sentido de reduzir o inchamento dos painéis OSB, por exemplo, utilizando o pós-tratamento térmico dos painéis e o pré-tratamento térmico das partículas, tais como os de Del Menezzi (2004) e de Mendes (2011).

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h, IE24h e TNRE, (ANEXO C, Tabelas 25, 26 e 27, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de partículas e ciclo de prensagem. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre esses dois fatores (ANEXO C, Tabelas 28, 29, 30, 31, 32 e 33, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE2h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Teste de médias para a variável IE2h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem

Proporção de partículas	Ciclo de prensagem	
	Convencional	Modificado
	%	
100% PT	16,50 aA	17,37 aA
100% PECH	23,94 bA	30,63 bcB
75% PECH + 25% PT	22,38 bA	28,04 bB
50% PECH + 50% PT	21,80 bA	33,63 cB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas se referem aos valores das proporções de partículas e as letras maiúsculas aos valores dos ciclos de prensagem

De acordo com os dados da Tabela 11, analisando o fator proporção de partículas, observa-se que os painéis produzidos com 100% PT apresentaram diferença significativa dos demais em ambos os ciclos de prensagem, apresentando o menor valor de IE2h. Analisando o ciclo de prensagem, verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de IE2h em quase todos os tratamentos, com exceção dos painéis produzidos por 100% PT.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE24h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Teste de médias para a variável IE24h da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem

Proporção de partículas	Ciclo de prensagem	
	Convencional	Modificado
	%	
100% PT	22,63 aA	27,80 aB
100% PECH	41,20 cA	49,75 cB
75% PECH + 25% PT	38,18 bcA	43,99 bB
50% PECH + 50% PT	33,71 bA	46,45 bcB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas se referem aos valores das proporções de partículas e as letras maiúsculas aos valores dos ciclos de prensagem

De acordo com os dados da Tabela 12, analisando o fator proporção de partículas, observa-se que os painéis produzidos com 100% PT apresentaram diferenças significativas em relação às demais proporções em ambos os ciclos, apresentando o menor valor de IE24h, mesmo assim sendo superior ao que estabelece a norma CSA 0437 (1993), conforme comentado anteriormente. Os valores obtidos para os tratamentos constituídos por 100% PT foram próximos

aos encontrados por Mendes et al (2002), estudando várias espécies de *Pinus* na produção de painéis OSB. Os autores encontraram para o teste de imersão após 24 horas, o valor de 23% para *Pinus maximinoi* e 21% para *Pinus taeda*. Analisando o ciclo de prensagem, verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de IE24h entre os ciclos. O alívio da pressão em patamares afetou negativamente essa propriedade.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável TNRE da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 – Teste de médias para a variável TNRE da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem

Proporção de partículas	Ciclo de prensagem	
	Convencional	Modificado
	%	
100% PT	15,48 aA	19,95 aB
100% PECH	37,45 cA	42,48 cB
75% PECH + 25% PT	30,90 bA	36,25 bB
50% PECH + 50% PT	27,44 bA	38,25 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas se referem aos valores das proporções de partículas e as letras maiúsculas aos valores dos ciclos de prensagem

De acordo com os dados da Tabela 13, analisando o fator proporção de partículas, observa-se que os painéis produzidos com 100% PT apresentaram diferenças significativas em relação às demais proporções em ambos os ciclos, apresentando o menor valor de TNRE. Os tratamentos constituídos pela proporção 100% PECH apresentaram os maiores valores de TNRE em cada ciclo. Analisando o ciclo de prensagem, verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de TNRE entre os ciclos.

Através da análise das interações (Tabelas 11, 12 e 13), nota-se que a modificação do ciclo de prensagem sobre as diferentes proporções de partículas na manufatura dos painéis OSB proporcionou um efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis IE2h, IE24h e TNRE, afetando consideravelmente a estabilidade dimensional dos painéis. 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.

Presume-se que a liberação das tensões de compressão, aliada a menor densidade da madeira de PECH e, por consequência, maior razão de compactação, facilitou e aumentou a entrada de água nas camadas do painel. Além disso, Siagian (1983) afirma que o inchamento em espessura é significativamente afetado pela pressão de prensagem, temperatura de prensagem e interação entre ambos. Supõe-se também que o aumento do inchamento seja em parte intrínseco à madeira e deva-se à adsorção de água junto aos grupos hidroxílicos, presentes nos componentes químicos da parede celulósica.

A correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41) entre IE24h e TNRE foi de 0,99, de alto valor, confirmando que quanto maior o inchamento do painel, menor será a possibilidade do mesmo voltar a espessura inicial. A maior correlação é justamente com o período de 24 horas, pelo fato de passar maior tempo imerso em água. Além disso, houve correlação significativa entre massa específica e TNRE, sendo de -0,50, a qual pode ser explicada por Kelly (1977). O autor mencionou a existência de uma forte relação entre a massa específica e a taxa de não-retorno em espessura, explicada nesse caso pela presença da maior quantidade de partículas, o que acaba gerando maior razão de compactação e maiores tensões de compressão na prensagem, promovendo um maior inchamento residual (*springback*).

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 14.

Tabela 14 – Valores médios de módulo de ruptura à flexão estática dos painéis OSB

Tratamentos	MOR	
	Paralelo	Perpendicular
	MPa	
T1	49,8	16,5
T2	36,3	15,3
T3	40,9	19,2
T4	48,1	21,2
T5	49,3	19,2
T6	37,7	19,8
T7	44,5	17,8
T8	43,4	19,3
Média	43,8	18,5
CV (%)	10,0	9,5

A norma CSA 0437 (1993) estipula como valores mínimos de MOR paralelo 28,4 e 22,9 MPa para as classificações O2 e O1, respectivamente. Enquanto que para o MOR perpendicular os valores são de 12,2 e 9,4 MPa, respectivamente. Mediante o exposto, todos os resultados de módulo de ruptura em flexão estática (Tabela 13) ficaram acima do estipulado para a classificação O2, a mais exigente da norma em referência. Assim como relata a literatura, os resultados dos ensaios realizados com os corpos-de-prova orientados paralelamente foram superiores aos dos ensaios realizados com aqueles orientados perpendicularmente. A razão entre os sentidos paralelo/perpendicular dos valores para MOR foi de 2,4; valor compatível aos 2,5 citados por Forest Products Laboratory (1999).

Bortoletto Júnior e Garcia (2004) determinaram as propriedades de flexão estática de painéis OSB comerciais de 15 mm de espessura e encontraram valores médios para o MOR paralelo e perpendicular de 25 e 16 MPa, respectivamente, valores abaixo dos encontrados no presente trabalho.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MOR paralelo e MOR perpendicular dos painéis OSB do presente estudo (ANEXO D, Tabelas 34 e 35, respectivamente), verificou-se que para o MOR paralelo houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de partículas, mas não houve diferença para o fator ciclo de prensagem, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para o MOR perpendicular não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de

partículas e ciclo de prensagem, mas houve interação entre os fatores (ANEXO D, Tabelas 36 e 37, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para o MOR paralelo do fator proporção de partículas e para o MOR perpendicular da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem, encontram-se nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 – Teste de médias para a variável MOR paralelo à flexão estática do fator proporção de partículas

Proporção de partículas	MOR paralelo
	MPa
100% PT	49,57 c
100% PECH	37,02 a
75% PECH + 25% PT	42,68 ab
50% PECH + 50% PT	45,75 bc

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Conforme os dados da Tabela 15, os valores médios de MOR paralelo para os painéis constituídos por 100% e 75% de madeira de PECH, equivaleram-se e diferiram significativamente da proporção cujos painéis foram compostos por 100% de partículas de PT. A análise da correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41) entre MOR paralelo e massa específica foi de 0,83, sendo altamente significativa. Esse resultado pode ser uma indicação de que houve influência da massa específica dos painéis sobre os resultados de MOR paralelo, ou seja, com a redução da massa específica teve-se, por consequência, a redução do MOR.

Tabela 16 – Teste de médias para a variável MOR perpendicular à flexão estática da interação entre os fatores proporção de partículas x ciclo de prensagem

Proporção de partículas	Ciclo de prensagem	
	Convencional	Modificado
	MPa	
100% PT	16,52 aA	19,18 aA
100% PECH	15,35 aA	19,84 aB
75% PECH + 25% PT	19,15 abA	17,80 aA
50% PECH + 50% PT	21,19 bA	19,26 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas se referem aos valores das proporções de partículas e as letras maiúsculas aos valores dos ciclos de prensagem

De acordo com a análise dessa interação (Tabela 16), destaca-se que a combinação da modificação do ciclo de prensagem com a utilização da proporção de partículas 100% PECH (T6) na manufatura dos painéis OSB proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para a variável MOR perpendicular. Cabe comentar que esse resultado não corresponde ao que poderia ser esperado, pois, conforme mostra a análise de correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41), na qual foi obtido o valor altamente significativo de 0,62 entre MOR perpendicular e MOE perpendicular, supõe-se que ambas as propriedades deveriam apresentar comportamentos semelhantes, caso no qual a literatura também explica. O motivo pelo qual aconteceu essa interação positiva deve ser bem mais compreendido, sendo necessários novos estudos.

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 17.

Tabela 17 – Valores médios de módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis OSB

Tratamentos	MOE	
	Paralelo	Perpendicular
	MPa	
T1	7327	1304
T2	3694	992
T3	4996	1307
T4	5580	1396
T5	7873	1402
T6	3884	1164
T7	4629	1159
T8	5376	1260
Média	5420	1248
CV (%)	11	12

Assim como as demais propriedades, o MOE também é afetado pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis, dentre as quais, a densidade dos painéis, composição das camadas face/miolo, conteúdo de resina, razão de compactação, conteúdo de parafina e dimensão

das partículas refletida no índice de esbeltez (VITAL et al., 1974; KELLY, 1977; MATOS, 1988).

Mendes (2011) avaliando o efeito do tratamento térmico em painéis de partículas orientadas, obteve valor de 7526 MPa para os painéis compostos por *Pinus taeda*, 6% de adesivo fenol-formaldeído e 1% de parafina, valor próximo ao encontrado para os painéis do presente estudo manufacturados com partículas 100% PT. Contudo, o autor encontrou para o MOE perpendicular o valor de 1993 MPa, superior ao encontrado no presente trabalho.

Bortoletto Júnior e Garcia (2004) determinaram as propriedades de flexão estática de painéis OSB comerciais de 15 mm de espessura e encontraram valores médios para o MOE paralelo e perpendicular de 3987 e 1756 MPa, respectivamente. O valor do MOE paralelo desses painéis comerciais mostrou-se mais compatível com o obtido para os painéis do presente estudo manufacturados com partículas 100% PECH, no entanto, inferior aos demais. Já no caso do MOE perpendicular, os painéis comerciais mostraram valor superior.

A norma CSA 0437 (1993) estipula como valores mínimos de MOE paralelo 5500 e 4500 MPa para as classificações O2 e O1, respectivamente. Enquanto que para o MOE perpendicular os valores são de 1500 e 1300 MPa, respectivamente. Através da análise dos dados da Tabela 16 observa-se que os valores de MOE paralelo dos painéis dos tratamentos T1, T4 e T5 ficaram acima do estipulado para a classificação O2 da norma em referência; os tratamentos T3, T7 e T8 ficaram acima do estipulado para a classificação O1; e os tratamentos T2 e T6 não atenderam a norma. Para o MOE perpendicular os tratamentos T1, T3, T4 e T5 ficaram acima do estipulado para a classificação O1, porém, os demais não atenderam a norma.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MOE paralelo e MOE perpendicular dos painéis OSB do presente estudo (ANEXO E, Tabelas 38 e 39, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de partículas, mas não houve diferença para o fator ciclo de prensagem, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável MOE paralelo e para a variável MOE perpendicular do fator proporção de partículas, encontram-se nas Tabelas 18 e 19, respectivamente.

Tabela 18 – Teste de médias para a variável MOE paralelo à flexão estática do fator proporção de partículas

Proporção de partículas	MOE paralelo
	MPa
100% PT	7600,24 c
100% PECH	3788,92 a
75% PECH + 25% PT	4812,42 b
50% PECH + 50% PT	5477,87 b

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

Verifica-se, de acordo com os dados da Tabela 18, que as proporções constituídas por 75% e 50% de PECH equivaleram-se estatisticamente e diferiram das demais proporções. Os painéis compostos por 100% PECH também diferiram significativamente das demais proporções, apresentando o menor valor de MOE paralelo. A proporção 100% PT, cujos painéis apresentaram maior densidade ($0,70 \text{ g/cm}^3$), apresentou o maior valor médio de MOE paralelo. A análise da correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41) entre MOE paralelo e massa específica foi de 0,77, sendo altamente significativa, indicando que houve influência da propriedade de massa específica dos painéis sobre os resultados de MOE paralelo. Haselien (1989), Hillig (2000) e Albuquerque (2002) observaram que um aumento na massa específica do painel resulta em um aumento no MOE, tendência verificada no presente estudo.

Tabela 19 – Teste de médias para a variável MOE perpendicular à flexão estática do fator proporção de partículas

Proporção de partículas	MOE perpendicular
	MPa
100% PT	1353,00 b
100% PECH	1078,39 a
75% PECH + 25% PT	1233,43 ab
50% PECH + 50% PT	1327,87 ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Analisando os resultados da Tabela 19 verifica-se que todas as proporções constituídas por PECH equivaleram-se estatisticamente, porém apenas a proporção de 100% PECH diferiu significativamente da proporção constituída por 100% de partículas de PT, apresentando o menor valor médio de MOE perpendicular.

Assim como no MOE paralelo, para o MOE perpendicular também houve correlação altamente significativa com a massa específica. A análise da correlação de Pearson (ANEXO G, Tabela 41) entre MOE perpendicular e massa específica foi de 0,61, indicando que houve influência da propriedade de massa específica dos painéis sobre os resultados desta propriedade.

5.8 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores médios de ligação interna dos painéis OSB

Tratamento	Ligação interna (MPa)
T1	0,50
T2	0,60
T3	0,66
T4	0,55
T5	0,51
T6	0,49
T7	0,62
T8	0,43
Média	0,54
CV (%)	18,14

A norma CSA 0437 (1993) estipula o valor mínimo para a propriedade de ligação interna, igual a 0,34 MPa, para ambas as classificações O1 e O2. Com base nos dados da Tabela 20 é possível verificar que os painéis OSB de todos os tratamentos exibiram valores médios de ligação interna acima do mínimo requerido pela norma em referência.

Mendes (2011) avaliando as propriedades de painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., massa específica nominal de 0,65 g/cm³, colados com 6% de adesivo à base de fenol-formaldeído, obteve valor médio de 0,54 MPa para a propriedade ligação interna, ou seja, um valor muito próximo ao obtido para os painéis produzidos com partículas 100% PT (Tabela 20).

Saldanha e Iwakiri (2009) avaliando painéis OSB produzidos com a madeira de *Pinus taeda* L., densidade nominal de 0,65 g/cm³ e 6% de adesivo fenol-formaldeído, obtiveram o valor

médio de 0,39 MPa para a propriedade ligação interna, ou seja, um valor inferior aos obtidos no presente estudo.

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável ligação interna dos painéis OSB do presente estudo (ANEXO F, Tabela 40), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção e ciclo, bem como também não houve interação significativa entre esses fatores. No entanto, nota-se, que dentro do ciclo convencional houve tendência de aumento da ligação interna com o aumento da proporção de PECH (Tratamentos T2 e T3). Presume-se que essa tendência possa ter sido decorrente do maior volume relativo de partículas para a mesma massa do colchão, resultando em maior área de contato entre partículas e, portanto, maior número de ligações adesivas e maior resistência.

Dentro do ciclo modificado não houve tendência bem definida com o aumento da proporção de PECH. No entanto, entre os ciclos, analisando cada proporção em separado, nota-se que nos tratamentos constituídos por PECH (T6, T7 e T8) os valores de ligação interna do ciclo modificado mostraram redução em relação aos do ciclo convencional (T2, T3 e T4). É possível supor que esse comportamento tenha decorrido em função da redução da pressão de prensagem em patamares, o que pode ter diminuído o grau de contato entre as partículas antes que a cura do adesivo atingisse um estágio mais avançado e reduzido a resistência da ligação adesiva.

6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados e discutidos, foram extraídas as seguintes conclusões:

Os fatores dos tratamentos, proporção de mistura das partículas das madeiras (*Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* – PECH e *Pinus taeda* – PT) e ciclo de prensagem, influenciaram as propriedades dos painéis OSB manufacturados experimentalmente, em certos casos de maneira isolada e em outros interativamente;

O aumento da proporção de partículas da madeira de PECH na manufactura experimental do OSB resultou em tendência de redução dos valores da massa específica e da maioria das propriedades mecânicas (MOR paralelo e MOE paralelo e perpendicular) dos painéis. Porém, tendência contrária, ou seja, de aumento do valor, verificou-se para a propriedade AA24h;

O ciclo de prensagem modificado (redução da pressão em patamares ao longo da prensagem), resultou em tendência de aumento do valor de AA24h dos painéis;

Houve interação significativa entre os fatores proporção de partículas das madeiras e ciclo de prensagem. O aumento da proporção de partículas de madeira de PECH na manufactura experimental do OSB, combinado com o ciclo de prensagem modificado, resultou em tendência de aumento dos valores de IE2h, IE24h e TNRE dos painéis;

A propriedade menos sensível aos fatores proporção de partículas das madeiras e ciclo de prensagem foi a ligação interna dos painéis, cujos valores equivaleram-se estatisticamente, considerando todos os tratamentos adotados, os quais se mantiveram acima do valor mínimo indicado pela norma CSA 0437 (1993). De outro lado, os painéis de todos os tratamentos adotados exibiram valores de IE24h acima do máximo requerido pela norma em referência, indicando que ajustes nas variáveis de produção desses painéis seriam necessários para o atendimento de tal requisito;

Apesar das tendências de redução e aumento dos valores de algumas das propriedades já destacadas, os painéis OSB manufacturados com as partículas de madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas proporções 75% e 50% de mistura com as partículas de madeira de *Pinus taeda* (tratamentos T3 e T4, ciclo de prensagem convencional), nessa mesma ordem, foram os que apresentaram o maior potencial de uso da madeira do híbrido, uma vez que atenderam aos requisitos mínimos indicados pela norma em referência para todas as propriedades mecânicas avaliadas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 175p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALMEIDA, N.F. de. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados**. 2011. 115p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D-1037: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. In: _____. **Annual Book of ASTM standards**, Philadelphia, 2002. p.1-30.

ANALÍA, G. P. **Propagacion in vitro de um Híbrido entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2010. 67p. Tesis – Universidad Nacional Del Nordeste – Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes, Argentina, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico 2011**. Brasília: 2011. 130p.

AU, K.C.; GERTJEJANSEN, R.O.; LARNTZ, K. Use of response surface methodology to maximize paper birch utilization in a three-layer, two species oriented strand board. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 24, n. 4, p. 432-441, 1992.

AVRAMIDIS, S.; SMITH, L. A. The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of oriented strand board. **Holzforschung**, Berlin, v. 43, n. 2, p. 131-133, 1989.

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

BASSA, A.G.M.C. **Misturas de madeiras de *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids®**. 2006. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 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.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Potencial de utilização do rolo-resto da laminação de toras como matéria-prima para a produção de painéis OSB. Relatório de Pesquisa, FAPESP nº 2007/03156. 2010. 61p.

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

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.

CALVÉ, L.R.; SHIELDS, J.A.; BLANCHETTE, L; FRECHET, J.M.J. A practical lignin-based adhesive for waferboard/OSB. **Forest Products Journal**, Madison, v.38, n.5, p.15-20, 1988.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. OSB and Waferboard. CSA 0437.0 – 93. Ontario: 1993. 18p.

CARPANEZZI, A.A.; FERREIRA, C.A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I.S.; STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; MONTAGNER, L.H.; RAUEN, M. de J.; CARVALHO, P.H.R.; SIVEIRA, R.A.; ALVES, S.T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná.** Embrapa-CNPq. 1986. (Documento, 17).

CARVALHO, L.H.; COSTA, M.R.N.; COSTA, C.A.V. Modeling Rheology in the Hot-Pressing of MDF: Comparison of Mechanical Models. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.33, p.395-411, 2001.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. 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. 226p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIETERS, M.J. Later-age performance of *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *Pinus caribaea* varieties and some of their hybrids. Gympie: Queensland Forestry Research Institute, 1999. 28p.

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

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

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

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as engineering material. Madison, Wisconsin: U.S. Department Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463p.

GARCÍA, P.J.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. Oriented Strand Board hot-pressing and flake orientation. In: Proceedings of the fourth International Conference on the development of Wood Science, **Wood Technology and Forestry**. Missenden Abbey, UK, 1999. p. 365-374.

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.

HARDING, K.J.; COPLEY, T.R. Wood property variation in Queensland- Grown Slash x Caribbean Pine Hybrids. In: Proceedings of **Symposium on Hybrid Breeding and Genetics**, Noosa Lakes Resort, Queensland, p. 9-14, April 2000.

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

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

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

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

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

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de Pinus Tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; MONTEFUSCO, A.R.G; ZABLONSKY, K.M.; SIQUEIRA, K.P.; SALDANHA, L. K.; SOUZA, M. A. M.; Produção de chapas de partículas “strand” com inclusão laminar – “Com-Ply”. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.10, n.2, p.30 - 35, 2003a.

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. 12, n. 2, p. 135-145, dez. 2003b.

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

IWAKIRI, S; ALBUQUERQUE, C.E.C. de; PRATA, J. G.; COSTA, A.C.B. Utilização de madeiras de *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L.K.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de; MENDES, L. M.. Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, jan./mar. 2009.

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

JORGE, F.C.; BRITO, P., PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R.P. Métodos de Extração de Taninos e de Preparação de Adesivos para Derivados de Madeira: Uma Revisão. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.10, n.1, p.101-109, 2002.

KELLY, M.W. A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report FPL-10, Madison, 1977. 66p.

KOLLMANN, F.F.P.; COTË, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592p.

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

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 324p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U; MUÑIZ, G.I.B de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S., de. Química da madeira. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005. 86p.

LIMA, A.L.; SZUCS, C.A.; ROVERE, H.L. Análise de vigas em I em madeira com mesa em *Pinus* e alma em OSB. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9, **Anais...** Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2004. (CD-Rom)

LP BRASIL disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus-estrutural.html>> Acesso em: 20 jan. 2012.

LP BRASIL disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/como-e-feito-o-osb.asp>> Acesso em: 15 abril 2012.

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

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

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

MARTO, G.B.T. **Indicações para a escolha da espécie de Pinus**. Revista da Madeira. abr. 2009. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=indicações%20para%20escolha%20Pinus>. Acesso em: 2 set. 2011.

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

MATOS, J.L.M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MENDES, L.M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 103p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

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

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.

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

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

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

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

NAKAMURA, R. M.; SOBRAL FILHO, M. **Aglomerado de misturas de espécies tropicais da Amazônia**. Brasília: Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Departamento de Economia Florestal, Laboratório de Produtos Florestais, 1982.

NIKLES, D.G.; BOWYER, P.C.; EISEMANN, R.L. Performance and potential of hybrids of Slash and Honduras Caribbean pines in the subtropics. In: SIMPOSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENETICO DE ESPECIES FORESTALES. **Anais...** Buenos Aires, 1987. Buenos Aires: Centro de Investigaciones y experiencias forestales, 1987. p. 68-79.

NIKLES, D.G.; ROBINSON, M.J. The development of Pinus hybrids for operational use in Queensland. In: **Breeding tropical trees: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry**. Proc. IUFRO Conf., Pattaya, Thailand, p. 272-282. November, 1989.

NIKLES, D.G. The first 50 years of the evolution of forest tree improvement in Queensland. In: **Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry**. Proc. QFRI-IUFRO Conf., Caloundra, Queensland, Australia. 27 October-November, 1996. DIETERS, M.J.; MATHESON, A. C. NIKLES, D.G.; HARWOOD, C.E.; WALKER, S.M. (Ed.). QUEENSLAND, Gympie: Forestry Research Institute, 1996. p. 51-64.

NIKLES, D.G. Experience with some Pinus hybrids in Queensland, Australia. In: **proceedings of Symposium on Hybrid Breeding and Genetics**, Noosa, Queensland, p. 9-14, April 2000.

PASTORE JUNIOR, F. **Produção de adesivos à base de tanino**. Brasília, BR:Prodepef, 1977. 7p. (Comunicação técnica,19)

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**, Valdivia, Chile, v. 26, n.1, p. 123-132, 2005.

PINUS BRASIL. **Pinus Brasil Agro Florestal LTDA**. Disponível em: <www.pinusbrasil.com.br> Acesso em: 18 out. 2010.

POWELL, M. B.; NIKLES, D. G. Performance of *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *P. caribaea* var. *hondurensis* and their F1, F2 and backcross hybrids across a rang of sites in central and southern Queensland. In: DIETERS, M.J.;MATHESON, A.C.; NIKLES, D.G.; HARWOOD, C.E.; WALKER, S.M. (Ed.).THE QFRI-IUFRO CONFERENCE ON TREE IMPROVEMENT FOR SUSTAINABLE TROPICAL FORESTRY, 1996. Caloundra, Queensland. **Proceedings...** Caloundra, Queensland, 1996. p. 382-383.

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – 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, PR, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul/set 2009.

SIAGIAN, R.M. The influence of pressing temperature and pressure on the properties of fiberboard made from industrial wood waste. **Laporan**, Indonesia, v.167, p.17-26, 1983.

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M.J.S. **Cultivo do Pinus**. nov. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **SBA**. Figura 2 disponível em: <<http://www.osbguide.com>> Acesso em: 02 nov. 2010.

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.

TEODORO, A.S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

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

VITAL, B.R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 1973. 111 p. Thesis (Magister Science in Wood Technology) - School of Forestry Science, University of Wisconsin, Madison, 1973.

VITAL, B.R.; WILSON, J.B.W. Adsorption of particleboard and flakeboard, **Wood and Fiber**, Madison, v.12, n.4, p.264-271, 1980.

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.

YUSOFF, M.N.M.; HORIE, H. The manufacture of oriented strand boards from rubberwood. **Journal of Tropical Forest Products**, Malaysia, v. 3, n. 1, p. 43-50, 1997.

ZEGARRA, B.E.V. **Caracterização anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB**. 2011. 122p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

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

ZOBEL, B.J.; SPRAGUE, J.R. Juvenile wood in forest trees. **Springer**, Berlin. 1998. 300p.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 21 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável massa específica dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	0.012950	0.004317	7.908	0.0018*
CICLO	1	0.001067	0.001067	1.954	0.1812 ^{NS}
PROP X CICLO	3	0.002700	0.000900	1.649	0.2178 ^{NS}
Erro	16	0.008733	0.000546		
Total corrigido	23	0.025450			
CV (%)	3.47				
Média geral	0.6725000			Número de observações: 24	

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 22 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável espessura dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	4.903750	1.634583	7.000	0.0032*
CICLO	1	0.166667	0.166667	0.714	0.4106 ^{NS}
PROP X CICLO	3	1.657233	0.552411	2.366	0.1093 ^{NS}
Erro	16	3.735933	0.233496		
Total corrigido	23	10.463583			
CV (%)	2.98				
Média geral	16.2108333			Número de observações: 24	

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO B

Tabela 23 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável AA2h dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	29.395767	9.798589	0.219	0.8816 ^{NS}
CICLO	1	127.604817	127.604817	2.857	0.1104 ^{NS}
PROP X CICLO	3	174.166283	58.055428	1.300	0.3088 ^{NS}
Erro	16	714.724733	44.670296		
Total corrigido	23	1045.891600			
CV (%)	17.29				
Média geral	38.6550000			Número de observações: 24	

NS não significativo

Tabela 24 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável AA24h dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	2118.632000	706.210667	11.623	0.0003*
CICLO	1	397.720417	397.720417	6.546	0.0210*
PROP X CICLO	3	254.856983	84.952328	1.398	0.2797 ^{NS}
Erro	16	972.118533	60.757408		
Total corrigido	23	3743.327933			
CV (%)	9.79				
Média geral	79.6416667			Número de observações: 24	

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO C

Tabela 25 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável IE2h dos painéis OSB0

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	453.642546	151.214182	42.532	0.0000*
CICLO	1	235.313437	235.313437	66.186	0.0000*
PROP X CICLO	3	90.826812	30.275604	8.516	0.0013*
Erro	16	56.885000	3.555312		
Total corrigido	23	836.667796			
CV (%)	7.76				
Média geral	24.2845833				Número de observações: 24

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável IE24h dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	1399.109146	466.369715	115.425	0.0000*
CICLO	1	390.346004	390.346004	96.609	0.0000*
PROP X CICLO	3	53.317579	17.772526	4.399	0.0194*
Erro	16	64.647467	4.040467		
Total corrigido	23	1907.420196			
CV (%)	5.29				
Média geral	37.9620833				Número de observações: 24

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 27 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável TNRE dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	1601.510033	533.836678	166.427	0.0000*
CICLO	1	247.041667	247.041667	77.017	0.0000*
PROP X CICLO	3	39.246233	13.082078	4.078	0.0250*
Erro	16	51.322067	3.207629		
Total corrigido	23	1939.120000			
CV (%)	5.77				
Média geral	31.0250000				Número de observações: 24

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável IE2h dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	/1	3	94.105933	31.368644	8.823	0.0011*
PROP	/2	3	450.363425	150.121142	42.224	0.0000*
Erro		16	56.885000	3.555312		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 29 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável IE2h dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
CICLO	/1	1	1.152817	1.152817	0.324	0.5770 ^{NS}
CICLO	/2	1	67.067267	67.067267	18.864	0.0005*
CICLO	/3	1	47.996817	47.996817	13.500	0.0021*
CICLO	/4	1	209.923350	209.923350	59.045	0.0000*
Erro		16	56.885000	3.555312		

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 30 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável IE24h dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	/1	3	595.876425	198.625475	49.159	0.0000*
PROP	/2	3	856.550300	285.516767	70.664	0.0000*
Erro		16	64.647467	4.040467		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 31 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável IE24h dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
CICLO	/1	1	40.041667	40.041667	9.910	0.0062*
CICLO	/2	1	109.653750	109.653750	27.139	0.0001*
CICLO	/3	1	50.634150	50.634150	12.532	0.0027*
CICLO	/4	1	243.334017	243.334017	60.224	0.0000*
Erro		16	64.647467	4.040467		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 32 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável TNRE dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	/1	3	764.376867	254.792289	79.433	0.0000*
PROP	/2	3	876.379400	292.126467	91.072	0.0000*
Erro		16	51.322067	3.207629		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 33 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável TNRE dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
CICLO	/1	1	30.060817	30.060817	9.372	0.0075*
CICLO	/2	1	37.901067	37.901067	11.816	0.0034*
CICLO	/3	1	42.933750	42.933750	13.385	0.0021*
CICLO	/4	1	175.392267	175.392267	54.680	0.0000*
Erro		16	51.322067	3.207629		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO D

Tabela 34 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOR paralelo à flexão estática dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	506.197833	168.732611	8.815	0.0011*
CICLO	1	0.008067	0.008067	0.000	0.9839 ^{NS}
PROP X CICLO	3	55.058100	18.352700	0.959	0.4361 ^{NS}
Erro	16	306.266400	19.141650		
Total corrigido	23	867.530400			
CV (%)	10.00				
Média geral	43.7550000				Número de observações: 24

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 35 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	25.240146	8.413382	2.713	0.0795 ^{NS}
CICLO	1	5.616337	5.616337	1.811	0.1971 ^{NS}
PROP X CICLO	3	43.472413	14.490804	4.673	0.0157*
Erro	16	49.613867	3.100867		
Total corrigido	23	123.942763			
CV (%)	9.50				
Média geral	18.5362500				Número de observações: 24

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 36 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção dentro de cada ciclo de prensagem para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	/1	3	62.008092	20.669364	6.666	0.0038*
PROP	/2	3	6.704467	2.234822	0.721	0.5523 ^{NS}
Erro		16	49.613867	3.100867		

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 37 – Análise de variância do desdobramento do fator ciclo de prensagem dentro de cada proporção para a variável MOR perpendicular à flexão estática dos painéis OSB

FV		GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
CICLO	/1	1	10.560267	10.560267	3.406	0.0836 ^{NS}
CICLO	/2	1	30.240150	30.240150	9.752	0.0066*
CICLO	/3	1	2.720267	2.720267	0.877	0.3629 ^{NS}
CICLO	/4	1	5.568067	5.568067	1.796	0.1990 ^{NS}
Erro		16	49.613867	3.100867		

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO E

Tabela 38 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOE paralelo à flexão estática dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	46718203.980083	15572734.660028	47.549	0.0000*
CICLO	1	10137.726150	10137.726150	0.031	0.8626 ^{NS}
PROP X CICLO	3	755700.615150	251900.205050	0.769	0.5279 ^{NS}
Erro	16	5240178.902467	327511.181404		
Total corrigido	23	52724221.223850			
CV (%)	10.56				
Média geral	5419.86250			Número de observações: 24	

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 39 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável MOE perpendicular à flexão estática dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	278308.184479	92769.394826	4.013	0.0263*
CICLO	1	80.044537	80.044537	0.003	0.9538 ^{NS}
PROP X CICLO	3	118820.395546	39606.798515	1.713	0.2044 ^{NS}
Erro	16	369894.663400	23118.416463		
Total corrigido	23	767103.287963			
CV (%)	12.18				
Média geral	1248.1737500			Número de observações: 24	

NS não significativo

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO F

Tabela 40 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável ligação interna dos painéis OSB

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
PROP	3	0.083846	0.027949	2.864	0.0694 ^{NS}
CICLO	1	0.024704	0.024704	2.532	0.1311 ^{NS}
PROP X CICLO	3	0.016913	0.005638	0.578	0.6380 ^{NS}
Erro	16	0.156133	0.009758		
Total corrigido	23	0.281596			
CV (%)	18.14				
Média geral	0.5445833				Número de observações: 24

NS não significativo

ANEXO G

Tabela 41 – Correlação de Pearson entre as propriedades físico-mecânicas dos painéis OSB

	ME	Esp.	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h	TNRE	MOR 	MOR ⊥	MOE 	MOE ⊥	LI
ME	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esp.	-0,92**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AA2h	-0,26	0,33	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AA24h	-0,61**	0,53**	0,51*	1	-	-	-	-	-	-	-	-
IE2h	-0,30	0,18	0,34	0,83**	1	-	-	-	-	-	-	-
IE24h	-0,39	0,26	0,06	0,80**	0,92**	1	-	-	-	-	-	-
TNRE	-0,50*	0,37	0,03	0,80**	0,88**	0,99**	1	-	-	-	-	-
MOR	0,83**	-0,73**	-0,25	-0,72**	-0,48*	-0,58**	-0,65**	1	-	-	-	-
MOR ⊥	0,19	-0,28	-0,07	0,02	0,15	0,11	0,06	0,01	1	-	-	-
MOE	0,77**	-0,65**	-0,06	-0,78**	-0,62**	-0,76**	-0,82**	0,81**	0,02	1	-	-
MOE ⊥	0,61**	-0,61**	-0,20	-0,43*	-0,29	-0,37	-0,43*	0,42*	0,62**	0,53**	1	-
LI	0,01	-0,06	-0,66**	-0,23	-0,26	0,01	0,04	0,14	-0,05	-0,16	-0,07	1

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ME = Massa específica; Esp. = Espessura; AA2h = Absorção de água em 2 horas; AA24h = Absorção de água em 24h; IE2h = Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h = Inchamento em espessura em 24h; TNRE = Taxa de não-retorno em espessura; MOR || = Módulo de ruptura paralelo; MOR ⊥ = Módulo de ruptura perpendicular; MOE || = Módulo de elasticidade paralelo; MOE ⊥ = Módulo de elasticidade perpendicular; LI = Ligação interna.