



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS – PB

**EFEITOS DA PRESSÃO E TEMPERATURA NA QUALIDADE
DE CHAPAS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE *Pinus
elliottii* ENGELM**

Shirley Tavares Nunes

Engenheira Florestal

Patos – Paraíba – Brasil

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS – PB

**EFEITOS DA PRESSÃO E TEMPERATURA NA QUALIDADE
DE CHAPAS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE *Pinus
elliottii* ENGELM**

Shirley Tavares Nunes

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

Monografia apresentada à Coordenação de Ensino da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, para a obtenção do Grau de Engenharia Florestal.

Patos – Paraíba – Brasil

2008

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO
CAMPUS DE PATOS - UFCG

N972e

2008 Nunes, Shirley Tavares.

Efeito da pressão e temperatura na qualidade de chapas de partículas homogêneas de *Pinus elliotti* Engelm. / Shirley Tavares Nunes. – Patos - PB: CSTR, UFCG, 2008.

42p.: il. color.

Inclui bibliografia

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1 – Tecnologia da Madeira - Monografia. 2 – Chapa aglomerada. I – Título.

CDU: 674.81



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

**CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS – PB**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: EFEITOS DA PRESSÃO E TEMPERATURA NA QUALIDADE DE
CHAPAS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE *Pinus elliottii* ENGELM**

AUTOR: SHIRLEY TAVARES NUNES

ORIENTADOR: Prof. Dr. JUAREZ BENIGNO PAES

Monografia aprovada como parte das exigências para a obtenção do Grau de Engenheira Florestal pela Comissão Examinadora composta por:

Prof. Dr. JUAREZ BENIGNO PAES

Orientador

Prof. Ms. CARLOS ROBERTO DE LIMA (UAEF/UFCG)

1º Examinador

Profa. Dra. ELISABETH DE OLIVEIRA (UAEF/UFCG)

2º Examinadora

Patos (PB), 16 de dezembro de 2008

BIOGRAFIA DO AUTOR

SHIRLEY TAVARES NUNES – Nasceu em 10 de fevereiro de 1985, no município de Patos/PB. Em 2000 concluiu o Ensino Fundamental, na Escola Estadual Coriolando de Medeiros, Patos/PB. Em 2003 concluiu o Ensino Médio, na Escola Estadual de 1º e 2º Grau Monsenhor Manoel Vieira, Patos/PB. Em 2008 concluiu o curso de Engenharia Florestal, pela Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos/PB, onde foi bolsista remunerado, pelo Programa de Bolsas de Extensão (PROBEX), por um período de dois anos na área de arborização urbana e pelo Programa de Bolsas de Pesquisa (PIBIC), por um período de um ano na área de irrigação e drenagem. Foi estagiária na Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA), nas áreas de fruticultura e produção de mudas, e no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos/USP na área de tecnologia da madeira.

Aos meus pais

Claudivan Nunes Dias e Maria de Lourdes Tavares Nunes

Aos meus irmãos

Sidney e Sanderson

As minhas avós

Divanete e Carminha

Ao meu noivo

Celso Brilhante

DEDICO
e
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nunca me deixou faltar esperança.

A minha família que sempre estiveram comigo, principalmente aos meus pais, Claudivam e Maria de Lourdes, que sempre contribuíram para minha educação e acreditaram nos meus sonhos.

Aos meus irmãos Sidney e Sanderson, a minha avó Divanete, e meu noivo Celso pelo apoio nas horas difíceis.

Ao Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM), nas pessoas de sua chefia, e em especial ao Professor Francisco António Rocco Lahr pelas orientações, aos Pesquisadores e fundiários, em especial Maria de Fátima Nascimento e Aparecido Agalindo, pelo apoio e dedicação durante a produção e ensaio das chapas.

Ao professor Juarez Benigno Paes, pela amizade, grande competência e dedicação na orientação desta monografia.

As minhas melhores amigas, Roberta, Osilene e Karla que caminharam comigo ao longo do curso.

Aos colegas de curso, principalmente a Turma 2004.1 (Osilene, Roberta, Fabliciane, Romário, Pedro, Edinalva, Gilmar, Karla, Bruna, Estevão e Clécio), pelo companheirismo durante a jornada acadêmica.

A todos os professores do curso de Engenharia Florestal que contribuíram para a minha formação, de modo especial a coordenadora do curso Professora Ivonete Alves Bakke. Aos professores João Batista Alves, pela orientação em trabalhos de extensão (PROBEX) e José Elenildo de Queiroz pela, orientação em trabalhos de Pesquisa Científica (PIBIC).

Aos membros da Banca Examinadora, Professora Elizabeth de Oliveira e Professor Carlos Roberto de Lima, pela disponibilidade da participação e contribuições;

Aos funcionários da Universidade, Damião, Valter, Edinalva e Ivanice, pela ajuda prestada nos momentos necessários.

Enfim, a todos que de forma direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho e contribuíram para o desenvolvimento da minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Madeira como matéria prima.....	3
2.2 Utilização de resíduos na produção de painéis.....	4
2.3. Desenvolvimento da indústria de painéis de madeira aglomerada.....	5
2.4 Emprego da madeira do gênero <i>Pinus</i> na produção de painéis.....	6
2.5 Importância da indústria de painéis de madeira.....	7
2.6 Fabricação e utilização de painéis de madeira aglomerada.....	8
2.7 Variáveis no processo de fabricação de madeira aglomerada.....	10
2.7.1 Dimensões e geometria das partículas.....	10
2.7.2 Teor de umidade das partículas.....	11
2.7.3 Tipo de adesivos empregado.....	11
2.7.4 Parâmetros do processo de prensagem das chapas.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Local do experimento e matéria prima utilizada.....	13
3.2 Resina empregada.....	13
3.3 Fabricação das chapas.....	13
3.3.1 Obtenção das partículas e aplicação da resina.....	13
3.3.2 Formação e pré-prensagem do colchão.....	15

3.3.3 Prensagem das chapas.....	16
3.3.4 Aclimatização e esquadreamento das chapas.....	16
3.4 Confecção dos corpos-de-prova.....	17
3.5 Ensaio físico-mecânico dos corpos-de-prova.....	18
3.5.1 Flexão Estática.....	18
3.5.2 Tração perpendicular às fibras ou ligação Interna.....	19
3.5.3 Arrancamento de parafusos.....	20
3.5.4 Densidade das chapas.....	21
3.5.5 Inchamento e absorção de água das chapas.....	21
3.6 Análise e avaliação dos resultados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4.1 Propriedades físicas das chapas.....	23
4.2 Propriedades mecânicas das chapas	25
4.2.1 Ensaio de Flexão Estática.....	25
4.2.2 Tração perpendicular às fibras e arrancamento de parafusos.....	26
5. CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Pressões e temperaturas utilizadas na confecção das chapas.....	16
Tabela 2. Valores médios de densidade, absorção de água e inchamento em espessura.....	23
Tabela 3. Valores médios de modulo de ruptura - MOR , modulo de elasticidade - MOE na flexão estática, ligamento interno e inchamento, conforme a CS 236/66.....	24
Tabela 4. Valores médios dos ensaios de flexão estática (MOR MOE).....	26
Tabela 5. Valores médios dos ensaios de ligamento interno e arrancamento de parafuso.....	26

NUNES, Shirley Tavares. **Efeitos da pressão e temperatura na qualidade de chapas de partículas homogêneas de *Pinus elliottii* Engelm.** 2008. Monografia (Graduação) Curso de Engenharia Florestal. CSTR/UFCG, Patos - PB, 2008.

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi produzir chapa de partículas com resíduos da madeira de *Pinus elliottii* aderidos com adesivo poliuretano à base de mamona e avaliar o efeito da pressão e temperatura na qualidade das chapas produzidas. Para tanto, foram confeccionadas 12 chapas, subdivididas em quatro tratamentos em função da pressão (2,0; 3,0; 3,5; e 3,5 MPa) e da temperatura (90; 90; 50; e 60 °C). As chapas foram retalhadas em corpos-de-prova, e realizados ensaios físico-mecânicos para determinação da densidade, inchamento e absorção de água (dez repetições por tratamento); módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática, tração perpendicular às fibras ou ligação Interna e arrancamento de parafuso (21 repetições por tratamento). As chapas prensadas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90 °C e aquela com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60 °C apresentaram resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduo, madeira aglomerada, adesivo.

NUNES, Shirley Tavares. **Effects of pressure and temperature in quality of homogeneous layer particleboards of *Pinus elliottii* Engelm.** 2008. Monograph (Graduation) Course of Forestry. CSTR/UFCG, Patos - PB, 2008.

ABSTRACT - This work aimed to produce homogeneous layer particleboards with residues of *Pinus elliottii* wood adhered with polyurethane adhesive to castor oil plant base and to evaluate the effect of the pressure and temperature in the quality of the particleboards produced. For so much, 12 particleboards were manufactured, subdivided in four treatments in function of the pressure (2.0; 3.0; 3.5; and 3.5 MPa) and temperature (90; 90; 50; and 60 °C). The particleboards were shredded in test samples, and accomplished physical-mechanical tests for determination of density, swelling and absorption of water (ten repetitions for treatment); rupture module and elasticity module in static bending, tension perpendicular to surface or connection Interns and screw withdrawal (21 repetitions for treatment). The particleboards pressed with pressure of 3.0 MPa and temperature of 90 °C and that with pressure of 3.5 MPa and temperature of 60 °C presented satisfactory results.

Key words: Residue use, particleboard, adhesive.

1 INTRODUÇÃO

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 & SOBRAL FILHO, 1982).

Na era das florestas de curta rotação, deve-se pensar em produtos reconstituídos para que a demanda por produtos de madeira seja plenamente suprida (MALONEY, 1993). Alinhada com essa necessidade, o setor madeireiro vem ampliando a gama de produtos reconstituídos de madeira. Tais produtos surgem como forma de aproveitamento de resíduos de madeira e da agricultura, seguindo uma necessidade econômica e as crescentes restrições ambientais (RAZERA, 2006).

Os produtos reconstituídos de madeira formam de maneira mais intensa a ponte entre a indústria e o laboratório, já que para o melhor aproveitamento dos materiais e melhoria das propriedades dos painéis é necessário um aporte maior de pesquisa científica (MALONEY, 1993). Os produtos reconstituídos podem ser feitos a partir do aproveitamento de resíduos de processamento industrial (serraria, laminação e agrícolas) com baixo valor comercial.

Os painéis de madeira reconstituída são considerados produtos que contribui para a sustentabilidade, pois utilizam materiais descartados economicamente e, portanto, contribuem para a diminuição do impacto da produção de bens de consumo proveniente dos recursos naturais (NASCIMENTO, 2003). O processo de manufatura associado à madeira consome menos energia em comparação com outros materiais derivados de recursos não-renováveis.

A quantidade de resíduos gerados pela indústria madeireira no Brasil é bastante elevada. Apesar do volume que representam, esses resíduos têm sido pouco utilizados e, quando isso ocorre, grande parte é destinada para produção de energia. Dentre esses resíduos, as maravalhas de madeira representam uma parcela significativa. As maravalhas apresentam boas características para a produção de chapas de partículas, permitindo a sua utilização, isolada ou em combinação com outras matérias-primas (BRITO, 1995).

Na fabricação de chapas de partículas, também podem ser aproveitados resíduos, tais como a serragem, resultante da industrialização de resíduos de serraria, que poderá ser incorporada aos adesivos, como carga, na fabricação de diversos painéis.

As chapas de partículas são produzidas com elementos de madeira, com a incorporação de adesivos, e consolidadas por meio da prensagem a quente. Seu processo de fabricação envolve a geração de partículas; secagem; classificação; aplicação do adesivo e aditivo químico; formação do colchão; pré-prensagem, prensagem a quente; e acondicionamento e acabamento (IWAKIRI, 1989).

A qualidade dos painéis é avaliada por meio de suas propriedades físico-mecânicas, tais como ligação interna; flexão estática; resistência ao arrancamento de pregos e parafusos; densidade; e absorção de água e inchamento em espessura (IWAKIRI *et al.*, 2005).

As espécies *Pinus elliottii* e *P. taeda* são utilizadas em reflorestamentos no Brasil e amplamente citadas em trabalhos científicos no que se refere à produção de madeira sólida e reconstituída, e seu uso já é consolidado no meio industrial (RAZERA, 2006).

Nesta pesquisa foi utilizada a madeira de *Pinus elliottii* Engelm em função da mesma ser bastante estudada visando à obtenção de partículas de madeira para fabricação de chapas de partículas, outros painéis e papel.

Em função da quantidade de resíduos gerados pelas atividades agrícolas e florestais no Brasil e da necessidade de utilização dos resíduos para a confecção de novos materiais, esta pesquisa teve como objetivos:

- Produzir, em escala de laboratório, chapas de partículas com resíduos da madeira de *Pinus elliottii* empregando pressões e temperaturas variadas; e
- Avaliar os efeitos da pressão e da temperatura no comportamento físico-mecânico das chapas produzidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Madeira como matéria prima

Por sua enorme disponibilidade e características, a madeira foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela humanidade, e mesmo após o aparecimento de materiais sintéticos, continua a ser empregada como matéria-prima para inúmeros fins. No entanto, o consumo desenfreado em épocas anteriores acabou por colocar em risco a destruição deste recurso natural, do meio ambiente, e da própria sobrevivência do ser humano (JUVENAL & MATTOS, 2002).

A madeira é um material biológico altamente instável. Sua estrutura anatômica, bem como suas propriedades físicas, químicas e mecânicas variam entre espécies, e até mesmo em uma mesma árvore (IWAKIRI, 2005).

A estrutura heterogênea da madeira é um fator limitante para uma série de utilizações, principalmente quanto a dimensões, anisotropia e defeitos naturais. O primeiro deve-se ao fato de as dimensões estarem limitadas ao diâmetro e altura das árvores. O segundo, em função da variação das propriedades ao longo das direções longitudinal, radial e tangencial. E por fim, defeitos como nós, inclinação de grãos, entre outros, são fatores que irão afetar diretamente o uso da madeira (MADEIRA TOTAL, 2008).

Em função das limitações existentes, e também visando um maior aproveitamento da madeira, iniciou-se a realização de pesquisas buscando uma alternativa para situações em que o uso da madeira sólida é totalmente inviável. Uma das opções desenvolvidas foi à criação de painéis à base de madeira, os quais possibilitam o aproveitamento de resíduos da indústria madeireira, fato que se encontra em constante evidência atualmente (MADEIRA TOTAL, 2008).

Dados publicados pelas Organizações das Nações Unidas para Agricultura e a Alimentação (FAO), nos últimos anos, mostram que na próxima década, haverá um descompasso crescente entre oferta e demanda de madeira no mercado internacional, em função, basicamente, da queda na produção de alguns países asiáticos e pela virtual estagnação esperada para os principais produtores do Hemisfério Norte, em face das pressões ambientais, sociais e econômicas. Tal descompasso propiciará a valorização do preço da madeira, induzindo as indústrias,

especialmente nos países do Hemisfério Norte, no sentido de aproveitar de forma mais intensa os resíduos de madeira (DIAS *et al.*, 2008).

A utilização dos recursos florestais e sua contribuição para o desenvolvimento sócio-econômico ocupam um lugar importante nos debates da comunidade internacional. Isto acaba por destacar a importância de estratégias que levem em consideração a multiplicidade de bens e serviços que as florestas podem proporcionar, além da necessidade de se realizar uma utilização racional destes. O aproveitamento da matéria-prima tem sido a grande preocupação das indústrias de processamento mecânico da madeira. Nos países onde estas indústrias estão bem desenvolvidas, a utilização dos resíduos gerados durante o processamento é intensa, principalmente para a produção de celulose, chapas de partículas aglomeradas e energia (NOLASCO, 2000).

2.2 Utilização de resíduos na produção de painéis

Em função da conscientização da necessidade da preservação ambiental, tecnologias estão sendo desenvolvidas buscando aproveitar os recursos de maneira que irá diminuir, ou até mesmo eliminar, resíduos industriais. Neste quadro encontram-se as indústrias madeireiras, as quais utilizaram por muito tempo a madeira de forma irracional, mas começam a demonstrar interesse em se adequarem à nova tendência de produtos sustentáveis (DIAS *et al.*, 2008).

Nos últimos anos, o rendimento da matéria-prima nas serrarias tem-se caracterizado por ser relativamente baixo, aumentando o volume dos resíduos produzidos, o que ocasiona uma forte tendência a reciclagem do mesmo.

A quantidade de resíduos oriundos das indústrias madeireiras e de resíduos da exploração florestal é bastante elevada, no processo de desdobro de uma árvore ocorre um aproveitamento na faixa de 30% a 60% do volume da tora processada, variando conforme a empresa (TEIXEIRA, 2003). Estima-se que cerca de 50% da tora de madeira acaba sendo descartada no final da produção sob a forma de resíduos, os quais acabam se acumulando e causando, além dos efeitos negativos, redução na eficiência da empresa. Isso porque ocupam locais os quais poderiam estocar toras de madeira, e elevam o risco de incêndios e acidentes de trabalhos (NOLASCO, 2000).

A viabilidade do aproveitamento destes é muitas vezes limitada por dificuldades como falta de uniformidade do material; dispersão espacial; estado físico, contaminação; e alto custo de transporte.

De acordo com Teixeira (2003), os resíduos florestais gerados pelas empresas de diversos segmentos industriais de base florestal não têm sido aproveitados corretamente em função do desconhecimento ou à inexistência de tecnologias disponíveis a serem transferidas. Assim, têm sido utilizados de forma menos lucrativa, como na queima direta em sistemas de geração de energia. Embora a utilização de resíduos na indústria nacional seja ainda em pequena escala, alguns trabalhos de pesquisa têm demonstrado a viabilidade de utilização dos mesmos, e ressaltam a necessidade do melhor aproveitamento da matéria-prima e uso racional dos recursos florestais (BRITO, 1995; IWAKIRI *et al.*, 2000).

Dentre estes resíduos encontram-se maravalha, cavaco e sarrafos, os quais podem ser utilizados para a produção de painéis reconstituídos. Aliás, os produtores de painéis, como reflexo das altas taxas de crescimento da indústria moveleira no Brasil, visam direcionar investimentos para a realização de expansão e melhorias da produtividade (FAGUNDES, 2003).

O aproveitamento destes resíduos para produção de painéis de madeira aglomerada seria uma das alternativas, no sentido de se obter um produto de maior valor agregado. O posterior revestimento superficial dos painéis, por colagem de lâminas naturais ou sintéticas, para utilização na indústria moveleira, elevaria mais ainda este valor agregado (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Além disso, a possibilidade do uso de subprodutos, como é o caso dos resíduos quando em estados recuperados ou reciclados, além de melhorar a imagem das indústrias perante a sociedade, abre a possibilidade da geração de mais empregos nas unidades fabris, pela simples transformação de resíduos em novos produtos (TEIXEIRA 2003).

2.3. Desenvolvimento da indústria de painéis de madeira aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos, durante a Segunda guerra mundial na Alemanha, em função de problemas de indisponibilidade de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados. Desta forma, procuraram-se fontes de matéria-prima como resíduos de madeira para produção de

aglomerados como alternativa para suprir a demanda por painéis compensados (SOUZA & TEIXEIRA, 2002).

O desenvolvimento das chapas de partículas tem revolucionado a industrialização da madeira ao aumentar consideravelmente o rendimento da matéria-prima no processo de industrialização. As indústrias de painéis particulados de madeira têm apresentado uma evolução significativa em termos de produção e inovação tecnológica a partir da década de 80. Embora possam ser encontrados vestígios das chapas na cultura egípcia, há 3 mil anos, sua aparição de forma generalizada ocorreu apenas há um século, por duas razões: uma para conseguir superfícies largas, cada vez mais difíceis de serem encontradas na madeira maciça; e outra para buscar uma maior homogeneidade do produto (VIGNOTE & JIMÉNEZ, 1996).

Dentre os produtos à base de madeira, as chapas de partículas de madeiras é um dos que vem apresentando as maiores taxas de crescimento, em função da gama de produtos disponíveis e flexibilidade na aplicação para os mais variados fins.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de madeira Aglomerada - ABIPA (2002), os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S.A., instalada em Curitiba, PR. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. No decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamentos mais eficientes, visando minimizar tais problemas. Atualmente, o aglomerado é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro e sua produção em 2003 foi de 1.808.000 m³.

2.4 Emprego da madeira do gênero *Pinus* na produção de painéis

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI (2004) a partir da década de 80, as indústrias de base florestal no Brasil passaram por uma grande transformação em termos de matéria-prima, produtos e processos produtivos. A base da matéria-prima madeira, que era

quase que totalmente oriunda de florestas nativas, passou a ser substituída pelas florestas plantadas de rápido crescimento, especialmente as de *Pinus* e *Eucalyptus*. As espécies *Pinus taeda* e *P.elliottii* foram as primeiras a serem utilizadas para a substituição de madeiras nativas na fabricação de produtos sólidos e reconstituídos, em face das suas características tecnológicas e disponibilidade.

O *Pinus* tem um número muito grande de espécies, algumas originárias dos Estados Unidos, como são os casos do *Pinus elliottii*, que ocorre desde o sul do Estado da Carolina do Sul até a Flórida, estendendo-se a oeste até quase o Rio Mississippi, e do *Pinus taeda*, que é encontrado nos Estados de Nova Jersey, Flórida, Texas, Arkansas, Oklahoma, Vale do Mississippi e Tennessee. Estas espécies estão plantadas em larga escala no sul do Brasil, compreendendo os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e sul de São Paulo (SUASSUNA, 2005).

Atualmente, a madeira de *Pinus* é amplamente utilizada na fabricação de madeiras serradas e beneficiadas, laminados e compensados, aglomerados, MDF e OSB. Diante da demanda crescente pela madeira de *Pinus* surge, também, a necessidade de utilização de espécies alternativas de reflorestamento, tais como as inúmeras espécies de eucalipto disponíveis em grandes áreas de plantios comerciais e experimentais (IWAKIRI *et. al.*, 2005).

Entretanto, as estatísticas recentes têm demonstrado que a relação oferta/demanda de madeira de *Pinus* está atingindo a exaustão e deverá, em poucos anos, faltar matéria-prima em condições adequadas para processamento industrial (IWAKIRI *et. al.*, 2005).

2.5 Importância da indústria de painéis de madeira

A indústria de painéis de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, não só pela geração de divisas e empregos, como também pelo dinamismo que irradia, especialmente para o setor moveleiro e de construção civil (IWAKIRI, 2005).

O setor de produtos florestais compreende, genericamente, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, painéis de madeira, pasta de madeira e papel. A partir desses insumos formam-se várias cadeias produtivas, destacando-se que, no caso dos setores de construção civil e moveleiro, os produtos de madeira serrada e os diversos painéis de madeira são bens substitutos entre si (MALONEY, 1993).

Os painéis de madeira dividem-se em três grandes grupos: compensados, aglomerados e chapas de fibras comprimidas, onde se insere as chapas “Medium Density Fiberboard” (MDF). Em 1995, o consumo mundial, de 132 milhões de m³, estava dividido em 36% para os painéis de compensado, 43% para os aglomerados e 31% para os painéis de fibras comprimidas. No Brasil, o volume de 2 milhões de m³ consumido em 1995 obedeceu às seguintes fatias: 50% para os compensados, 40% para os aglomerados e 10% para os painéis de fibras comprimidas (BRASIL *et al.*, 2003). E a produção de chapas de madeira aglomerada foi de 1,7 milhões de m³ em 2002 (FAO, 2002).

Os aglomerados podem ser de partículas homogêneas e heterogêneas. Nas chapas homogêneas, as partículas com granulometria variada apresentam-se na mesma proporção, resultando numa única operação na formação do colchão. As chapas heterogêneas são formadas por mais de três camadas. As partículas constituintes são distribuídas em operações sucessivas, simetricamente em relação a uma camada central. As camadas centrais são formadas de partículas maiores, e as menores são dispostas nas camadas externas (TONISSI, 1985).

A produção de painéis de partículas tem, também, como objetivo aproveitar resíduos da indústria madeireira e toras de pequeno diâmetro que não são utilizados em serrarias e laminadoras (GALVÃO, 2000).

2.6 Fabricação e utilização de painéis de madeira aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominados de aglomerados, são produzidos a partir da redução da madeira em partículas ou cavacos. Após a obtenção das partículas de madeira, estas são impregnadas com resina sintética e, arranjadas de maneira consistente e uniforme, forma um colchão. Esse colchão, pela ação controlada do calor, pressão e umidade, adquire a forma definitiva e estável denominada aglomerado (ROQUE, 1998).

O painel de aglomerado pode ser pintado ou revestido com vários materiais, destacando-se papéis impregnados com resinas melamínicas, papéis envernizáveis e lâminas ou folhas de madeira natural (ROQUE, 1998).

Em função da sua baixa densidade, os painéis produzidos apresentam alta razão de compactação, influenciando sobre suas propriedades físico-mecânicas. Chapas de madeira aglomerada podem ser produzidas em uma grande variedade de tipos e qualidade, dependendo da matéria-prima utilizada e tipos de aplicação (IWAKIRI *et al.* 2000).

A grande parte da demanda de painéis de aglomerado está associada ao setor moveleiro, sendo o consumo restante dividido entre a fabricação de caixas acústicas, gabinetes de televisão e divisórias (MACEDO & ROQUE, 1997).

2.7 Variáveis do processo de fabricação de madeira aglomerada

2.7.1 Dimensões e geometria das partículas

Segundo Bodig & Jayne (1982), as dimensões e a forma das partículas são uma das variáveis que mais influem nas propriedades mecânicas das chapas.

Partículas mais longas e mais finas produzem chapas com maior resistência à flexão estática e estabilidade dimensional, enquanto partículas mais curtas e mais espessas produzem chapas com maior resistência de ligação adesiva e menor estabilidade dimensional (MOSLEMI, 1974).

A geometria das partículas (forma e tamanho) afeta tanto as propriedades das chapas quanto seu processo de manufaturamento. De fato, o desempenho dos aglomerados é, em grande parte, o reflexo das características das partículas. A geometria das partículas influencia indiretamente o acabamento, colagem e as propriedades de revestimento de aglomerados (MOSLEMI, 1974). A geometria das partículas influi também no acabamento, colagem e aplicação de produtos laminados nas superfícies das chapas (IWAKIRI, 1989).

Quando se altera a geometria ou a granulométrica das partículas, há a necessidade também de se averiguar a melhor proporção de adesivos a serem utilizados, entre outras variáveis do processo produtivo. Bodig & Jayne (1982) confirmam que das inúmeras variáveis que influem sobre as propriedades mecânicas das chapas de aglomerados, as dimensões e a geometria das partículas são umas das mais importantes.

2.7.2 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das partículas tem grande influência no processo de produção e qualidade das chapas. Segundo vários autores, a umidade presente nas partículas e no adesivo líquido determina o teor de umidade do colchão. O teor de umidade do colchão é um fator extremamente crítico, não apenas no tempo de prensagem total, mas também no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade (IWAKIRI, 1989).

Portanto o controle do teor de umidade das partículas tem grande importância na formação do painel, como também para o cálculo da quantidade de resina.

2.7.3 Tipo de adesivos empregado

Para a produção de chapas de madeira torna-se essencialmente necessário o uso de algum tipo de adesivo, que trabalha como a fase ligante no compósito a ser desenvolvido (DIAS, *et. al.*, 2008).

Os adesivos utilizados para a colagem de madeiras podem ser classificados em função de sua origem em adesivos naturais e sintéticos. Os adesivos naturais são aqueles a base de proteína animal ou vegetal, amido, éter celulósico e borracha natural. Já os sintéticos são classificados em adesivos termoplásticos e termoendurecedores ou termoestáveis (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos de origem sintética são mais utilizados atualmente, principalmente em nível industrial, em função das propriedades de resistência à umidade e ao ataque de microorganismos. Como os principais adesivos empregados nas indústrias utilizam o formaldeído, o qual quando liberado causa problemas ao meio ambiente e a saúde dos seres humanos, muitos investimentos são feitos buscando um adesivo livre deste componente, mas que apresente a mesma eficácia (DIAS, 2008).

A utilização dos adesivos poliuretanos teve início com a produção de chapas de madeira aglomerada, as quais eram fabricadas inicialmente com adesivos fenólicos. Os estudos realizados com chapas fabricadas com esse tipo de adesivo comprovaram que estas apresentavam características superiores às desenvolvidas anteriormente, além de não emanarem o formaldeído e apresentarem alta resistência à umidade (PETERSON, 1964).

O adesivo poliuretano é obtido do óleo extraído da mamona, que é uma planta facilmente encontrada ou cultivada na maioria das regiões do Brasil. A competitividade deste adesivo em relação a outros polímeros existentes esta, além das propriedades mecânicas, no fato de ser originário de matéria-prima natural e renovável, aos preços razoáveis dos di-isocianatos disponíveis no país, e por não ser agressivo ao homem e ao meio ambiente (DIAS *et al.*, 2005).

Campos & Lahr (2007) realizaram testes a partir da utilização deste adesivo na fabricação de MDF de Eucalipto, e puderam verificar suas interessantes características físico-mecânicas, além da viabilidade de variar os seus teores de acordo com a aplicação, conseguindo uma economia no consumo de adesivo.

2.7.4 Parâmetros do processo de prensagem das chapas

Na etapa de prensagem ocorre a consolidação do colchão de partículas em painel com espessura e densidade pré-estabelecida. A prensagem a quente tem a função de plasticização da madeira para reduzir a sua resistência à compressão, facilitando a consolidação do colchão até a espessura desejada, além da polimerização da resina entre as partículas adjacentes (KELLY, 1977).

Segundo Kelly (1977), o conteúdo de umidade do colchão, a velocidade de fechamento da prensa, a pressão, tempo e temperatura de prensagem são parâmetros que afetam as propriedades das chapas de partículas.

O tempo e a temperatura de prensagem são parâmetros correlatos e são controlados para assegurar que a temperatura do miolo atinja o nível requerido para cura da resina. O tempo de prensagem deve ser o suficiente para possibilitar a migração do vapor d'água para as bordas da chapa e sua liberação até o término da prensagem (IWAKIRI, 1989).

A principal função da temperatura da prensa, na produção de painéis de partículas, é a cura da resina e a plasticização da madeira (MATOS, 1988). Iwakiri (1989) encontrou referências de 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. Dias (2008) obteve para chapas produzidas com resíduos de *Pinus* e de *Eucalyptus* e resina poliuretana a base de mamona, resultados significativos para prensagem à temperatura de 60 e 90°C.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e matéria prima utilizada

O experimento foi desenvolvido, durante a realização de parte do Estágio supervisionado realizado no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP.

A matéria-prima utilizada na confecção das chapas foi proveniente de resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, obtida por ocasião do processamento na desempenadeira e desengrossadeira.

3.2 Resina empregada

A resina utilizada foi à base de poliuretano derivada do óleo de mamona, que é uma resina do tipo bicomponente com tempo de gel de aproximadamente 25 minutos.

Nesta pesquisa, a resina comercial empregada foi composta por duas partes de poliól, utilizada como impermeabilizante e uma de isocianato aromático, como pré-polímero. É uma resina de cura á frio, que pode ser acelerada com temperatura até 90°C. A resina foi fornecida pela KEHL Indústria Química de São Carlos.

3.3 Fabricação das chapas

3.3.1 Obtenção das partículas e aplicação da resina

Em função da necessidade de se utilizar material com granulometria mais homogênea, os resíduos foram quebrados em moinho, a fim de se obter partículas com 3 a 6 mm (comprimento e largura).

Para a confecção das chapas foram utilizadas 1.200 g de partículas, com umidade de 12%. E 16% de adesivo em relação à massa de partículas secas. Esta quantidade foi dividida de forma que a proporção de adesivo e catalisador fosse de 2:1, respectivamente.

As partículas, o adesivo e o catalisador, em quantidade pré-estabelecida para cada chapa, foram pesados em uma balança com precisão de 0,01g. O adesivo e o catalisador foram misturados, homogeneizados e adicionados às partículas

As partículas foram misturadas ao adesivo de forma manual durante aproximadamente 5 minutos e posteriormente em uma bateadeira industrial por mais 5 minutos.

3.3.2 Formação e pré-prensagem do colchão

As partículas de madeira com o adesivo foram transferidas para uma forma formadora do colchão, confeccionada de madeira, com dimensões laterais de 40 x 40 cm, e sob a mesma foi colocada uma placa de aço de 3 mm de espessura. Para evitar que as partículas aderissem à placa, sobre a mesma foi posta uma folha de papel alumínio.

O material foi pré-prensado manualmente para acomodação das partículas. Após tal operação, a forma formadora do colchão foi removida e adicionada outra placa e folha de papel alumínio sobre o colchão formado e dispostos dois espaçadores de 10 mm, entre as placa de aço, a fim de assegurar a espessura final da chapa durante a prensagem.

3.3.3 Prensagem das chapas

A prensagem a quente das chapas foi em uma prensa hidráulica do modelo MA 098/50 fabricada pela MARCONI, que tem capacidade de 500 KN, temperatura máxima de 200 °C para fabricar chapas em escala de laboratório, com pressão em torno de 5 MPa. O tempo de prensagem foi de 10 minutos com a variação da temperatura e pressão conforme apresentado na Tabela 1. Para cada situação (pressão e temperatura de prensagem) foram confeccionadas três chapas.

Tabela 1. Pressões e temperaturas utilizadas na confecção das chapas

Situações	Tratamentos			
	1	2	3	4
Pressão (MPa)	2,0	3,0	3,5	3,5
Temperatura (°C)	90	90	50	60

3.3.4 Acclimatização e esquadreamento das chapas

Depois de prensadas, as chapas foram identificadas, conforme tratamento (Tabela 1), climatizadas por dois dias em condições de laboratório (umidade aproximadamente de 12%) e esquadrejadas, ficando com as dimensões finais de 35 x 35 cm.

3.4 Confeção dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados na oficina do LaMEM, sendo cada chapa retalhada conforme preconizado pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 14810-3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2002).

Para a determinação das propriedades físico-mecânicas foram utilizados corpos-de-prova com as seguintes dimensões: flexão estática (50 x 250 mm); tração perpendicular às fibras ou ligação Interna (50 x 50 mm); arrancamento de parafusos (75 x 150 mm), para estas propriedades foram retirados sete corpos-de-prova de cada chapa, totalizando 21 por tratamento; densidade (50 x 50 mm); e inchamento e absorção de água (25 x 25 mm). Para a densidade, inchamento e absorção de água foram confeccionados 10 corpos-de-prova por tratamento, retirados aleatoriamente das três chapas de cada situação.

Os ensaios físicos-mecânicos foram realizados conforme preconiza a NBR 14810-3 (ABNT, 2002).

3.5 Ensaios físico-mecânicos dos corpos-de-prova

Antes da realização dos ensaios foram determinadas as dimensões reais (largura, espessura e comprimento) de cada corpo-de-prova, com o uso de paquímetro digital com precisão de 0.01 mm.

Para a determinação das propriedades mecânicas das chapas foi utilizada uma máquina universal de ensaio da marca DARTEC, com capacidade de 10 toneladas (Figura 10).

3.5.1 Flexão Estática

No ensaio de flexão estática foram determinados os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR). Para tanto, os extremos dos corpos-de-prova foram dispostos sobre dois apoios da máquina, o indicador de carga foi posto na posição zero e acionou-se o equipamento com velocidade constante de 6 mm/min.

Depois da ruptura do corpo-de-prova, anotou-se a carga no limite proporcional e a força de ruptura registrada no computador ligado à máquina de ensaio. A resistência à flexão do corpo-de-prova (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram obtidas com o emprego das Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (1)$$

em que:

MOR = Módulo de ruptura (MPa);

P = Carga de ruptura (N);

D = Distância entre apoios (mm);

B = Largura do corpo-de-prova (mm); e

E = Espessura média em três pontos do corpo-de-prova (mm).

$$\text{MOE} = \frac{PL \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (2)$$

em que:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa);

PL = Carga no limite proporcional (N);

D = distância entre os apoios do aparelho (mm);

d = Deflexão, correspondente à carga PL (mm);

B = Largura do corpo-de-prova (mm); e

E = Espessura média em três pontos do corpo-de-prova (mm).

3.5.2 Tração perpendicular às fibras ou ligação Interna

Para a realização dos ensaios de tração perpendicular, lixaram-se as faces do corpo-de-prova e mediram-se a largura e o comprimento com precisão de 0,01 mm. Os corpos-de-prova foram colados nos blocos de tração, conforme recomendado pela ABNT (2002). Depois da colagem, o conjunto formado corpo-de-prova e bloco de tração foram acondicionados em condições de laboratório ($\pm 12\%$ de umidade de equilíbrio).

Após a climatização, acoplou o conjunto formado por corpo-de-prova e bloco de tração na máquina de ensaio, e regulou a máquina para uma velocidade de aplicação de carga de 4 mm/min. Acionou-se a máquina até a ruptura do corpo-de-prova e anotou-se o valor indicado no computador e resistência à tração perpendicular do corpo-de-prova calculada conforme Equação 3.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

em que:

TP = Resistência à tração perpendicular (MPa);

P = Carga na ruptura (N); e

3.5.3 Arrancamento de parafusos

Para este ensaio, produziu com o auxílio de uma broca de 2,8 mm de diâmetro, um orifício com profundidade de 7 mm no centro da superfície do corpo-de-prova. No orifício formado, fixou-se um parafuso auto-rosqueável. Acoplou-se o corpo-de-prova com o parafuso fixado na máquina de ensaio (Figura 12), o indicador de cargas foi zerado e acionou-se o sistema de tração com velocidade de 15 mm/min e a leitura obtida do indicador de cargas foi anotada.

O resultado foi a média dos valores obtidos das leituras diretas no indicador de cargas da máquina expressos em Newtons, com exatidão de 0,1Newtons.

3.5.4 Densidade das chapas

Para a realização deste ensaio, mediram-se a espessura em cinco pontos do corpo-de-prova (sendo uma no centro e as demais nas bordas), o comprimento e a largura com o emprego de paquímetro com precisão de 0,01 mm e a massa do corpo de prova em balança com precisão de 0,01g. A densidade dos corpos-de-prova foram determinadas com o emprego da Equação 4.

$$D = \frac{M}{V} \quad (4)$$

em que:

D = Densidade do corpo-de-prova.(kg/m³);

M = Massa do corpo-de-prova (kg); e

V = Volume do corpo-de-prova (m³);

3.5.5 Inchamento e absorção de água das chapas

Para a determinação do ensaio, inicialmente, mediram-se a espessura do corpo-de-prova, com precisão de 0,01 mm, e a massa com precisão de 0,01g. Após as medições, os corpos-de-prova foram submersos um recipiente com água destilada.

Depois de transcorridas duas e 24 horas de imersão, os corpos-de-prova foram retirados do recipiente, secos com papel absorvente e, novamente medidos. Para o cálculo de inchamento do corpo-de-prova e da absorção de água utilizaram as Equações 5 e 6, respectivamente.

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100 \quad (5)$$

em que:

I = Inchamento em espessura do corpo-de-prova (%);

E1 = Espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado (mm); e

EO = Espessura do corpo-de-prova antes da imersão (mm).

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (6)$$

em que:

A = Absorção de água (%);

M1 = Massa do corpo-de-prova após imersão (g); e

M0 = Massa do corpo-de-prova antes da imersão (g).

3.6 Análise e avaliação dos resultados

Para a análise e avaliação dos resultados foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em que foram comparadas as características físico-mecânicas das chapas produzidas. Para cada tratamento foram confeccionadas três chapas e testadas 21 repetições para as características mecânicas e 10 para as físicas de cada chapa analisada.

Os valores de inchamento e de absorção de água, por se tratarem de dados em porcentagem, quando necessários, para permitir a análise de variância, foram transformados em $\arcsen\{\sqrt{\text{valor em porcentagem}/100}\}$, como o recomendado por Steel & Torrie (1980).

Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Tukey a 5 % de significância, para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste de F.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados para a determinação das propriedades físicas e mecânicas das chapas confeccionadas com partículas de *Pinus elliottii* aderidas com poliuretano à base de mamona.

4.1 Propriedades físicas das chapas

Os resultados dos testes de densidade, absorção de água e inchamento em espessura (após imersão em água por duas e 24 horas) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de densidade (kg/m^3), inchamento em espessura (%) e absorção de água (%)

Tratamentos	Densidade (kg/m^3)	Inchamento em espessura (%)		Absorção de água (%)	
		2h	2 a 24h	2h	2 a 24h
1	720 b	9,71 ab	6,59 b	20,73 a	18,97a
2	890 a	7,43 b	8,19 a	8,91 c	12,16 c
3	700 b	11,04 ab	5,97 c	19,62 a	17,58 a
4	840 a	14,09 a	7,65 a	10,59 b	18,49 a

As médias seguidas por uma mesma letra, na vertical, em cada seção, não diferem entre si (Tukey; $p > 0,05$).

Os valores médios de densidade obtidos no ensaio realizado, foram de aproximadamente 700 kg/m^3 para as chapas dos tratamentos 1 (pressão de 2,0 MPa e temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C}$) e 3 (pressão de 3,5 MPa e temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$) e superiores a 800 kg/m^3 para as dos tratamentos 2 (pressão de 3,0 MPa e temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C}$) e 4 (pressão de 3,5 MPa e temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$), estando esses valores em conformidade com a norma comercial americana, "Commercial Standard - CS 236/66" (1968) para chapas de partículas de madeira de média e alta densidade, respectivamente (Tabela 3).

Dos dados de inchamento apresentados na Tabela 2, apenas aquele do tratamento 2 atingiu o valor estabelecido pela NBR 14810-2 da ABNT (2002) que é de no máximo 8% para o inchamento dos aglomerados após 2 horas de imersão em água. Os demais tratamentos apresentaram valores médios, de inchamento em 2

horas, superiores ao exigido pela norma. Estes resultados estão em conformidade com os valores encontrados por Dias *et. al.*, (2008) para chapas produzidas com resíduos de *Pinus* sp. aderidos com resina poliuretana à base de mamona.

A NBR 14810-2 da ABNT (2002) não estabelece valores de inchamento em 24 horas para as chapas aglomeradas. Mas, os valores obtidos nesta pesquisa (Tabela 2) foram inferiores aos obtidos por Dias (2008), para chapas produzidas com resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. aderidos com resina poliuretana á base de mamona.

A norma CS 236/66 (1968) estabelece para chapas de partículas de madeira de média e alta densidade valores de 35 e 55% para o inchamento em espessura. De acordo com essa norma, os valores obtidos para as chapas produzidas na presente pesquisa (Tabela 2) estão em conformidade com as exigências técnicas (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de modulo de ruptura - MOR (MPa), modulo de elasticidade - MOE (MPa) na flexão estática, ligamento interno - Li (MPa) e inchamento - I (%), conforme CS 236/66 (1968)

Densidade (kg/m³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LI (MPa)	I (%)
Alta ≥800	16,8	2450	1,40	55
Média ≥ 600 < 800	11,0	2450	0,49	35
Baixa < 600	5,6	1050	0,14	30

A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) não apresenta exigências quanto a absorção de água dos aglomerados em duas e 24 horas. Porém foi calculada a absorção, que apresentou resultados que variaram de 8,91 a 20,73% (2 horas) e de 12,16 a 18,97% (24 horas), conforme Tabela 2.

As chapas produzidas pelos tratamentos 1 e 3 apresentaram valores inferiores aos obtidos por Dias (2008), e as produzidas pelos demais tratamentos testados melhores resultados que os obtidos pelo autor citado, para absorção em 2 horas, que variaram de 12,30 a 14,35%. Segundo Kelly (1977), a absorção de água aumenta com a diminuição na densidade dos painéis, tendo o autor encontrou resultados que variaram de 28,27 a 36,21% para absorção em 24 horas, que foram superiores aos obtidos na presente pesquisa (Tabela 2).

4.2 Propriedades mecânicas das chapas

4.2.1 Ensaio de Flexão Estática

Os ensaios de resistência na flexão estática apresentaram resultados variáveis de módulo de ruptura (Figura 13a) e de elasticidade (Figura 13b) de acordo com as situações de variação de temperatura e pressão de prensagem dos painéis.

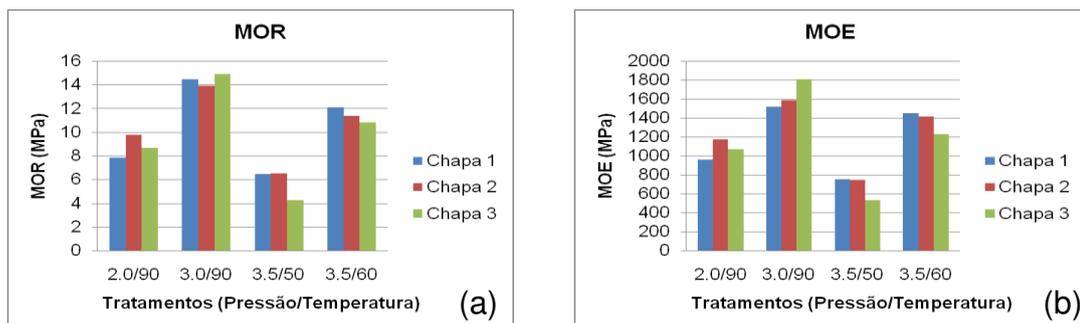


Figura 13. Valores médios de resistência na flexão estática e Módulo de elasticidade (MOR e MOE).

A variação entre chapas de um mesmo tratamento foi significativa para o MOR nos tratamentos 1 (pressão de 20 Kgf/cm² e temperatura de 90°C) e 3 (pressão de 35 Kgf/cm² e temperatura de 50°C). Para o MOE as variações entre chapas não foram significativas (Tabela 4).

Os valores médios de MOR, que constam na Tabela 4, não alcançaram o valor mínimo de 18 MPa estabelecido pela NBR 14810-2 da ABNT (2002) para chapas de aglomerado com espessura compreendida entre 8 e 13 mm.

As chapas dos tratamentos 2 e 4 apresentaram as maiores médias de MOR (Tabela 4) e alcançaram os valores estabelecidos pela norma comercial americana CS 236-66 (1968) (Tabela 3). Os demais tratamentos (1 e 3) apresentaram médias menores e não atingiram o valor estabelecido pela norma americana. Kelly (1977) relaciona este fato à diminuição da densidade. Com base nesse autor, é possível afirmar que a densidade diminuiu significativamente o MOR na flexão estática.

Os valores médios de MOE, que constam na Tabela 4, para o tratamento 2, foram superiores aos valores dos tratamentos 4, 1 e 3. porém, o tratamento 2 não alcançou o valor de MOE estabelecido pela norma americana (Tabela 3). Dias *et al.*, (2008) também contataram este problema, e relata que os baixos valores de MOE obtidos podem ter ocorrido em função de desuniformidade de distribuição de adesivo, ou ainda pela falta deste, durante o processo de formação da chapa.

Tabela 4. Valores médios dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE)

Tratamento	Modulo de ruptura (Mpa)			Modulo de elasticidade (Mpa)		
	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3	Chapa 1	Chapa 2	Chapa 3
1	7,83 Bc	9,79 Ab	8,66 ABc	957,72 Ab	1173,30 Ab	1066,06 Ab
2	14,48 Aa	13,88 Aa	14,91 Aa	1516,96 Aa	1583,38 Aa	1808,79 Aa
3	6,43 Ac	6,52 Ac	4,24 Bd	750,73 Ab	745,71Ac	529,44 Ac
4	12,10 Ab	11,37 Ab	10,83 Ab	1447,62 Aa	1415,05 Aab	1230,01 Ab

As médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal ou minúscula, na vertical, em cada seção, não diferem entre si (Tukey; $p > 0,05$).

4.2.2 Tração perpendicular às fibras e arrancamento de parafusos

A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) indica valores de 0,40 MPa para tração perpendicular às fibras (ligamento interno) de aglomerados com espessura de 8 a 13 mm. Já a norma americana CS 236/66 (1968) (Tabela 3), indica o valor de 0,49 MPa para aglomerados produzidos com densidade entre 600 e 800 kg/m³. Todas as situações, objeto dessa pesquisa, apresentaram valores de tração perpendicular às fibras (ligamento interno) superiores às exigências das normas brasileira e americana (Tabela 5). É importante destacar, que muitos pesquisadores consideram este ensaio como o mais importante para definir as características da chapa.

Tabela 5. Valores médios dos ensaios de ligamento interno (Mpa) e arrancamento de parafuso (N)

Tratamentos	Ligamento interno (Mpa)	Arrancamento de parafusos (N)
1	1,41 ab	5,58 ab
2	1,72 a	6,29 a
3	0,85 c	4,62 b
4	1,36 b	6,14 a

As médias seguidas por uma mesma letra, na vertical, em cada seção, não diferem entre si (Tukey; $p > 0,05$).

Os valores médios de arrancamento de parafusos para os tratamentos 2 e 4 foram semelhantes estatisticamente e diferiram dos tratamentos 1 e 3 que apresentaram resultados inferiores (Tabela 5). A NBR 14810-2 (ABNT, 2002) indica que este ensaio não é aplicável para chapas de espessura de 8 a 13 mm.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que as pressões e temperaturas utilizadas afetam as propriedades das chapas:

- As chapas apresentaram densidades médias a altas, compreendidas dentro do estipulado pelas normas brasileira e americana;
- As chapas confeccionadas com o emprego da pressão de 2,0 MPa e temperatura de 90°C apresentaram valores médios de inchamento em duas horas em conformidade com a norma brasileira e as dos demais tratamentos apresentaram valores médios de inchamento de acordo com a norma americana;
- Os valores de MOR e MOE apresentaram diferenças entre chapas e tratamentos e os valores de MOR não alcançaram o valor mínimo estabelecido pela norma brasileira, tendo as chapas confeccionadas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90 °C e 3,5 MPa e 60 °C apresentado valores de MOR que atendem as exigências da norma americana;
- Os MOEs obtidos pelas chapas não atingiram os valores mínimo estabelecidos pela norma americana;
- As chapas produzidas apresentaram valores de tração perpendicular às fibras (ligação interna) superiores às exigências das normas brasileira e americana; e
- As chapas produzidas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90 °C e as com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60 °C apresentaram resultados consistentes e satisfatório de acordo com a norma americana.
- Ainda que resultados em outras situações de pressão e temperatura tenham sido inferior a norma CS 236-66, verifica-se a possibilidade aplicação em outros setores da construção, tais como conforto térmico e acústico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 14810-2. **Chapas de madeira aglomerada**. Parte 2 – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 14810-3. **Chapas de madeira aglomerada**. Parte 3 – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Estudo Setorial 2004**. Curitiba, 2004. 50 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PÁINEIS DE MADEIRA AGLOMERADA - ABIPA. Paraná: ABIPA, 2002. 25p. (Boletim informativo)

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 711 p.

BRASIL, A.A.; ANGELO, H.; SANTOS, A.J.; BERGER, R; SILVA, J.C.G.L As exportações brasileiras de painéis de madeira. **Revista Floresta**, v.33, n.2, p.135-146, 2003.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

CAMPOS, C.I.; LAHR, F.A.R. Pinus e eucalipto para produção de painéis. **Revista da Madeira**. v. 21, p. 229-232, 2007. Curitiba.

COMMERCIAL STANDARD - CS 236-66. **Mat formed wood particleboard**. [S.l.], 1968.

DIAS, F.M.; NASCIMENTO, M.F.; MARTINEZ ESPINOSA, M.; ROCCO LAHR, F. A.; VALARELLI, I.D. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards. **Materials Research**, v. 8, n. 3, p. 329-333, 2005.

DIAS, F.M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. In: LAHR, F.A.R. **Produtos derivado da madeira**. São Carlos: EESC/USP, 2008. p.37-160.

DIAS, N.A.B.; CAMPOS, C.I.; NASCIMENTO, M.F.; LAHR, F.A.R. **Aproveitamento de resíduos de *pinus sp* para a produção de chapas de partículas utilizando resina poliuretana bi-componente à base de óleo de manona**. LaMEM. EESC. – USP - São Carlos, 2008.12p.

FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GALVÃO A. P.; MENDES. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília: Embrapa. 2000. 351p.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de pinus**. Curitiba, 1989. 130f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A.B.; ALBUQUERQUE, C.E.C; MENDES, L.M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 23p.

IWAKIRI, S.; KEINERTJUNIOR, S; ALBUQUERQUE, C.E.C; LATORRACA, J.V.F; MENDES, L.M..**Painéis de madeira reconstituída**..Curitiba: Ajir Gráfica e Editora Ltda, 2005. P.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, L.L.G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3 - 30, 2002

KELLY, M. W. Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. **USDA Forest Service Resp. FLP**, [S.I.], v. 10, p. 66, 1977.

MADEIRA TOTAL. **Estrutura físico-química da madeira**. Disponível em: <http://www.madeiratotal.com.br/ntc.asp?Cod=2980>. Acesso em: 12 nov 2008.

MACEDO, A.R.P.; ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Relatório setorial. n. 6, p 117-132, 1997. [http://www. Bndes.gov.br](http://www.Bndes.gov.br) (29 out. 2008)

MALONEY, T.M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. São Francisco : M. Freeman, 1993. 672 p.

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

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p., 2v.

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. 7p.

NASCIMENTO, M.F. **Chapas de partículas homogêneas:** madeiras do nordeste do Brasil. São Carlos, 2003. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NOLASCO, A.M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.:** caracterização e perspectivas. São Carlos, 2000. 172f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos. 2000.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO - FAO. **Yearbook of forest products**, 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/fo/country/index.jsp>.2002. Acesso em: 29 out. 2008.

PETERSON, R.W. Wood adhesives. Ottawa, Forest Products Research Branch, n. 1055. Madison, 1964.

RAZERA, D.L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira.** Curitiba, 2006. 144f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira aglomerada SET 805.doc-www.bndes.gov.br**, 1998. 22p. Acesso em: 29 de out. de 2008.

SOUZA, M.R.; TEIXEIRA, D.E. **Compostos a base de madeira.** Brasília: IBAMA, 2002. 29p.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistic:** a biometrical approach. 2. ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 633p.

SUASSUNA, J. **A CULTURA DO PINUS:** uma perspectiva e uma preocupação. Pesquisador da Fundação Joaquim Nabuco, 2005. 12p.

TAFISA INDÚSTRIA DE CHAPAS DE PARTÍCULAS. 2002. Disponível em: <http://www.tafisa.com.br>. Acesso em: 26 out. 2008.

TEIXEIRA, L.C. Resíduos florestais: tecnologias disponíveis e suas tendências de uso. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: UFV, 2003. p.191-203.

TONISSI, J. L. Madeira e seus derivados na construção civil. São Carlos, 1985. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos 1985.

VIGNOTE P.S.; JIMÉNEZ P.F.J. **Tecnología de la madera.** Madrid : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602p.