

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

Engenharia Industrial Madeireira

PAULA MARTINS KINAP

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-
MECÂNICO DE PAINEL COMPENSADO PRODUZIDO
COM LÂMINAS FAQUEADAS E TORNEADAS DE
MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO**

ITAPEVA/SP

2014

PAULA MARTINS KINAP

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-
MECÂNICO DE PAINEL COMPENSADO PRODUZIDO
COM LÂMINAS FAQUEADAS E TORNEADAS DE
MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos

ITAPEVA/SP

2014

Kinap, Paula Martins

K511a Análise do desempenho físico-mecânico de painel compensado produzido com lâminas faqueadas e torneadas de madeira de pinus e eucalipto / Paula Martins Kinap. -- Itapeva, SP, 2014
53.f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira) -
Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, 2014
Orientadora: Cristiane Inácio de Campos
Banca examinadora: Gustavo Ventrone, Bruno Santos Ferreira
Bibliografia

1. Lâminas de madeira. 2. Compensados de madeira. 3. Madeira -
Propriedades mecânicas. I. Título. II. Itapeva, SP - Curso de Engenharia
Industrial Madeireira.

CDD 674.835

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

Engenharia Industrial Madeireira

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-
MECÂNICO DE PAINEL COMPENSADO PRODUZIDO
COM LÂMINAS FAQUEADAS E TORNEADAS DE
MADEIRA DE PINUS E EUCALIPTO**

PAULA MARTINS KINAP

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Cristiane Inácio de Campos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Gustavo Ventorim
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Msc. Bruno Santos Ferreira
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

*“Tudo tem seu tempo determinado,
e há tempo para todo o propósito
debaixo do céu.”*

Eclesiastes 3:1

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por ter me proporcionado este privilégio. Agradeço pela família que Ele me concedeu, pois se consegui chegar e concretizar essa etapa na minha vida foi porque tive pessoas essenciais proporcionadas por Ele. Neste momento é difícil encontrar palavras certas para agradecer aos meus pais, Paulo Eduardo Barros Kinap e Lúcia Moreira Martins Kinap. Pessoas que sempre foram e serão exemplos como pais, como casal, como pessoas de caráter e principalmente tementes a Deus. Peço desculpas pelos meus atos e erros que cometi, pois vocês sempre estiveram ao meu lado me amando, corrigindo, ensinando e orando pela minha vida.

Agradeço a minha irmã Thaís, te amo demais. Sempre quieta e observadora, mas que me ensina mesmo estando longe. Irmã, amiga, companheira que terei pro resto da minha vida.

Agradeço as minhas avós, Margarida e Déa, pelo carinho, amor e pela paciência. Obrigada de coração, sei que jamais poderei retribuir o que fizeram por mim. Agradeço a toda minha família, não citarei nomes porque a família é grande, mas amo todos vocês. Dizem que família não se escolhe, mas para mim Deus escolheu a mão cada integrante da minha família “buscapé”. São especiais e com vocês aprendi que jamais estarei só.

Agradeço ao Felipe por tudo, que Deus esteja sempre presente em nossas vidas nos dando direção para a nossa nova jornada.

Agradeço a minha orientadora pela sua dedicação e constante ajuda para o desenvolvimento deste trabalho e pela grande amizade.

A todos os professores, funcionários e alunos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Itapeva, pela amizade e disponibilidade em ajudar sempre.

RESUMO

O uso da madeira sólida apresenta limitações devido o seu comportamento anisotrópico, dimensões, presença de nós, grã, entre outros exemplos, já os painéis de madeira tendem a minimizar essas limitações, dentre os principais tipos de painéis, destaca-se o compensado. Este trabalho teve por objetivo caracterizar chapas de madeira compensada, com lâminas obtidas por meio de torno laminador e faqueadeira de duas espécies de eucalipto e pinus com o adesivo fenol-formaldeído. Assim, para verificar a influencia das mesmas nas propriedades físicas e mecânicas do painel. A análise dos resultados permitiu concluir que os painéis produzidos com as lâminas de pinus apresentaram resultados físicos e mecânicos mais elevados. Analisando os resultados obtidos neste estudo para caracterização física e mecânica pode-se observar que os valores foram compatíveis aos encontrados na literatura e atenderam as especificações mínimas propostas pela ABIMCI (2002).

Palavras-chave: Lâminas, Pinus, Eucalipto, Fenol-formaldeído, Torno laminador, Faqueadeira.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1_ Esquema simplificado de painéis de madeira reconstituída | 15 |
| Figura 2_ Evolução do consumo de painéis de madeira no mundo | 15 |
| Figura 3_ Evolução do consumo de painéis de madeira no Brasil | 16 |
| Figura 4_ Produção de Compensado no Brasil | 16 |
| Figura 5_ Exportação de Compensado no Brasil | 17 |
| Figura 6_ Esquema ilustrativo de Compensado de 3,4 e 5 lâminas | 18 |
| Figura 7_ Produção e distribuição brasileira de Compensado – 2008 a 2012..... | 20 |
| Figura 8_ Torno Rotativo | 30 |
| Figura 9_ Faqueadeira | 31 |
| Figura 60_ Pesagem dos componentes para o preparo do adesivo, farinha (A), água (B), fenol-formaldeído(C) | 36 |
| Figura 11_ Batedeira Planetária Braesi | 36 |
| Figura 12_ Aplicação do adesivo fenol-formaldeído | 36 |
| Figura 13_ Prensa hidráulica termomecânica | 37 |
| Figura 14_ Corpo de prova para o teste de inchamento | 39 |
| Figura 15_ Corpo de prova para o teste de absorção de água | 40 |
| Figura 16_ Corpo de prova para o teste de cisalhamento na linha de cola | 41 |
| Figura 17_ Ensaio de cisalhamento na Máquina Universal de Ensaios | 41 |
| Figura 18_ Arranjo esquemático da máquina de ensaios | 42 |
| Figura 19_ Corpo de prova para o teste de flexão | 42 |
| Figura 20_ Ensaio de flexão na Máquina Universal de Ensaios | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1_ Divisões e subdivisões dos adesivos para madeira | 23 |
| Tabela 2_ Resultados médios dos ensaios físicos | 45 |
| Tabela 3_ Resultados médios dos ensaios mecânicos | 47 |
| Tabela 4_ Valores médios das propriedades físicas dos painéis compensados de 11 espécies de <i>Eucalyptu</i> – (Bortoletto Júnior, 2003) | 47 |
| Tabela 5_ Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados – (Bortoletto Júnior, 2012)..... | 48 |
| Tabela 6_ Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados de <i>Pinus spp</i> – (ABIMCI, 202) | 48 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1. Geral..... | 13 |
| 2.2. Específicos | 13 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 3.1. Painéis de madeira | 14 |
| 3.1.1. Espécies | 17 |
| 3.2. Compensado..... | 18 |
| 3.2.1. Fatores que afetam a qualidade dos compensados | 20 |
| 3.2.1.1. Características da madeira | 20 |
| 3.2.1.2. Superfície das lâminas | 20 |
| 3.2.1.3. Teor de umidade das lâminas..... | 21 |
| 3.3. Adesivos..... | 22 |
| 3.3.1. Naturais..... | 23 |
| 3.3.2. Sintéticos..... | 24 |
| 3.3.2.1. Termoplásticos | 24 |
| 3.3.2.2. Termoendurecedores ou Termofixos | 25 |
| 3.3.3. Características do adesivo..... | 27 |
| 3.4. Processo de produção de compensado | 29 |
| 3.4.1. Torno Laminador | 30 |
| 3.4.2. Faqueadeira..... | 31 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 34 |
| 4.1. Materiais | 34 |
| 4.2. Equipamentos utilizados | 34 |
| 4.3. Preparação das lâminas e produção dos painéis | 35 |
| 4.4. Caracterização físico-mecânica dos painéis | 37 |
| 4.4.1. Físicos | 37 |

| | |
|--|----|
| 4.4.1.1. Massa específica aparente..... | 37 |
| 4.4.1.2. Teor de umidade | 38 |
| 4.4.1.3. Inchamento..... | 38 |
| 4.4.1.4. Absorção de água..... | 40 |
| 4.4.2. Testes mecânicos | 41 |
| 4.4.2.1. Cisalhamento na linha de cola | 41 |
| 4.4.2.2. Flexão estática..... | 42 |
| 4.4.3. Análise Estatística..... | 44 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 45 |
| 5.1. Ensaio físicos..... | 45 |
| 5.2. Ensaio mecânicos | 46 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 49 |
| 7. REFERÊNCIAS | 50 |

1. INTRODUÇÃO

Devido à escassez de madeira e a pressão ambiental contra a destruição das florestas, houve um crescimento no consumo de painéis de madeira. Isso pode ser justificado pela evolução da tecnologia para a produção de painéis à base de madeira, produto mais barato e competitivo, além da aceitação do mercado em substituir os produtos de madeira sólida por painéis à base de madeira que atendam as necessidades específicas dos mesmos.

No estado de São Paulo as espécies de reflorestamento que possuem maior destaque são o Eucalipto com 1.041.695 hectares e o Pinus com 144.802 hectares (ABRAF, 2012). Essas espécies são capazes de atender a demanda do mercado, além de manter ótimas características, mesmo sendo espécies de rápido crescimento.

Entre os painéis de madeira reconstituída destaque-se o compensado, painel composto por lâminas de madeira desenroladas, unidas cada uma perpendicularmente à outra, através de adesivo ou cola. Sempre por número ímpar de camadas com sentido da grã adjacente perpendicularmente à outra. Para a obtenção das lâminas de madeira a tora passa por um cozimento e, posteriormente, são cortadas, podendo ser obtidas por dois métodos utilizados para sua produção: torneamento, onde a tora já descascada e cozida é colocada em torno rotativo; faqueamento, obtida a partir de uma tora inteira, da metade ou de um quarto da tora, presa pelas laterais, para que uma faca do mesmo comprimento seja aplicada sob pressão, produzindo fatias únicas.

Inicialmente, o adesivo utilizado para a produção do compensado era de origem natural, à base de proteínas de origem animal, ou a base de proteínas vegetais. Os primeiros adesivos sintéticos surgiram por volta da década de 1930. O adesivo à base de resina fenol-formaldeído é utilizado na fabricação de compensados para o uso externo, pois possui uma alta resistência à umidade. Adesivo com uma formulação diferente, com a incorporação de proporções diferenciadas de extensores e água, que podem ser acrescentados para otimizar a relação custo-benefício, na colagem das lâminas.

Neste contexto, este trabalho pretende estudar as condições do compensado produzido utilizando um tipo de adesivo e lâminas de duas espécies diferentes.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Este trabalho teve como objetivo geral a análise das propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira compensada produzidos com lâminas torneadas e faqueadas de madeira de *Eucalyptus* e *Pinus*.

2.2. Específicos

- Confeccionar painéis de Eucalipto e Pinus com lâminas faqueadas e torneadas;
- Analisar o desempenho para os painéis produzidos, realizando ensaios físicos e mecânicos;
- Comparar os resultados obtidos com valores encontrados em normas e literaturas relacionadas ao estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir está apresentada a revisão da literatura que permitiu embasamento teórico para o desenvolvimento do presente estudo.

3.1. Painéis de madeira

Os painéis de madeira têm como principal intuito a substituição da madeira maciça, atendendo assim, a uma necessidade gerada por sua escassez e devido a seu encarecimento, além de melhorar o aproveitamento de madeiras menos nobres e seus resíduos (BNDES, 2008). Mattos, Gonçalves e Chagas (2008) definem os painéis como estruturas fabricadas com madeiras em forma de lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Sendo que acabam substituindo a madeira maciça em diferentes usos. Os painéis de madeira reconstituída abrangem alguns grupos: aglomerados/MDP, MDF e chapas de fibras (IWAKIRI, 2005).

Estes painéis são produtos fabricados com base no processamento da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação (MATTOS, GONÇALVES E CHAGAS, 2008). Em seguida, os elementos de madeira a partir de variados processos, passam por métodos de reconstituição e geram produtos com diversas finalidades de uso. De uma forma simplificada os painéis reconstituídos de madeira podem ser classificados como ilustrado na Figura 1.

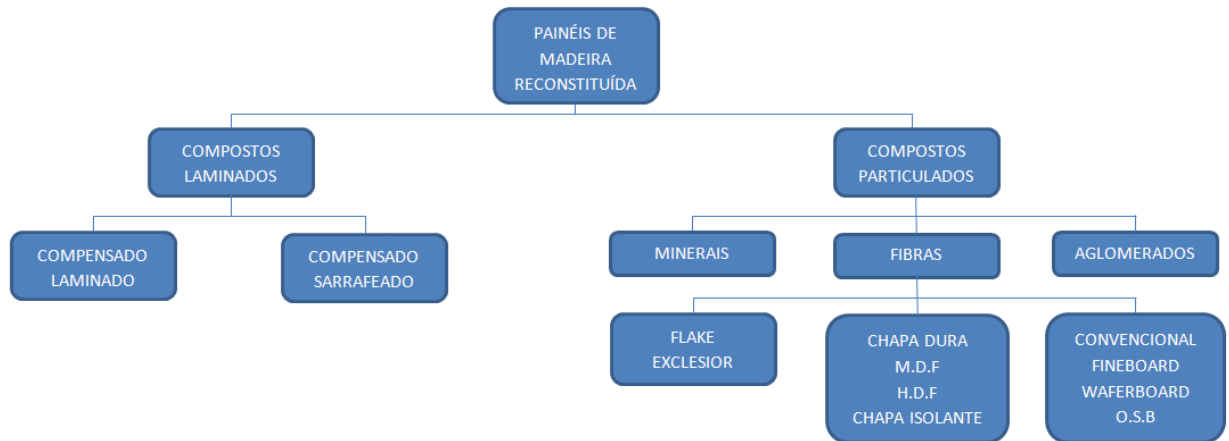


Figura 7_Esquema simplificado de painéis de madeira reconstituída.

Fonte: Adaptado de IWAKIRI, 2005.

A indústria de painéis de madeira durante muitos anos ganhou destaque, tornando-se um segmento importante para a economia brasileira. As Figuras 2 e 3, apresentam a evolução do consumo de painéis de madeira mundialmente e no Brasil entre os anos de 1997 e 2008, respectivamente, onde pode-se observar o crescente consumo dos painéis no mundo todo assim como no Brasil.

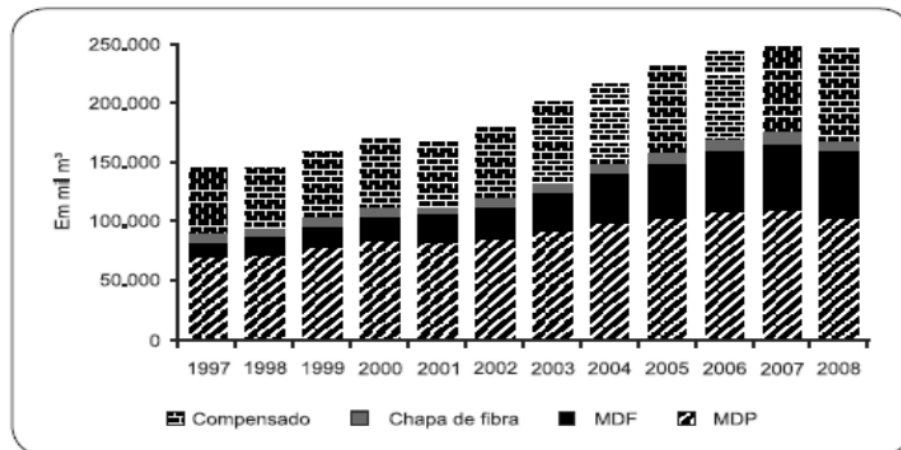


Figura 8_Evolução do consumo de painéis de madeira no mundo.

Fonte: FAO, 2008.

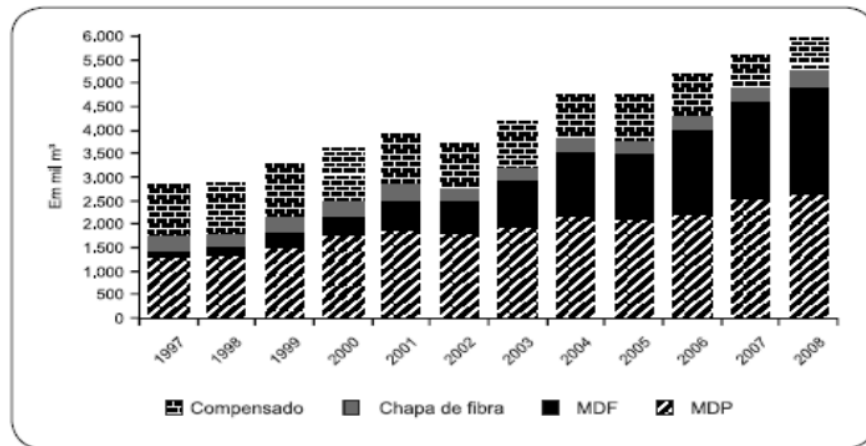


Figura 9_ Evolução do consumo de painéis de madeira no Brasil.

Fonte: ABIPA, 2008.

Pode-se observar que os painéis de MDP (*Medium Density Particleboard*) sempre apresentaram crescimento de consumo mundial assim como nacional. No entanto, o painel de madeira compensada apresentou um declínio de consumo nos últimos anos. Esse declínio pode ser justificado por mudanças ocorridas no segmento em função da busca de alternativas à madeira maciça, como à modernização tecnológica do parque fabril, que proporciona oferta de novos produtos (MDF - *Medium Density Fiberboard* e OSB - *Oriented Strand Board*) e a melhoria da qualidade (como a evolução do aglomerado para o MDP), além da redução dos juros e melhoria da renda que contribuíram para um impulso no setor moveleiro e construção civil. Portanto, observa-se uma redução do uso do compensado a partir de 2006, influenciando tanto na produção e exportação, como ilustram as Figuras 4 e 5.

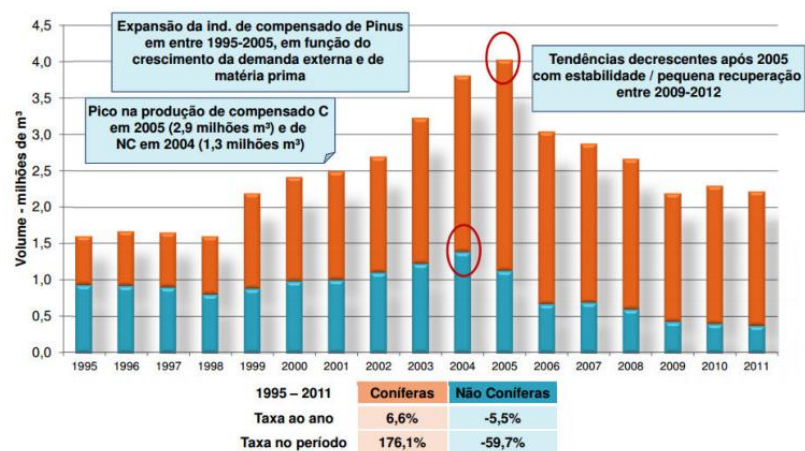


Figura 10_ Produção de Compensado no Brasil.

Fonte: ITTO (2012), adaptado por STCP.

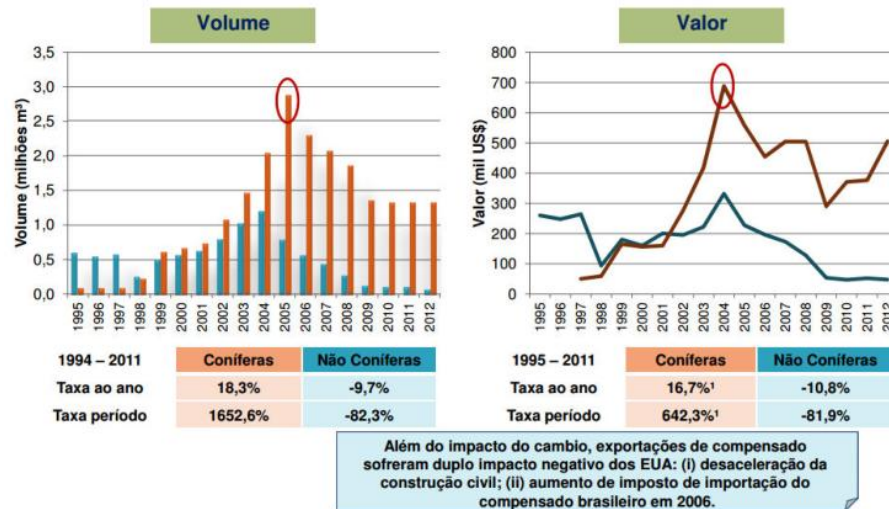


Figura 11_Exportação de Compensado no Brasil.

Fonte: FAO (2012), SECEX (2012), adaptado por STCP.

3.1.1. Espécies

Zugman (1998) *apud* Bortoletto (2003), cerca de 70% dos compensados produzidos no Brasil são manufaturados com madeiras de florestas tropicais nativas e a produção de compensados com madeira de *Pinus spp.* vem crescendo, sendo responsável pelos 30% restantes da produção nacional. As estimativas mais recentes indicam que 60% das chapas compensadas brasileiras são produzidas com madeiras tropicais nativas, por outro lado os 40% restantes são produzidos a partir de madeiras provenientes de florestas plantadas nas regiões Sul e Sudeste, particularmente de espécies do gênero pinus.

Segundo a ABIMCI (2009) o setor de compensado brasileiro produziu aproximadamente 2,5 milhões de metros cúbicos em 2008.

Entretanto a diminuição dos estoques de toras de pinus para laminação e serraria já é uma realidade, decorrência das reduzidas taxas de plantio nos 80 e 90 (SBS, 2000).

De acordo com a ABIMCI (2000) relata que em breve o eucalipto irá substituir as espécies nativas, além de cobrir a limitação no suprimento de madeira de pinus. Contudo, a utilização do eucalipto na produção nacional de compensados é incipiente, pois é resulta dos paradigmas preconceituosos que ainda cercam a utilização da madeira de eucalipto para esse fim.

Sendo que o eucalipto possui alta produtividade, crescimento rápido, ampla variedade de espécies, uso em finalidades, capacidade de adaptação (MOURA, 2000).

Espécie de origem da Austrália com exceção de duas espécies (*Eucalyptus urophylla* e *E. deglupta*) (SILVA, 2001). Pertence à família das mirtáceas, a mesma da goiabeira, jaboticabeira e pitangueira, entre outras. São na maioria plantas lenhosas arbustivas ou arbóreas, com folhas inteiras de disposições alternas ou opostas e às vezes cruzadas com estípulas muito pequenas (SCARPINELLA, 2002).

Estudos indicam que o próximo passo para a indústria de compensado será as plantações de folhosas, inclusive o eucalipto (BORTOLETTO, 2003).

3.2. Compensado

O compensado é um painel fabricado por um número ímpar de lâminas de madeira mediante adição de uma resina adequada ao seu uso final, de maneira que a compensação de forças é realizada por meio da disposição perpendicular das fibras das lâminas, colados sob pressão e temperatura (KOLLAMNN *et al.*, 1975; ROWELL, 2005), ilustrado na Figura 6.

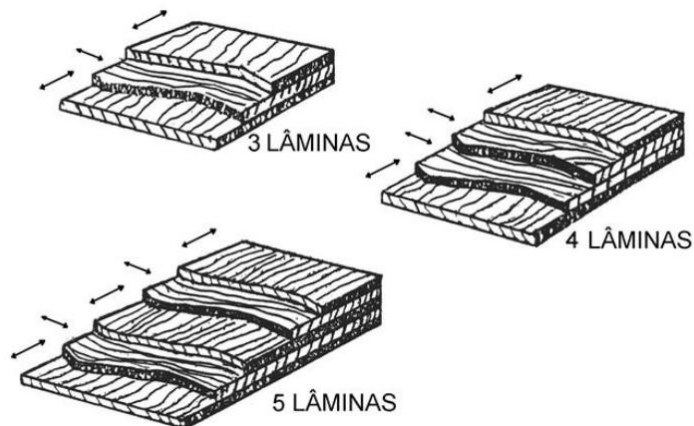


Figura 6_Esquema ilustrativo de Compensado de 3,4 e 5 lâminas.

Fonte: IWAKIRI, 2005.

De acordo com a ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2007), os compensados podem ser sarrafeados (constituído por sarrafos e revestidos com lâminas coladas perpendicularmente) e multilaminados (compostos exclusivamente de lâminas de madeira).

O primeiro tipo de painéis de madeira foi o compensado multilaminado que surgiu no início do século XX (REMADE, 2008). No Brasil sua fabricação tem cerca de 80 anos e estima-se que existem mais de duzentas empresas de compensado em operação ao longo de todo território nacional (CARDOSO *et. al.*, 2012).

O compensado apresenta características de alta resistência mecânica e é destinado a aplicações que requerem alta resistência à umidade ambiente e ao contato direto com a água (ABNT, 2001).

Sendo Iwakiri (2005), os painéis de compensados são classificados basicamente em três tipos, de acordo com a sua utilização e tipo de resina utilizada: uso interior, produzido com a resina ureia-formaldeído; uso intermediário, produzido com a resina melamina-formaldeído; uso exterior, produzido com a resina fenol-formaldeído. No mercado são encontrados sete tipos principais de compensado: laminados, sarrafeados, decorativos, industrial, naval, resinados e plastificados.

As principais vantagens apresentadas pelo compensado em relação à madeira maciça é a maior resistência distribuída em toda sua extensão, maior estabilidade dimensional, aproveitamento melhor da tora, e a produção de painéis com dimensões maiores. Possui múltiplas aplicações, destacando-se seu emprego na construção civil, na indústria moveleira e como embalagem (IWAKIRI, 2005).

No Brasil atualmente a indústria comercializa seus produtos nos mercados doméstico e internacional, entretanto o mercado interno tem sido mais importante a partir da crise econômica internacional. Apesar da importância relativamente pequena das exportações, os volumes e os preços dos produtos comercializados no mercado interno são também afetados pela demanda do mercado internacional. Assim, as mudanças no comércio internacional, resultantes da crise econômica e financeira mundial, tiveram influência sobre o comércio de madeira no mercado interno. Durante a crise americana de 2008-2009 seu impacto na produção afetou principalmente a exportação de painéis de compensado, conforme a Figura 7.

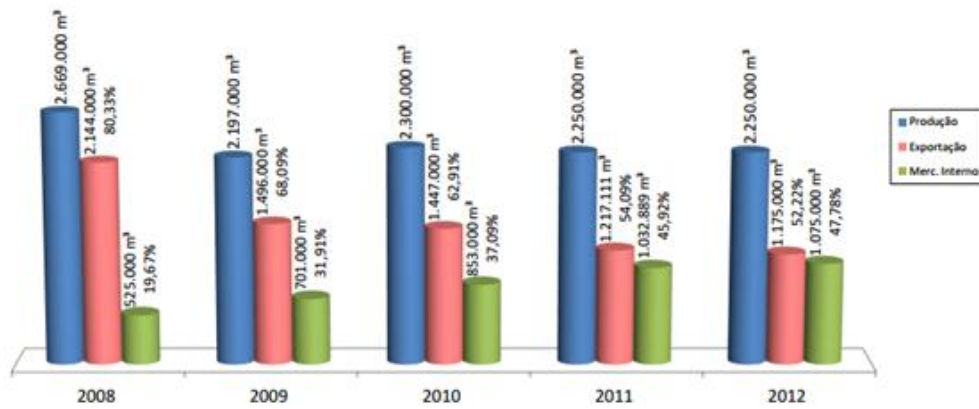


Figura 7_Produção e distribuição brasileira de Compensado – 2008 a 2012.

Fonte: ABIMCI, 2012.

3.2.1. Fatores que afetam a qualidade dos compensados

A seguir serão apresentados os principais fatores relacionados com as características da matéria-prima empregada utilizados na fabricação de chapas de madeira compensada.

3.2.1.1. Características da madeira

Os fatores mais importantes relacionados à madeira que afetam a colagem são definidos ainda quando as árvores estão em pé. Pois os fatores anatômicos, físicos e químicos de cada espécie são formados durante o crescimento da madeira e dependem da genética de cada espécie, ambiente onde se desenvolve e, principalmente, as diferentes condições de crescimento, tempo, solo e competição que estão expostas (MARRA, 1992 *apud* LIMA, 2006).

3.2.1.2. Superfície das lâminas

Gardner (1990) diz que a madeira possui características importantes que influenciam no processo de adesão como, a porosidade da madeira, anisotropia e as propriedades das superfícies das lâminas. E que a superfície da madeira varia consideravelmente tanto

quimicamente como morfológicamente, dependendo de como a superfície foi preparada e que tipo de madeira está sendo utilizado (FRIHART, 2005). A superfície da madeira deve ter as células abertas na superfície de modo que o adesivo possa fluir para dentro do lúmen das células para fornecer mais espaço para o intertravamento mecânico. Essa acessibilidade das células abertas depende da espécie da árvore, dos tipos de células e o método de preparação da superfície.

De acordo com Marra (1992) *apud* LIMA (2006), os extrativos da madeira principalmente as madeiras resinosas podem afetar a superfície da madeira. A madeira submetida a processos de fabricação como cortes, secagem e laminação pode alterar as propriedades físicas e químicas da superfície das lâminas. A alta temperatura durante o processamento faz com que os extrativos movimentem-se por difusão para a superfície bloqueando fisicamente o contato do adesivo com a madeira diminuindo a sua penetração.

3.2.1.3. Teor de umidade das lâminas

É importante reduzir o teor de umidade das lâminas para obter uma boa colagem dos painéis, entretanto essa redução envolve uma quantidade significativa de energia afetando diretamente os custos finais do produto. O teor de umidade final das lâminas pode variar de 5% a 15%, porém depende do tipo de resina utilizada (SILVA; TOMASELI; IWAKIRI,1998).

Iwakiri (2005) afirma que a influência do teor de umidade das lâminas está relacionada com a quantidade de adesivo e o seu ritmo de absorção pela madeira. Com a pressão e temperatura aplicada aos painéis durante o processo de prensagem ocorrem interações entre a temperatura e a umidade presente na madeira. Podem causar uma menor viscosidade do adesivo podendo resultar em uma maior movimentação e uma excessiva penetração do adesivo podendo resultar em uma linha de cola faminta. Sendo que uma migração na direção oposta à fonte de calor resultando em um gradiente de umidade, sendo que as camadas de linha de cola mais internas ficam com um conteúdo de umidade maior aumentando assim a movimentação do adesivo. Um gradiente de temperatura entre o centro da chapa e a superfície aumenta excessivamente a mobilidade do adesivo podendo resultar em linha de cola faminta ou até o estouro da chapa provocado pelo vapor de água concentrado no interior da chapa.

3.3. Adesivos

O adesivo é uma substância capaz de manter unidas por adesão superficial peças diferentes. A adesão é a capacidade decorrente de uma propriedade intrínseca da substância, submetidas a certas condições, tem interação com um substrato. Entretanto existem dois conceitos que são essenciais, ou seja, ter boa tensão de adesão (ajudar a unir superfícies) e boa coesão (desenvolver resistência dentro do adesivo). As propriedades adesivas desejáveis são: preparação mínima da superfície, custo razoável, fácil aplicação com o mínimo de habilidade, fixação dentro de um tempo razoável e rigidez do adesivo menor ou igual à dos substratos. Os mecanismos para fixação ou cura são: evaporação do solvente, remoção de calor (reativação) e reação química (MARRA, 1992 *apud* LIMA, 2006).

A adesão é o estado no qual duas superfícies se conservam unidas pelas forças interfaciais que podem se compor de forças de valência ou mecanismos de ancoramento ou de ambos (PEREIRA, 2007; BORRACHA ATUAL, 2003; LOCITITE, 1997). Já a coesão é a união entre as partes dos materiais, relacionando-se com a força que opõe-se a separação dos materiais colados (PEREIRA, 2007; LEITE; MANO, 2010).

O adesivo ao entrar em contato com o substrato sólido sofre a influencia da força de coesão, que tenta manter a forma esférica, e a força de adesão entre líquido e sólido em função da tensão superficial, que tenta estender a gota na superfície do substrato. A competição entre essas duas forças leva a diferentes níveis de umectação. Os movimentos do adesivo na formação da ligação variam de acordo com a composição e condições de colagem, podendo classificar a linha de cola em: faminta, normal, não ancorada, pré-endurecida (IWAKIRI, 2005).

Marra (1992) *apud* LIMA (2006) diz que quanto à formação de uma ligação, os adesivos realizam os seguintes movimentos:

- Fluidez – movimento correspondente à fluidez no plano da linha de cola, em resposta à pressão e irregularidades no perfil;
- Transferência – movimento correspondente à transferência do adesivo para a superfície oposta;
- Penetração – movimento do adesivo para penetrar nos poros e nas estruturas da madeira;

- Umedecimento – movimento do adesivo para recobrir a estrutura submicroscópica da madeira;
- Solidificação – movimentos envolvidos na mudança de estado, por processos químicos, produzindo resistência.

Os adesivos podem ser classificados por várias maneiras, origem dos componentes primários, temperatura de cura e resistência à umidade como mostra a Tabela 1.

Tabela 1_Divisões e subdivisões dos adesivos para madeira.

| Origem dos Componentes | |
|------------------------|---|
| Primários | Naturais Sintéticos |
| Temperatura de Cura | Adesivo de alta temperatura de cura (superior a 30°C) Adesivo de média temperatura de cura (30°C a 30°C) Adesivo de baixa temperatura de cura (inferior a 30°C) |
| Resistência à Umidade | A prova d'água Resistente à umidade Não resistente à umidade |

Fonte: ABIMCI, 2003.

Os adesivos empregados para a colagem de madeira possuem a seguinte classificação:

3.3.1. Naturais

Segundo PIZZI (1994) *apud* LIMA (2006):

- Origem animal – glutina (couro, pele, ossos), caseína (proteína do leite), albumina (sangue);
- Origem vegetal – soja, óleo da mamona (Poliuretana- vantagens: excelente propriedade estrutural não emite vapores tóxicos, boa adesão e baixo custo. Pode ser: *monocomponente*, processo de cura pela umidade do ar, facilidade em ser aplicado em superfícies molhada por pincel, spray, rolos ou imersão. Seu tempo de secagem ao toque é de 30 minutos e cura é de 24h, viscosidade de 5,313cP ; *bi-componente*, resina

livre de solventes, não é agressiva ao meio ambiente, composta por um componente pré-polímero e por um componente poliálcool, quando curados eles reagem entre si, gerando um composto poliuretano, conforme sua proporção varia suas características, sendo mais flexível ou mais rígidas);

- Amido – constituinte do trigo, milho, arroz, batata e cereais em geral;
- Éter celulósico – látex da *Hevea brasiliensis* (borracha natural).

3.3.2. Sintéticos

3.3.2.1. Termoplásticos

Iwakiri (2005) afirma que para os materiais termoplásticos, o aquecimento provoca um amolecimento progressivo até a fusão, porque provoca uma diminuição gradual nas forças de atração intermolecular. Logo, durante a fusão não ocorrem modificações expressivas em todas suas propriedades. Assim, esse tipo de plástico pode ser fundido e reaproveitado repetidas vezes, conservando suas propriedades quase que integralmente. De modo geral, à medida que aumenta o número de átomos de carbono, aumenta também sua resistência mecânica e diminui sua facilidade de conformação. Tipos de adesivos:

- **Poliacetato de vinila (PVAC)**

São adesivos de base aquosa conhecida como “colas-brancas”. Aplicada em substratos onde a absorção é maior (porosidade). Utilizado para a produção de tintas para parede, adesivos para papel, adesivos fundidos em goma de mascar. Propriedades mecânicas são fracas. Sua aplicação é sob forma de emulsão, em tintas e adesivos. Sendo que as emulsões são largamente utilizadas em todo mundo para construção civil, em tintas para interiores e exteriores, de baixo custo. É também bastante consumido como emulsão adesiva (PEREIRA, 2007; LEITE; MANO, 2010).

- **“Hot-melt”**

Conhecidos também como adesivos sólidos, são fabricados e aplicados a quente, no estado fundido. Sendo assim, sensíveis à pressão, aderem firmemente a uma variedade de superfícies diferentes após um breve contato, utilizando-se uma pressão manual. São encontrados na forma de bastão, fios, granulados (pellets ou esferas), entre outros. Utilizado para a junção de lâminas e sarrafos (SILVA, 2008).

- **Polietileno, polistírol**

Obtido através da polimerização do eteno. É o mais barato e simples de todos os materiais plásticos. Existem três tipos: baixa densidade, com 100 a 1000 átomos de carbono; média densidade, com 1000 a 5000 átomos de carbono; alta densidade, com 5000 a 50000 átomos. Possuem boa resistência química, mas são atacados pelo UV solar e alguns solventes. O de baixa densidade pode ser dobrado à vontade e cortado com uma faca, com limite de temperatura de 50 °C. Já os de alta densidade apresentam limites maiores para resistências mecânicas e limite de temperatura (FUJITA, 2011).

- **Borracha sintética**

Apesar de ser muito parecida com a borracha natural, não é tão resistente ao calor e fragiliza-se com a rápida mudança de temperatura. Sendo assim, os elementos de borracha sintética são sempre constituídos de uma parcela da borracha natural. Podem ser misturados em várias proporções desejáveis para uma ampla gama de propriedades físicas, mecânicas e químicas (BRUXEL, 2009).

3.3.2.2. Termoendurecedores ou Termofixos

São polímeros nos quais o endurecimento ou cura é consequência de reações químicas irreversíveis, que produzem um grande número de ligações cruzadas entre as moléculas, de forma que no final da reação, a peça toda pode ser considerada como sendo uma única molécula gigante. Logo, são insolúveis e infusíveis, não podendo ser amolecidos ou moldados pelo calor, porque se degradam com a elevação da temperatura. Devido às ligações cruzadas, apresentam maiores resistências à temperatura e mecânica, e de melhor estabilidade dimensional, quando comparados com os termoplásticos. Sendo que o adesivo mais importante é a ureia-formaldeído (UF), em termos quantitativos, seguem depois o fenol-formaldeído (FF), a melamina (MF) e o resorcinol-formaldeído (RF). A qualidade da linha de cola aumenta na seqüência UF, MF, FF, RF. Na mesma ordem aumenta também o preço, com exceção da resina MF, que é mais cara que a FF. Uma cola de alto preço é a RF, que custa de quatro a cinco vezes mais que a FF (CARNEIRO, 2002). A seguir suas respectivas características:

- **Ureia-formaldeído (UF)**

De acordo com Iwakiri (2005), aproximadamente 90% das chapas produzidas no mundo são feitas tendo essa resina como base. São polímeros de condensação com um grupo metilol CH_2OH ativo e a sua cura nada mais é que a continuação e complementação da reação de condensação que é interrompida. Sua cura ocorre a intervalos de temperatura de 115°C a 120°C , devido a sua alta reatividade o tempo de montagem dos painéis pode variar entre 10 à 20 minutos (ABIMCI, 2003).

Utilizadas para a fabricação de produtos onde necessita uma uniformidade dimensional e uma superfície lisa sendo projetada a sua aplicação para ambientes internos. A ureia-formaldeído é um adesivo versátil e de baixo custo por não conter benzeno ou compostos aromáticos. Amplamente utilizado pela indústria de painéis por apresentar cura rápida e boa resistência. Os painéis colados com esse tipo de resina não devem ser utilizados em locais expostos a umidade e temperatura (FRIHART, 2005; BALDWIN, 1995).

- **Fenol-formaldeído (FF)**

O fenol-formaldeído é uma resina condensada à base de fenol e formol apresentados em solução aquosa. Destina seu uso principalmente à produção de compensado à prova d'água, painéis de fibras (duras), painéis aglomerados estruturais, entre outros. Apresenta coloração marrom avermelhado, teor de sólidos entre 48 a 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600 cP e temperatura de cura na faixa de 130 a 150°C (IWARIKI, 2005). Para esta resina, recomenda-se evitar a exposição da mesma a temperatura elevadas por tempos prolongados, pois isso diminui o tempo de vida útil. As resinas fenólicas não necessitam de catalisadores, o que permite o uso da cola batida até horas após o seu preparo. Entretanto, o ideal é que a cola batida seja utilizada em até 6 horas.

Os adesivos são normalmente líquidos que necessitam, para sua cura, temperaturas iguais ou superiores a 140°C . São fornecidos também em forma de pó e em forma de película, eliminando operações de mistura e espalhamento. Há também formulações especiais para curas a temperatura intermediárias (125°C - 140°C) e certas resinas catalisadas com ácidos são capazes de curar à temperatura ambiente (20°C). O uso de extensores como farinha de casca de nozes, farinha de trigo, pó de serra ou pó de sangue solúvel evitam excessivas penetrações das resinas na madeira. As resinas fenólicas sintéticas são formadas pela reação de condensação entre o formaldeído e fenol, podendo ser classificadas em: resina fenólica

curável à alta temperatura e resina fenólica curável à temperatura intermediária (ABIMCI, 2003).

- **Melamina-formaldeído (MF)**

Adesivo do tipo curável a quente (115°C a 130°C), similar à ureia-formaldeído. Seu custo é mais elevado do que o da resina uréica em virtude dos processos técnicos complexos e difíceis. São comercializadas em forma de pó, pois em solução aquosa a sua vida útil é curta. Sendo que sua cura pode ser efetuada sem catalisadores ácidos, mas simplesmente através do calor (ABIMCI, 2003).

- **Resorcina-formaldeído (RF)**

Adesivo semelhante ao de fenol, melanina e ureia, sua reação é sem aquecimento, comparando-a com uma resina FF ela gera uma linha de cola igualmente resistente, porém com uma reação 10 vezes mais rápida e com cura a frio. Substância fenólica com reatividade muito superior que a fenólica, sua principal utilização é na fabricação de fórmicas. Sendo que sua resistência ao sol, chuva e vapores de água são excelentes (PEREIRA, 2007; LEITE; MANO, 2010).

Além de outros adesivos como:

- Melamina-ureia-formaldeído (MUF)
- Fenol-melamina-ureia-formaldeído (FMUF)
- Resorcina-fenol formaldeído (RFF)
- Tanino-formaldeído (TF)
- Licor sulfito
- Isocianato (MDI)

3.3.3. Características do adesivo

De acordo com Iwakiri (2005), as características do adesivo são:

- **Viscosidade**

Define como sendo a resistência do fluxo livre entre camadas de uma matéria, sendo quanto mais densa esta matéria maior é a resistência. A viscosidade é a grandeza que

caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento.

- **Teor de sólidos**

O teor de sólidos é a quantidade de sólidos contidos na resina. Sendo que com a prensagem a quente ocorre a evaporação dos componentes líquidos tendo-se a cura da resina e solidificação da resina, formando a linha de cola que é responsável pela união da madeira com a resina.

- **Gel time**

É o tempo de gelatinização é o período que vai desde a preparação do adesivo até o momento onde ele atinge a máxima elasticidade. O gel time é importante para determinação do tempo de panela onde o adesivo atinge a máxima viscosidade admissível para a aplicação influenciando na reatividade do adesivo afetando o tempo de prensagem.

De acordo com Marra (1992) *apud* LIMA (2006), é medido em segundos, minutos, horas, e corresponde ao período desde a preparação do adesivo para sua aplicação, que inclui a adição de catalisadores, extensores, até o ponto de endurecimento ou fase gel, que corresponde à sua máxima elasticidade. A sua importância está relacionada com a vida útil do adesivo, ou seja, quando atinge a viscosidade máxima aceitável para aplicação.

- **pH**

O conceito de pH foi introduzido em 1909, com o intuito de quantificar os valores de acidez de uma solução. Tratando-se de colagem de madeiras, é importante considerar a influência do pH tanto da madeira quando da resina. Um pH muito baixo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo. Já madeiras de alta acidez podem provocar uma pré-cura (FIORUCCI *et al.*, 2001).

3.4. Processo de produção de compensado

O processo de produção do compensado se inicia com a seleção de árvores na floresta, em termos de diâmetro e forma do fuste. São transformadas em toras, e em seguida descascadas.

Segundo Batista (2007), a remoção da casca das toras tem por finalidade facilitar o aquecimento das mesmas, uma vez que a casca é isolante térmica. Por conter elevado teor de minerais (principalmente cristais de cálcio e magnésio) e impurezas aderidas como areia, pequenas pedras, a remoção da casca é importante na manutenção da afiação do elemento de corte utilizado na laminação.

Iwakiri (2005) diz que a finalidade de remover a casca é para diminuir o tempo de aquecimento das toras, pois a casca é um material isolante. Coníferas apresentam geralmente uma maior facilidade na remoção da casca quando comparada as folhosas. Quanto mais seca a casca, mais fácil será a remoção. Toras armazenadas em água têm a ocorrência do ataque de bactérias que tornam a remoção da casca mais fácil. As toras podem ser descascadas com ferramentas manuais como machado, aplicação de água sob pressão, sistema de tambor rotativo (método de fricção), descascador em anel (método de cisalhamento de câmbio) e descascador do tipo “cilindro cortante”.

As toras armazenadas em grandes comprimentos são seccionadas em toras menores de acordo com as dimensões das lâminas para produção de compensados. As toras produzidas por faqueadeiras são posteriormente desdobradas em blocos ou pranchões em função da direção de corte desejada para obtenção de “figuras” em lâminas decorativas. Os equipamentos utilizados para conversão das toras são: sistema de motosserra para seccionamento, serra fita e serra circular para o desdobro em pranchões (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Batista (2007), a etapa de conversão das toras pode ocorrer após o descascamento ou o aquecimento. Depende da propensão das toras ao fendilhamento dos topos. Entretanto, nas espécies de coníferas onde o fendilhamento é menor, podem ser convertidas no comprimento desejado para a laminação logo após o descascamento; são, portanto, enviadas em dimensões menores para o aquecimento, ocupando menos espaço nos aquecedores. Já as espécies propensas ao fendilhamento, principalmente as folhosas, devem ser aquecidas após o descascamento, e em seguida serem convertidas no comprimento desejável para a laminação.

Após essa etapa é importante fazer o aquecimento das toras para aumentar a plasticidade da madeira, tornando-a mais flexível. Esse “amolecimento” é atribuído a mudanças físicas da lignina e das substâncias peptídicas, atenuando alguns defeitos inerentes da madeira, minimizando desta forma a ocorrência de fendas superficiais e reduzindo a aspereza da lâmina durante o processo de corte, prolongando também a durabilidade da faca,

devido ao amolecimento dos nós e da resina, melhorando as condições de laminação (REMADE, 2004 *apud* DALAVALI, 2008).

Segundo Iwakiri (2005), o aquecimento melhora as condições de laminação, principalmente em madeiras duras e para a obtenção de lâminas espessas. Devido ao amolecimento de nós, a durabilidade da faca será mais prolongada. Outro aspecto importante é a uniformização da temperatura da madeira em diferentes estações do ano e sua contribuição na melhoria da qualidade de lâmina.

Os dois principais meios de obtenção de lâminas ocorrem a partir do uso de tornos laminadores ou faqueadeiras, verticais ou horizontais (BATISTA, 2007). O torno laminador é o equipamento mais utilizado para produção de lâminas para compensados e a faqueadeira é utilizada para a produção de lâminas decorativas.

3.4.1. Torno Laminador

Equipamento utilizado na laminação de toras que consiste em obter um tapete contínuo de madeira, chamado de laminado, através da rotação da tora fixada por contra roletes e o conjunto faca/barra de pressão. As relações angulares e a distância entre a faca e a barra de pressão, formam os elementos geométricos que devem ser ajustados conforme as condições de processamento (PEREIRA & PERDIGÃO, 1996 *apud* DALAVALI, 2008).



Figura 8_Torno Rotativo.

Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=AdYDsIhy2VU>

O torno laminador é uma máquina de precisão, com ajustes de 0,001 polegada ou 0,025mm. Isso representa 1/4 ou 1/5 da espessura de uma folha comum de papel. Porém, a

regulagem correta do torno requer sensíveis instrumentos de medição. Qualquer modificação nas regulagens deve ser feita somente com alterações muito pequenas (SUCHSLAND & JANKOWSKY, 1978 *apud* BATISTA, 2007).

De acordo com Iwakiri (2005), mais de 90% das lâminas são produzidas pelo torno, através do processo de “desenrolamento” ou “desfolhamento” da tora. As toras são fixadas pelas garras nas duas extremidades da tora, as quais exercem o movimento de rotação contra do gume da faca para obtenção de lâminas contínuas, a partir de uma superfície curva. As garras são do tipo telescópico, ou seja, são compostas de uma parte externa utilizada no início da laminação quando a tora tem maior diâmetro e peso e, no final do processo, esta parte externa é retraída, e a rotação da tora passa a ser exercida pela parte interna. Os contra rolos são posicionados paralelamente ao eixo da tora para evitar a flambagem da mesma e, conseqüentemente, alteração na espessura das lâminas produzidas.

Sua velocidade varia de 50 a 300 rpm e a produtividade é medida pela saída das lâminas produzidas, varia de 30 a 350m/min. Para um dado rpm, quanto menor o diâmetro da tora, menor a velocidade média de produção (TSOUMIS, 1991, *apud* BATISTA, 2007).

3.4.2. Faqueadeira

Consiste em obter lâminas faqueadas a partir de uma tora inteira, da metade ou de um quarto da tora. Onde a tora é presa nos lados para que uma faca do mesmo comprimento seja aplicada sob pressão, produzindo assim fatias únicas. Essas lâminas possuem desenhos atraentes e por isso maior valor comercial (MENDES, 2009).



Figura 9_Faqueadeira.

Fonte: <http://www.youtube.com/watch?v=AdYDsIhy2VU>

Segundo Iwakiri (2005), a faqueadeira é um equipamento utilizado exclusivamente para produção de lâminas decorativas. A tora é desdobrada em blocos ou pranchões de vários formatos e o faqueamento é executado de forma descontínua, através de cortes planos. Devido ao processo de corte plano, as lâminas são menos propensas a fendilhamento superficial, quando comparado ao processo de desenrolamento em torno. A produção é menor em relação ao torno, devido ao movimento de corte ser descontínuo e de forma alternada. São obtidas lâminas finas com espessuras variando normalmente entre 0,6 a 1,5mm e são empregadas como material de revestimento. A obtenção de lâminas na seqüência possibilita a produção de compensado seriado, o qual apresenta maior valor estético.

De acordo com Batista (2007), existem três principais tipos de faqueadeiras utilizadas para produção de lâminas de madeira: as faqueadeiras horizontais, verticais e rotativas.

Após a laminação, as lâminas são coladas sobrepostas e prensadas a frio para facilitar as operações de carregamento e melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas, antes da prensagem a quente.

Segundo Iwakiri (2005), as principais variáveis a serem observadas na prensagem de painéis de madeira compensada é o tempo, a temperatura e a pressão. Os fatores que influenciam no tempo de prensagem são:

- Distância da superfície do painel até a linha de cola mais interna;
- Catalisador;
- Gramatura;
- Pressão aplicada;
- Temperatura inicial da madeira;
- Densidade;
- Porosidade;
- Teor de umidade da madeira.

O teor de umidade é um fator de extrema importância para o tempo de prensagem, pois aumenta a velocidade de transferência de calor da superfície para o centro do painel trazendo uma maior eficácia na cura da resina, devido à melhor condução de calor em condições de umidade do que no ar (KELLY, citado por PIO 2002). Entretanto, a temperatura esta relacionada com o tipo de resina empregada para a construção do painel.

Segundo Iwakiri (2005), a pressão é outro fator importante envolvido na prensagem, pois tem a função de transferir o adesivo de uma lâmina para outra e melhorar através da diminuição dos espaços vazios da compressão da madeira a difusão de calor a partir da superfície até o centro do painel.

De acordo com ABIMCI (2003), os painéis seguem uma seqüência de operações de acabamento depois da prensagem a quente, como: acondicionamento, esquadrejamento, calibração e lixamento, para posterior classificação e armazenagem.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos painéis de madeira compensada foram utilizados alguns materiais e equipamentos que serão apresentados a seguir, além das etapas de produção e os testes de caracterização físico-mecânica realizados.

4.1. Materiais

As lâminas torneadas de *Pinus sp* e *Eucalipto sp* foram doadas pela empresa Miraluz Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., localizada na cidade de Sênges/PR. As lâminas faqueadas de *Pinus sp* e *Eucalipto sp* foram doadas pela empresa Casa Pedra, localizada na cidade de São Paulo.

Para a produção dos painéis com ambas as lâminas foi utilizado o adesivo fenol-formaldeído doado pela empresa multinacional Momentive, com sede no Brasil em Curitiba/PR. O adesivo apresenta coloração marrom avermelhado, densidade entre 1,19 e 1,25g/cm³, teor de sólidos entre 48 a 51%, podendo causar irritação caso contato com a pele ou olhos, nocivo ao meio ambiente.

4.2. Equipamentos utilizados

Para a fabricação dos painéis de compensados foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Balança semi- analítica da marca Digimed, modelo KN4000 com precisão de 0,01g;
- Batedeira Planetária Braesi;
- Estufa para secagem e esterilização da marca MARCONI, modelo MA033 com potência de 2400 watts;
- Esquadrejadeira da marca Verry, com eixo inclinado com corte de painéis de até 2800 mm;
- Medidor de umidade resistivo da marca STIHL, modelo EM4806;
- Prensa da marca HIDRAL-MAC, modelo HMP80T, com potencia de 33Kw, com carga máxima de 230 bar ou 80 toneladas;

- Máquina de ensaios da marca EMIC, modelo DL30000 com carga máxima de 300KN.

4.3. Preparação das lâminas e produção dos painéis

Inicialmente, as lâminas foram cortadas e esquadrejadas no Laboratório de Processamento da Madeira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Itapeva. As lâminas torneadas com espessura média de 2,0 mm foram seccionadas nas dimensões de 50 cm por 50 cm para a produção de painéis compostos por 7 lâminas cada.

Já as lâminas faqueadas com espessura média de 1 mm foram seccionadas nas dimensões de 50 cm por 25 cm, sendo que foram emendadas para a produção de painéis compostos por 15 lâminas cada.

Para a fabricação dos painéis foi necessário realizar a secagem das lâminas, pois as mesmas encontravam com teor de umidade em torno de 15%, valor este inadequado para a produção painel. As lâminas foram colocadas em estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por um período de 2 horas. Para o controle da umidade, a cada 30 minutos realizava-se a medição do teor de umidade até que as lâminas atingissem o valor ideal de 3% de umidade, conforme especifica a literatura.

Os painéis foram produzidos no laboratório de Propriedade dos Materiais - Campus de Itapeva / UNESP.

Foram produzidos painéis com lâminas faqueadas e torneadas de Pinus e Eucalipto com o adesivo fenol-formaldeído, sendo que a pressão era de 75 bar e o tempo de prensagem de 10 minutos com alívio de vapor aos 5 minutos de prensagem.

Utilizou-se para a produção dos painéis uma gramatura de adesivo de 360 g/m^2 para linha de cola dupla com lâminas de 1 mm de espessura e gramatura de 395 g/m^2 para as lâminas de 2 mm. Sendo a dimensão das lâminas de 50 x 50 cm e considerando linha de cola dupla aplicou-se 90g por linha cola nas lâminas de 1 mm de espessura e 99g por linha de cola nas lâminas de 2 mm. Para o preparo do adesivo fenol-formaldeído utilizou-se 100 partes de adesivo, 10 partes de farinha de trigo e 5 partes de água, como ilustra a Figura 10 com a pesagem dos constituintes separadamente.

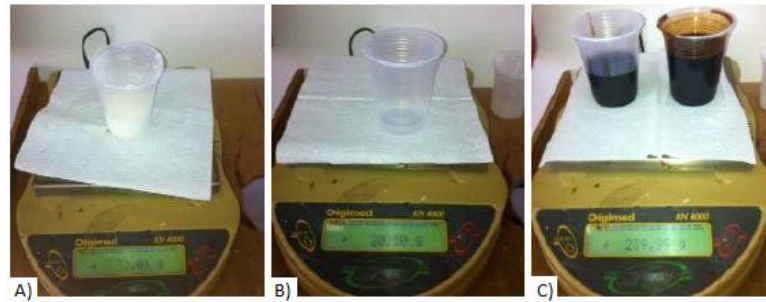


Figura 1012_Pesagem dos componentes para o preparo do adesivo, farinha (A), água (B), fenol-formaldeído(C).

Os constituintes dos adesivos foram homogeneizados numa Batedeira Planetária Braesi (Figura 11).



Figura 11_Batedeira Planetária Braesi.

Em seguida, o adesivo foi aplicado com uma espátula de silicone sobre uma face de cada lâmina por ser linha dupla de cola (Figura 12). Tendo o painel com lâminas torneadas 6 linhas de cola e o de lâminas faqueadas 14 linhas de cola utilizou-se respectivamente, 594 g de adesivo para a fabricação de cada chapa de lâminas torneadas e 1440g de adesivo na fabricação de cada chapa de lâminas faqueadas produzidas com adesivo fenol-formaldeído. A montagem das camadas atendeu sempre ao cruzamento das lâminas por se tratar de um painel de compensado, característica especial deste tipo de chapa.

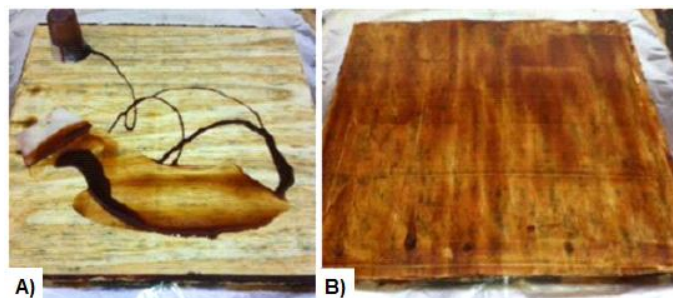


Figura 12_Aplicação do adesivo fenol-formaldeído.

Em seguida, foi realizada a prensagem em uma prensa hidráulica termomecânica. O tempo de prensagem para todos os painéis foi de 10 minutos, com alívio de vapores aos 5 minutos e a temperatura de prensagem foi de 150 °C (Figura 13).

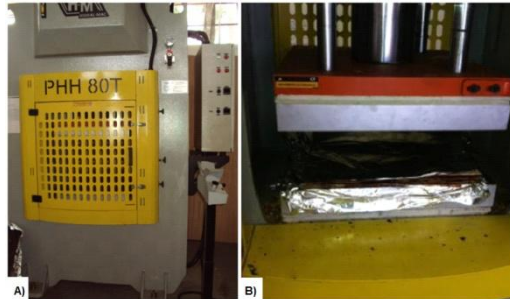


Figura 13_Prensa hidráulica termomecânica.

Após a prensagem dos painéis foram acondicionados por pelo menos 72 horas. Em seguida, foi realizado o esquadrejamento de modo a retirar irregularidades das bordas e permitir posterior retirada das amostras para a realização dos testes de caracterização físico-mecânica, atendendo as especificações normativas para a caracterização dos painéis.

4.4. Caracterização físico-mecânica dos painéis

Para a caracterização dos painéis produzidos foram realizados testes físicos e mecânicos, sendo que os testes físicos foram massa específica, teor de umidade, inchamento e absorção de água. Os testes mecânicos realizados foram os de resistência à flexão estática paralela e perpendicular, além do cisalhamento na linha de cola. Os ensaios foram baseados nas normas propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para chapas de madeira compensada.

4.4.1. Físicos

A seguir estão descritas as metodologias para a realização dos testes físicos.

4.4.1.1. Massa específica aparente

De acordo com a norma da ABNT NBR 9485/2011 foram retirados seis corpos de prova com dimensões de 100 x 50 mm, exigidas pela norma. Os corpos de prova foram pesados em uma balança semi-analítica digital com precisão de 0,01g. Em seguida foram

realizadas medições para anotar as dimensões de cada corpo de prova (comprimento, espessura e largura), a massa específica foi determinada através da Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{c.l.e} \quad (1)$$

Onde:

ρ - massa específica aparente (g/cm³);

m - massa do corpo de prova (g);

c - comprimento do corpo de prova (cm);

l - largura do corpo de prova (cm);

e - espessura do corpo de prova (cm).

4.4.1.2. Teor de umidade

Os ensaios para determinação do teor de umidade foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR 9484/2011, a norma não exige dimensões dos corpos de prova, por isso foram utilizados para este ensaio os mesmos confeccionados para a determinação da massa específica aparente, com uma única exigência de que as massas secas fossem de no mínimo 10g. Os corpos de prova foram pesados numa balança semi-analítica com precisão de 0,01g, e então levados à estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, permanecendo até atingirem massa constante. Com os dados de massa coletados pôde-se calcular os teores de umidade através da Equação 2.

$$TU = \frac{mu - ms}{mu} . 100 \quad (2)$$

Onde:

TU - teor de umidade (%);

mu - massa úmida (inicial) do corpo de prova (g);

ms - massa seca (final) do corpo de prova (g).

4.4.1.3. Inchamento

Segundo a norma da ABNT NBR 9535/2011, foram retirados seis corpos de prova com dimensões de 60 x 10 mm, este comprimento de 60 mm é uma exigência da norma no

sentido perpendicular à direção das fibras da lâmina da capa. A Figura 14 ilustra as amostras utilizadas para este teste.



Figura 14_Corpo de prova para o teste de inchamento.

Atendendo as especificações normativas, os seis corpos de prova foram separados em dois conjuntos de três corpos de prova. Foi medida a espessura no centro da amostra, com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. O primeiro conjunto é para controle, o qual foi colocado na estufa por 24 horas com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e após as 24 horas foram realizadas a nova medição da espessura nas três amostras do lote de controle. O segundo conjunto foi imerso em água por 24 horas, e após esse período novamente realizadas as medidas de espessura. Em seguida, as amostras do segundo conjunto foram colocadas na estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e deixadas por 24 horas e, novamente realizadas as medidas das espessuras. Com os dados recolhidos foi possível determinar a recuperação em espessura, o inchamento mais recuperação em espessura e o inchamento através das equações 3, 4 e 5.

$$R = \left(\frac{e_1 \cdot e_5}{e_2 \cdot e_3} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

R - recuperação em espessura (%);

e_1 - soma das espessuras iniciais dos corpos de prova, utilizados como controle (mm);

e_2 - soma das espessuras dos corpos de prova, utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e_3 - soma das espessuras iniciais dos corpos de prova, antes da imersão em água (mm);

e_5 - soma das espessuras dos corpos de prova, após a imersão em água (mm).

$$IR = \left(\frac{e_1 \cdot e_4}{e_2 \cdot e_3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

IR - inchamento mais recuperação da espessura (%);

e_4 - soma das espessuras dos corpos de prova, após a imersão em água, e posteriormente submetidos à secagem em estufa (mm).

$$I = IR - R \quad (5)$$

Onde:

I - inchamento em espessura do corpo de prova (%).

4.4.1.4. Absorção de água

Com base na norma ABNT NBR 9486/2011, foram utilizados seis corpos de provas para cada condição com dimensões de 75 x 25 x 9 mm, sendo o comprimento perpendicular a direção das fibras da lâmina da capa (Figura 15).

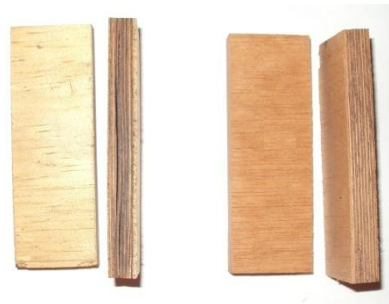


Figura 15_Corpo de prova para o teste de absorção de água.

Primeiramente foram pesados os corpos de prova em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas, e após 24 horas foram novamente pesados. Com os dados obtidos calculou-se a absorção de água dos através da Equação 6.

$$Abs = \frac{M_f - M_i}{M_i} \quad (6)$$

Onde:

Abs - quantidade de água absorvida (%);

M_f - massa final do corpo de prova, após a submersão em água (g);

M_i - massa inicial do corpo de prova, antes da submersão em água (g).

4.4.2. Testes mecânicos

4.4.2.1. Cisalhamento na linha de cola

Os ensaios de cisalhamento na linha de cola foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR 12466-1/1986, foram confeccionados três corpos de prova para cada tipo de painel de compensado produzido com dimensões de 25 mm de largura, 150 mm de comprimento e 9 mm de espessura, ilustrado na Figura 16.



Figura 16_Corpo de prova para o teste de cisalhamento na linha de cola.

As lâminas externas possuíam a direção das fibras paralelas ao comprimento dos corpos de prova. Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, eletromecânica e computadorizada, fabricada pela EMIC Equipamento e Sistemas de Ensaio Ltda., na qual os corpos de prova foram ensaiados com velocidade de 120N/s. Conforme a norma o tempo de ensaio deve estar compreendido entre 30 ± 10 s por amostra. A Figura 17 apresenta o corpo de prova sendo ensaiado.



Figura 17_Ensaio de cisalhamento na Máquina Universal de Ensaio.

4.4.2.2. Flexão estática

Os ensaios de flexão estática foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR 9533/2012 para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática. Confeccionaram-se oito corpos de prova para cada tipo de painel de compensado produzido sendo quatro para flexão paralela às fibras e quatro para flexão perpendicular às fibras da lâmina mais externa. A geometria e as dimensões dos corpos de prova podem ser visualizadas na Figura 18.

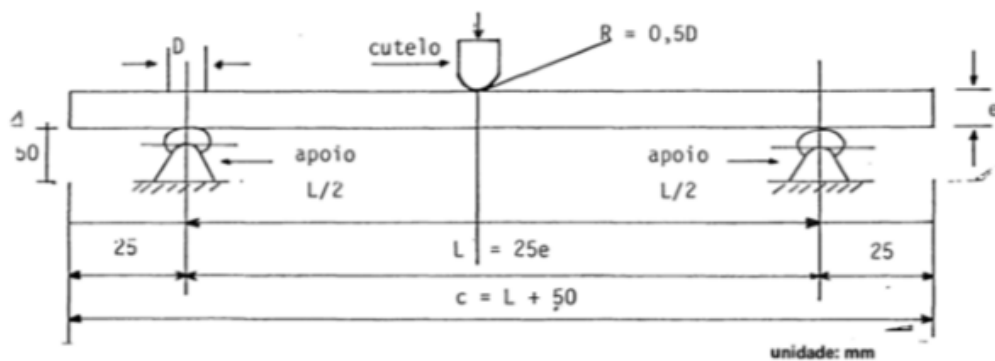


Figura 13_Arranjo esquemático da máquina de ensaios.

Fonte: ABNT NBR 9533.

Seguindo-se as recomendações da norma utilizou-se 75 mm de largura, 9 mm de espessura e o comprimento determinado através da Equação 7, sendo portanto, o comprimento aproximado de 275 mm, variando um pouco conforme a variação da espessura de cada amostra, ilustrada na Figura 19.

$$c = 25 \cdot e + 50 \quad (7)$$

Onde:

c - comprimento do corpo de prova (mm);

e - espessura do corpo de prova (mm).



Figura 19_Corpo de prova para o teste de flexão.

Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, eletromecânica e computadorizada, fabricada pela EMIC Equipamento e Sistemas de Ensaio Ltda., esta máquina possui um sistema automático que lê a deformação do corpo de prova, por isso não foi necessária a utilização de instrumentos de medição da mesma. Gera os resultados de MOE e MOR automaticamente, sendo necessário somente inserir as equações no programa da máquina, para que a mesma gerasse automaticamente os cálculos. As fórmulas inseridas no programa foram às equações 8 e 9.

$$MOE = \frac{L^3 (F_2 - F_1)}{4 \cdot l \cdot e^3 \cdot (S_2 - S_1)} \quad (8)$$

Onde:

MOE - módulo de elasticidade (MPa);

L - distância entre centros de apoio, o vão (mm);

l - largura do corpo de prova (mm);

e - espessura do corpo de prova (mm);

(F₂ - F₁) - incremento de carga no trecho reto da curva carga-deformação (N);

(S₂-S₁) - incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente a (mm).

$$MOR = \frac{3 \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^2} \quad (9)$$

Onde:

MOR - tensão de ruptura a flexão estática (MPa);

F_{máx} - carga de ruptura (N).

A Figura 20 apresenta o corpo de prova durante o ensaio de flexão estática.



Figura 20_Ensaio de flexão na Máquina Universal de Ensaios.

4.4.3. Análise Estatística

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos dos painéis foram analisados estatisticamente. Adotou-se o delineamento fatorial correspondente à espécie de madeira e ao tipo de lâmina utilizado. Realizado através da Análise de Variância com nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. Nos casos em que houve diferenças significativas foi necessário realizar o Teste de Tukey, com o intuito de identificar estas diferenças. Para a análise estatística foi utilizado o software R versão 2.10.0 de 2009.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos realizados para os painéis de compensado produzidos com lâminas faqueadas e torneadas com fenol-formaldeído estão detalhados e apresentados neste tópico. Além da análise estatística para cada condição estudada e, por fim, análise dos resultados comparando-os com a literatura.

5.1. Ensaio físicos

Os resultados obtidos para os ensaios físicos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2_ Resultados médios dos ensaios físicos.

| Espécie | Massa específica aparente (g/cm³) | Desvio Padrão | Teor de umidade (%) | Desvio Padrão | Absorção de água (%) | Desvio Padrão | Inchamento (%) | Desvio Padrão |
|----------------|---|----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Eucalipto | 0,68a | 0,08 | 9,19a | 0,55 | 41,42a | 5,48 | 8,75 | 3,21 |
| Pinus | 0,78b | 0,09 | 10,72b | 1,26 | 28,94b | 2,13 | 9,45 | 0,56 |
| Tipo | | | | | | | | |
| Faqueada | 0,81a | 0,09 | 9,94a | 1,17 | 31,18a | 3,29 | 8,71 | 1,27 |
| Torneada | 0,64b | 0,7 | 9,89a | 0,63 | 40,19b | 4,43 | 9,72 | 2,50 |

A partir da análise de variância para os painéis com nível de significância de 5%, observou-se que houve diferença significativa para a massa específica aparente e para a absorção de água em relação à espécie de madeira e ao tipo de lâmina. Pode-se observar que realmente há uma relação direta entre a densidade e absorção de água, ou seja, painéis mais espessos absorvem menos água. Com relação ao tipo de lâmina a faqueada apresentou maior densidade e menor absorção de água, novamente comprovando a relação direta entre densidade e absorção de água. Pode-se observar que os painéis produzidos com lâminas de pinus apresentaram maior teor de umidade e isso pode ser justificado pela maior umidade inicial da espécie na formação do painel, ou seja, as lâminas de pinus estavam com 4% de umidade e as de eucalipto 2%.

De acordo com o estudo Bortoletto Júnior (2003) onde foram analisadas onze espécies do gênero *Eucalyptus*, os resultados obtidos pelo autor foram:

- Massa específica aparente – entre 0,77 a 0,99 g/cm³;
- Teor de umidade – entre 10,24 a 9,18 %;
- Absorção de água – entre 36,79 a 17,51 %.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho quando comparados com o autor citado anteriormente indicaram valor da massa específica aparente inferior, teor de umidade dentre os valores mostrados e a absorção de água próximos aos valores do referido estudo.

Os resultados de absorção de água obtidos por Ferreira (2011) ficaram entre 35 e 46%, sendo assim, pode-se concluir que os resultados deste estudo estão dentro dos obtidos neste estudo.

Para o inchamento, segundo o estudo realizado por Ferreira (2011) o valores variaram entre 5 e 7 %, e, a partir dos resultados apresentados na Tabela 2 observa-se que neste estudo tais valores foram superiores, sendo justificados pela pior qualidade de colagem dos painéis. Cabe ressaltar que não foi realizada análise estatística para o teste de inchamento em espessura pelo fato do método proposto pela norma não permitir tal análise.

Bortolletto Júnior (2012) realizou um trabalho com duas espécies de Pinus onde os resultados obtidos foram:

- Massa específica aparente – entre 0,76 a 0,99 g/cm³;
- Teor de umidade – média 9,64 %;
- Absorção de água – média 28,95%.

O valor do teor de umidade obtido neste estudo para os painéis produzidos com fenol-formaldeído foram abaixo dos valores apresentados por Iwakiri *et al.* (2006) que variaram de 11 a 12%. Ainda Iwakiri *et al.* (2002) obteve resultados de inchamento que variaram entre 5 e 10% para painéis produzidos com lâminas de pinus onde pode ser observado que os resultados obtidos neste trabalho estão entre esses valores.

5.2. Ensaio mecânicos

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos de cisalhamento nas linhas de cola e de flexão estática paralela e perpendicular às fibras da madeira.

Tabela 3_ Resultados médios dos ensaios mecânicos.

| Espécie | Flexão Estática (MPa) | | | | | | | | Avaliação da linha de cola | |
|-----------|-----------------------|---------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|----------------------------|---------------|
| | MOR | Desvio Padrão | MOE | Desvio Padrão | MOR | Desvio Padrão | MOE | Desvio Padrão | Tensão de ruptura (MPa) | Desvio Padrão |
| | Paralelo | | | | Perpendicular | | | | | |
| Eucalipto | 39,36a | 10,50 | 4630,50a | 1212,10 | 21,98a | 3,82 | 2596,81a | 670,72 | 2,28a | 1,61 |
| Pinus | 47,17a | 6,26 | 6395,39b | 457,28 | 32,56a | 4,93 | 3028,8a | 278,13 | 2,02b | 1,43 |

| Tipo | Flexão Estática (MPa) | | | | Avaliação da linha de cola | |
|--------------------|-----------------------|--------|---------------|----------|----------------------------|--|
| | MOR | MOE | MOR | MOE | Tensão de ruptura (MPa) | |
| | Paralelo | | Perpendicular | | | |
| Faqueada Eucalipto | 35,19a | 23,47a | 3799,68a | 2721,29a | 3,29 | |
| Pinus | 43,48a | 24,64a | 6481,72a | 2714,88a | 1,68 | |
| Torneada Eucalipto | 43,63a | 20,48a | 5253,61a | 2472,33a | 1,28 | |
| Pinus | 56,36a | 39,57a | 6868,01a | 3383,74a | 2,35 | |

Realizando a análise de variância para os painéis com nível de significância de 5%, observou-se que houve diferença significativa para o MOE paralelo entre as espécies.

Bortoletto Júnior (2003) obteve os valores máximos e mínimos apresentados na Tabela 4 no estudo em que caracterizou 11 espécies de eucalipto para a produção de chapas de madeira compensada.

Tabela 4_ Valores médios das propriedades físicas dos painéis compensados de 11 espécies de *Eucalyptu* – (Bortoletto Júnior, 2003).

| | Flexão Estática (MPa) | | | | Avaliação da linha de cola |
|--------|-----------------------|-------|---------------|------|----------------------------|
| | MOR | MOE | MOR | MOE | Tensão de ruptura (MPa) |
| | Paralelo | | Perpendicular | | |
| Máximo | 130 | 19331 | 62 | 5487 | 2,7 |
| Mínimo | 84 | 12336 | 46 | 3419 | 2,2 |

Analisando os resultados do presente estudo com os valores da tabela 3 observa-se que os módulos de ruptura tanto paralelo quanto perpendicular foram inferiores assim como os valores para os módulos de elasticidade. Já para o teste de cisalhamento na linha de cola os valores deste estudo quando comparados aos apresentados pela tabela 4 estão próximos.

Neste estudo verificou-se apenas diferença significativa entre espécies para o módulo de elasticidade paralelo, sendo que a espécie de pinus apresentou melhor desempenho em relação ao eucalipto, com MOE paralelo de 6395,39 MPa.

Comparando com o estudo de Bortoletto Júnior (2012), onde foram produzidos compensados de pinus utilizando com o adesivo fenol-formaldeído o autor obteve os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5_ Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados – (Bortoletto Júnior, 2012).

| Espécie | Flexão Estática (MPa) | | | | Avaliação da linha de cola |
|---------|-----------------------|------|---------------|------|----------------------------|
| | MOR | MOE | MOR | MOE | |
| | Paralelo | | Perpendicular | | Tensão de ruptura (MPa) |
| Pinus | 44 | 3394 | 20 | 1387 | 1,34 |

Pode-se verificar que os resultados obtidos na tabela anterior foram inferiores aos resultados do presente estudo para os painéis produzidos com a mesma espécie.

Ainda analisando os resultados deste estudo, de acordo com a ABIMCI (2002) os valores indicados para um compensado de pinus com espessura de 9 mm estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6_ Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados de *Pinus spp* – (ABIMCI, 202).

| | Flexão Estática (MPa) | | | |
|--------|-----------------------|-------|---------------|------|
| | MOR | MOE | MOR | MOE |
| | Paralelo | | Perpendicular | |
| Máximo | 67 | 11573 | 30 | 2983 |
| Médio | 49 | 8382 | 22 | 2229 |
| Mínimo | 31 | 5192 | 14 | 1476 |

Conforme a tabela pode-se verificar que os resultados deste trabalho quando comparados com a ABIMCI atingiu os valores mínimo recomendáveis.

6. CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas e nos resultados obtidos neste trabalho foi possível concluir que houve diferença significativa nas propriedades físicas e mecânicas dos compensados produzidos, tanto entre as espécies como no tipo de lâmina utilizado.

De uma maneira geral, as chapas produzidas pela espécie de Pinus apresentaram melhor resultado nos ensaios físicos, e pode-se observar uma relação direta entre a densidade e absorção de água, que podem ser justificadas pela espessura das lâminas que foram utilizadas para sua produção, além da quantidade de adesivo em função do número de linhas de cola.

Segundo os resultados obtidos nos ensaios de flexão estática e cisalhamento na linha de cola, confrontados com as especificações da ABIMCI (2002), os painéis de compensado produzidos a partir das duas espécies de madeira e pelos dois tipos de lâminas consideradas no presente estudo apresentaram resultados satisfatórios atingindo os valores mínimos recomendável.

Quando comparado as chapas produzidas por lâminas faqueadas e torneadas, a que melhor teve desempenho e menos gastos para sua produção resultando num painel de melhor qualidade e custo mais baixo foi o compensado produzido por lâminas torneadas que possui maior quantidade de madeira e maior produtividade do processo além do menor consumo de adesivo por linha de cola, ou seja, quanto mais lâminas e mais adesivos dependendo da espessura da lâmina o consumo de adesivo é maior para o painel e, muitos vezes tal produto final torna-se inviável em termos de custo-benefício.

7. REFERÊNCIAS

ABIMCI- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECÂNICAMENTE. **Estudo setorial 2007**. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/dmdocuments/ABIMCI_Estudo_Setorial_2007.pdf>. Acesso em 02 de fev. de 2014.

ABIMCI- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECÂNICAMENTE. **Estudo setorial 2003**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em 05 de mar. de 2014.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Laminação: da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.5, n.29, p.38-40, 1996.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Processamento mecânico da madeira na evolução humana. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.4, n.23, p.36-37, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABINCI. **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Painéis de madeiras fabricados no Brasil e suas particularidades**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em 16 de mar. de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Adesivos**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em 20 de mar. de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Catálogo técnico de compensados de pinus**. Curitiba, 2002. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9484: **Compensado: determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9485: **Compensado: determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9486: **Compensado: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9533: **Compensado: determinação da resistência à flexão estática**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9535: **Compensado: determinação do inchamento**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 12466-1: **Compensado: determinação do cisalhamento na linha de cola**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Estudo Setorial 2000. Curitiba, 2008. Disponível em: www.abimci.com.br. Acesso em 07 mar. 2014

BATISTA, D.C. **Laminação de madeiras**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Produção e utilização de compensados do curso de Engenharia Florestal, Curitiba: UFPR, 2007. 42p.

BNDES- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1601.pdf>. Acesso em 16 de mar. de 2014.

BNDES- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Painéis de madeira no Brasil panoramas e perspectivas**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf> Acesso em 02 de fev. de 2014.

BORTOLETTO JÚNIOR, Geraldo. **Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização**. Scientia Forestalis n. 63, p. 65-78, jun. 2003.

BORTOLETTO JÚNIOR, Geraldo. **Avaliação da madeira de *Pinus elliotti* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de compensados**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 435-443, dez. 2012.

CARNEIRO, A. O. **Efeito da sulfitação dos taninos de *E. grandise* *E. pellita* para produção de chapas de flocos**. 2002. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

DALAVALI, C. **Princípios de regulação do torno laminador sem fusos e avaliação dos parâmetros de qualidade das lâminas**. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2008.

FERREIRA, Bruno Santos. **Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de Eucalyptus sp. E adesivo PVA.** 2011. 65 f. Dissertação (Trabalho De Graduação) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Campus Experimental De Itapeva, Itapeva, 2011.

FRIHART, C. R.; **Wood adhesion and adhesives: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites.** Cap.9. 2005.

GARDNER, D. J.; ELDER, T. J.; FLOWERS, J. C.; WAAGE, S. K. **Bonding flakeboard with filled and extended phenol-formaldehyde resin.** Wood Adhesives 1990.

IWAKIRI, S. et al. **Painéis de Madeira Reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

LIMA, C. K. P. **Avaliação da qualidade de juntas coladas da madeira de clones de eucalyptus.** Tese Mestrado em Engenharia Florestal, Lavras Minas Gerais 2006. Disponível em:<<http://www.bibtete.ufla.br>>. Acesso em 22 de mar. de 2014.

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

Mattos RLG, Gonçalves RM, Chagas FB. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

MENDES, L. M. Produção de lâminas decorativas produzidas por faqueamento. **Revista da Madeira,** Curitiba, n.121, p.56-58, 2009.

Pio, N. da S, **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de Eucaliptusgrandis HILL ex-Maiden.** Curitiba. 2002 168p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná.

MOURA, A. L. & GARCIA, C.H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. São Paulo/SP, 2000.

REMADE, REVISTA DA MADEIRA. **Multilaminados de Eucalyptus**. Disponível em:<http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=multilaminadosdeEucalyptus>. Acesso em 16 de mar. de 2014.

REMADE, REVISTA DA MADEIRA. **Painéis de madeira reconstituída**. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=paineis de madeira reconstituída](http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=paineis%20de%20madeira%20reconstituída)>. Acesso em 16 de mar. de 2014.

SILVA D. A. da, TOMASELLI I., IWAKIRI S., **Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade dimensional do compensado utilizando resina de alta reatividade**, Scientia Forestalis, IPEF – ESALQ – Universidade de São Paulo.nº54 p.69-80.dezembro de 1998.

VIEIRA, Michel Cardoso; BRITO, Edvã Oliveira; GONÇALVES, Fabrício Gomes. **Evolução Econômica do Pannel Compensado no Brasil e no Mundo**. Floram, Rio de Janeiro, RJ, n., p.276-285, Não é um mês valido! 2012. Trimestral. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n3/v19n3a03.pdf>>. Acesso em 07 mar. 2014.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVCULTURA.**Contribuição do grupo de trabalho “madeira e florestas” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC**. São Paulo: SBS, 2000. 33p.

SILVA, J. C. Eucalipto – A madeira do futuro. **Revista da madeira**, Curitiba, Edição 59,setembro 2001. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=9&subject=Esp%E9cies &title=Esp%E9cies%20de%20Eucalipto](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=9&subject=Esp%E9cies&title=Esp%E9cies%20de%20Eucalipto)>. Acesso em 07 mar. 2014.

SCARPINELLA, G. A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.