UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA
Engenharia Industrial Madeireira

DANIEL BRACHER FERRAZ

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPENSADO PRODUZIDO COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS EM DUAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO DE PRENSAGEM

ITAPEVA
2013

DANIEL BRACHER FERRAZ

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPENSADO PRODUZIDO COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS EM DUAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO DE PRENSAGEM

Trabalho de Graduação apresentado no Câmpus 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
2013

Ferraz, Daniel Bracher

F381c Caracterização física e mecânica de compensado produzido com dois diferentes adesivos em duas variações de pressão de prensagem / Daniel Bracher Ferraz. – – Itapeva, SP, 2013

71 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2013

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

Banca examinadora: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi, Prof. Dr. Gustavo Ventorim

Bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Adesivos. 3. Colagem. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 674.835

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPENSADO PRODUZIDO COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS EM DUAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO DE PRENSAGEM

DANIEL BRACHER FERRAZ

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 INAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

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

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Drª. Cristiane Inácio de Campos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a dádiva da vida, e por ter feito pessoas tão especiais estarem a minha volta por toda a minha vida.
Agradeço a minha mãe Ligia e ao meu pai Antonio Carlos aos quais amo muito. Obrigado por me gerar, criar e por me proporcionar a oportunidade de estar na faculdade até hoje, me formando e, principalmente, por me ensinar todos os dias coisas essenciais para a vida, coisas que em escola nenhuma se aprende.
Agradeço ao meu irmão Douglas que mesmo com tantas diferenças e desavenças, amo muito, e admiro; ele me fez crescer muito como homem.
Agradeço meu primo e "irmão de coração" André, o qual amo, admiro, agradeço muito por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, excelentes ou ruins de minha vida.
Agradeço aos meus padrinhos Ana Regina "tia madrinha" e Douglas "tio padrinho", os quais amo e admiro pela forma que sempre me ajudaram e acolheram em todos os momentos.
Agradeço minha orientadora e amiga Cristiane Inácio de Campos, por todo conhecimento que me passou durante toda a faculdade, por me ajudar na execução deste trabalho e por sua amizade.
Agradeço aos técnicos Alex Siqueira Costa, David José Tenório de Aquino e Juliano Rodrigo de Brito por me ajudar sempre que possível na fabricação e análises feitas neste trabalho.
Meus amigos que estimo como minha família, uma família pela qual pude escolher e acredito que passei os melhores dias de minha vida, com raiva, com muita alegria, festas entre muitas coisas, obrigado, por sempre estarem ao meu lado, vocês foram e serão sempre muito importantes na minha vida, só tenho a agradecer pela amizade de vocês, em especial agradeço a Rafael Santesso (Batman), Vinicius Rosolem (Texugo), Vinicius Massami (Massa), Thiago Piccinin (Kapiva), Leonardo Barbosa (Bunds), Caio Victor (Boi), Iuri Cicolani (Rosa), Vinicius Fernandes (Coxinha), Saulo Oliveira (Saulong), Paulo de Lima (Sherek), Carlos Cunha (Pezinho), Renato Marini (Rento), Jose Henrique (Zé).
Agradeço a todos os professores com os quais pude ter aulas, e sempre tentaram transmitir todo conhecimento possível.
Peço desculpa a todas as pessoas na qual tive algum tipo de desavença em todo o período de faculdade, gostaria de dizer que nunca quis fazer mal a ninguém.
Sou tão grato a tantas pessoas, tantas coisas, que mesmo eu, sendo uma pessoa que não gosta muito de escrever, não teria espaço suficiente para escrever, então simplesmente com muita alegria agradeço a todas as pessoas que me ajudaram, me fizeram crescer, me fizeram ver o mundo como vejo hoje e me fizeram ser o homem que sou hoje.
Obrigado.

RESUMO

Cada vez mais vem se procurando estudar os adesivos empregados na produção dos painéis de modo a melhorar as propriedades dos mesmos com menor consumo energético, menor custo de produção e menor impacto ambiental. Aliado a isso, variáveis do processo podem interferir nas propriedades dos painéis. Este trabalho teve por objetivo caracterizar chapas de madeira compensada produzidas com dois tipos de adesivos em duas diferentes condições de prensagem. Foram utilizados no estudo os adesivos fenol-formaldeído e a resina poliuretano a base de óleo de mamona. Variou-se a pressão de prensagem em 75 bar e 160 bar de modo a verificar a influência das mesmas nas propriedades físicas e mecânicas do painel. Os resultados mostraram que o teor de umidade das lâminas interferiu no resultado dos testes físicos e mecânicos. De forma geral, os painéis produzidos com resina poliuretana apresentaram resultados físicos e mecânicos superiores, embora os painéis produzidos com fenol-formaldeído com pressão de 75 bar sempre foram iguais ou superiores aos valores encontrados na literatura.

Palavras-chave: Lâmina**,** Pinus, Fenol-formaldeído, Resina Poliuretano.

ABSTRACT

The adhesives used in the production of engineered boards have been object of study over the years in order to improve the properties of the boards with less energy consumption, lower production costs and reduced environmental impact. In addition to that, process variables may affect the properties of the board. The present study aimed to characterize sheets of plywood, manufactured with two types of adhesives, under two different pressing conditions. The adhesives used for the study were Phenol-formaldehyde and Polyurethane castor oil based. The pressure of pressing was varied in a range from 75 to 160 Bar, in order to verify how they influence the physical and mechanical properties of the board. The tests performed resulted in a conclusion that shows that the moister content of the veneers interferes on the physical and mechanical tests. In general, boards produced with polyurethane resin showed superior physical and mechanical results; although the ones produced with phenol formaldehyde at a pressure of 75 Bar had always equal or higher values, compared to what is found in literature.

Keywords: Veneer, Pine, Phenol-formaldehyde, Polyurethane Resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diversas formas de elementos de madeira. 13
Figura 2 - Esquema ilustrativo de compensado de 3, 4 e 5 lâminas. 14
Figura 3 - Produção de painéis reconstituídos. 17
Figura 4 - Fluxograma para produção de compensado. 18
Figura 5 - Interação entre adesivo e madeira. 25
Figura 6 - Painel de compensado usado para proteção de obras. 33
Figura 7 - Compensado utilizado como tapume. 34
Figura 8 - Painel de compensado sendo utilizado em formas de concreto. 34
Figura 9 - Painel de compensado utilizado para produção de skates. 35
Figura 10 – Classificação das lâminas para a produção do compensado conforme sua qualidade. 37
Figura 11 - Pesagem dos componentes dos adesivos; (A) Trigo, (B) Água; (C) Resina fenol-formaldeído; (D) Resina Poliól; (E) Isocianato 39
Figura 12 - Aplicação do adesivo; (A) Espalhando adesivo fenólico com espátula; (B) Adesivo fenólico espalhado; (C) e(D) Espalhando Resina Poliuretana. 40
Figura 13 – Prensa hidráulica termo-mecânica Hidral-Mac; (A) Painel de Fenol-Formaldeído antes da prensagem, (B) Painel de Resina poliuretano após a prensagem. 41
Figura 14 - Corpos de prova utilizados no teste de teor de umidade. 43
Figura 15 - Corpos de prova utilizados para determinar o inchamento dos painéis. 44
Figura 16 - Corpo de prova de absorção de água. 46
Figura 17 - Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola. 47
Figura 18 - Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola na máquina de ensaios. 48
Figura 19 - (A) Corpo de prova de flexão estática perpendicular, (B) Corpo de prova de flexão estática paralela. 49
Figura 20 - Arranjo esquemático da máquina de ensaios. Fonte: ABNT NBR 9533. 50
Figura 21 - Corpo de prova de flexão estática sendo ensaiado, (A) corpo de prova na posição inicial, (B) corpo de prova na posição final 51
Figura 22 - Gráfico da massa específica aparente média em cada condição de produção. 53
Figura 23 - Gráfico do teor de umidade médio em cada condição de produção. 54
Figura 24 - Gráfico do Inchamento para cada condição de produção. 55
Figura 25 - Gráfico da absorção de água média em cada condição de produção. 56
Figura 26 - Gráfico das médias do cisalhamento na primeira linha de cola em cada condição de produção. 58
Figura 27 – Valores médios do módulo de ruptura para flexão estática paralelo às fibras para cada condição de produção. 59
Figura 28 - Corpo de prova para o teste de flexão paralela, com delaminação. 60
Figura 29 - Valores médios do módulo de elasticidade para flexão estática paralelo às fibras para cada condição de produção. 61
Figura 30 - Valores médios do módulo de ruptura para flexão estática perpendicular às fibras para cada condição de produção. 62
Figura 31 - Valores médios do módulo de elasticidade para flexão estática perpendicular às fibras para cada condição de produção. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de fabricação das chapas de compensado. 38
Tabela 2 - Resultados médios dos ensaios físicos para as quatro condições de produção. 52
Tabela 3 - Resultados médios dos ensaios mecânicos para as quatro condições de produção. 57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. OBJETIVOS 12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
3.1 Painéis de madeira 13
3.2. Compensado 14
3.2.1 Compensado no Brasil 16
3.2.1.1 Compensado de *Pinus elliottii* 16
3.2.2 Processo de produção de compensado 17
3.2.2.1 Armazenamento das toras 18
3.2.2.2 Remoção da casca 18
3.2.2.3 Seccionamento 19
3.2.2.4 Aquecimento das toras 19
3.2.2.5 Laminação 20
3.2.2.6 Secagem 21
3.2.2.7 Aplicação do adesivo e montagem do painel 21
3.2.2.8 Pré-prensagem 22
3.2.2.9 Prensagem 23
3.2.2.10 Acabamento 23
3.3 Adesivos 24
3.3.1 Princípios de colagem 24
3.3.2 Fatores que influenciam na colagem da madeira 25
3.3.2.1 Características físico-químicas do adesivo 26
3.3.2.2 Propriedades anatômicas 27
3.3.2.3 Propriedades físicas 28
3.3.2.4 Propriedades químicas 28
3.3.2.5 Propriedades mecânicas 29
3.3.3 Tipos de adesivos 29
3.3.3.1 Naturais 30
3.3.3.2 Termoplásticos 30
3.3.3.3 Termoendurecedores (Termofixos) 31
3.4 Aplicações e principais usos dos painéis de compensado 33
4. MATERIAIS E MÉTODOS 36
4.1 Materiais 36
4.2. Equipamentos utilizados 37
4.3 Produção dos painéis 38

4.3 Testes físicos 41
4.3.1 Massa específica aparente 41
4.3.2 Teor de umidade 42
4.3.3 Inchamento 43
4.3.4 Absorção de água 46
4.4 Testes mecânicos 47
4.4.1 Cisalhamento na linha de cola 47
4.4.2 Flexão estática 48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 52
5.1 Ensaios físicos 52
5.1.1 Massa específica aparente 52
5.1.2 Teor de umidade 54
5.1.3 Inchamento 55
5.1.4 Absorção de água 56
5.2 Ensaios mecânicos 57
5.2.1 Cisalhamento na linha de cola 58
5.2.2 Flexão estática paralela às fibras 59
5.2.3 Flexão estática perpendicular 62
6. CONCLUSÃO 66
7. REFERÊNCIAS 67

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material anisotrópico, ou seja, suas propriedades físico-mecânicas e químicas variam nos três sentidos de crescimento da madeira (longitudinal, radial e tangencial), assim sendo um material com propriedades heterogêneas ao longo do seu volume. Propriedades essas que variam muito de espécie para espécie, entre a mesma espécie e até mesmo ao longo da mesma árvore. A anisotropia da madeira é um fator que gera uma série de limitações na utilização desse material e de certa maneira uma desvalorização do mesmo. Uma solução para esse problema é transformação da madeira maciça em painéis de madeira reconstituída, sendo que o painel de compensado recebe grande destaque entre todos os painéis de madeira. O processo de produção do painel compensado, basicamente, consiste em transformar a madeira roliça em lâminas e depois realizar a união das mesmas através de adesivos, em camadas cruzadas em relação a direção das fibras, obtendo assim uma maior estabilidade dimensional ao compensado.

Em 1834, Charles Picot patenteou a primeira máquina laminadora por faqueamento, porém se fez necessário cerca de 30 anos para que o processo se tornasse eficaz, com o surgimento do torno desfolhador. Este equipamento surgiu por volta do ano de 1940 e, assim foi possível a produção de lâminas em escala industrial. Segundo Baldwin (1981) a produção por torno desfolhador teve seu apogeu por volta dos anos de 1970.

No início os adesivos utilizados para a produção do compensado eram de origem natural, principalmente a base de proteínas de origem animal como (pele, osso, albumina do sangue), e também a base de proteínas vegetais como o amido. Por volta da década de 1930 surgiram os primeiros adesivos sintéticos, fazendo com que a fabricação de produtos compostos de madeira fosse alavancada.

Com base no exposto é que se pretende estudar painéis de compensado produzidos com dois adesivos e diferentes condições de fabricação.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar o desempenho físico e mecânico de painéis de compensado produzidos com lâminas de *Pinus elliottii* colados utilizando dois diferentes adesivos em duas diferentes situações de prensagem.

Para a realização plena do estudo o trabalho foi dividido em quatro objetivos específicos, apresentados a seguir:

- Análise da influência de pressão de prensagem em painéis de compensado produzidos com adesivo fenol-formaldeído;
- Análise da influência de pressão de prensagem em painéis de compensado produzidos com resina poliuretano e pressão 75 bar e 160 bar;
- Análise dos resultados com base em trabalhos anteriores, valores comerciais e normativos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada uma breve revisão da literatura que serviu de embasamento teórico para o desenvolvimento do presente estudo.

3.1 Painéis de madeira

Antigamente a madeira era somente utilizada na forma de madeira roliça. Com as inovações do setor madeireiro a mesma passou a ser utilizada também na forma serrada como: pranchas, vigas, ripas, caibros. No século XX com a modernização e melhora dos adesivos surgiram os painéis de madeira reconstituída, e isso possibilitou a utilização de árvores de menor diâmetro diminuindo assim o tempo de espera para a árvore crescer reduzindo os custos de produção.

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI 2005). A partir de meados do século XX passou-se a observar que as árvores extraídas da floresta passaram por várias operações de processamento para redução das dimensões, formando diversos tipos de elementos de madeira (IWAKIRI 2005). Os diferentes tipos de elementos obtidos a partir da tora de madeira estão apresentados na Figura 1.

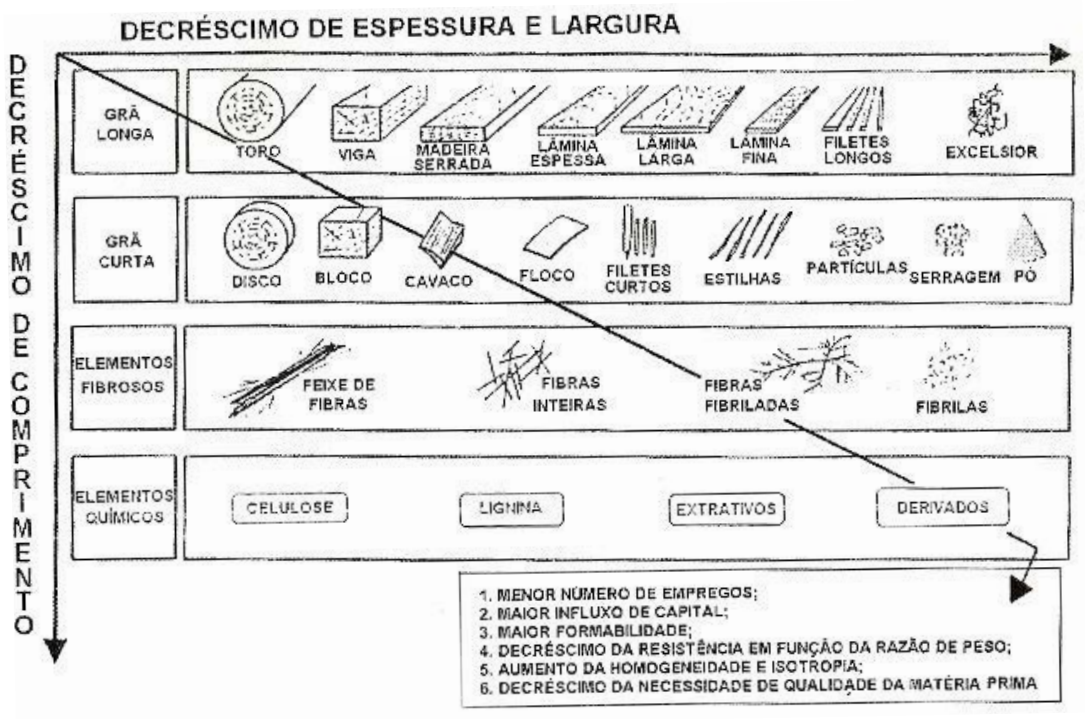

Figura 1 - Diversas formas de elementos de madeira.
Fonte: Iwakiri (2005).

Através de processamentos e métodos adequados torna-se possível gerar novos produtos através dos elementos mostrados na Figura 1. O produto que apresenta maior produção nacional são os painéis de madeira reconstituída cujo segmento atende basicamente o mercado interno. Segundo Youngquist (1999) os painéis de madeira reconstituída são divididos em três grupos sendo eles, painéis de laminas (compensado, compensado sarrafeado e LVL “Laminated Veener Lumber”), de partículas (aglomerado, WB “Waferboard” e OSB “Oriented Strand Board”) e de fibras (chapa de fibra isolante, HDF “High Density Board” e MDF “Medium Density Board”).

3.2. Compensado

Compensado, conhecido mundialmente como *plywood* são chapas compostas por lâminas finas de madeira dispostas com a grã perpendicular entre lâminas adjacentes (Figura 2), sendo na maioria das vezes em número ímpar, com melhor estabilidade dimensional do painel, e com variação de espessura de 1,6 a 7,6 mm. (IWAKIRI, 2005).

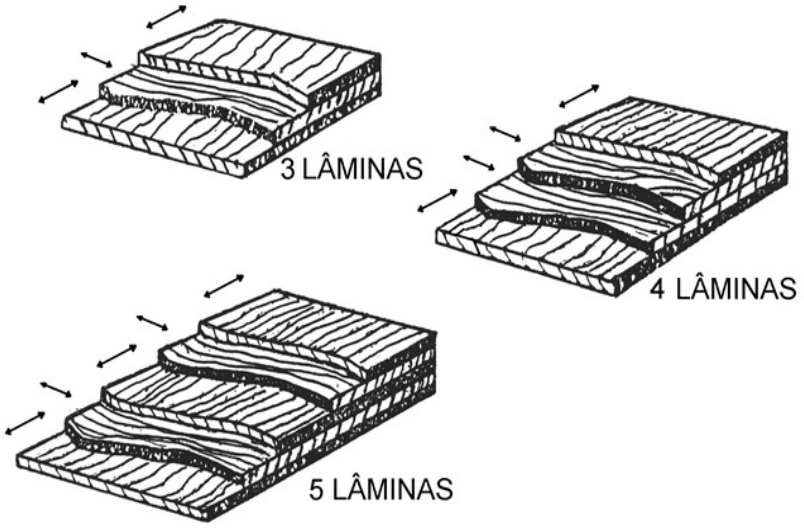

Figura 2 - Esquema ilustrativo de compensado de 3, 4 e 5 lâminas.
Fonte: Iwakiri (2005).

Inicialmente, as lâminas de madeira eram produzidas por meio de serras verticais circulares, evoluindo para serras fitas. Em meados do início do século XIX surgiram às primeiras laminadoras que realizaram o corte da madeira por faqueamento, com menores desperdícios de madeira, porém ainda com pouca segurança (KOLLAMNN et al., 1975).

Albuquerque apud Lozano (2004) diz que a primeira patente conhecida de um torno desfolhador é datada de 1840 nos Estados Unidos da América e a segunda aconteceu em 1844 na França. Segundo Baldwin (1981) a produção por torno desfolhador em escala industrial ocorreu por volta dos anos de 1970.

Segundo Prata (2006), as vantagens do painel compensado sobre a madeira sólida são:

- Na laminação o rendimento da tora é maior do que no desdobro de madeira serrada.
- Há uma diminuição da anisotropia da madeira em relação a madeira serrada devido ao princípio da disposição das lâminas de forma cruzada.
- A resistência se apresenta de forma mais ou menos uniforme em toda a extensão do painel.
- Há a facilidade de produzir painéis com diferentes dimensões, dependendo somente da capacidade de produção da empresa.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2004) o compensado pode ser classificado segundo cinco diferentes tipos, sendo:

- Fôrmas de concreto (resinada ou plastificada), utilizadas na construção civil;
- Uso decorativo, utilizado na indústria moveleira;
- Uso industrial, utilizado na construção civil e para embalagens;
- Uso naval, utilizado na construção civil em ambientes externos;
- Sarrafeado, utilizado, principalmente, na indústria moveleira.

3.2.1 Compensado no Brasil

O compensado chegou ao Brasil por volta do ano de 1928, porém a primeira indústria foi instalada nos anos de 1940 no sul do país e, utilizava a madeira de *Araucária angustifólia* conhecida popularmente por Pinheiro do Paraná como matéria-prima. Com a redução do estoque de Pinheiro do Paraná as indústrias de compensado da região sul foram forçadas a mudar para o norte do país na década de 1970, passando a produzir painel de compensado de madeira tropical da Amazônia. Os produtores passaram por um período ruim com a dificuldade da chegada dos adesivos e com os transportes muito caros, segundo Oliveira *apud* Renato (2002).

Também na década de 1970 foi criada pelo Governo Federal uma politica de incentivos fiscais para o plantio de florestas de rápido crescimento nas regiões sul e sudeste sendo a principal espécie plantada o *Pinus elliottii*, pois se adequou muito bem ao clima da região (ABIMCI 2003). Como essa espécie possuía muitos galhos e um crescimento muito rápido, foi preciso um estudo tecnológico para o uso industrial, e a partir da década de 1980 foi intensificada a técnica de poda com a intenção de diminuir a incidência de nós (SALDANHA, 2002).

Por volta de 1990 sabia-se que 60% da produção de painéis de compensado no Brasil eram produzidos com madeira de folhosas e somente 40% com madeira de coníferas, principalmente madeira de *Pinus elliottii*. Atualmente, estima-se que o Brasil possui mais de 200 empresas de compensado no país no qual produzem cerca de 4 milhões de m³ anuais e que a produção de compensado inverteu sendo agora por volta de 78% da produção de compensado com madeira de coníferas, especialmente pinus, segundo Cardoso *et. al.* (2012).

3.2.1.1 Compensado de *Pinus elliottii*

Segundo a ABIMCI (2009) o setor de compensado brasileiro produziu aproximadamente 2,5 milhões de m³ em 2008. Analisando a Figura 3 pode-se observar que a produção de painéis reconstituídos vem crescendo, e a produção de painel de compensado teve uma alta em 2004 e 2005 e teve uma queda até o ano de 2009.

Figura 3 - Produção de painéis reconstituídos.
Fonte: Webber 2011

Analisando ainda os dados da ABIMCI (2013), apresentado na Figura 3 o maior consumidor dos painéis de compensado exportados pelo Brasil, é a Europa com 70% da exportação de compensado de pinus brasileiro, sendo a Bélgica, Itália, França e Alemanha, os principais consumidores da Europa com 67% do consumo em 2011.

3.2.2 Processo de produção de compensado

O processo de produção de compensado é mostrado na Figura 4, sendo as etapas: armazenamento das toras, remoção da casca, seccionamento, aquecimento das toras, laminação, secagem, aplicação do adesivo e montagem do painel, pré-prensagem, prensagem e acabamento. É possível notar uma separação na Figura 4 onde mostra em “A”, fabricação de lâminas e em “B”, produção de compensado em si.

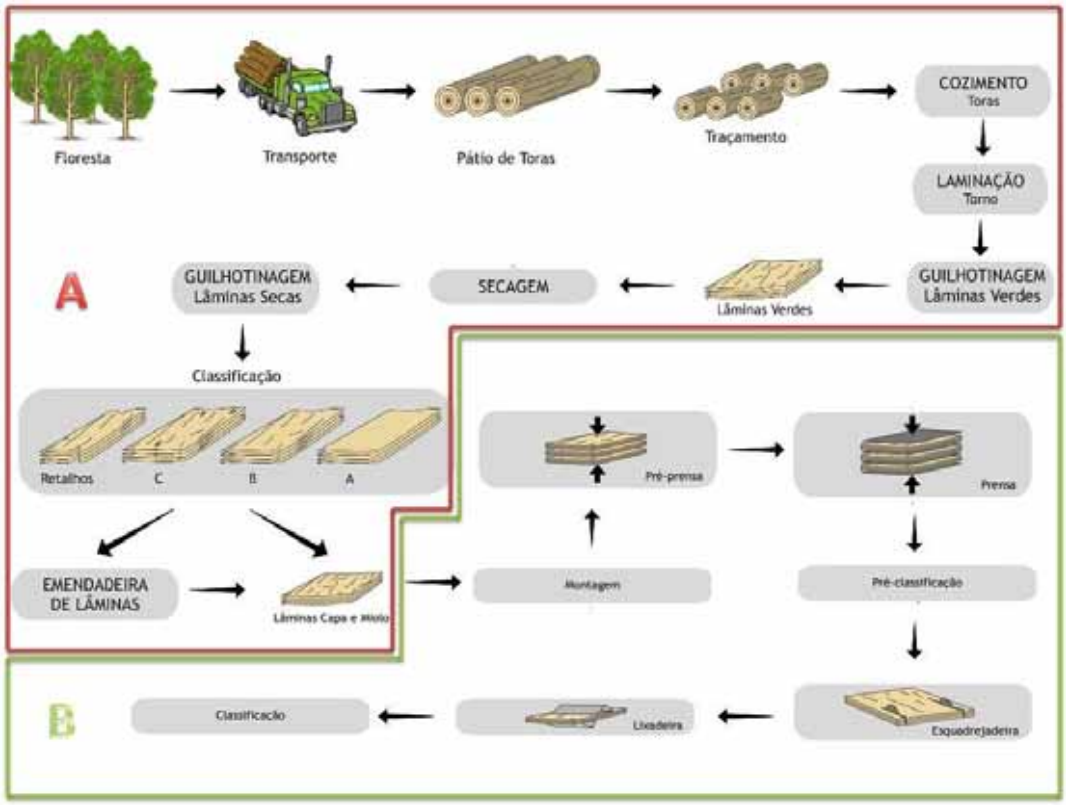

Figura 4 - Fluxograma para produção de compensado.
Fonte: Ferreira (2011)

A seguir serão descritas as etapas do processo de produção de painéis de compensado, apresentado na Figura 4:

3.2.2.1 Armazenamento das toras

Segundo Iwakiri (2005), as toras devem permanecer o mínimo de tempo armazenadas e sempre devem estar em condições adequadas visando minimizar problemas como: fendilhamento de topo, ocorrência de mancha azul, ataque de agentes biodegradadores e ocorrência de bactérias causando odores indesejáveis. Toras de grande comprimento podem minimizar o fendilhamento de topo e possibilitam uma classificação criteriosa no processo de conversão em toras menores.

3.2.2.2 Remoção da casca

A finalidade de remover a casca é 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 tem a ocorrência do ataque de bactérias que tornam a remoção da casca mais fácil. Segundo Iwakiri (2005) a casca pode ser removida por ferramentas manuais como (machado), por descascador de tambor rotativo, descascador tipo anel ou descascador tipo "cilindro cortante".

Batista (2007) diz que a remoção da casca facilita o aquecimento das toras, pois a casca é um material isolante térmico, devido a sua composição conter areia, a remoção da casca também é importante na manutenção das facas de laminação.

3.2.2.3 Seccionamento

Toras com grandes comprimentos devem ser seccionadas em dimensões menores, respeitando as dimensões desejadas para a lâmina e as dimensões do equipamento de laminação. Para o processo de faqueamento as toras devem ser desdobradas em blocos ou pranchões (IWAKIRI 2005).

Segundo Thoemen *et al.* (2010), a maioria das indústrias de compensado cortam suas toras em dois comprimentos, sendo um maior com cerca de 2,7 m e uma menor de cerca de 1,3 m. Toras de menor qualidade são geralmente cortadas no menor comprimento, de modo a reduzir a quantidade de lâminas descartadas na formação do cilindro perfeito necessário para produção de tamanho ideal das lâminas.

3.2.2.4 Aquecimento das toras

Segundo Thoemen *et al.* (2010), as toras nem sempre são aquecidas, mas recomenda-se o aquecimento para espécies de alta densidade ou quando forem obtidas lâminas finas o aquecimento torna-se necessário.

Ainda segundo o mesmo autor as toras podem ser aquecidas à vapor, água quente ou combinando as duas opções. O processo somente por vapor pode elevar o risco das toras começarem a secar e rachar, já a água minimiza este efeito.

Na maioria das vezes as toras são aquecidas em tanques de aço ou de concreto armado, sempre abaixo do nível do solo, com dimensões entre 5 e 6 m de comprimento, 3 e 4 m de profundidade e 5 e 6 m de largura.

Segundo Iwakiri (2005) o aquecimento das toras tem a finalidade de aumentar a plasticidade da madeira, tornando-a mais flexível, minimizando desta forma, a ocorrência de fendas superficiais na lâmina durante o processo de corte.

Para Baldwin (1995) o aquecimento da tora melhora o processo de laminação e faz com que o processo seja mais rápido, pois a faca desliza mais facilmente através das fibras amolecidas, podendo também usar madeira de cerne para a produção de lâminas, e os nós não atrapalham, pois também ficam moles.

De forma geral, o aquecimento das toras tem como vantagens: maior produção de lâminas diária, lâminas com maior qualidade, redução do custo, lâminas lisas reduzindo o lixamento.

3.2.2.5 Laminação

Segundo Iwakiri (2005) a laminação de madeiras pode ser realizada através de torno laminador, faqueadeira ou ainda com serra. O processo de serra é o mais antigo, e praticamente não é mais utilizado pelas indústrias. O processo mais utilizado para produção de lâminas é o torno laminador e o método de faqueamento gera lâminas de melhor qualidade que são mais utilizadas como decoração.

Ainda de acordo com Iwakiri (2005) mais de 90% das lâminas são produzidas em tornos pelo método de desenrolamento ou também conhecido como desfolhamento. Segundo dados da ABIMCI (2004) 5% do total de lâminas produzidas no Brasil são pelo método de faqueamento.

Thoemen *et al.* (2010) diz que em geral, quanto maior a espessura da lâmina há maior chance de formação de tensão na mesma. Isto ocorre porque o raio de curvatura mínimo para uma lâmina espessa é maior do que para a lâmina de menor espessura. Para ajudar a minimizar as tensões, a madeira é mantida saturada em água. Iwakiri (2005) especifica também que condições mecânicas, de ajustes operacionais do torno e da faqueadeira influenciam na qualidade das lâminas.

Na laminação por torno laminador as toras são fixadas por garras telescópicas nas duas extremidades, onde as mesmas giram contra o gume da faca obtendo-se lâminas contínuas. Na faqueadeira a tora após ser desdobrada em um bloco é fixada e com movimentos contínuos realiza-se os cortes das lâminas que por serem planas são menos propensas ao fendilhamento superficial.

Após a etapa da laminação, a lâmina é direcionada através de um sistema de esteiras ou rolos para a guilhotina onde são seccionadas nas dimensões adequadas e de acordo com sua direção e posicionamento no painel.

3.2.2.6 Secagem

Com as lâminas prontas e classificadas é preciso controlar duas variáveis no processo de fabricação: a umidade e a temperatura que deve estar abaixo de 40°C para garantir a qualidade da colagem sem interferência na viscosidade do adesivo.

Para Iwakiri (2005) a secagem das lâminas é um processo onde se retira a umidade das lâminas, gerando o mínimo de defeito e no menor tempo possível.

A secagem das lâminas é uma das etapas mais importantes ao processo de fabricação do compensado, pois a umidade pode gerar bolhas de vapor causadoras do descolamento do material, através da delaminação das mesmas.

De acordo com Baldwin (1995) são três os métodos de secagem de lâminas:

- Secagem ao ar livre, porém necessita de um clima favorável.

- Por estufa de secagem, onde as lâminas são alocadas em uma câmara acondicionada empilhadas e entabicadas.

- Secadores mecânicos, onde as lâminas são transportadas através de uma câmara aquecida, assim fazendo com que um processo que geralmente leva dias ocorra em minutos.

Segundo Thoemen *et al.* (2010) seja qual for o método de secagem, o importante é que as lâminas devem ser secas a um teor de umidade entre 6 e 12% para garantir uma boa qualidade de colagem.

3.2.2.7 Aplicação do adesivo e montagem do painel

O adesivo é preparado em um misturador, com a formulação definida conforme o tipo de resina a ser utilizada, a quantidade dos componentes a serem adicionados de modo a atender a qualidade desejada a um mínimo custo.

Segundo Baldiwin (1995) a falta de controle pode resultar em um desperdício de até 15%. O custo da resina é um ponto crítico no valor final do painel compensado, portanto, é essencial o controle desta etapa.

Segundo Thoemen *et al.* (2010), o método mais comum de aplicação de adesivo é pelo aplicador de rolo, que distribui o adesivo em ambas as faces. Como exemplo temos o painel de 3 camadas onde o adesivo somente é aplicado na lâmina do meio, e para um de 5 lâminas o adesivo é aplicado nas lâminas 2 e 4. Outros aplicadores são o de cortina, pulverização e extrusão, menos usuais na indústria de compensado.

Segundo Iwakiri (2005) para o adesivo à base de fenol-formaldeído, deve-se adicionar a resina, extensor e água, que são materiais essenciais para o controle da viscosidade e, assim, garantir a qualidade da colagem.

A montagem do painel é realizada com a sobreposição das lâminas com adesivo defasando-as em 90º. Segundo ABIMCI (2004) este processo deve ser realizado levando em conta o número ímpar de lâminas e a espessura desejada para o painel.

3.2.2.8 Pré-prensagem

A pré-prensagem prepara o compensado para a prensagem final, reduzindo o tempo de carregamento das prensas. Iwakiri (2005) diz que a pré-prensagem ajuda na transferência e na distribuição do adesivo entre as lâminas e facilita as operações de carregamento. A pré-prensagem normalmente é realizada em lotes, que podem variar com a quantidade de aberturas que possui na prensa a quente.

A pré-prensagem é realizada a frio. Nesta etapa os painéis são pressionados em conjunto e este equipamento deve estar sincronizado com a prensagem a quente. Segundo Thoemen *et al.* (2010), o objetivo da pré-prensagem é permitir que o adesivo se espalhe e desenvolva aderência suficiente para garantir uma boa colagem na etapa seguinte.

3.2.2.9 Prensagem

A prensagem pode ser aquecida ou sem aquecimento, sendo que a sem aquecimento necessita-se de mais tempo para garantir a efetivação da cura do adesivo.

Baldwin (1995) diz que no processo de prensagem a quente, o calor tem a função de curar o adesivo e a pressão tem a função de fazer com que as lâminas entrem em contato umas com as outras. Já Iwakiri (2005) diz que o processo de prensagem a quente é o mais utilizado, e pode-se variar o ciclo de prensagem a partir do controle de pressão, temperatura e tempo de prensagem. Ainda segundo Baldwin (1995), as variáveis do ciclo de prensagem como o tempo, a pressão e temperatura, podem afetar a espessura final do painel e também a qualidade final da chapa.

3.2.2.10 Acabamento

O acabamento consiste em esquadrejamento, calibração e lixamento do painel. Na etapa do esquadrejamento os painéis são cortados geralmente por serras circulares esquadrejadeira, de modo que suas arestas fiquem com angulação de 90º. No processo de esquadrejamento geralmente ocorre uma perda de aproximadamente 10% dos painéis, devido a problemas de esquadrejadeira mal regulada gerar alto nível de perdas, também gerando um mau acabamento nas bordas segundo Bonduelle *et al.* (2004) *apud* Silva (2004).

A calibração e o lixamento têm por finalidade ajustar a espessura do painel e eliminar imperfeições superficiais, quando as medidas dos painéis são superiores as desejadas. Em alguns casos pode ser necessária a utilização de uma massa acrílica para tampar imperfeições, porém essa massa pode gerar um desgaste excessivo ou entupimento dos grãos da lixa, causando desgaste excessivo.

Segundo Thomé *ET al.* (2010) as indústrias de madeira compensada têm desenvolvido uma ampla gama de acabamentos para os produtos a fim de aumentar o seu valor e diferenciar de outros produtores. Assim, os acabamentos incluem antiderrapantes, papel impregnado, entre outros.

3.3 Adesivos

Há milhares de anos a madeira vem sendo colada. Inicialmente eram substâncias naturais obtidas a partir do piche, alcatrão, gomas, pele e ossos de animais, com o passar do tempo, a tecnologia foi sendo melhorada e, novos produtos surgiram com melhores propriedades aderentes.

De acordo com Iwakiri (2005) o homem utiliza adesivo há muito tempo como argila, lama. Por volta de 4000 a.C. era utilizado aglutinante betuminoso, e na época dos Faraós acredita-se que estes utilizavam caseína proveniente de peixe.

Ainda segundo Iwakiri (2005), define-se adesivo como sendo um material com propriedades aderentes, assim sendo ele tem capacidade de manter unidos outros materiais em sua superfície. Segundo Lima *et.al.* (2008), a colagem é uma etapa fundamental para o melhor aproveitamento da madeira, principalmente para o setor moveleiro e o setor de construção civil.

Para Tsoumis (1991) *apud* Iwakiri (2005) a evolução dos adesivos foi lenta, sendo que a primeira fábrica de adesivo de origem animal foi fundada em 1690 na Holanda. Posteriormente, foram fundadas fábricas similares na Grã Bretanha em 1700 e nos EUA em 1808.

Thoemen *et al.* (2010), comenta que para adesivos a base de água o armazenamento tem uma duração limitada a algumas semanas, podendo variar com a forma de transporte e temperatura de armazenamento. Existem também adesivos na forma de pó que são para armazenamento em longos períodos.

Os adesivos são preparados seguindo misturas de acordo com receitas especificadas pelos fabricantes, podendo ser misturados com água e aditivos, por exemplo, endurecedores, corantes, retardadores de fogo, agentes conservantes, etc.

3.3.1 Princípios de colagem

Para Frihart (2013), uma ligação ocorre principalmente quando há umectação, e uma fluidez sendo ambas necessárias para a penetração. É importante compreender que umectação é a capacidade que uma gota de adesivo tem em formar um ângulo de contato com a superfície da lâmina. Já a fluidez é a capacidade de espalhamento do adesivo. A penetração é a capacidade que o adesivo tem em penetrar nos pequenos vazios das lâminas formando pequenos ganchos. Portanto

com uma maior superfície de contato a força suportada pelo adesivo é maior, a baixo na Figura 5 é mostrado o comportamento do adesivo sobre a madeira.

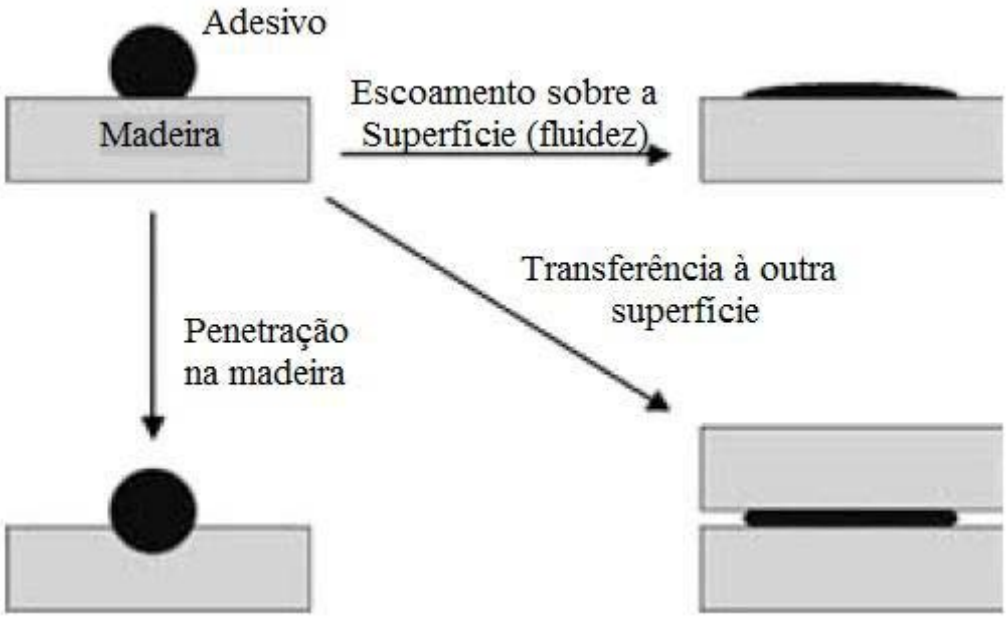

Figura 5 - Interação entre adesivo e madeira.
Fonte: Frihart (2005) (Traduzido).

Dependendo da forma com quem o adesivo se movimenta na superfície da lâmina pode ocorrer diferentes tipos de colagem. A seguir estão apresentadas as principais formas de colagem de lâminas:

- Faminta: quando o adesivo esta com baixa viscosidade ocorrendo um excesso de penetração, gerando uma quantidade insuficiente de adesivo na linha de cola.

- Normal: é a situação mais esperada na produção do painel, onde a movimentação do adesivo é perfeita, gerando uma ligação sólida do adesivo.

- Não ancorada: quando o adesivo é aplicado já em início de cura, assim penetrando na madeira, porém não o suficiente para umedecimento da mesma.

- Pré-endurecida: quando o adesivo cura durante a aplicação, ocorrendo a não fluidez do mesmo, assim não umedecendo a madeira nem penetrando.

3.3.2 Fatores que influenciam na colagem da madeira

Os fatores que influenciam na colagem adequada da madeira são principalmente as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da

madeira. Segundo Hsu (1997), as boas características para produzir painéis, envolvem densidade, teor de umidade, extrativos e conicidade reduzida.

Para Iwakiri (2005), a colagem esta diretamente relacionada a um conjunto de fatores que podem ser divididos em quatro grupos:

- Características físico-químicas do adesivo.
- Composição e característica da madeira.
- Procedimento de colagem.
- Condições de uso do produto colado.

3.3.2.1 Características físico-químicas do adesivo

Segundo Iwakiri (2005), para a colagem da madeira deve-se observar as características físico-químicas do adesivo que influenciam o processo. Dentre os aspectos mais relevantes pode-se destacar:

- Tempo de gelatinização (*gel time*): é o período de tempo desde a preparação do adesivo com a adição do catalisador, extensores, etc. até o ponto de endurecimento que está relacionado à reatividade do adesivo, influenciando no tempo de prensagem.

- Viscosidade: pode estar relacionada à idade do adesivo. Adesivos com alta viscosidade podem apresentar dificuldades no espalhamento, umectação desfavorável, menor penetração na madeira, maior idade do adesivo. A viscosidade baixa pode apresentar maior penetração do adesivo na madeira (em casos extremos pode gerar linhas de cola faminta), ambiente com maior temperatura pode diminuir a viscosidade do adesivo.

- Teor de substâncias sólidas: tem como definição a quantia de sólidos no adesivo. Lembrando que o adesivo é composto por líquidos voláteis e sólidos, quando ocorre a cura do adesivo, significa que ocorreu a evaporação do líquido, e o endurecimento do sólido, formando uma linha de cola.

- pH: Com um pH muito baixo pode-se formar muita espuma na mistura, assim prejudicando a aplicação do adesivo; sendo assim cada adesivo tem seu pH específico.

3.3.2.2 Propriedades anatômicas

Para Marra (1992) *apud* Pinto (2011), o adesivo age de forma diferente em madeiras de cerne e alburno, sendo afetando na aparência física, a permeabilidade das madeiras também afeta, sendo o cerne menos permeável que o alburno. Os materiais como óleos graxas e compostos fenólicos são os maiores influenciadores na permeabilidade da madeira de cerne, podendo afetar na colagem e na formação de bolhas no processo de prensagem.

Segundo Hsu (1997), quando a transição de lenho inicial para lenho tardio é gradual ela é mais adequada do que quando ela ocorre de forma abrupta, e que a direção da grã influencia muito no processo de colagem de painéis de compensado, podendo ocorrer linha de cola faminta quando a madeira tem a grã cruzada e quando a grã é diagonal podem ocorrer variações dimensionais nos painéis afetando assim sua qualidade.

A maior relação da anatomia da madeira é com sua estrutura e densidade, quando a madeira é muito porosa pode haver comprometimento na qualidade da colagem, podendo gerar uma linha de cola faminta. Iwakiri (2005) comenta que as principais características da anatomia da madeira que influenciam a colagem são:

- Anéis de crescimento (lenho inicial e tardio): como o lenho inicial e o tardio tem uma diferença de densidade e porosidade, podem causar problemas na linha de cola, pois pode ocorrer penetração excessiva ou penetração insuficiente.

- Cerne e alburno: a proporção entre cerne e alburno em uma árvore varia de acordo com a idade, solo, clima entre outros fatores, o cerne em relação ao alburno é mais denso, pois na transformação de madeira de alburno em cerne as células são preenchidas por óleos, graxas e compostos fenólicos os quais mudam sua permeabilidade, assim prejudicando a mobilidade do adesivo e podendo alterar o processo de cura do adesivo.

- Grã: ela influencia diretamente no movimento da umidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica, e acabamento superficial. Em madeiras com a grã cruzada, pode ocorrer uma penetração excessiva do adesivo, já em madeiras com grã diagonal não há influencia direta com a formação de ligação adesiva em função das tensões irregulares.

3.3.2.3 Propriedades físicas

Moslemi (1974); Maloney (1993); Brito et al. (2005) *apud* Weber (2011) dizem que na produção de painéis de madeira, vários fatores influenciam nas propriedades do produto final, sendo as principais, massa especifica da madeira, a densidade do painel e o teor de umidade.

Com relação às propriedades físicas da madeira os principais influentes à qualidade da colagem são, o teor de umidade e a densidade. A densidade da madeira influencia na colagem devido a porosidade da mesma, sendo que em madeira de baixa densidade o adesivo penetra em excesso podendo causar linha de cola faminta e em madeira de alta densidade ocorre uma alteração dimensional maior, gerando maior tensão na linha de cola. A umidade influencia o desempenho da colagem, portanto quanto menos umidade na lâmina maior a absorção do adesivo pela madeira, e a velocidade de cura também será maior.

Segundo Iwakiri (2005), a aplicação de pressão e a temperatura, interagem com a umidade podendo influenciar a ligação madeira-adesivo, assim podendo ocorrer uma viscosidade reduzida, migração da umidade, e alteração no gradiente de temperatura.

3.3.2.4 Propriedades químicas

Para Hsu (1997), as bolhas podem ser causadas devido à existência de extrativos voláteis, diz também que os extrativos podem influenciar na seleção e no consumo de adesivo, além de poder alterar a taxa de cura da resina. Ainda para o mesmo autor as espécies com alto teor de extrativos podem causar baixa colagem das lâminas e uma colagem menos durável.

Marra (1992) *apud* Pinto (2011) comenta que os extrativos são depósitos no lúmen da célula ou na parede celular da madeira e é possível observar a sua influência na madeira, pois ele diminui a higroscopicidade e permeabilidade, e durante a secagem da lamina o extrativo pode ir para a superfície dificultando assim a penetração do adesivo. Ainda para o mesmo autor além dos extrativos, o pH e o teor de cinzas fazem parte das propriedades químicas que influenciam na colagem da madeira.

A propriedade química da madeira tem grande influência na colagem, devido ao fato de que em sua composição há entre 60 e 75% de celulose, 20 e 30% de lignina, 1 e 10% de extrativos e 0,1 e 0,5 % de cinzas. O que mais afeta na colagem são os extrativos, considerados materiais orgânicos como, graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, goma e resinas, que são produzidos, principalmente, na formação de madeira de cerne. Na maioria das vezes, espécies com alta presença de extrativos geram uma baixa colagem do adesivo, ou uma colagem com menor tempo de duração.

3.3.2.5 Propriedades mecânicas

Tsoumis (1991) *apud* Weber (2011) diz que cada espécie de árvore apresenta uma grande variabilidade em sua estrutura anatômica, e estas diferenças estruturais podem ser resumidas em arranjos dos tecidos, na dimensão dos elementos celulares e na localização dos componentes ao longo do fuste.

Segundo Iwakiri (2005) tensões geradas entre a madeira e a linha de cola são de grande importância para o balanço geral da resistência de um produto colado. Assim quanto maior a resistência da linha de cola em relação a resistência da madeira, maior será a chance de ruptura na madeira e não na linha de cola. Percentagem de ruptura ou falhas da madeira na interface com a linha de cola. As tensões na linha de cola normalmente se manifestam por tensões de cisalhamento na ligação adesiva, na maioria das vezes no sentido perpendicular ao plano de ligação com o adesivo.

3.3.3 Tipos de adesivos

Os adesivos podem ser divididos em três classes principais, sendo elas:

- Adesivos naturais.
- Adesivos termoplásticos.
- Adesivos termoendurecedores (termofixos).

3.3.3.1 Naturais

Fiorelli (2002) *apud* Santos (2008) dizem que dentre os adesivos de origem natural destaca-se o de origem animal, amido, caseína e albumina de proteína vegetal.

Os adesivos naturais são os mais antigos que se sabe, porém já faz algum tempo que eles vêm sendo substituídos por adesivos tecnologicamente mais avançados. São eles:

- Borracha natural;
- Derivados do amido;
- Éter celulósico;
- Derivados protéicos de origem vegetal (soja)
- Derivados protéicos de origem animal, como glutina (couro, pele e osso), caseína (leite), albumina do sangue.

3.3.3.2 Termoplásticos

Os adesivos termoplásticos são formados por polímeros de cadeia longa, que em presença de calor podem amolecer, porém quando resfriados voltam a endurecer.

Segundo Iwakiri (2005) os adesivos termoplásticos mais utilizados são:

- Acetato de Polivinila (PVA): onde são mais utilizados para painéis não estruturais, e na indústria moveleira. A cura do adesivo é feita em temperatura ambiente, tem um baixo custo e é bastante utilizado em painéis colados lateralmente por "*finger-joint*", porém por ele ter baixa resistência a umidade ele é restrito ao uso interior. Por ser a base de água, o adesivo é seguro no manuseio, é inodoro, não inflamável, e com um baixo custo.

- *Hot-melt*: adesivo sólido, sua colagem é feita através de alta temperatura onde ocorre a fundição do adesivo com a superfície da madeira, não requer solvente e para sua colagem não é necessário reação química, é composto principalmente por copolímero de etileno acetato de vinila (EVA), utilizado principalmente para junção de sarrafos para a produção de compensado sarrafeado.

3.3.3.3 Termoendurecedores (Termofixos)

Fiorelli (2002) *apud* Santos (2008) diz que os adesivos termofixos são adesivos estruturais excelentes, pelo motivo de sofrerem mudança química irreversível, eles dão uma elevada resistência a água para os adesivos. São rígidos o suficiente para aguentar grandes cargas por períodos longos de tempo.

Os adesivos termofixos, por sofrerem modificação química em sua cura, se tornam irreversíveis assim possuem propriedades estruturais muito boas. Podem ser de alta rigidez e alta resistência a umidade.

- Isocianato: uma de suas desvantagens é por aderir em superfícies metálicas no processo de prensagem, ele proporciona à madeira uma umidade relativa maior, e um processo de prensagem mais curto, porém seu custo é muito elevado.

- Ureia-formaldeído (UF): ela é uma das resinas mais utilizadas, devido ao seu custo ser menor do que os outros tipos de resina, é uma resina que não é inflamável, tem uma cura rápida, e sua coloração é clara.

Baldwin (1995) diz que o seu custo baixo, é devido a seu componente principal ser a ureia. Stark *et al.* (2010) diz que o adesivo UF pode ser utilizado em móveis, e produtos decorativos, pois tem como sua principal vantagem sua colocação clara.

É recomendado que esse tipo de adesivo não seja utilizado em lugares onde a umidade e a temperatura seja muito alta, devido a não resistência a umidade, e por em temperaturas altas o adesivo perder suas propriedades, podendo ocorrer a soltura das lâminas do painel.

Iwakiri (2005) diz que a resina UF é produzida em solução aquosa, com pH entre 7,4 e 7,8, viscosidade entre 400 e 1000 cP à 25ºC, e com um teor de sólidos entre 60 e 70%, sua coloração é branca leitosa.

Stark *et al.* (2010) afirmam que a resina MF pode aumentar a resistência a umidade da resina UF, quando utilizadas juntas, devido a resina MF ter uma maior resistência do que a resina UF.

- Fenol-formaldeído (FF): é uma resina bastante utilizada devido suas características estruturais, por ser bastante durável, bem estável, aderir muito bem a madeira, sua impermeabilidade e sua alta resistência. (FRIHART, 2005)

Suas desvantagens são: alto custo, exigir lâminas com baixo teor de umidade, e sua coloração escura. Segundo Iwakiri (2005) ela é classificada de uso exterior,

principalmente por sua alta resistência a umidade, sua aplicação é principalmente em painéis de compensado, *waferboard* e OSB, é uma resina com uma coloração distinta das outras, sendo um marrom avermelhado, sua cura é feita em temperaturas na faixa de 130 a 150 ºC tem uma viscosidade de 300 a 600 cP, teor de solido entre 41 e 51% e pH entre 11 e 13.

- Melamina-formaldeído (MF): é uma resina com um custo muito elevado, cerca de 3 a 4 vezes maior que a UF e de 20 a 25% maior que a FF. Iwakiri (2005) afirma que resina MF esta classificada como intermediário, entre a UF e a FF, devido a resistir mais a umidade do que a UF e cura mais rápida do que a FF, ela é uma resina também com coloração branca leitosa e tem uma grande estabilidade ao calor.

- Resorcinol-formaldeído (RF): é uma resina que necessita de catalizador, tem sua cura em temperatura ambiente, sua coloração é marrom, tem uma viscosidade entre 500 e 800cP, é utilizado na produção de vigas laminadas, na área naval e na aviação, 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. Iwakiri (2005) diz que o resorcinol é uma substância fenólica com reatividade muito superior que o fenol, por ser uma resina de alto custo ela geralmente é misturada em uma proporção de 1 pra 1 com o fenol.

- Poliuretano: é uma resina de origem vegetal (óleo da mamona), foi desenvolvida no ano de 1937 por Otto Bayer, algumas de suas vantagens são, excelentes propriedades estruturais, não emite vapores tóxicos, boa adesão e baixo custo. A resina poliuretano é dividida em monocomponente e bi-componente.

  - Resina poliuretano monocomponente: tem seu processo de cura pela umidade do ar, pode ser utilizada em superfície molhada, e pode ser aplicada por pincel, spray, rolos ou imersão, o tempo de secagem ao toque é de 30 minutos e cura é de 24h, possui uma viscosidade de 5 a 6 cP.

  - Resina poliuretano bi-componente: é uma resina totalmente livre de solventes, e não é agressiva ao meio ambiente, é composta por um componente pré-polímero e por um componente poliol, que quando curados reagem entre si, e geram um composto poliuretano, conforme sua proporção suas características também variam sendo mais flexível ou mais rígida.

3.4 Aplicações e principais usos dos painéis de compensado

O painel de compensado tem uma ampla área de atuação no mercado devido suas características mecânicas, grandes dimensões e por ter uma variedade de tipos, podendo ser adaptado conforme o uso (Figuras 6 a 9).

Figura 6 - Painel de compensado usado para proteção de obras.
Fonte: http://www.lpbrasil.com.br/aplicacoes/

A resina usada no painel é que define qual será o tipo e onde será usado o painel de compensado. Baldwin (1995) diz que para um painel resistente a água, para uso estrutural exterior, normalmente usa-se uma resina fenólica (Fenol-formaldeído), que tem por característica ser altamente alcalino e uma cura rápida, com esse tipo de adesivo o painel fica com uma coloração mais escura.

Figura 7 - Compensado utilizado como tapume.
Fonte: http://nossocafofonossolar.blogspot.com.br/

Ainda segundo Baldwin (1995) para um painel mais claro, usa-se uma resina uréica (Uréia-formaldeído), que tem por sua característica resistir a água fria, ser incolor, e podendo emitir formaldeídos durante a utilização, pode ser prensado a quente ou a frio e tem uma cura acelerada através de um catalisador.

Figura 8 - Painel de compensado sendo utilizado em formas de concreto.
Fonte: http://www.sh.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=589%3Ash-prepara-lancamento-do-multiform-sh-na-feira-construction-expo-2013&catid=2%3Aclipping&Itemid=31&lang=pt

Compensado estrutural tem como principal aplicação, a construção civil, como forma de concreto, piso, alma de vigas, cercas, etc., o que diferencia o estrutural e o não estrutural são os valores de suas propriedades físicas e mecânicas. Já o painel

não estrutural é utilizado principalmente para a produção de móveis, divisórias, ou outros produtos que não sofram uma carga excessiva, sendo para uso interno.

Figura 9 - Painel de compensado utilizado para produção de skates.
Fonte: http://www.guiadomarceneiro.com/forum/mensagem156614.html

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão apresentados materiais e equipamentos utilizados na produção dos painéis de madeira compensada, as etapas de produção e os testes de caracterização física e mecânica realizados.

4.1 Materiais

No presente estudo foram utilizadas lâminas de madeira de *Pinus elliottii* doadas pela empresa J.B. Compensados, localizada na cidade de Itararé/SP.

Para a produção dos painéis de compensado foram utilizados dois adesivos sendo o fenol-formaldeído doado pela empresa Momentive, que tem uma coloração marrom avermelhado, densidade entre 1,19 e 1,25 g/cm³, teor de sólidos entre 48 e 51%, que podem causar irritação caso contato com a pele ou olhos, nocivo ao meio ambiente.

Outro adesivo utilizado foi a resina poliuretano bi-compenente a base de óleo de mamona, sendo um poliól e um pré-polímero. Esta resina foi doada pelo fabricante Plural Química, empresa situada na cidade de São Carlos/SP. O poliól é um produto derivado de óleos vegetais, neste caso óleo de mamona, é um líquido que possui coloração, e odor característico, possui densidade entre 1,0 e 1,2 g/cm³, produto não inflamável, em caso de contato com a pele e olhos não causa irritação, não nocivo ao meio ambiente. E o pré-polimero sendo isocianato di ou polifuncional com uma cor marrom escuro, densidade de 1,24 g/cm³, é um produto não inflamável, causa irritação em caso de contato com pele e olhos, é nocivo ao meio ambiente, não sendo solúvel em água.

As lâminas doadas foram inicialmente cortadas e esquadrejadas no Laboratório de processamento da madeira – UNESP / Campus de Itapeva. As lâminas foram seccionadas em número de 108 nas dimensões de 50 cm por 50 cm para a produção de 12 painéis compostos por 9 lâminas cada. As lâminas utilizadas apresentaram valor médio de espessura de 1,6 mm.

Figura 10 – Classificação das lâminas para a produção do compensado conforme sua qualidade.

4.2. Equipamentos utilizados

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

- Esquadrejadeira da marca Verry, com eixo inclinado para corte de painéis de até 2800 mm.
- Medidor de umidade resistivo da marca STIHL, modelo EM4806.
- Estufa para secagem e esterilização da marca MARCONI, modelo MA033 com potencia de 2400 watts.
- 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 Produção dos painéis

Para a fabricação dos painéis foi necessário realizar a secagem das lâminas, pois as mesmas encontravam-se 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 ± 2ºC por um período de 2 horas.

Para o controle da umidade, a cada 30 minutos realizou-se a medição do teor de umidade até que as lâminas atingissem o valor ideal de 3% de umidade, conforme especifico em literatura.

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

Neste trabalho foram definidas quatro condições de estudo, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de fabricação das chapas de compensado.

Condição	Adesivo	Pressão bar
1	Fenol-formaldeído	160
2	Fenol-formaldeído	75
3	Resina poliuretano	160
4	Resina poliuretano	75

Inicialmente foram produzidos seis painéis com o adesivo fenol-formaldeído, sendo três fabricados com pressão de 75 bar e três com pressão de 160 bar. Por fim outros seis painéis com resina poliuretano também com a mesma variação de pressão para a situação anterior.

Adotou-se a nomenclatura de A, B, C para os painéis produzidos na condição 1 com pressão de 160 bar e a nomenclatura de D, E, F para a condição 2 com pressão de 75 bar.

Para a produção de todos os painéis foi utilizada uma gramatura de 292 g/m² de adesivo para linha de cola dupla. Sendo a dimensão das lâminas de 50 x 50 cm utilizou-se 73g para cada linha de cola. Para os painéis produzidos com adesivo fenol-formadeído utilizou-se 60 g de adesivo, 8g de farinha de trigo e 5 g de água e para os painéis produzidos com resina poliuretano utilizou-se 36,5g de poliól e 36,5g de pré-polímero (Figura 11).

Figura 11 - Pesagem dos componentes dos adesivos; (A) Trigo, (B) Água; (C) Resina fenol-formaldeído; (D) Resina Poliól; (E) Isocianato.

Os constituintes dos adesivos foram homogeneizados e então, aplicados com espátula de silicone sobre uma face de cada lâmina por ser linha dupla de cola (Figura 12). Tendo o painel oito linhas de cola utilizou-se 584g de adesivo para a fabricação de cada uma das seis chapas fabricadas com adesivo fenol-formaldeído.

Figura 12 - Aplicação do adesivo; (A) Espalhando adesivo fenólico com espátula; (B) Adesivo fenólico espalhado; (C) e(D) Espalhando Resina Poliuretana.

Após ser aplicado e espalhado o adesivo nas lâminas, e ser feita a montagem do painel, lembrando sempre o cruzamento das mesmas por ser painel de compensado, foi realizada a prensagem em uma prensa hidráulica termomecânica (Figura 13). O tempo de prensagem para todos os painéis foi de 13 minutos e a temperatura de prensagem foi de 160ºC.

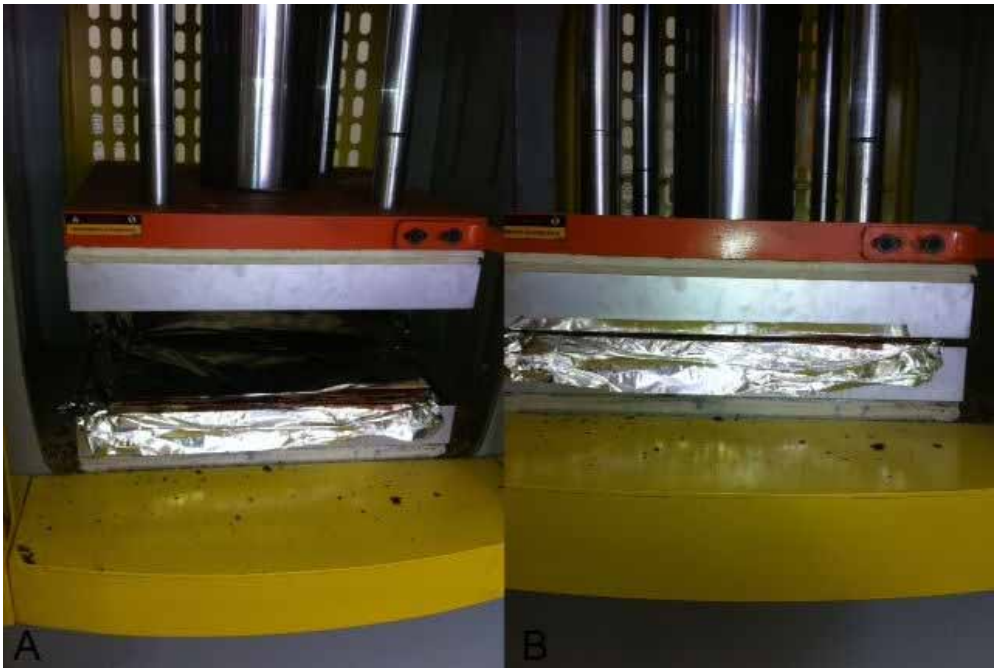

Figura 13 – Prensa hidráulica termo-mecânica Hidral-Mac; (A) Painel de Fenol-Formaldeído antes da prensagem, (B) Painel de Resina poliuretano após a prensagem.

Após a prensagem e acondicionamento dos painéis, foi realizado o esquadrejamento de modo a retirar irregularidades das bordas e permitir posterior retirada das amostras para a realização dos testes de caracterização física e mecânica.

4.3 Testes físicos

Para todos os painéis produzidos foram realizados testes físicos, sendo eles massa específica, teor de umidade, inchamento e absorção de água. Os ensaios realizados foram sempre baseados em documentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como serão apresentados a seguir.

4.3.1 Massa específica aparente

Baseado na norma da ABNT NBR 9485/1986 foi realizado o ensaio para a determinação da massa específica aparente. Foram retirados seis corpos de prova com dimensões de 100 x 50 mm para cada condição, como especifica a norma. A determinação da massa específica aparente foi realizada primeiramente pesando as amostras e, em seguida foram realizadas medições para anotar as dimensões de

cada corpo de prova. A massa específica aparente 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);

4.3.2 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade foi baseada na norma da ABNT NBR 9484/1986. O documento normativo não especifica nenhum dimensionamento para os corpos de prova, somente que cada amostra deve ter no mínimo 10g. Portanto, para a execução deste teste foram utilizadas as amostras do ensaio de massa especifica aparente, nas quais todos os corpos de provas possuíam mais de 10g. Foram pesados em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g. Após pesagem foram colocados em uma estufa com temperatura de 103 ± 2ºC como é mostrado na Figura 11, onde foram deixadas até que todas as amostras estivessem com uma massa constante. Após esta etapa foram pesados novamente e anotados os valores. O teor de umidade foi determinado a partir da equação 2.

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

Onde:

TU = teor de umidade (%);

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

ms = massa seca (final) do corpo de prova (g);

Figura 14 - Corpos de prova utilizados no teste de teor de umidade.

4.3.3 Inchamento

Com base na norma da ABNT NBR 9535/1986, realizou-se o teste para determinação do inchamento, onde foram retirados seis corpos de prova com dimensões de 60 x 10 mm, seguindo a exigência de que o comprimento (60 mm) deveria ser no sentido perpendicular à direção das fibras da lâmina da capa. Atendendo as especificações normativas, de modo a não comprometer os resultados de ensaio foi realizado um leve lixamento em cada uma das amostras com a finalidade de retirar as imperfeições geradas no processo de corte. A Figura 15 ilustra as amostras utilizadas para este teste.

Figura 15 - Corpos de prova utilizados para determinar o inchamento dos painéis.

Segundo especificação da norma, os seis corpos de prova foram separados em dois conjuntos de três corpos de prova. Foram realizadas medidas de espessura no centro da amostra, com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Destes lotes um conjunto é para controle, o qual foi colocado na estufa por 24 horas com temperatura de 103 ± 2ºC e após as 24 horas foram e realizadas a nova medição da espessura nas três amostras do lote de controle. As amostras do segundo lote foram imersas em água por 24 horas, e após esse período novamente realizadas as medidas de espessura. Em seguida, as amostras do lote 2 foram colocadas na estufa com temperatura de 103 ± 2ºC e deixadas por 24 horas e, novamente realizadas as medidas das espessuras.

Após todas estas etapas, através dos dados recolhidos foi possível determinar a recuperação em espessura, o inchamento mais recuperação em espessura e o inchamento. Estes cálculos foram efetuados através das equações 3, 4 e 5 apresentadas a seguir.

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

Onde:

R : é a recuperação em espessura (%);

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

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

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

e_5 : é a soma das espessuras dos corpos de prova, após a imersão em água (mm);

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

Onde:

IR : é o inchamento mais recuperação da espessura (%);

e_4 : é a 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 : é o inchamento em espessura do corpo de prova (mm).

4.3.4 Absorção de água

A determinação da absorção de água foi realizada segundo a norma ABNT NBR 9486/1986. Foram utilizados seis corpos de provas para cada condição com dimensões de 75 x 25 x 9 mm, sendo o comprimento perpendicular à direção das fibras da lâmina da capa, conforme é mostrado na Figura 16.

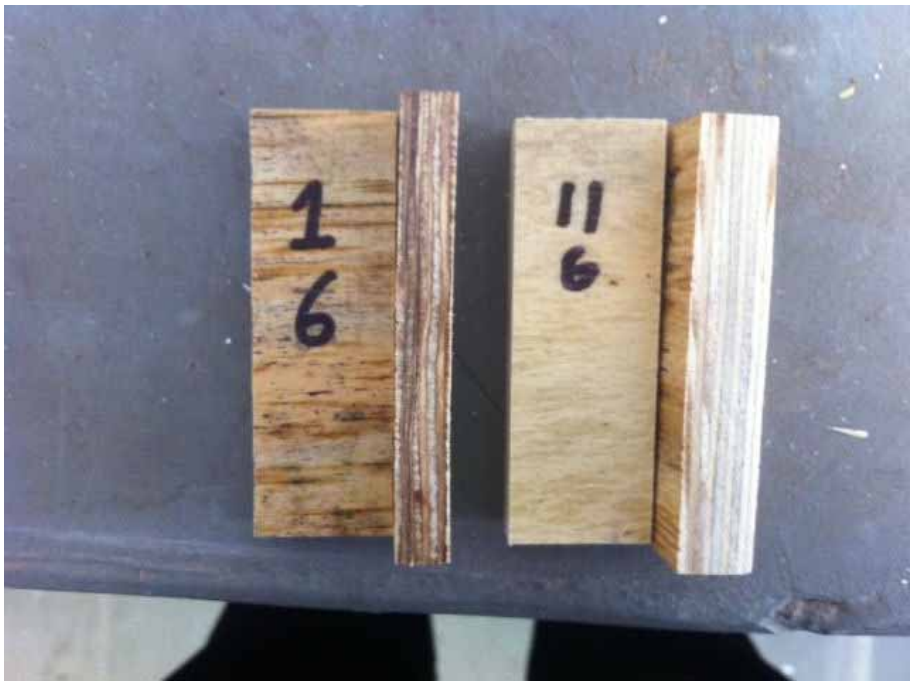

Figura 16 - Corpo de prova de absorção de água.

Para a determinação da absorção de água primeiramente pesou-se 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 das massas obtidas na primeira pesagem e segunda pesagem, calculou-se a absorção de água dos através da equação 6.

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

Onde:

Abs : é a quantidade de água absorvida (%);

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

M_i : é a massa inicial do corpo de prova, antes da submersão em água (g);

4.4 Testes mecânicos

Foram realizados testes mecânicos sendo para analisar o cisalhamento na linha de cola e determinar o módulo de elasticidade e módulo de ruptura à flexão estática em todos os painéis produzidos. Os ensaios realizados foram sempre baseados em documentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como serão apresentados a seguir.

4.4.1 Cisalhamento na linha de cola

Os testes de cisalhamento na linha de cola foram realizados seguindo a norma da ABNT NBR 12466-1/1986, sendo retirados seis corpos de prova de cada condição com dimensões 25 mm de largura, 150 mm de comprimento e 9 mm de espessura como é demonstrado na Figura 17.

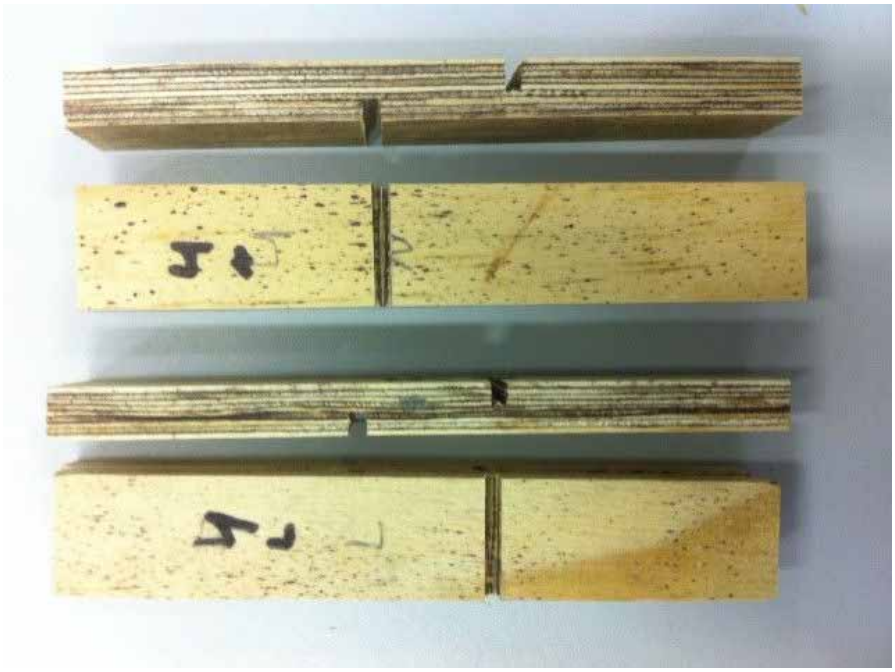

Figura 17 - Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola.

Conforme especificação normativa analisou-se a resistência da linha de cola mais interna, lembrando que a direção desta deve estar perpendicular às lâminas

externas. Segundo a norma o tempo de ensaio deve estar compreendido entre 30 ± 10s por amostra. Sendo assim, o ensaio foi realizado com uma velocidade de 120 N/s. A Figura 18 ilustra o ensaio de cisalhamento na linha de cola, podendo-se observar o posicionamento da amostra entre as garras que realizam a tração da amostra.

Figura 18 - Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola na máquina de ensaios.

4.4.2 Flexão estática

Com base na norma da ABNT NBR 9533/1986 foram realizados os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, onde foram retirados dez corpos de prova de cada condição sendo cinco para flexão paralela às fibras e cinco para flexão perpendicular às fibras da lâmina mais externa, como ilustra a Figura 19.

Figura 19 - (A) Corpo de prova de flexão estática perpendicular, (B) Corpo de prova de flexão estática paralela.

A amostras foram seccionadas com dimensões adequadas a partir do documento normativo, sendo 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.

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

Onde:

c : é o comprimento do corpo de prova (mm);

e : é a espessura do corpo de prova (mm);

Inicialmente os corpos de prova foram marcados para orientação de posicionamento das amostras entre os cutelos da máquina de ensaios, todo esse processo foi realizado a partir do esquema apresentado pela Figura 12.

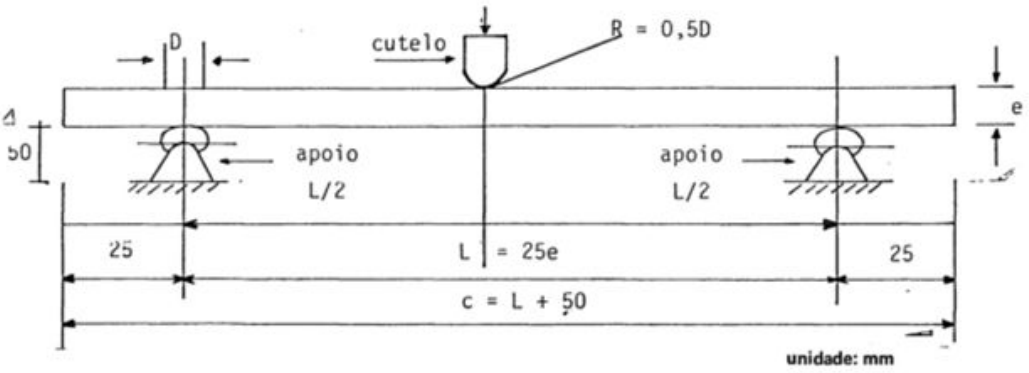

Figura 20 - Arranjo esquemático da máquina de ensaios. Fonte: ABNT NBR 9533.

Como a máquina utilizada na medição já possui um sistema automático que lê a deformação do corpo de prova, não foi necessária a utilização de instrumentos de medição da mesma. A máquina usada também 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 as equações 8 e 9.

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

Onde:

$\boldsymbol{MOE}$: é o módulo de elasticidade (MPa);

$\boldsymbol{L}$: é a distância entre centros de apoio, o vão (mm);

$\boldsymbol{l}$: é a largura do corpo de prova (mm);

$\boldsymbol{e}$: é a espessura do corpo de prova (mm);

$\boldsymbol{F_2 - F_1}$: é o incremento de carga no trecho reto da curva carga-deformação (N);

$\boldsymbol{S_2 - S_1}$: é o incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente a (mm).

$$MOR = \frac{3 * F_{máx} * L}{2 * l * e^2} \quad (9)$$

Onde:

$\boldsymbol{MOR}$: é a tensão de ruptura a flexão estática (MPa);

$\boldsymbol{F_{máx}}$: é a carga de ruptura (N);

A Figura 21 ilustra o ensaio de flexão estática realizado neste estudo, onde pode-se observar a deformação gerada ao longo do carregamento central.

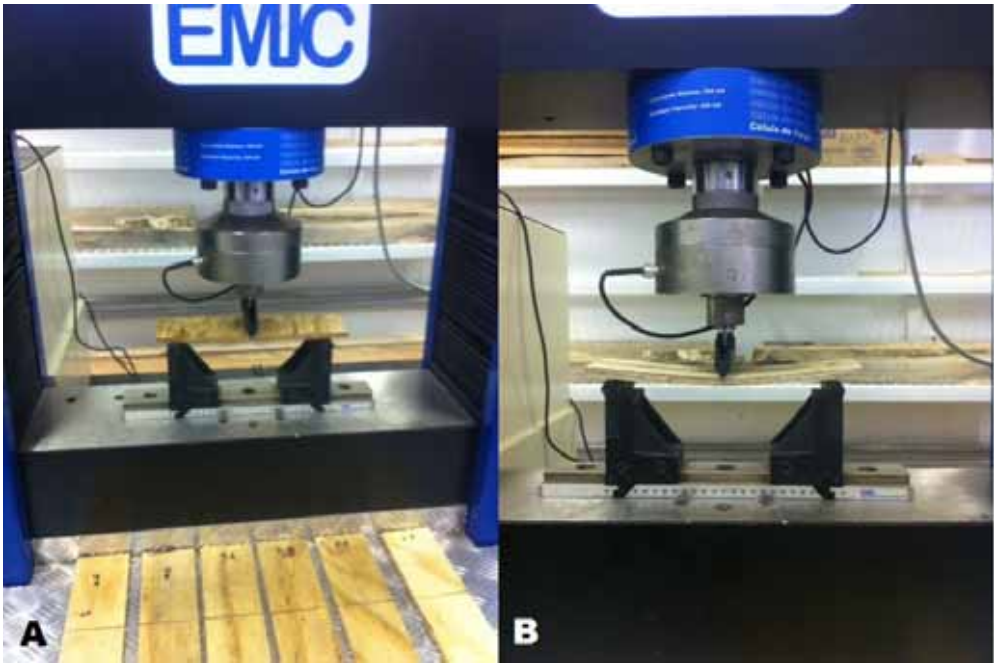

Figura 21 - Corpo de prova de flexão estática sendo ensaiado, (A) corpo de prova na posição inicial, (B) corpo de prova na posição final.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos realizados para os painéis de compensado produzidos com fenol-formaldeído e resina poliuretano. Em seguida, será apresentada a análise estatística para cada condição estudada.

5.1 Ensaios físicos

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos ensaios físicos para cada uma das quatro condições.

Tabela 2 - Resultados médios dos ensaios físicos para as quatro condições de produção.

Condições de produção	Massa especifica aparente (g/cm³)	Desvio padrão	Teor de umidade (%)	Desvio padrão	Absorção de água (%)	Desvio padrão	Inchamento (%)
1	0,91	0,05	9,22	1,04	48,89	3,75	0,97
2	0,66	0,07	11,78	0,69	68,57	5,84	1,07
3	0,78	0,02	7,07	0,43	31,74	2,95	0,73
4	0,62	0,09	7,59	0,76	35,02	14,07	0,77

5.1.1 Massa específica aparente

A Figura 22 apresenta as médias das massas específicas para cada situação.

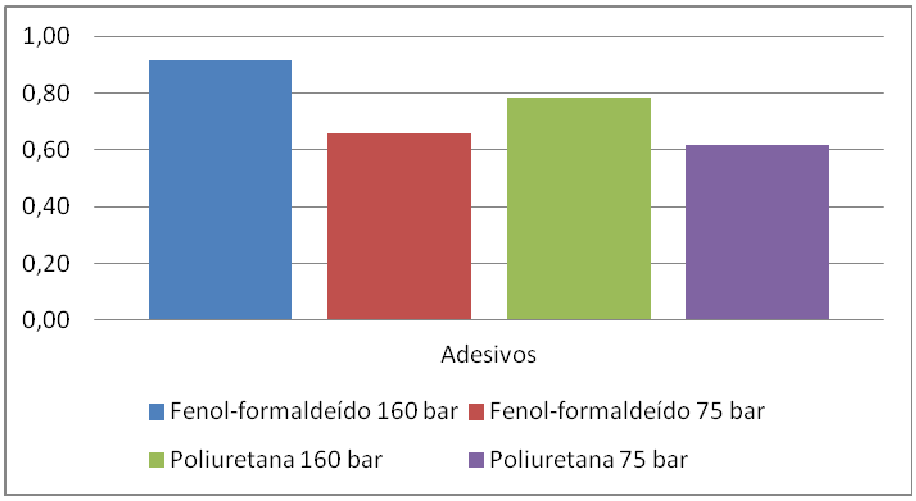

Figura 22 - Gráfico da massa específica aparente média em cada condição de produção.

Como pode ser observado na Tabela 2 existe uma ligeira superioridade para os painéis produzidos com maior pressão de prensagem. Isso era esperado, pois a maior pressão esmagou as lâminas tornando os painéis mais compactados, com menor espessura e, portanto, mais densos. Pela análise estatística realizada pode-se verificar ainda que existe diferença significativa para as médias de massa específica quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo que o p_{value} foi de $F_{1,10} = 29,45$; $p_{value} < 0,05$. Já para a pressão de 75 bar não houve diferença significativa, pois o p_{value} foi de $F_{1,10} = 0,653$; $p_{value} > 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que houve diferença significativa para os dois adesivos, sendo para o fenol o $F_{1,10} = 46,78$; $p_{value} < 0,05$ e para a poliuretano de $F_{1,10} = 19,46$; $p_{value} < 0,05$.

Embora exista variação de pressão e utilização de dois adesivos diferentes, comparando os valores obtidos por Bortoletto Junior *et. al.* (2008) as massas específicas variaram entre e 0,76 g/cm³ a 0,99 g/cm³, portanto, pode-se concluir que os resultados deste estudo estão dentro dos encontrados na literatura.

5.1.2 Teor de umidade

A Figura 23 apresenta as médias de teor de umidade para cada condição de produção.

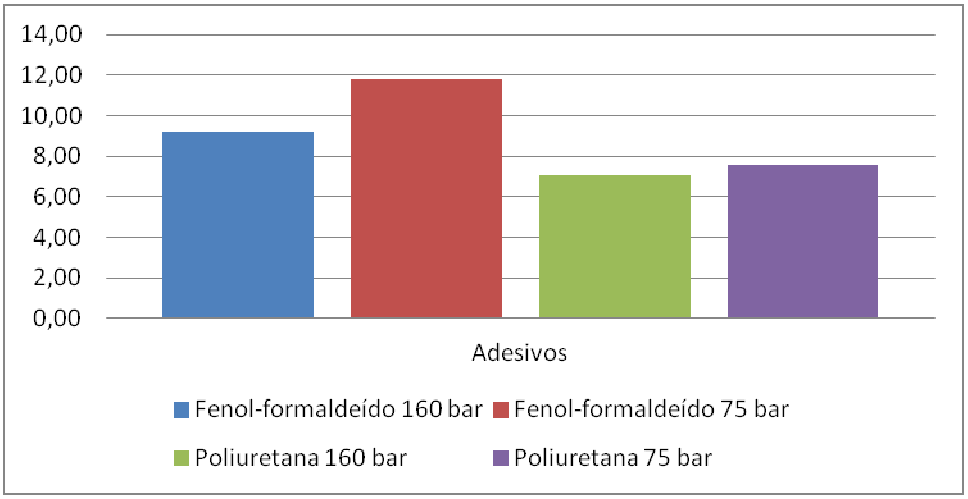

Figura 23 - Gráfico do teor de umidade médio em cada condição de produção.

A partir da Tabela 2 e da Figura 23 é possível observar que existe uma maior umidade para os painéis produzidos com fenol-formaldeído. Isso pode ser explicado pelo motivo do adesivo fenol-formaldeído ser à base de água e a mesma pode não ter evaporado totalmente durante o processo de prensagem, enquanto que a resina poliuretano não é misturada a água, portanto, os painéis já iniciam a prensagem com menor quantidade de água em sua formação.

Pela análise estatística realizada verifica-se ainda que existe diferença significativa para as médias de teor de umidade quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo $F_{1,10} = 21,84$; $p_{value}<0,05$ e com pressão constante em 75 bar, sendo $F_{1,10} = 100,3$; $p_{value}<0,05$. A análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão observar-se que houve diferença significativa apenas para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,10} = 25,09$; $p_{value} < 0,05$. Já para a resina poliuretano não houve diferença significativa, pois $F_{1,10}=2,14$; $p_{value} > 0,05$.

Os valores obtidos neste estudo para os painéis produzidos com fenol-formaldeído foram semelhantes aos valores apresentados por Iwakiri *et al.* (2006) que variaram entre 11 e 12%. Novamente comparando os resultados obtidos neste estudo, porém agora com os obtidos por Bortoletto Junior *et. al.* (2008) com uma média de 9,64%, pode-se observar que os resultados estão relativamente parecidos.

Portanto, conclui-se que os resultados obtidos neste estudo estão dentro dos encontrados na literatura para os dois adesivos analisados.

5.1.3 Inchamento

A Figura 24 apresenta as médias obtidas para o inchamento em cada condição de produção.

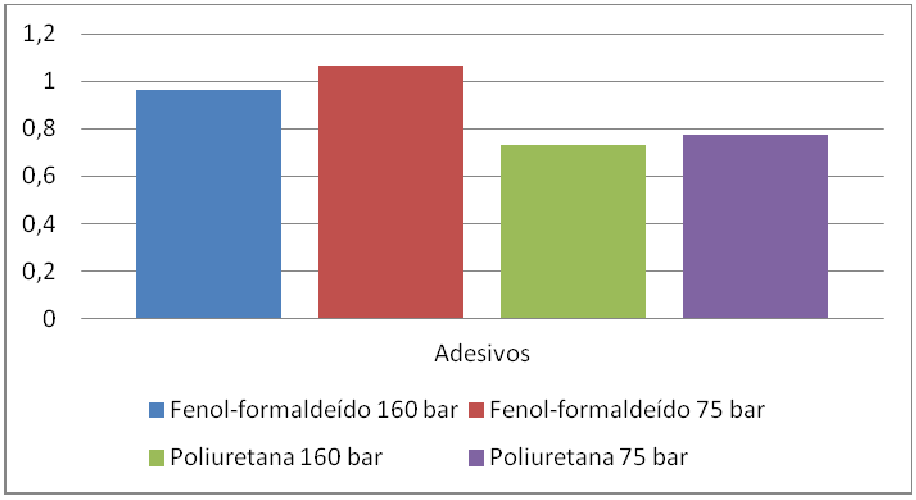

Figura 24 - Gráfico do Inchamento para cada condição de produção.

Não foi possível fazer uma análise estatística para os resultados obtidos no teste de inchamento, pois pela norma ABNT NBR 9535 o inchamento para cada condição de produção resulta em um único valor. E a análise estatística não pode ser realizada para um único valor. Pode-se observar pela Figura 24 que o inchamento teve uma variação entre 0,5 e 1,1 %, que podem ser considerados muito baixo. Comparando os resultados obtidos com os valores obtidos por Ferreira (2011) que variaram entre 5 e 7 %, observa-se que os resultados estão bem abaixo. Para o estudo feito por Iwakiri *et. al.* (2002) os resultados variaram entre 5 e 10 % onde pode ser observado que os resultados obtidos neste trabalho estão muito abaixo. O reduzido valor de inchamento deste estudo pode ser justificado pelo maior adensamento dos painéis em decorrência da elevada pressão de prensagem. Esta elevada pressão de prensagem embora tenha favorecido o desempenho dos painéis nos testes de inchamento e absorção de água, não é adequado por comprimir excessivamente as lâminas o que provocou uma redução volumétrica, inviável industrialmente.

5.1.4 Absorção de água

A Figura 25 apresenta as médias da absorção de água para cada uma das condições de produção.

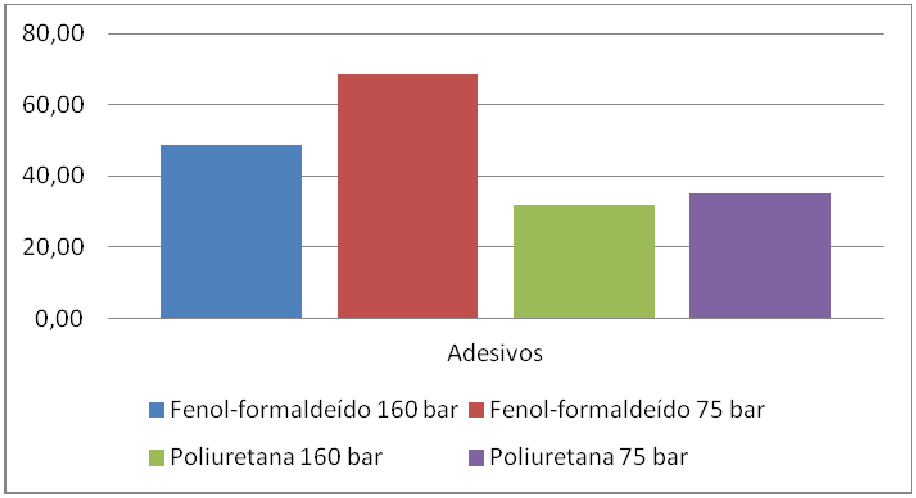

Figura 25 - Gráfico da absorção de água média em cada condição de produção.

Pela análise estatística realizada pode-se verificar ainda que existe diferença significativa para as médias de absorção de água quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo $F_{1,8} = 58,49$; $p_{value} < 0,05$ e com pressão constante em 75 bar, sendo de $F_{1,10} = 29,09$; $p_{value} < 0,05$. A análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão verificou-se que houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído sendo o $F_{1,10} = 48,25$; $p_{value} < 0,05$. Já para a resina poliuretano não houve diferença significativa sendo que o $F_{1,8} = 0,2$; $p_{value} > 0,05$. Estas variações podem ser justificadas pelo teor de umidade inicial das lâminas utilizadas na fabricação dos painéis com fenol-formaldeído diferir do teor de umidade das lâminas utilizadas na colagem com resina poliuretano. A condição 1 apresentou menor absorção de água justamente porque as lâminas já apresentavam umidade acima de 14%. Em contrapartida, as lâminas da condição 2 estavam totalmente secas, o que possibilitou uma maior absorção da água. Já os painéis produzidos nas condições 3 e 4, com lâminas com umidade em torno de 3% apresentaram melhor desempenho como resultado da melhor interação da madeira com o adesivo que tem por característica impedir a transferência de água entre as camadas.

Ferreira (2011) utilizou *Eucalyptus sp* para a produção de painéis de compensado, e obteve valor de absorção médio variando entre 35 e 46 %. Pode-se observar que os resultados estão semelhantes.

Quando compara-se os valores obtidos neste estudo aos valores apresentados por Bortoletto Junior *et. al.* (2008) que tiveram média de 28,95% pode-se notar que os resultados do presente estudo foram sempre superiores, no entanto, cabe destacar que as condições de fabricação não foram as mesmas com relação à pressão e tempo de prensagem.

5.2 Ensaios mecânicos

A Tabela 3, apresentada a seguir, mostra 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 para as quatro condições de produção.

Cisalhamento na linha de cola				
Pressão	Fenol-formaldeído (MPa)	Desvio Padrão	Poliuretana (MPa)	Desvio Padrão
160,00	1,75	0,76	3,07	1,51
75,00	3,32	1,74	2,90	0,74
MOR paralela				
160,00	32,11	10,98	55,82	16,40
75,00	58,07	12,05	41,51	9,10
MOE paralela				
160,00	5852,48	2696,47	4551,40	1841,21
75,00	6886,85	1054,75	4256,62	1315,11
MOR Perpendicular				
160,00	31,63	4,84	49,19	8,35
75,00	37,97	9,68	27,50	10,11
MOE perpendicular				
160,00	4508,13	139,19	3270,18	726,64
75,00	3199,50	576,64	2188,28	957,25

5.2.1 Cisalhamento na linha de cola

A Figura 26 apresenta as médias dos resultados obtidos no teste de cisalhamento na linha de cola em cada condição de produção.

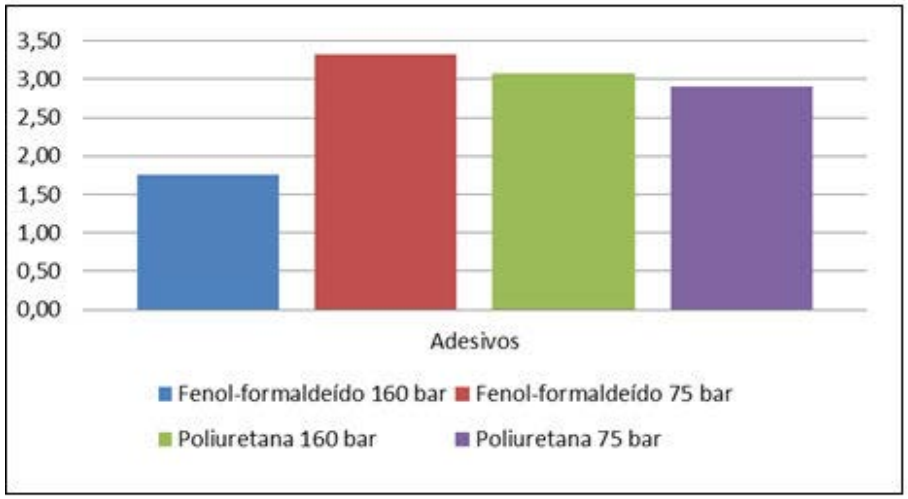

Figura 26 - Gráfico das médias do cisalhamento na primeira linha de cola em cada condição de produção.

As chapas produzidas com fenol-formaldeído, pressão de prensagem de 160 bar e com teor de umidade das lâminas acima do indicado pela literatura, ocorreram a delaminação dos painéis interferindo no desempenho mecânico das chapas. No entanto, cabe ressaltar que todas as condições estudadas atenderam a exigência mínina especificada pela NBR ISO12.466-2/2007.

Comparando os resultados obtidos por Bortoletto Júnior (2003) com painéis produzidos com fenol-formaldeído esta característica variou de 2,5 a 2,7 MPa, enquanto, a média conseguida no presente estudo para painéis produzidos com adesivo fenol-formaldeído foi de 1,7 a 3,3 MPa. Os resultados abaixo do encontrados na literatura ocorrem para as chapas com teor de umidade de lâminas acima de 14%, o que interferiu a qualidade de colagem comprometendo os resultados. Já a média para os painéis produzidos com resina poliuretano variou de 2,9 a 3,07 MPa, ou seja, comparando com os resultados obtidos neste estudo com os valores conseguidos por Bortoletto Júnior (2003) a resina poliuretano apresentou melhor qualidade e resistência na linha de cola para as chapas produzidas neste estudo.

Outro estudo realizado por Almeida; Bortoletto Júnior e Jankowsky (2004) apresentaram resultados também inferiores de 1,91 e 1,68 MPa, sendo assim os resultados obtidos foram superiores para os dois tipos de adesivos.

Portanto, no caso do cisalhamento nas linhas de cola, os adesivos testados atenderam as especificações normativas e, em geral, mostraram-se mais resistentes do que estudos anteriores encontrados na literatura.

Com a análise estatística realizada verificou-se que existe diferença significativa para as médias de cisalhamento na linha de cola quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo $F_{1,8} = 4,25$; $p_{value} < 0,05$. Já para a pressão de 75 bar não houve diferença significativa, pois $F_{1,10} = 1,33$; $p_{value} > 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,8} = 5,34$; $p_{value} < 0,05$. Já para a resina poliuretano observou-se que não há diferença significativa, pois $F_{1,10} = 0,003$; $p_{value} > 0,05$.

5.2.2 Flexão estática paralela às fibras

A Figura 27 apresenta os resultados médios de módulo de ruptura (MOR) paralelo às fibras para as quatro condições de produção.

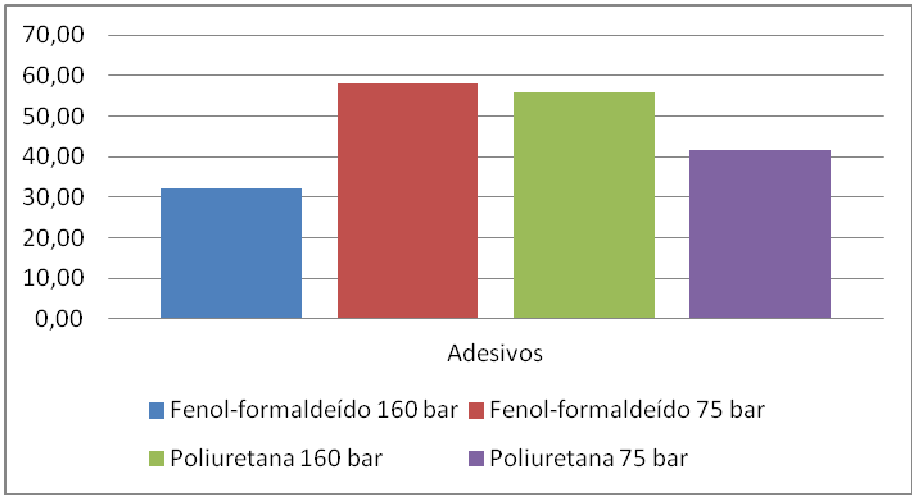

Figura 27 – Valores médios do módulo de ruptura para flexão estática paralelo às fibras para cada condição de produção.

Novamente cabe destacar que os valores obtidos para a condição 1 não servem de referência devido ao teor de umidade das lâminas ser inadequado, o que

provocou delaminação dos painéis comprometendo o desempenho mecânico do painel.

Figura 28 - Corpo de prova para o teste de flexão paralela, com delaminação.

Bortoletto Júnior (2003) estudou compensados produzidos com 11 espécies de eucalipto com fenol-formaldeído e obteve MOR variando de 84 a 130 MPa. Pela Tabela 3 e Figura 28 pode-se observar que o presente estudo atingiu valores médios de MOR inferiores. Isto pode ser justificado pelo fato do compensado de eucalipto apresentar melhor resistência mecânica, tendo em vista que a espécie tem melhor desempenho estrutural.

Almeida et al. (2012) produziram painéis de compensado com *Pinus elliottii* e obtiveram MOR entre 36 e 47 MPa. Como descrito anteriormente, a pior condição do presente estudo foi a 1 onde o MOR foi de 32,11 MPa. Para as demais condições o MOR foi igual ou maior ao do estudo citado, o que mostra um bom desempenho dos adesivos quanto a resistência mecânica à flexão estática nas condições de fabricação estudadas.

Já Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) produziram painéis de compensado de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com uréia-formaldeído e obtiveram como resultados valores médios de MOR variando de 79 a 93 MPa que quando comparados aos resultados obtidos neste trabalho também são superiores, pois também foram produzidos painéis com madeira de eucalipto.

A partir da análise estatística verificou-se que existe diferença significativa para as médias de MOR para flexão estática paralela às fibras quando variou-se o adesivo e mantiveram-se as pressões constante em 160 bar, sendo $F_{1,8}$ = 6,32;

p_{value}<0,05 e pressão de 75 bar, sendo $F_{1,9} = 6,36$; $p_{value} < 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,8} = 11,89$; $p_{value} < 0,05$. Já para a resina poliuretana observou-se que não há diferença significativa, pois $F_{1,9} = 3,0$; $p_{value} > 0,05$.

A Figura 29 apresenta os resultados médios de módulo de elasticidade para a flexão estática paralela às fibras da madeira

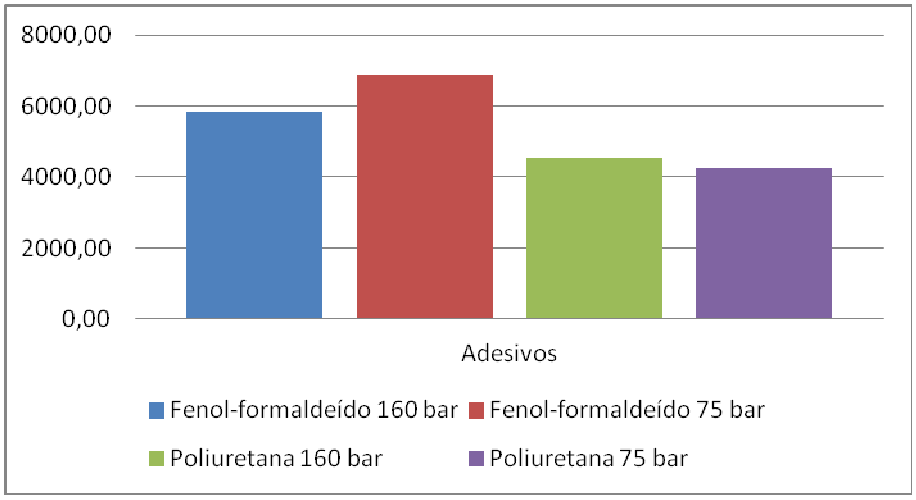

Figura 29 - Valores médios do módulo de elasticidade para flexão estática paralelo às fibras para cada condição de produção.

Como descrito anteriormente, os painéis produzidos com fenol-formaldeído e pressão de 160 bar tiveram os resultados comprometidos pelo fato das lâminas utilizadas estarem com teor de umidade acima de 14%, o que impediu uma boa qualidade de colagem provocando delaminação dos painéis e, redução do desempenho mecânico.

Quando comparados os valores de MOE obtidos por Bortoletto Júnior (2003) que variaram entre 12.500 a 19.600 MPa, pode-se verificar que os resultados obtidos neste trabalho foram inferiores. Destaca-se que os resultados menores obtidos neste estudo são justificados devido ao uso da madeira de pinus apresentar menor resistência mecânica.

Almeida et al. (2012) produziram painéis de compensado com *Pinus elliottii* e obtiveram MOE entre 3091 e 3837 MPa. Mesmo a pior condição do presente estudo foi a que apresentou MOE superior a este estudo. Ou seja, para todas as condições

o MOE foi superior ao estudo citado, o que mostra um bom desempenho elástico dos adesivos quanto à flexão estática nas condições de fabricação estudadas.

Com a análise estatística realizada verificou-se que não existe diferença significativa para as médias MOE para flexão estática paralelo as fibras quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo que o $F_{1,8} = 0,84$; $p_{value} > 0,05$. Já para a pressão de 75 bar houve diferença significativa, pois $F_{1,9} = 13,61$; $p_{value} < 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que não houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,8} = 0,75$; $p_{value} > 0,05$ e para a resina poliuretano observou-se que não há diferença significativa, pois $F_{1,9} = 0,09$; $p_{value} > 0,05$.

5.2.3 Flexão estática perpendicular

Na Figura 30 estão apresentados os resultados médios de módulo de ruptura (MOR) perpendicular para as quatro condições de produção.

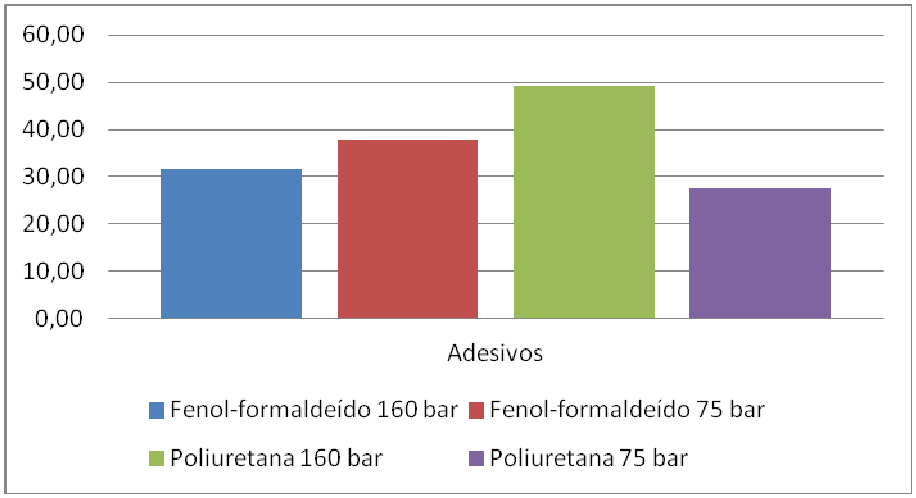

Figura 30 - Valores médios do módulo de ruptura para flexão estática perpendicular às fibras para cada condição de produção.

Bortoletto Júnior (2003) obteve MOR à flexão estática perpendicular variando de 46 a 64 MPa. Comparando os resultados do autor aos obtidos no presente estudo pode-se notar que os valores deste trabalho são um pouco menores, principalmente pelo fato de que o eucalipto é mais denso e mais resistente que o

pinus, fazendo com que o desempenho mecânico do painel de eucalipto seja superior.

O mesmo fato pode ser constatado no estudo feito por Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) que obtiveram como resultados valores médios de MOR para a flexão estática perpendicular variando de 35 a 41 MPa. Porém, neste caso os valores obtidos neste trabalho foram próximos aos valores encontrados pelos autores, embora a espécie utilizada seja menos resistente.

Almeida et al. (2012) produziram painéis de compensado com *Pinus elliottii* e obtiveram MOR perpendicular entre 17 a 23 MPa. Observa-se que os resultados obtidos no presente estudo foram sempre bastante superiores ao conseguido pelos autores, o que mostra bom desempenho dos adesivos utilizados para as condições de fabricação avaliadas.

A partir da análise estatística realizada verificou-se que existe diferença significativa para as médias MOR para flexão estática perpendicular às fibras quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo $F_{1,6} = 13,27$; $p_{value} < 0,05$. Já para a pressão de 75 bar não houve diferença significativa, pois $F_{1,8} = 2,72$; $p_{value} > 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que não houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,8}=1,44$; $p_{value}>0,05$. Já para a resina poliuretana observou-se que há diferença significativa, pois $F_{1,6} = 10,95$; $p_{value} < 0,05$.

Na Figura 31 apresenta-se os resultados médios de módulo de elasticidade para a flexão estática perpendicular.

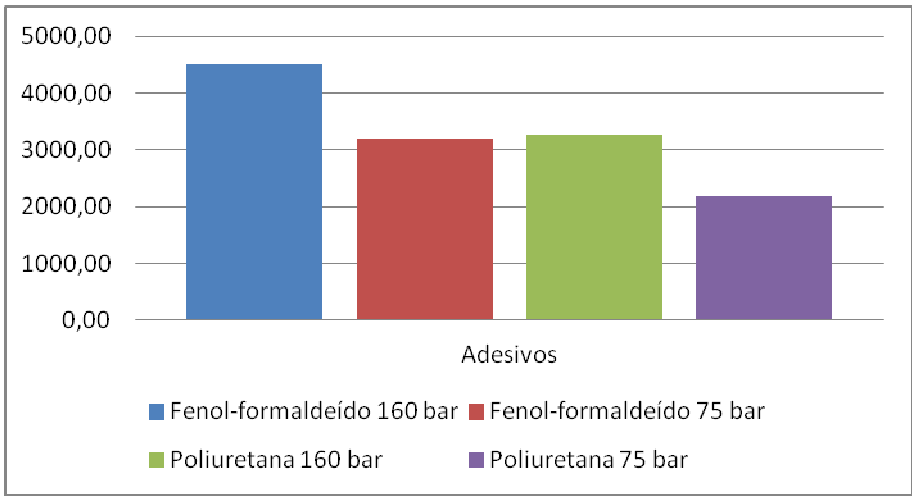

Figura 31 - Valores médios do módulo de elasticidade para flexão estática perpendicular às fibras para cada condição de produção.

Diferente das análises anteriores, os painéis produzidos na condição 1 apresentaram melhor desempenho. Isto não era esperado pois as condições das lâminas estavam inadequadas para garantir uma boa colagem e, assim, um melhor desempenho mecânico. Analisando os resultados de todas as amostras caracterizadas pode-se verificar que pontualmente algumas apresentaram resultados de MOE perpendicular muito elevado o que fez com que a média aumentasse. Isto pode ter ocorrido devido a posição de retirada dos corpos de prova e da perda de umidade das lâminas nessa situação.

Quando comparados os valores de MOE obtidos por Bortoletto Júnior (2003) que variaram entre 3.000 a 5.400 MPa em média, pode-se perceber que os resultados obtidos neste trabalho foram relativamente menores, porém estão dentro dos limites obtidos pelos autores. Observa-se que os resultados obtidos no presente estudo foram sempre bastante superiores ao conseguido pelos autores, o que mostra bom desempenho dos adesivos utilizados para as condições de fabricação avaliadas.

Almeida (2012) produziu painéis de compensado com *Pinus elliottii* e obtive MOE perpendicular entre 1.242 a 1.619 MPa. Observa-se que os resultados obtidos no presente estudo foram sempre bastante superiores ao conseguido pelo autor, o que mostra bom desempenho dos adesivos utilizados para as condições de fabricação avaliadas.

Já comparando com os resultados obtidos no trabalho de Almeida, Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) onde o MOE variou entre 3.500 e 3.900 MPa, que estão

um pouco abaixo com os resultados obtidos neste trabalho. Ou seja, neste caso os resultados foram melhores, embora a espécie de madeira utilizada fosse menos resistente.

A partir da análise estatística realizada verificou-se que existe diferença significativa para as médias MOE para flexão estática perpendicular as fibras quando variou-se o adesivo e manteve-se a pressão constante em 160 bar, sendo $F_{1,6} = 11,2$; $p_{value} < 0,05$. Já para a pressão de 75 bar não houve diferença significativa, pois $F_{1,8} = 4,45$; $p_{value} > 0,05$. Quando realizou-se a análise estatística para o mesmo adesivo variando-se apenas a pressão pode-se observar que houve diferença significativa para o adesivo fenol-formaldeído, sendo $F_{1,8} = 19,11$; $p_{value} < 0,05$. Já para a resina poliuretano observou-se que não há diferença significativa, pois $F_{1,6} = 3,24$; $p_{value} > 0,05$.

6. CONCLUSÃO

Os painéis produzidos com fenol-formaldeído e pressão de 160 bar não apresentaram resultados satisfatórios nos testes mecânicos devido a interferência negativa provocada pelo elevado teor de umidade das lâminas utilizadas na fabricação do painel. Sugere-se para uma melhor análise que esta condição de produção seja refeita e, assim, permita uma melhor comparação entre os resultados em relação às demais situações.

Pode-se concluir com base nos resultados obtidos nos testes de caracterização física e mecânica que os resultados foram, em geral, menores ou próximos quando comparados a estudos que utilizaram lâminas de eucalipto e, sempre superiores a estudos que utilizaram lâminas de pinus.

Observou-se também que a elevada pressão de prensagem esmagou as lâminas o que proporcionou resultados físicos melhores, porém com perda volumétrica de material o que não é viável industrialmente.

Com isso, conclui-se que os adesivos testados apresentam bom desempenho mecânico para a fabricação de chapas de compensado, podendo-se destacar um melhor comportamento em todos os testes realizados para a resina poliuretano.

Destaca-se que especialmente na condição 1, os resultados não puderam ser amplamente analisados devido ao teor de umidade das lâminas estarem diferente das demais condições estudadas.

Os resultados obtidos no presente estudo puderam comprovar que a resina poliuretano a base de óleo de mamona apresenta excelente interação com lâminas de pinus.

Considerando que o processo de fabricação do compensado é descontínuo e a forma de aplicação do adesivo ainda é bastante artesanal, não exigindo ajustes nos maquinários, a resina poliuretano se destaca como uma alternativa viável e potencial para a produção de compensado.

7. REFERÊNCIAS

ABIMCI, **Fluxograma para produção de compensado parte "a" e "b"**. FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE COMPENSADO DE MADEIRA, ABINCI, v.MAIO, n.19, p.2, 2004. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=26&Itemid=37> Acesso em: 12 mar. 2013

ALMEIDA, Natalie Ferreira de et al. **Avaliação da madeira de *Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis* para produção de compensados**. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n., p.435-443, 2012. Disponível em: <http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr96/cap01.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013

ALMEIDA, Renato Rocha. **POTENCIAL DA MADEIRA DE CLONES DO HÍBRIDO *EUCALYPTUS GRANDIS* X *EUCALYPTUS UROPHYLLA* PARA A PRODUÇÃO DE LÂMINAS E MANUFATURA DE PAINÉIS COMPENSADOS.** 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade De São Paulo, Piracicaba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9484: Compensado: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9485: Compensado: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9486: Compensado: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9533: Compensado: determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9535: Compensado: determinação do inchamento. Rio de Janeiro, 1986.

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

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

BORTOLETTO JÚNIOR, Geraldo; BELINI, Ugo Leandro. **PRODUÇÃO DE LÂMINAS E MANUFATURA DE COMPENSADOS A PARTIR DA MADEIRA DE GUAPURUVU (Schizolobium parayba Blake.) PROVENIENTE DE UM PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES NATIVAS**. **Cerne**, Lavras, n., p.016-028, 2002. Trimestral. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/administracao/publicacoes/m202v9n1o2.>. Acesso em: 25 abr. 2013.

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE QUALIDADE EM UMA FÁBRICA DE PAINÉIS COMPENSADOS. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2006/d449_0641-M.pdf> Acesso em: 25 mar. 2013

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.

GODOY, Jaqueline. **ESTUDO DE UM NOVO COMPÓSITO MADEIRA-RESINA POLIURETANA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ISOLADOR HÍBRIDO.** 2007. 122 f. Dissertação (Graduação) - Universidade De São Paulo, São Carlos, 2007.

GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito et al. **PAINÉIS COMPENSADO DE EUCALIPTO: ESTUDO DE CASO DE ESPÉCIES E PROCEDÊNCIAS**, J. B. **Cerne**, Lavras, n., p.10-18, 2009. Trimestral. Disponível em: <http://www.ddi.ufcg.edu.br/wordpress/wp-content/uploads/2012/05/compensado-de-eucalipto.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2013.

GUIMARÃES JÚNIOR, José Benedito et al. **SELEÇÃO DE CLONES DE Eucalyptus urophylla Eucalyptus urophylla ... PARA PRODUÇÃO DE COMPENSADOS**. **Cerne**, Lavras, n., p.667-673, 07 fev. 2011. Trimestral. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n4/v18n4a17.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2013.
IWAKIRI, S. **PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**. Curitiba: Setsuo Iwakiri, 2005. 254p.

IWAKIRI, Setsuo et al. **PRODUÇÃO DE COMPENSADOS DE *Pinus taeda E Pinus oocarpa* COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO**. **Cerne**, Lavras, n., p.92-97, 2002. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-20098328v8_n2_artigo%2008.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2013.

JAEGER, Peterson; ZIGER, Marcelo. **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PAINÉIS COMPENSADOS DE 329 Eucalyptus dunnii E *Eucalyptus dunnii/Pinus taeda***. **Cerne**, Lavras, n., p.329-338, 27 jun. 2007. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20093120v13_n3_artigo%2011.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2013.

LIMA, Celiana Kátia Pereira et al. **Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais**. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n., p.73-77, mar. 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr77/cap08.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

OH, Yong-sung; KIM, Kyung-hee. **Evaluation of Melamine-Modified Urea-Formaldehyde Resin for Plywood Flooring Adhesive Application**. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n., p.199-203, 2011. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap08.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

PAES, Juarez Benigno et al. **QUALIDADE DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE *Pinus elliottii* COLADAS COM RESINA POLIURETANA SOB DIFERENTES COMBINAÇÕES DE PRESSÃO E TEMPERATURA**. **Scientia Forestalis**, Santa Maria, n., p.551-558, 2011. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/viewFile/3812/2582>. Acesso em: 20 mar. 2013.

PEDROSA, Alexandre De Luna. **PERFORMANCE DE VIGAS "I" CONSTITUÍDAS POR FLANGES DE PLP E ALMAS DE COMPENSADO DE *Pinus taeda L. E Eucalyptus dunnii Maiden*, E ALMA DE OSB DE *Pinus spp*.** 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/pedrosa,al.pdf>. Acesso em: 17 maio 2013.

PINTO, Juliana Afonso. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DA MADEIRA DE "Cryptomeria japônica" PARA LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADO.** 2011. 92 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/28337/R%20-%20D%20-%20JULIANA%20AFONSO%20PINTO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 maio 2013.

PRATA, José Guilherme. DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE QUALIDADE EM UMA FÁBRICA DE PAINÉIS COMPENSADOS. 2006. 1006 f. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2006/d449_0641-M.pdf>. Acesso em: 10 maio 2013.

PRATA, José Guilherme. **WILSON LOZANO RÉCIO.** 2004. 77 f. Dissertação (Bacharel) - Faculdade Marechal Rondon Coordenação Do Curso De Administração, São Manuel, 2004. Disponível em: <http://www.fmr.edu.br/monografia/2004/tr/tr_05.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2013.

R.YEAR, F. C. **Adesão de madeira e adesivos**. Wood Adhesion and AdhesivesSource, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second ed., n.9781439853801, p.255-319, 2013. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_frihart001.pdf> Acesso em: 7 abr. 2013

RIBEIRO, Tharcia Silva. **"PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DE Pinus taeda COM RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO UTILIZANDO DIFERENTES EXTENSORES".** 2008. 20 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica - RJ, 2008. Disponível em: <http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/Tharcia.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2013.

RIBEIRO, Tharcia Silva. **Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de Pinus elliottii para produção de lâminas de madeira.** 2010. 52 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal De Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/cceim/files/2010/11/TCC-Leonardo-Nogueira.pdf>. Acesso em: 18 maio 2013.

SANTOS, Airton Mauro De Lára. **AVALIAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE VIGAS EM "I" PRÉ-FABRICADAS DE MADEIRA COM FLANGE DE PAINÉIS DE LÂMINAS PARALELAS (LVL) E ALMA DE PAINÉIS DE PARTÍCULADO ORIENTADAS (OSB) E COMPENSADO.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade De Brasília, Brasília, DF, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2243/1/2008_Airton%20Mauro%20de%20Lara%20Santos.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

SCHULTZ, Alessandra Cristina Pimpão. **AVALIAÇÃO DA COLAGEM E DA VARIAÇÃO DE UMIDADE NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA COM MISTURA DE ESPÉCIES.** 2008. 70 f. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/tccpublicados/tccalessandraschultz.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2013.

SILVA, J. R. M. DA, MATOSKI S. L. S., LEONHADT G., CARON J. **Produção de chapas com diferentes espécies de pinus. Revista da Madeira** nº 84 - ano 14 - Outubro de 2004

THOEMEN, M. I. M. S. H. **Painéis de Madeira - Uma Introdução para Especialistas**. 2010. 287f. Monografia (Bacharelado em Painéis de Madeira) - Brunel University Press, EUROPEAN CIENCE FOUNDATION, 2010. Disponível em: <http://www.ahb.bfh.ch/NR/rdonlyres/6388C45C-8399-47AA-A833-589576D903BA/0/WoodBased_PanelsThoemen_et_alISBN9781902316826.pdf> Acesso em: 3 abr. 2013

VIEIRA, Michel Cardoso; BRITO, Edvá Oliveira; GONÇALVES, Fabricio Gomes. **Evolução Econômica do Painel 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. 2013.

WEBER, Cristiane. **ESTUDO SOBRE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DE COMPENSADOS, MDF E MDP PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS.** 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2011/d567_0772-M.pdf>. Acesso em: 24 maio 2013