

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

BRUNO SANTOS FERREIRA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE
PAINEL DE COMPENSADO DE *Eucalyptus sp.* E ADESIVO
PVA**

Itapeva - SP
2011

BRUNO SANTOS FERREIRA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE
PAINEL DE COMPENSADO DE *Eucalyptus sp.* E ADESIVO
PVA**

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

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

Itapeva - SP
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Bruno Santos

F383p Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de *Eucalyptus sp.* e adesivo PVA / Bruno Santos Ferreira – Itapeva, 2011
65 f.: il. 30 cm

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira
apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2011

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

Banca examinadora: Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos; Prof.
Dr. Natal Nerímio Regone

Inclui bibliografia

1. Compensados de madeira. 2. Adesivos. 3. Eucalipto. I. Título. II.
Itapeva – Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 674.833

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNESP – Campus Experimental de Itapeva

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE
PAINEL DE COMPENSADO DE *Eucalyptus sp.* E ADESIVO
PVA**

BRUNO SANTOS FERREIRA

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

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

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

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

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Natal Nerímio Regone
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus pelo dom da vida, pela Salvação em Jesus Cristo, sem a qual hoje não estaria aqui onde estou, se estou aqui, se este trabalho de conclusão de curso foi possível é porque Deus permitiu, então acima de qualquer coisa que seja dada a Ele toda a honra, toda a glória, o domínio e o poder agora e para todo o sempre.

Agradeço aos meus pais a quem amo tanto, e que me deram a oportunidade de estar cursando uma faculdade.

Agradeço ao meu irmão Gustavo, que eu amo tanto e que apesar de criança mesmo assim está sempre comigo.

Agradeço ao meu grande e melhor amigo Josmar, a quem também amo muito, em primeiro lugar por ter me apresentado Jesus e por sempre estar ao meu lado, me encorajando e me corrigindo quando precisava, sempre me dando apoio na realização deste trabalho.

Agradeço pelos meus amigos tanto os da faculdade quanto os de fora, pode ser que com o passar dos anos nos distanciemos, mas a amizade verdadeira resiste ao tempo, pois como diz em provérbios 17:17 o amigo ama em *todo* o tempo. Em especial agradeço à Bruna Morita, Karla, Yuzo, Diego, Saulo e Bruno Araújo, pela amizade durante todo este tempo de faculdade.

Agradeço a minha orientadora Cristiane Inácio de Campos pela grande ajuda e pelos ensinamentos tão preciosos para a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu professor Carlão, também pela ajuda na realização deste trabalho e também por me ajudar a crescer profissionalmente me dando ótimos conselhos.

Agradeço a todos os funcionários da Unesp de Itapeva pela grande ajuda na execução deste trabalho.

Agradeço à empresa Miraluz pela doação das lâminas de Eucalipto.

Agradeço à empresa Artecola pela doação dos adesivos.

Agradeço ao professor Ivaldo da UNESP de Bauru por permitir que utilizasse o Laboratório de Processamento da Madeira para a produção dos compensados.

Agradeço à todos os meus professores por todos os ensinamentos durante todos estes anos de graduação.

E por fim agradeço novamente a Deus por ter permitido todas estas pessoas em minha vida.

RESUMO

Estudos sobre novos adesivos ou resinas para colagem de madeira e derivados estão sendo realizados com a intenção de melhorar suas propriedades, levando em consideração um menor impacto ambiental. Por este motivo novas formulações de adesivos de acetato de polivinila (PVA) vêm sendo desenvolvidas, pois estes não possuem em sua composição compostos químicos extremamente poluentes e prejudiciais à saúde, como é o caso de resinas à base de formaldeído, que por sua vez são as mais comumente utilizadas hoje em dia para a produção de painéis de madeira. Este trabalho testou três formulações diferentes de adesivos PVA, com diferentes tempos e temperaturas de prensagem, para a produção de compensado de *Eucalyptus* sp., obtendo bons resultados com relação à resistência ao cisalhamento na linha de cola, a qual foi superior para os adesivos PVA se comparados com a uréia e o fenol-formaldeído. Os resultados de MOE e MOR apresentaram-se inferiores aos valores dos painéis produzidos com resina uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, e todos os resultados dos ensaios físicos apresentaram-se próximos àqueles dos painéis produzidos com estes mesmos adesivos.

Palavras-chave: Compensado de madeira. *Eucalyptus* sp. Adesivo PVA.

ABSTRACT

Studies on new adhesives and resins for bonding wood and wood products are being conducted with the intention of improving their properties, taking into account a lower environmental impact. For this reason new formulations of polyvinyl acetate (PVA) adhesives have been developed, because they have no chemicals in its composition extremely polluting and harmful to health, as is the case of formaldehyde-based resins, which in turn are the most commonly used today for wood panels production. This study tested three different formulations of PVA adhesives, with different times and temperatures of pressing for the production of *Eucalyptus* sp. Plywood, coming up in satisfactory results with respect to shear strength at the bondline, which was higher for the PVA adhesives compared with urea-formaldehyde and phenol. The results of MOE and MOR were lower than those values of the panels produced with urea and phenol-formaldehyde, and the results of physical tests showed to be close to the panels produced with these same adhesives.

Keywords: Plywood. *Eucalyptus* sp. PVA adhesives

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Elementos de madeira em diversas formas à serem empregados em diversos usos.....	16
FIGURA 2 – Formas de interação entre o adesivo e a madeira.....	18
FIGURA 3 – Fluxograma de produção do compensado, (A) Fabricação das lâminas por torneamento e (B) Produção do painel.....	26
FIGURA 4 – Distribuição da área cultivada e número de produtores 2007/2008 de (a) eucalipto e (b) pinus.....	31
FIGURA 5 – Separação das 90 lâminas utilizadas para a produção dos compensados.....	34
FIGURA 6 – Pesagem do adesivo para aplicação nas lâminas.....	36
FIGURA 7 – Aplicação do adesivo; (A) aplicação do adesivo com espátula de silicone; (B) adesivo aplicado sobre a lâmina; (C) painel com todas as linhas de cola aplicadas.....	36
FIGURA 8 – Prensa termo-mecânica Hidral-Mac.....	37
FIGURA 9 – Corpos de prova utilizados para a determinação da massa específica e o teor de umidade na estufa.....	39
FIGURA 10 – Corpos de prova de inchamento segundo a NBR 9535.....	40
FIGURA 11 – Corpo de prova de absorção de água segundo NBR 9486.....	42
FIGURA 12 – Direção das fibras nos corpos de prova de flexão estática. O da esquerda é perpendicular e o da direita paralelo.....	43
FIGURA 13 – Corpo de prova de flexão estática perpendicular.....	44
FIGURA 14 – Arranjo esquemático da máquina de ensaios. Fonte: ABNT NBR 9533.....	44
FIGURA 15 – Corpo de prova de flexão estática sendo ensaiado.....	46
FIGURA 16 – Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola, dimensões em mm.....	46
FIGURA 17 – Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola na máquina de ensaios.....	47
FIGURA 18 – Gráfico da massa específica média em cada condição de produção.....	50
FIGURA 19 – Gráfico do teor de umidade médio em cada condição de produção.....	51
FIGURA 20 – Gráfico da absorção de água média em cada condição de produção.....	52
FIGURA 21 – Gráfico do Inchamento para cada condição de produção.....	53
FIGURA 22 – Gráfico das médias do módulo de ruptura para flexão estática paralela em cada condição de produção.....	54
FIGURA 23 – Gráfico das médias do módulo de elasticidade para flexão estática paralela em cada condição de produção.....	56

FIGURA 24 – Gráfico das médias do módulo de ruptura para flexão estática perpendicular em cada condição de produção.....	57
FIGURA 25 – Gráfico das médias do módulo de elasticidade para flexão estática perpendicular em cada condição de produção.....	58
FIGURA 26 – Gráfico das médias do cisalhamento na linha de cola em cada condição de produção.	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Evolução do Consumo de Madeira, Estado de SP, 2000/09 (milhão de m ³).....	31
TABELA 2 – Área Plantada e Produção de Eucalipto e Pinus, Estado de São Paulo, 2008. ..	31
TABELA 3 – Composição das seis condições de produção estudadas.	35
TABELA 4 – Resultados médios dos ensaios físicos para as seis condições de produção.....	49
TABELA 5 – Médias de massa específica (g/cm ³) para as seis condições de produção.	50
TABELA 6 – Médias da absorção de água (%) para as seis condições de produção.	52
TABELA 7 – Médias do módulo de ruptura (MPa) para a flexão estática paralela.....	54
TABELA 8 – Médias do módulo de elasticidade (MPa) para a flexão estática paralela.	55
TABELA 9 – Médias do módulo de ruptura (MPa) para a flexão estática perpendicular.	56
TABELA 10 – Médias do módulo de elasticidade (MPa) para a flexão estática perpendicular.	58
TABELA 11 – Médias do cisalhamento na linha de cola (MPa) para cada condição de produção.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Painéis de madeira reconstituída.....	15
3.2. Adesivos para madeira.....	17
3.2.1. Relação madeira – adesivo.....	18
3.2.2. Características e classificação dos adesivos para madeira.....	19
3.3.3. Tipos de adesivo.....	20
3.2.4. Novas tecnologias em adesivos para madeira.....	23
3.3. Compensado.....	24
3.4.1. Produção dos painéis de compensado.....	25
3.4.2. Compensado de Eucalipto x Compensado de Pinus.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1. Materiais.....	33
4.2. Produção dos painéis.....	34
4.3. Testes físico-mecânicos.....	37
4.3.1. Massa específica aparente.....	38
4.3.2. Teor de umidade.....	38
4.3.3. Inchamento.....	40
4.3.4. Absorção de água.....	41
4.3.5. Flexão estática.....	42
4.3.6. Cisalhamento na linha de cola.....	46
4.4. Análise Estatística.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Ensaio físicos.....	49
5.1.1. Massa Específica.....	49
5.1.2. Teor de umidade.....	51
5.1.3. Absorção.....	51
5.1.4. Inchamento.....	53
5.2. Ensaio mecânicos.....	53
5.2.1. Flexão estática paralela.....	54

5.2.2. Flexão estática perpendicular.....	56
5.2.3. Cisalhamento na linha de cola	59
6. CONCLUSÃO.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro possui grande importância econômica no país, já que o Brasil apresenta uma vasta área de florestas nativas e de reflorestamento. Dentre as espécies de reflorestamento destacam-se o pinus e o eucalipto como sendo as mais plantadas, principalmente pelo fato de possuírem um crescimento mais rápido, adquirido muitas vezes com o melhoramento genético, e também pelo fato de o seu caule ter baixa propensão à bifurcações, resultando em toras maiores e mais retilíneas.

Apesar de o Brasil possuir vasta área de florestas, com o passar dos anos percebeu-se a necessidade cada vez maior de racionalização da madeira, principalmente através do desenvolvimento de novas tecnologias, que além de diminuir a geração de resíduos com a melhor utilização dos recursos florestais, também melhoram algumas de suas propriedades. Com isso começaram a surgir os painéis à base de madeira (compensados, particulados e os painéis de fibras).

O melhor aproveitamento da tora pode ser visto através dos painéis de partículas e fibras, os quais exigem menores diâmetros de tora para a produção de suas matérias-primas. Destaca-se que os painéis particulados, por exemplo, utilizam mais de 90% de uma mesma tora. Além do mais, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para utilizar também a própria casca da madeira como uma parte da matéria-prima destes painéis.

Juntamente com o desenvolvimento dos painéis à base de madeira houve também a necessidade do desenvolvimento de adesivos apropriados para a colagem dos elementos de madeira. Inicialmente foram utilizados adesivos provenientes diretamente da natureza. Com o passar do tempo os adesivos passaram a ser produzidas em laboratório, e com isso foram desenvolvidas as resinas sintéticas das quais se destacam a uréia e fenol-formaldeído, que são comumente utilizadas nas indústrias de painéis atualmente.

Surgiu também a necessidade do desenvolvimento de adesivos que fossem menos agressivos ao meio ambiente, ao passo que novos painéis à base de madeira foram sendo desenvolvidos. Pesquisas estão sendo desenvolvidas neste sentido, procurando diminuir a emissão de poluentes por estes adesivos, mas ao mesmo tempo tentando não encarecer-los e também não prejudicando as propriedades dos painéis à base de madeira com eles produzidos.

Este trabalho tem a intenção de produzir painéis de compensado de eucalipto com três formulações de adesivos PVA, livres de formaldeído portanto menos poluentes.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral a produção de painéis de compensado com lâminas de *Eucalyptus* sp. e três formulações diferentes de adesivos PVA, conhecidos comumente como PVA, utilizando também duas combinações diferentes de tempo e temperatura.

Os objetivos específicos são:

- Produzir os painéis de compensado com os três adesivos PVA.
- Testar condições de produção com duas combinações de tempo e temperatura.
- Realizar os ensaios físicos e mecânicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada a seguir procurou definir painéis de madeira reconstituída, mais especificamente o compensado, falar sobre adesivos utilizados na produção destes painéis e as suas influências na colagem, bem como relatar sobre trabalhos que ultimamente vem sendo realizados sobre este assunto, de forma a embasar tecnicamente a realização do trabalho

3.1. Painéis de madeira reconstituída

Historicamente, a madeira era utilizada apenas na forma maciça, como grandes vigas e tábuas, mas com o passar do tempo com a diminuição da disponibilidade de árvores com grandes diâmetros, e o aumento do preço, a indústria de madeira visou à substituição das grandes vigas e tábuas que eram tão frequentemente utilizadas, por produtos de madeira reconstituída produzidos através da utilização de árvores de pequeno diâmetro e de resíduos do processamento primário da madeira. A partir de então houve uma tendência de utilização de elementos de madeira cada vez menores (BERGLUND e ROWELL, 2005).

Atualmente, as árvores extraídas da floresta passam por várias operações de processamento para redução das dimensões, formando diversos tipos de elementos de madeira (IWAKIRI, 2005). Alguns destes elementos estão apresentados na Figura 1.

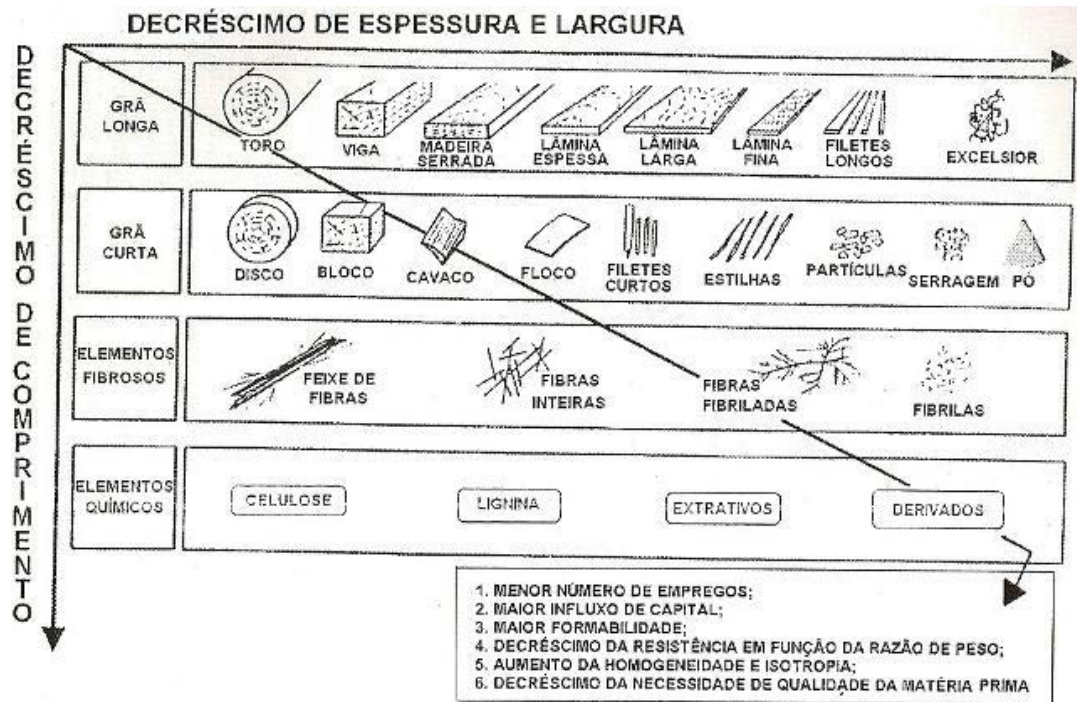


FIGURA 1 – Elementos de madeira em diversas formas à serem empregados em diversos usos.

Fonte: IWAKIRI (2005).

A partir dos diversos elementos apresentados, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Entre estes produtos estão os painéis de madeira reconstituída, que podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005). Para Machado (2005) os painéis de madeira abrangem um conjunto de materiais compostos por madeira, um ligante (adesivos) e aditivos.

Ao passo que os elementos de madeira se tornam menores, torna-se possível a remoção de defeitos inerentes à madeira como, por exemplo, nós e rachaduras ou redistribuí-los de forma que reduzam seus efeitos no produto final, resultando em um produto mais uniforme.

Pelo fato de as propriedades da madeira variarem entre espécies, entre árvores da mesma espécie e entre partes da mesma árvore, a madeira maciça não pode se igualar aos painéis de madeira reconstituída em uma série de propriedades que podem ser controladas no processamento (STARK; CAI; CARLL, 2010).

Para Machado (2005) os painéis de madeira apresentam claras vantagens com relação à madeira maciça, entre elas estão:

- Possibilidade de obtenção de diferentes tipos de características geométricas (independente do porte da árvore – altura, diâmetro e forma do tronco).
- Versatilidade através de uma rápida adaptação às exigências de mercado (alteração de parâmetros na linha de produção).
- Maior resistência no plano do painel.
- Boa relação resistência/peso.
- Maior estabilidade dimensional.
- Obtenção de produtos mais homogêneos. O coeficiente de variação normalmente associado às propriedades mecânicas da madeira maciça é por volta de 15 a 40%, no compensado passa para 8 a 12% e nos aglomerados de fibras e de partículas varia somente entre 5 a 10%.
- Permite a utilização industrial de madeira proveniente de espécies florestais secundárias.
- Originam uma clara redução de desperdícios de madeira, sendo possível a incorporação de resíduos resultantes da serraria e ainda uma percentagem de casca.

Gonçalves (2000) classifica os painéis à base de madeira em três grupos principais: **lâminas** (chapa de madeira compensada (PW) e a chapa de madeira sarrafeada (BB)), **partículas** (chapa de madeira aglomerada (PB), chapa de flocos orientados (OSB), Chapa de flocos não orientados (WB)) e **fibras** (chapa isolante (IB), chapa dura (HB), Chapa de média densidade (MDF)).

3.2. Adesivos para madeira

Para Iwakiri (2005) o adesivo é um material com propriedades aderentes, ou seja, é uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies. De acordo com Frihart e Hunt (2010) o adesivo tem a função de transferir e distribuir cargas entre os componentes a serem colados, com isso aumentando a resistência e a rigidez dos produtos de madeira.

3.2.1. Relação madeira – adesivo

Segundo Frihart (2005) as formas de interação entre o adesivo e a madeira são a umectação, a fluidez e a penetração do adesivo na madeira. A umectação é a habilidade que uma gota do adesivo tem de formar um pequeno ângulo de contato com a superfície. A fluidez envolve o escoamento do adesivo sobre a superfície em um tempo razoável, esta é uma característica importante, pois quanto maior a fluidez mais a superfície é coberta pelo adesivo resultando em uma colagem mais forte. A penetração do adesivo na madeira envolve a capacidade que o adesivo possui de entrar pelos vazios da superfície (que podem ser os lumens) ou penetrar na própria parede celular. Quando a penetração é muito baixa o adesivo não penetra suficientemente na madeira para garantir uma interação madeira – adesivo forte, quando a penetração é muito alta a linha de cola não permanece com adesivo suficiente para ligar as superfícies a serem coladas, resultando na chamada “linha de cola faminta”.

A Figura 2 apresenta a diferença entre fluidez, penetração e transferência do adesivo sobre a superfície.

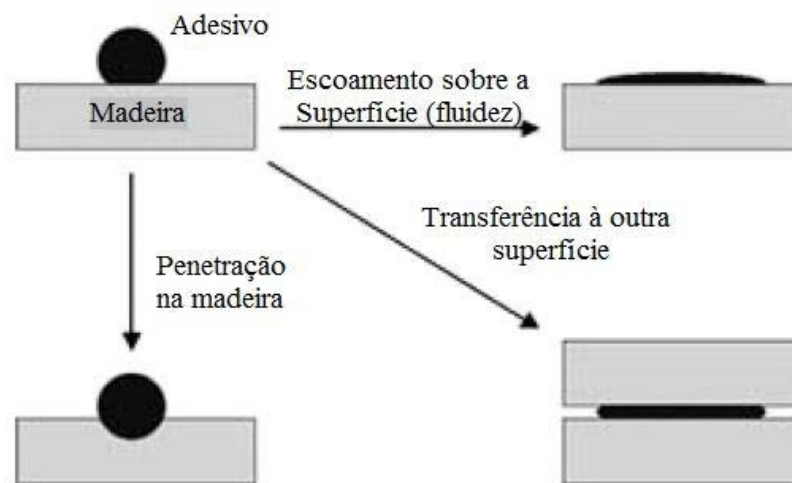


FIGURA 2 – Formas de interação entre o adesivo e a madeira.

Fonte: FRIHART, 2005 (Modificado).

Existem alguns fatores da madeira que podem influenciar na colagem, Frihart e Hunt (2010) citam três fatores principais.

O primeiro é a superfície das peças de madeira, que deve ser lisa, aplainada e livre de marcas de usinagem ou outras irregularidades, incluindo “batidas” de plaina, partes esmagadas, farpas e fibras soltas. Portanto, as condições físicas e químicas das superfícies são

extremamente importantes para um resultado satisfatório, pois a colagem por adesivos consiste na união de superfícies.

O segundo é a densidade e a porosidade da madeira. Madeiras de alta densidade possuem um grau de dificuldade de colagem mais elevado se comparadas às de baixa densidade, pois possuem parede celular mais espessa e lúmen celular menor, dificultando a penetração do adesivo. Com relação à porosidade ocorre o mesmo, madeiras menos porosas tem maior resistência à penetração do adesivo que madeiras mais porosas, portanto possuem uma colagem de menor resistência.

O terceiro fator é a umidade da madeira, que, segundo Currier (1961), afeta o escoamento, a transferência e a capacidade de penetração do adesivo. Teores de umidade muito baixos reduzem o escoamento e a penetração do adesivo na madeira, prejudicando a resistência da colagem, enquanto umidades altas normalmente permitem ao adesivo uma penetração excessiva para o interior da madeira, resultando em uma linha de cola pobre, reduzindo sua resistência

3.2.2. Características e classificação dos adesivos para madeira

Segundo Iwakiri (2005) as características físico-químicas do adesivo que influenciam na colagem da madeira são:

- Viscosidade: quando a viscosidade for alta dificulta o espalhamento do mesmo sobre a madeira, provoca condições desfavoráveis de umectação e resulta em menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, causando qualidade inferior de colagem. Quando a viscosidade for baixa a penetração do adesivo na madeira pode ocorrer em demasia.

- Tempo de gelatinização (“gel time”): corresponde ao tempo ou período que se compreende entre a preparação do adesivo para a aplicação até o seu endurecimento. Relaciona-se com a reatividade do adesivo, que influenciará no tempo de prensagem.

- Teor de substâncias sólidas: a resina é constituída de componentes sólidos e líquidos voláteis. O teor de sólidos é a quantidade de substâncias sólidas que a resina contém. Quando ocorre a cura da resina os líquidos voláteis evaporam e a linha de cola se forma somente com os componentes sólidos.

- pH: na colagem de madeiras o pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11.

De acordo com Frihart e Hunt (2010) os adesivos de madeira, têm origem em polímeros naturais ou sintéticos, sendo que os naturais vêm sendo substituídos pelos sintéticos, mas mesmo assim continuam sendo utilizados. Os adesivos sintéticos podem ser divididos em adesivos termoplásticos e termoendurecedores:

- Adesivos termoplásticos: são formados por longas cadeias de polímeros que amolecem e fluem com a presença de calor, e voltam a endurecer quando resfriados, têm menor resistência ao calor e a umidade se comparado com os adesivos termoendurecedores. Entre estes adesivos estão o PVA e o “*Hot-melt*”.

Adesivos termofixos: estes adesivos possuem excelentes propriedades estruturais, pois sofrem modificação química irreversível quando curados (processo no qual ocorre a secagem final do adesivo) e quando reaquecidos não amolecem e escoam novamente. Podem possuir alta rigidez, alta resistência a umidade e são rígidos o suficiente para suportar altas cargas sem deformar. Alguns exemplos de adesivos termofixos são o fenol-formaldeído, a uréia-formaldeído, a melamina-formaldeído, o resorcinol-formaldeído e o isocianato.

Os adesivos podem ser agrupados nas categorias estruturais, semi-estruturais e não estruturais. Estas categorias são definidas a partir do uso externo e interno (FRIHART e HUNT, 2010), mas podem também ser classificados em relação a sua permanência e durabilidade. A permanência do adesivo é analisada sob condições ambientais irreversíveis, enquanto, a durabilidade refere-se às condições ambientais reversíveis (FRIHART, 2005).

3.3.3. Tipos de adesivo

A seguir estão apresentados alguns dos adesivos mais utilizados na colagem de madeira:

- Fenol-formaldeído (FF):

A resina fenol-formaldeído é grandemente utilizada em vários tipos de painéis à base de madeira por causa de sua notável durabilidade, a qual provém da sua boa adesão com a madeira, da alta resistência do polímero e de sua excelente estabilidade (FRIHART, 2005).

De acordo com Iwakiri (2005) a resina FF possui alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. É destinada, principalmente, para a produção de

compensado à prova de água, chapa dura de fibras, “*waferboard*” e “OSB”. Possui coloração marrom avermelhado, teor de sólidos entre 48 e 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 e 600 cP e temperatura de cura na faixa de 130 a 150 °C.

Baldwin (1995) relata que a resina FF possui as seguintes desvantagens: alto custo, linha de cola de cor escura e a exigência de baixo teor de umidade da lâmina durante o processo de colagem.

- Uréia-formaldeído (UF):

A resina uréia-formaldeído possui alguns aspectos muito fortes, como: custo baixo, não inflamável, tempo de cura rápido e cor clara (FRIHART, 2005). Para Baldwin (1995) o seu baixo custo se deve ao fato de que sua matéria-prima principal consiste apenas em uréia e formaldeído, não contendo benzeno ou componentes aromáticos. Stark; Cai e Carll (2010) afirmam que dentre os adesivos termoendurecedores a uréia-formaldeído é o mais barato, e a vantagem de possuir cor clara é que pode ser utilizada em produtos decorativos, já que a cor clara é um requisito para a produção deste tipo de produto.

Stark; Cai e Carll (2010) afirmam que a UF é aplicada em produtos de uso interior, e Baldwin (1995) recomenda que painéis colados com este tipo de adesivo não devem ser utilizados onde há a necessidade de exposição ao tempo e à temperaturas elevadas e afirma que o painel começa a delaminar por volta de 60°C e 60% de umidade relativa.

As resinas UF são produzidas em solução aquosa, com teor de sólidos entre 60 e 70%, apresentam coloração branca leitosa, pH na faixa de 7,4 a 7,8 e viscosidade na faixa de 400 a 1000 cP à 25°C (IWAKIRI, 2005).

- Melamina-formaldeído (MF):

A melamina assemelha-se à resina UF, mas oferece vantagens como uma maior resistente à água, maior estabilidade ao calor, habilidade maior de cura em temperaturas maiores e maior suscetibilidade para impregnação tanto quanto para colagem (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975).

De acordo com Iwakiri (2005) é classificada como uso intermediário, entre UF e FF, apresenta coloração branca leitosa, possui maior resistência à água que a UF e cura mais rápida com relação a FF. Entretanto seu custo é de 3 a 4 vezes maior que a UF e de 20 a 25% maior que a FF.

Stark; Cai e Carll (2010) e Baldwin (1995) afirmam que a resina MF pode ser utilizada em conjunto com a UF, quando, por exemplo, se necessita de uma resina que seja

imperceptível por causa da cor clara em usos exteriores, pois a MF aumenta a resistência à água da UF, quando utilizadas em conjunto.

- Resorcinol-formaldeído (RF):

Segundo Iwakiri (2005) a resina RF é de cura a temperatura ambiente, com catalisador. É utilizada, por exemplo, na produção de vigas laminadas (GLULAM), construções navais e aviação. Possui coloração marrom e viscosidade entre 500 e 800 cP.

Frihart (2005) afirma que comparado com a resina FF a resina RF produz uma linha de cola tão resistente quanto a resina FF, e tem a vantagem de curar em temperatura ambiente com um tempo de reação 10 vezes mais rápido. Mas possui a desvantagem de ter um custo alto.

Kollmann; Kuenzi e Stamm (1975) dizem que este custo pode ser reduzido adicionando fenol à sua formulação, mas mesmo assim mantendo as suas propriedades de cura à temperatura ambiente.

- Isocianato:

Os adesivos baseados em polifenil polimetileno isocianato e difenil metileno diisocianato (MDI) possuem alta resistência de colagem, são livres de formaldeído, e podem curar em altas temperaturas e em temperaturas ambientes (BALDWIN, 2005). São utilizados como uma alternativa para o FF, principalmente para painéis aglomerados (STARK; CAI; CARLL, 2010; IWAKIRI, 2005).

- Acetato de Polivinila (PVA):

Os adesivos PVA são utilizados em colagens não estruturais de substratos em diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira, como por exemplo, painéis, laminados plásticos e de madeira, colagem de espiga e cavilha, “finger-joint”, entre outros (OLIVEIRA; DANTAS, 2003).

Por serem à base de água, as resinas PVA apresentam vantagens como a facilidade e segurança no manuseio, são inodoro e não-inflamáveis, possuem baixo custo se comparadas a outras resinas comerciais, possuem secagem rápida sob condições adequadas, são de fácil limpeza e possuem boa estabilidade à estocagem (IWAKIRI, 2005).

3.2.4. Novas tecnologias em adesivos para madeira

Novas tecnologias em adesivos vêm sendo desenvolvidas com a intenção de melhorar a qualidade da colagem.

Mamínski; Borysiuk e Zado (2008) realizaram um estudo no qual foi adicionado glutaraldeído (GA) em proporções de 5 e 10% ao adesivo uréia-formaldeído (UF), com a intenção de aumentar a resistência a umidade em compensados. Nos compensados de *Pinus sylvestris* notou-se um aumento gradual de resistência ao cisalhamento na linha de cola, desde os painéis produzidos apenas com UF até os com a proporção de 5 e 10% de GA, tanto em corpos de prova secos quanto nos úmidos (os quais foram submersos em água por 24 horas). E os resultados obtidos para os compensados de faia (*Fagus sylvatica*) no teste com imersão apresentaram 20% de aumento no cisalhamento da linha de cola para a proporção de 5% de GA e um aumento de 53% para a proporção de 10% de GA, comparados com os painéis produzidos apenas com UF. Este último apresentou também um valor de cisalhamento na linha de cola no teste com imersão maior que o apresentado para o painel sem imersão produzido apenas com UF, devido ao aumento da resistência à umidade do adesivo e a redução da penetração de água na linha de cola.

Em um estudo realizado por Hoong et. al. (2009) utilizando compensado de Kedondong (*Canarium* spp.) testou-se a influência da fortificação do adesivo fenol-formaldeído (FF) com tanino sulfitado proveniente da casca de *Acacia mangium*, e concluiu-se que pode haver uma substituição de até 80% do FF pelo tanino, o que resultaria em valores de cisalhamento na linha de cola que atendem os requisitos das normas européias EN 314-1 e EN 314-2:1993.

Moubarik et. al. (2009) testou um adesivo livre de formaldeído composto por maisena e tanino de vime fortificado com hexamina para a colagem de compensados de *Pinus pinaster*, os resultados apresentaram emissões de formaldeído baixas, que foram provenientes somente da madeira utilizada e não do adesivo. Resultou em boas propriedades mecânicas para o compensado que podem ser comparados àquelas obtidas para painéis produzidos com fenol-formaldeído.

Despres et. al. (2010) também testaram um adesivo livre de formaldeído à base de resina de uréia-dimetoxietanal (Uréia-DME) e um diisocianato (pMDI) em aglomerados, resultando em painéis de excelentes propriedades com rápido tempo de prensagem. Também possui emissão de formaldeído muito baixa relativa apenas ao aquecimento da madeira.

Nos exemplos anteriores nota-se que novas formulações de adesivos vem sendo desenvolvidas com a intenção de melhorar as propriedades dos painéis e diminuindo a agressão ao meio ambiente causada por adesivos que emitem formaldeído.

3.3. Compensado

O compensado consiste em um painel de lâminas finas de madeira dispostas em camadas cruzadas e unidas com adesivo. Cada lâmina é disposta perpendicularmente à lâmina adjacente, com o intuito de aumentar a estabilidade dimensional. A faixa de espessura do painel varia normalmente entre 1,6 à 76 mm. Sua história é muito antiga, vem desde as civilizações gregas e romanas que já utilizavam o compensado. Comparado com a madeira sólida, suas propriedades mecânicas são mais isotrópicas no plano, e a resistência a ruptura é maior. As suas propriedades dependem do adesivo utilizado e da quantidade e qualidade das lâminas de madeira (BERGLUND e ROWELL, 2005).

Iwakiri (2005) resume o compensado como sendo um painel fabricado através da colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes.

Segundo Berglund e Rowell (2005) há uma competição forte entre o compensado e o painel de OSB (*Oriented Strand Board*). Num estudo realizado por Bortoletto Júnior e Garcia (2004) que compara painéis de compensado e OSB, nota-se que o módulo de ruptura (MOR) paralelo, o MOR perpendicular e o módulo de elasticidade (MOE) perpendicular foram maiores no compensado do que no OSB. Já o MOE paralelo dos compensados e OSB de 15 e 18 mm de espessura foram semelhantes, o que corroborou com a literatura, mas para os de 30 mm novamente o compensado foi superior nesta propriedade.

Os compensados possuem uma significativa resistência à flexão tanto ao longo quanto através do painel, e as diferenças existentes de resistência e rigidez entre todo o comprimento do painel e através dele são muito menores do que as encontradas na madeira sólida. Também possuem excelente estabilidade dimensional ao longo de seu comprimento e largura. Diferentemente da maioria dos painéis fabricados com partículas, se exposto a umidade, o compensado sofre um mínimo inchamento em espessura irreversível. A direção alternada da grã nas camadas do compensado torna-o resistente a rachaduras, permitindo que

elementos de fixação sejam colocados bem próximos das bordas do painel (STARK; CAI; CARLL, 2010).

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

- Uso geral, utilizado comumente na construção civil e para embalagens;
- 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.

As diferenças entre os tipos de compensados estão relacionadas basicamente à qualidade das lâminas empregadas, ao local de utilização do compensado (interior e exterior) que diretamente está ligada a resina utilizada e o revestimento empregado.

3.4.1. Produção dos painéis de compensado.

A Figura 3 apresenta o fluxograma da produção de compensado, com suas etapas de produção, que não são necessariamente iguais para todas as indústrias de compensado, pode-se notar na Figura 3 que há uma separação com relação a fabricação de lâminas e a produção do compensado em si.

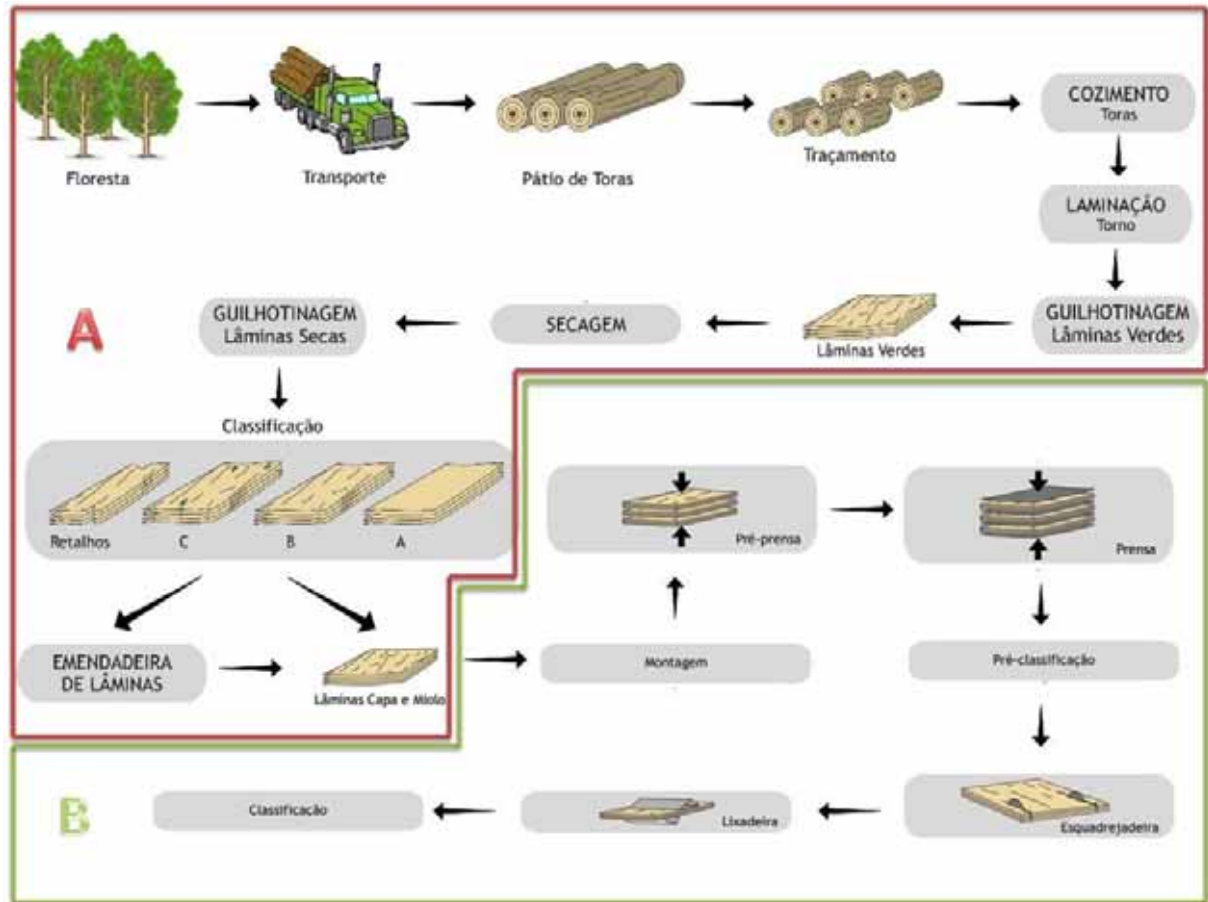


FIGURA 3 – Fluxograma de produção do compensado, (A) Fabricação das lâminas por torneamento e (B) Produção do painel.

Fonte: ABIMCI, 2004a e ABIMCI, 2004b (Adaptado).

A seguir estão descritas algumas das etapas do processo de produção dos painéis de compensado, apresentados na Figura 3:

- Armazenamento das toras (pátio de toras):

As toras devem ser armazenadas em condições adequadas, por um período mínimo de tempo para evitar ou minimizar os problemas como: fendilhamento de topo, ocorrência de mancha azul, ataque de agentes biodegradadores e ocorrência de bactérias causando odores indesejáveis (IWAKIRI, 2005).

- Descascamento das toras:

A remoção da casca tem por finalidade diminuir o tempo de aquecimento, pois a casca é um material isolante. Geralmente, as coníferas apresentam maior facilidade de descascamento que as folhosas e quanto mais seca a casca, mais fácil será o descascamento.

As toras podem ser descascadas com a utilização de machado, aplicação de água sob pressão, sistema de tambor rotativo (método de fricção), descascador em anel (método de cisalhamento de cambio) e descascador do tipo “cilindro cortante” (IWAKIRI, 2005).

- Traçamento:

As toras armazenadas em grandes comprimentos devem ser seccionadas em comprimentos menores, de acordo com as dimensões da lâmina para a produção do compensado. As toras que passarão pelo processo de faqueamento são posteriormente desdobradas em blocos ou pranchões (IWAKIRI, 2005).

- Aquecimento das toras:

O aquecimento das toras consiste no acondicionamento da madeira em tanques com vapor saturado ou água quente. Geralmente, são tanques de aço ou de concreto armado, abaixo do nível do solo. As dimensões podem variar, sendo as mais comuns de 5 a 6 m de comprimento, 3 a 4 m de profundidade, 5 a 6 m de largura, podendo existir tanques com até 20 metros de comprimento. O acondicionamento é classificado em: vapor direto, indireto e água quente (UMAÑA e BRITO, 2004).

Para Iwakiri (2005) o aquecimento 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.

De acordo com Baldwin (1995) depois que a madeira é aquecida, a faca desliza mais facilmente através das fibras amolecidas. Esta facilidade de corte torna possível a produção de lâminas de face provenientes do cerne e também amolece os nós. As vantagens do aquecimento podem ser traduzidas em economias mesuráveis, com:

- Maior produção de lâminas: maior quantidade lâminas em toras menores.
- Lâminas de maior qualidade: lâminas com superfícies mais lisas, com quebras reduzidas ao redor dos nós e menos defeitos. Elevando a classificação das lâminas.
- Redução dos custos de trabalho: uma maior porcentagem de lâminas inteiras significa processo mais fácil e rápido. Este aumento (geralmente de 55% a 70%) resulta em menor necessidade de junção de lâminas e maior taxa de produção do aplicador de cola.
- Lâminas da face mais lisas requerem menos lixamento.

- Laminação:

A laminação de madeiras pode ser realizada através do torno, faqueadeira e serra. O método de serra é o mais antigo e praticamente não é utilizado atualmente. O torno é o equipamento mais utilizado para a produção de lâminas para compensados, e a faqueadeira é empregada para produção de lâminas decorativas (IWAKIRI. 2005).

As faqueadeiras são utilizadas em 5% do total de lâminas produzidas no país, sendo o produto final utilizado para revestimento de superfícies de painéis de madeira (compensados, aglomerados ou MDF) ou paredes. As lâminas torneadas representam 95% da produção total nacional. Particularmente utilizada na fabricação de compensados (ABIMCI, 2004c).

Segundo Iwakiri (2005) no processo de torneamento as toras são fixadas por garras nas duas extremidades da tora, as quais exercem o movimento de rotação contra o gume da faca para obtenção de lâminas contínuas, a partir de uma superfície curva. Já na faqueadeira a tora é desdobrada em blocos ou pranchões de vários formatos e o faqueamento é executado de forma contínua através de cortes planos, o que resulta em lâminas menos propensas ao fendilhamento superficial, quando comparado com o processo de desenrolamento no torno.

- Secagem:

O propósito da secagem das lâminas é de reduzir seu teor de umidade para uma faixa propícia à sua colagem (BALDWIN, 1995). Para Iwakiri (2005) “a secagem é um processo de redução do teor de umidade, com mínimo defeito, no menor tempo possível e de forma técnica e economicamente viável para o uso a que se destina”.

Segundo Umaña e Brito (2004) a secagem de lâminas de madeira, apesar de ser mais fácil que a secagem de madeiras serradas, por possuírem menores espessuras, torna-se um dos fatores mais importantes durante a fabricação do compensado, visto que, altos teores de umidade geralmente, resultam em uma colagem pobre. Em certos casos, bolhas de vapor são formadas, ocasionando descolamento e/ou material estourado. Por outro lado, um teor de umidade extremamente baixo é prejudicial, pois a lâmina, demasiadamente seca, absorve a água contida na cola, impossibilitando a adesão. Uma solução seria deixar as lâminas ressecadas, expostas à umidade ambiente, durante 24 horas.

De acordo com Baldwin (1995) existem três métodos de secagem de lâminas geralmente utilizados:

- Num clima favorável, as lâminas podem ser secas ao ar livre, sendo arranjadas de uma forma que facilite a passagem de ar pelas superfícies;

- Estufa de secagem, onde as lâminas são empilhadas e entabicadas e as pilhas são alocadas em uma câmara acondicionada;

- Secadores mecânicos, que transportam as lâminas por cilindros, correias, cabos ou malhas metálicas através de uma câmara aquecida, neste método o processo de secagem, que antes levava dias, é executado em minutos.

- Aplicação do adesivo e montagem do painel:

A aplicação do adesivo nas lâminas deve ser feita de forma uniforme e na quantidade adequada sobre a área que será colada, para que no processo de prensagem o adesivo possa fluir uniformemente através das camadas de lâmina. Esta aplicação pode ser realizada em uma ou nas duas faces da lâmina. A quantidade de adesivo necessária depende da espécie de madeira, qualidade da superfície, teor de umidade, tipo de adesivo, temperatura e umidade do ar, tempo de montagem e se a aplicação foi realizada em uma ou duas faces da lâmina (FRIHART e HUNT, 2010).

De acordo com Baldwin (1995) e Iwakiri (2005) a aplicação do adesivo na superfície da lâmina pode ser feita através do aplicador de rolos, de spray, de cortina ou por extrusão.

A montagem é operação de sobreposição das lâminas com adesivo, de acordo com a composição pré-estabelecida e obedecendo ao princípio de laminação cruzada (IWAKIRI, 2005). É realizada levando em consideração um número ímpar de lâminas ou camadas, de acordo com a espessura desejada e também lembrando que cada lâmina deve ser colocada com a grã perpendicular a lâmina adjacente (ABIMCI, 2004b).

- Pré-prensagem:

A pré-prensagem tem como finalidade principal preparar o compensado para a prensagem final, facilitando o carregamento da prensa principal e conferindo menor tempo e melhor qualidade de colagem ao produto final (ABIMCI, 2004b). Para Iwakiri (2005) a pré-prensagem além de facilitar o carregamento da prensa, também auxilia na transferência e distribuição do adesivo entre as lâminas, aumenta a qualidade da colagem e a produtividade, e reduz os defeitos de fabricação.

- Prensagem:

De acordo com Kollmann; Kuenzi e Stamm (1975) a prensagem pode ser realizada com aquecimento ou sem aquecimento, a prensagem sem aquecimento necessita de mais tempo para a cura do adesivo que a prensagem com aquecimento. Baldwin (1995) comenta que na prensagem com aquecimento, a pressão em si tem a função de promover o contato entre as lâminas, enquanto o calor tem a função de curar o adesivo.

Segundo Iwakiri (2005) o processo de prensagem a quente, mais comumente utilizado, possui as seguintes variáveis de ciclo de prensagem que devem ser controladas: pressão, temperatura e tempo de prensagem.

- Acabamento:

Finalmente o painel passa pelo processo de acabamento, que segundo Iwakiri (2005) consiste no acondicionamento, para equalização do gradiente de umidade e temperatura e a cura final do adesivo, o esquadrejamento, para ajustar o painel nas medidas desejadas e a calibração e o lixamento, que têm por finalidade o ajuste em espessura e a eliminação de pequenas imperfeições da face melhorando o acabamento superficial.

3.4.2. Compensado de Eucalipto x Compensado de Pinus

Pode-se verificar, pela Tabela 1, que há uma evolução no consumo de madeira no estado de São Paulo entre os anos 2000 e 2009, sendo que dentre os valores apresentados percebe-se que também houve aumento no consumo de madeira para a produção de chapas, variando de 1,7 milhões de m³ em 2000 a 3,68 milhões de m³ em 2009.

TABELA 1 – Evolução do Consumo de Madeira, Estado de SP, 2000/09 (milhão de m³).

Consumo	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Celulose	12,76	12,58	15,86	15,86	16,24	18,85	20,66	21,61	23,52	24,93
Chapas	1,7	1,8	2,0	2,0	2,54	2,77	3,0	3,2	3,5	3,68
Processamento	14,46	14,38	17,86	17,86	18,78	21,62	23,62	24,81	27,02	28,16
Energia	12,14	12,16	12,12	12,12	12,27	12,5	12,70	12,89	13,4	12,73
Total	26,6	26,54	27,24	29,98	31,05	34,12	36,36	37,70	40,42	40,89

Fonte: Castanho Filho *et. al.* (2010).

A Tabela 2 apresenta a área ocupada e a produção estimada de pinus e eucalipto no estado de São Paulo no ano de 2008, a partir dela pode-se perceber que no ano de 2008 a produção de eucalipto já foi aproximadamente nove vezes maior que a de pinus. A Figura 4 apresenta a distribuição da área cultivada e o número de produtores nos anos de 2007 e 2008 para o pinus e o eucalipto.

TABELA 2 – Área Plantada e Produção de Eucalipto e Pinus, Estado de São Paulo, 2008.

Tipo	Área ocupada (ha)	Produção estimada (m ³)
Eucalipto	862.504	37.346.445
Pinus	151.860	4.328.018
Total	-	41.674.463

Fonte: Projeto LUPA 2007/2008 (SÃO PAULO, 2009).

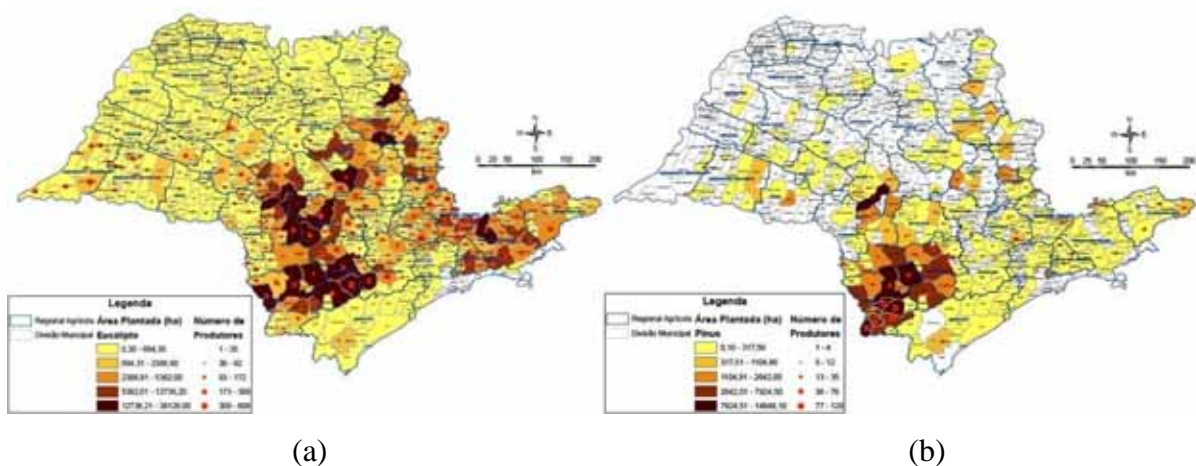


FIGURA 4 – Distribuição da área cultivada e número de produtores 2007/2008 de (a) eucalipto e (b) pinus.

Fonte: DISTRIBUIÇÃO 2009a, 2009b.

Nota-se que a produção de pinus (Figura 4a) no estado é muito menor que a produção de eucalipto, sendo que a maior concentração localiza-se no sudoeste paulista; a produção de eucalipto (Figura 4b) por sua vez alastra-se por praticamente todo o estado, ausente somente em pequenos pontos isolados, e as maiores produções, já não estão concentradas em somente uma região, mas há uma distribuição um pouco maior, que abrange principalmente o sudoeste paulista e a região de Botucatu.

Pelo que foi analisado nota-se que há uma possibilidade de substituição do pinus pelo eucalipto em processos industriais, pois a produção de eucalipto é muito maior que a produção de pinus.

Alguns estudos vêm sendo realizados para avaliar a viabilidade da substituição da madeira de pinus pela madeira de eucalipto na produção de compensados estruturais. Em um estudo realizado por Iwakiri et. al. (2007) relacionado a produção de painéis de compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* com diferentes formulações de fenol formaldeído, percebe-se que os resultados dos ensaios de resistência da linha de cola obtidos para as duas espécies, atendem aos requisitos mínimos exigidos pela norma EN 314 (1993), e que os valores médios de MOE e MOR em flexão estática obtidos para os painéis das duas espécies foram expressivamente superiores aos valores médios referenciados para painéis comerciais de *P. taeda* destinados para uso estrutural, sendo um indicativo do potencial dessas espécies para a produção de painéis compensados estruturais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir estão descritos os materiais utilizados no presente trabalho, bem como as metodologias aplicadas nas etapas de produção, experimentação e análise de resultados dos painéis de compensado.

4.1. Materiais

As matérias-primas principais utilizadas neste trabalho foram lâminas de madeira e três formulações diferentes de adesivos vinílicos, conhecidos como PVA. As lâminas de madeira utilizadas foram da espécie *Eucalyptus* sp., que foram doadas pela empresa Miraluz Indústria e Comércio de Madeira Ltda., localizada na cidade de Sengés/PR. Após o recebimento das lâminas, estas foram esquadrejadas nas dimensões de 50 x 50 cm, pelo fato da limitação dimensional imposta pela prensa utilizada na prensagem à quente. Este esquadreamento foi feito de modo a conseguir um melhor aproveitamento da lâmina, tentando retirar, ao máximo possível, imperfeições como rachaduras, lascas, nós etc. No total foram obtidas 104 lâminas após o esquadreamento.

Os três adesivos utilizados na produção dos compensados foram doados pela empresa Artecola Indústrias Químicas Ltda., e suas características estão apresentadas a seguir:

- VINYLTEC[®] 239: é uma dispersão aquosa de acetato de polivinila com plastificação externa. Este adesivo é indicado para colagem de madeiras, trabalhos de bancada ou montagem de painéis, bem como na laminação de HPL (Revestimento de Alta Pressão). Também é indicado para prensas à quente. Possui cor branca, viscosidade entre 8000 e 12000 cP, teor de sólidos de 48% a 52% e pH de 4,0 a 6,0.

- ARTECOL PVA[®] 1060: é uma dispersão aquosa à base de acetato de polivinila (PVA) modificado. Este adesivo é indicado para colagem de madeiras, trabalhos de bancada ou montagem de painéis, bem como na laminação de HPL (Revestimento de Alta Pressão). Também é indicado para prensas à quente e para colagem de madeira com concreto (colagem de *parquet*) e nivelamento de pisos. Possui cor branca, viscosidade entre 9500 e 14000 cP, teor de sólidos de 55% a 60% e pH de 3,5 a 5,5.

- ARTECOL PVA[®] 1810: é uma dispersão aquosa à base de acetato de polivinila (PVA). Trata-se de um adesivo de alto desempenho especialmente indicado para montagem de painéis em prensagem com ou sem aquecimento e rádio-frequência e também para “*finger joint*”. Possui cor branca, viscosidade entre 2000 e 3000 cP, teor de sólidos de 55% a 65% e pH de 2,9 a 3,5. É um adesivo PVA com classificação D3 de resistência à umidade de acordo com a norma DIN EM-204, o que o qualifica como um adesivo PVA com boa resistente à umidade.

4.2. Produção dos painéis

A produção dos painéis de compensado com as lâminas de eucalipto e os três adesivos ocorreu no Laboratório de Processamento de Madeira da Unesp - Campus de Bauru, onde das 104 lâminas esquadrejadas, primeiramente foram selecionadas 90 de melhor qualidade, sendo estas as que possuíam menor quantidade de rachaduras, nós ou orifícios para a produção de 18 painéis com cinco lâminas cada. Dentre as 90 lâminas de melhor qualidade, foram selecionadas as que seriam utilizadas nas faces do compensado, como sendo as que não possuíam rachaduras ou nós. A Figura 5 apresenta as lâminas já divididas para a montagem dos painéis.

Cada uma das lâminas possuía espessura média de 1,8 mm, o que resultaria em um painel de cinco lâminas com espessura aproximada de 9 mm.



FIGURA 5 – Separação das 90 lâminas utilizadas para a produção dos compensados.

Posteriormente, definiram-se seis condições de produção a serem analisadas levando em consideração o adesivo utilizado, o tempo e a temperatura de prensagem. A Tabela 3 apresenta as características das seis condições de produção e a nomenclatura de cada painel produzido.

TABELA 3 – Composição das seis condições de produção estudadas.

Condições	Nomenclatura do painel	Formulação do adesivo	Tempo de prensagem [min]	Temperatura de prensagem [°C]
1	1A	PVA 1810	15	60
	2A			
	3A			
2	4A	PVA 1810	10	90
	5A			
	6A			
3	1B	PVA 1060	15	60
	2B			
	3B			
4	4B	PVA 1060	10	90
	5B			
	6B			
5	1C	VINYLTEC 239	15	60
	2C			
	3C			
6	4C	VINYLTEC 239	10	90
	5C			
	6C			

Pode-se notar na nomenclatura dos painéis que as letras A, B e C, representam os adesivos PVA 1810, PVA 1060 e VINYLTEC 239, respectivamente e a numeração representa a combinação temperatura e tempo de prensagem (combinação T/t), que variam juntamente, sendo os números 1, 2 e 3 para 15 minutos/60°C e os números 4, 5 e 6 para 10 minutos/90°C.

Para haver um melhor controle da gramatura, primeiramente pesaram-se as cinco lâminas, ainda sem adesivo, que formariam o painel e, posteriormente, pesou-se o painel já com adesivo e prensado, para ver qual a quantidade de cola que realmente permaneceu no painel ao fim de sua produção.

A gramatura utilizada para os três adesivos foi de 120 g/m² para linha simples, a qual foi retirada da especificação técnica do fabricante. Como o painel possuía dimensões

aproximadas de 50 x 50 cm, para cada uma das quatro linhas de cola do painel deveriam ser pesadas 30 g de adesivo (valor este obtido através da gramatura estipulada e da área da linha de cola). Então com a utilização de uma balança analítica com precisão de 0,01g foram pesadas a quantidade de cola necessária para cada linha de cola dos painéis (Figura 6), ou seja, quatro porções por painel, com 10g a mais do que o necessário, sendo então 40g, pois concluiu-se que uma parte do adesivo ficaria retido no recipiente.



FIGURA 6 – Pesagem do adesivo para aplicação nas lâminas.

Após a pesagem dos quatro recipientes com o adesivo por painel houve a aplicação do mesmo sobre a face das lâminas (linha simples) com a utilização de uma espátula de silicone, como apresentado na Figura 7.



(A)

(B)

(C)

FIGURA 7 – Aplicação do adesivo; (A) aplicação do adesivo com espátula de silicone; (B) adesivo aplicado sobre a lâmina; (C) painel com todas as linhas de cola aplicadas.

Posteriormente, ocorreu a prensagem do painel que foi realizada em uma prensa hidráulica termo-mecânica da marca Hidral-Mac com capacidade de carga de 80Kgf e

temperatura máxima de 200°C (Figura 8). Primeiramente, foram prensados todos os painéis com temperatura de 60° C e tempo de 15 minutos, e posteriormente os painéis com 90°C e tempo de 10 minutos, pois se tornaria inviável aquecer e desaquecer a prensa a todo o momento, pois o desaquecimento da prensa é um processo que demanda tempo. Durante a prensagem foi mantida a pressão constante de 15 BAR (15,3 kgf/cm²).



FIGURA 8 – Prensa termo-mecânica Hidral-Mac.

Os 18 painéis produzidos foram esquadrejados para a retirada das imperfeições das bordas em uma esquadrejadeira do Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP de Itapeva. E foram armazenados para posterior produção dos corpos de prova.

4.3. Testes físico-mecânicos

Os painéis produzidos passaram por testes físicos e mecânicos para a sua caracterização. Os testes físicos realizados foram teor de umidade, massa específica, inchamento e absorção. Os testes mecânicos realizados foram a resistência à flexão estática paralela e perpendicular e cisalhamento na linha de cola.

4.3.1. Massa específica aparente

Os ensaios de massa específica aparente foram realizados com base na norma ABNT NBR 9485. Foram retirados seis corpos de prova para cada condição de produção, sendo dois de cada painel, com dimensões de 100 x 50 mm, exigidas pela norma. Primeiramente, todos os corpos de prova foram pesados em uma balança semi-analítica digital com precisão de 0,01g e tiveram seus pesos anotados. Posteriormente, foram retiradas as dimensões dos corpos de prova, foram feitas duas medidas para o comprimento, a espessura e a largura, e então foi encontrada a média aritmética de cada dimensão. Com os dados coletados foi então realizado o cálculo da massa específica aparente através da equação 1.

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

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

Os ensaios para determinação do teor de umidade foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR 9484, a qual não exige dimensões dos corpos de prova, então foram utilizados para este ensaio os mesmos confeccionados para a determinação da massa específica aparente, com uma única exigência de que as massas secas fossem de no mínimo 10g. Primeiramente, todos os corpos de prova foram pesados numa balança semi-analítica com precisão de 0,01g, e então levados à estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (Figura 9), permanecendo até atingirem massa constante. Com os dados de massa coletados pôde-se calcular os teores de umidade através da equação 2.

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

Onde: TU = teor de umidade (%);

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

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



FIGURA 9 – Corpos de prova utilizados para a determinação da massa específica e o teor de umidade na estufa.

Como pode ser visto na Figura 9, cada corpo de prova recebeu uma nomenclatura, de acordo com o painel do qual foi retirada a amostra. Tomando como exemplo o painel 3A e levando-se em consideração que foram retirados dois corpos de prova de cada painel, estes receberam a denominação de 3A1 e 3A2, este tipo de nomenclatura foi utilizada para todos os corpos de prova de todos os ensaios.

4.3.3. Inchamento

Os ensaios de inchamento foram realizados com base na norma da ABNT NBR 9535. Primeiramente, foram confeccionados os corpos de prova com dimensões de 60 mm x 10 mm (Figura 10), sendo que o comprimento (de 60 mm) deveria ser posicionado no sentido perpendicular à direção das fibras da lâmina externa. Após a sua confecção os corpos de prova foram lixados, para a retirada dos defeitos de corte. Foram confeccionados seis amostras por condição de produção, sendo duas de cada painel.

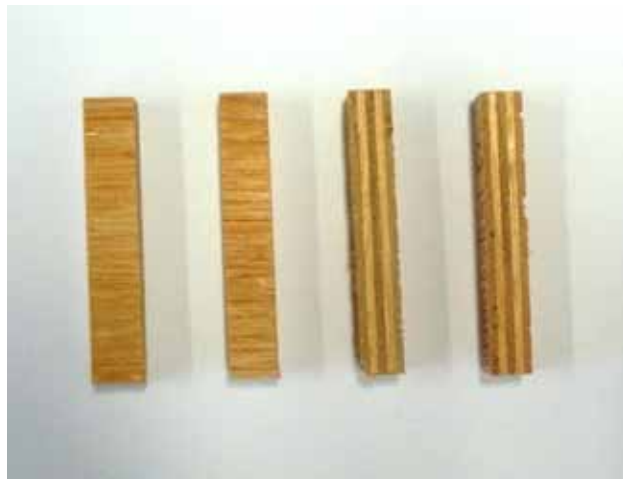


FIGURA 10 – Corpos de prova de inchamento segundo a NBR 9535.

Os mesmos foram então separados em duas séries de três, sendo uma série de controle conforme especificação normativa. Então, realizou-se a medição da espessura (medições realizadas sempre com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01mm) de cada corpo de prova na sua parte central. As amostras de controle foram secas em estufa por 24 horas a temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e, novamente, foram medidas suas espessuras. Os outros três corpos de prova foram submetidos à imersão em água por 24 horas e, então, foram medidas suas espessuras e posteriormente secos em estufa a temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e, novamente, foram medidas suas espessuras.

Com os dados obtidos foi possível calcular a recuperação em espessura, o inchamento mais recuperação em espessura e por fim o inchamento, através das equações 3, 4 e 5, respectivamente.

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

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);

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

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

Os ensaios de absorção de água foram realizados com base na norma ABNT NBR 9486. Os corpos de prova foram confeccionados com as dimensões de 75 mm x 25 mm x 9 mm, exigidas pela norma, com o comprimento perpendicular à direção das fibras da lâmina externa (Figura 11). Foram retiradas 6 amostras para cada condição de produção, sendo duas de cada painel.



FIGURA 11 – Corpo de prova de absorção de água segundo NBR 9486.

Inicialmente, os corpos de prova foram pesados em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g, para a determinação de sua massa inicial, logo após os mesmos foram submersos em água por 24 horas e, posteriormente, foram novamente pesados, para a determinação da massa final. Com estes dados pôde-se calcular a porcentagem de absorção de água dos corpos de prova, por meio 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);

4.3.5. Flexão estática

Os ensaios de flexão estática foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR 9533. Foram retirados das chapas de cada condição de produção seis corpos de prova, sendo dois de cada chapa, tanto para flexão paralela quanto para a flexão perpendicular. As amostras utilizadas nos testes de flexão paralela possuíam as lâminas externas com a direção das fibras paralelas ao comprimento, e as amostras para o teste flexão perpendicular possuíam

a direção das fibras externas perpendiculares ao comprimento, como pode ser visto na Figura 12.



FIGURA 12 – Direção das fibras nos corpos de prova de flexão estática. O da esquerda é perpendicular e o da direita paralelo.

As dimensões dos corpos de prova foram de 75 mm de largura e 9 mm de espessura, devido a espessura da chapa. O comprimento do corpo de prova foi determinado através da equação 7, de acordo com a especificação da norma NBR 9533.

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

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

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

Sendo a espessura do corpo de prova 9 mm, tem-se portanto através da equação 10 o comprimento de 275 mm. A Figura 13 apresenta o corpo de prova de flexão estática perpendicular nas dimensões citadas.



FIGURA 13 – Corpo de prova de flexão estática perpendicular.

Antes de se iniciar o ensaio foram medidas a espessura e a largura de todos os corpos de prova com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01mm e, também, foi feita a marcação em cada amostra do local onde iria se posicionar os dois apoios e o cutelo de carregamento.

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios EMIC, do Laboratório de Propriedade dos Materiais - UNESP Campus de Itapeva. Os corpos de prova foram arranjados de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 9355 (Figura 14), que exige que o cutelo de carregamento e os apoios sejam do mesmo comprimento e diâmetro, que o vão seja de 25 vezes a espessura, sendo neste caso então de 225 mm, já que a espessura é de 9 mm e que o corpo de prova deve estar perfeitamente centralizado, com 25 mm de seu comprimento além dos apoios dos dois lados.

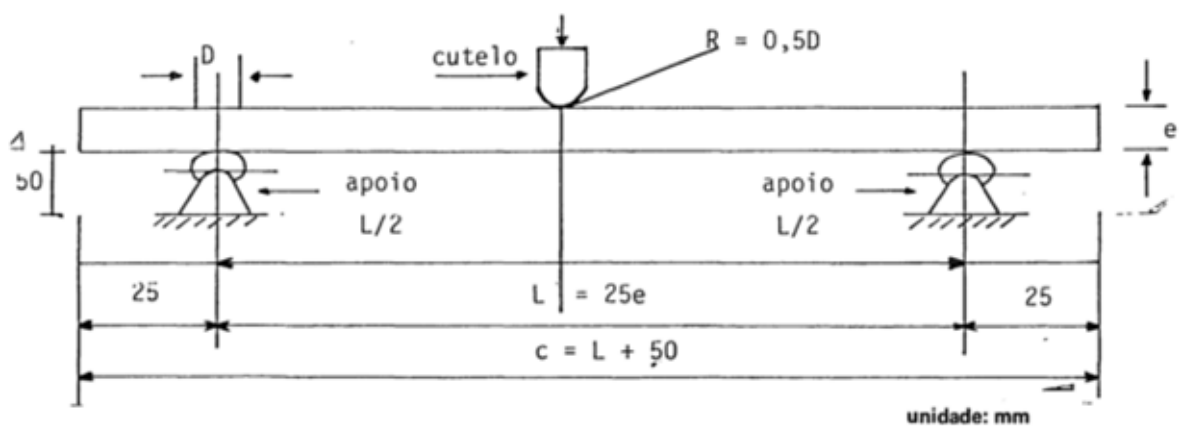


FIGURA 14 – Arranjo esquemático da máquina de ensaios. Fonte: ABNT NBR 9533.

Durante o ensaio não foi necessário a instalação de instrumento de medição de deformação, pois a máquina de ensaios utilizada, já lia a deformação automaticamente, e gerava também os resultados de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) automaticamente, não sendo necessário calculá-los. Mas da mesma forma as equações tiveram que ser introduzidas no programa da máquina para que os resultados fossem obtidos automaticamente. As equações 8 e 9 apresentam o cálculo do MOE e do MOR, respectivamente.

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

Onde: MOE é o módulo de elasticidade (MPa);

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

l é a largura do corpo de prova (mm);

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

$F_2 - F_1$ é o incremento de carga no trecho reto da curva carga-deformação (N);

$S_2 - S_1$ é o incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente a $F_2 - F_1$ (mm).

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

Onde: MOR é a tensão de ruptura a flexão estática (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$ é a carga de ruptura (N);

A Figura 15 apresenta o corpo de prova de flexão estática sendo ensaiado na máquina de ensaios universal da EMIC.

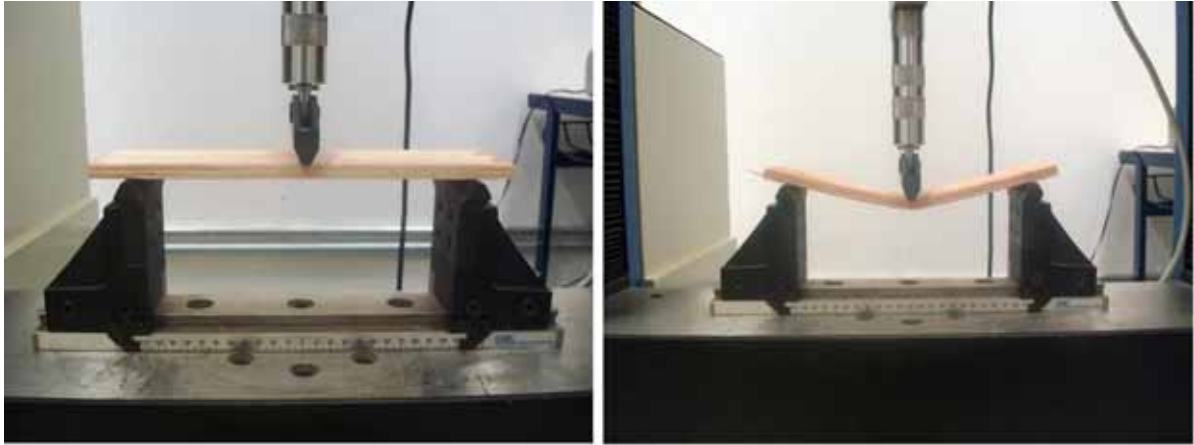


FIGURA 15 – Corpo de prova de flexão estática sendo ensaiado.

4.3.6. Cisalhamento na linha de cola

Os ensaios de cisalhamento na linha de cola foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR ISO 12466-1. Primeiramente, foram confeccionados seis corpos de prova por condição de produção, sendo dois de cada painel constituinte das condições. As dimensões das amostras estão apresentadas na Figura 16, onde percebe-se que os rasgos de ambos os lados alcançam o centro da terceira lâmina ou lâmina central do painel. As lâminas externas e central possuem a direção das fibras paralela ao comprimento dos corpos de prova, com a finalidade de que as outras duas lâminas, entre as linhas de colas testadas, estejam com a direção das fibras perpendicular ao comprimento, pois esta é uma exigência da norma.

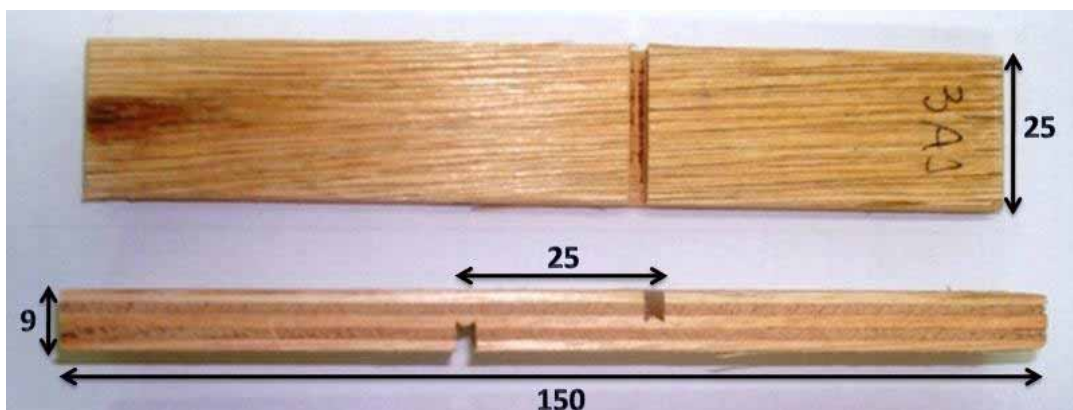


FIGURA 16 – Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola, dimensões em mm.

Os painéis por serem produzidos com adesivo vinílico, não apresentam característica de resistência à umidade, por este motivo os corpos de prova não passaram por um pré-tratamento. Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios EMIC do Laboratório de Propriedade dos Materiais - UNESP Campus de Itapeva, na qual os corpos de prova foram ensaiados com velocidade de 120 N/s, proporcionando um tempo de ensaio de em média 35 segundos, dentro do exigido pela norma que é de 30 ± 10 s. A Figura 17 apresenta o corpo de prova sendo ensaiado.

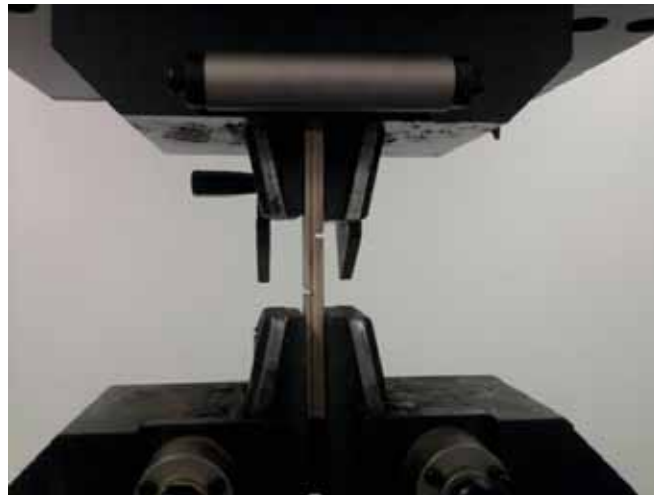


FIGURA 17 – Corpo de prova de cisalhamento na linha de cola na máquina de ensaios.

Após todos os ensaios terem sido realizados, os corpos de prova foram submetidos a uma análise visual do percentual de ruptura coesiva da madeira, tendo como base o anexo A da norma ABNT NBR 12466-1.

4.4. Análise Estatística

Foi realizado um delineamento fatorial com dois fatores, sendo um correspondente aos adesivos e outro correspondente à combinação T/t. O fator correspondente aos adesivos possui três níveis, sendo cada nível um dos adesivos utilizados e o fator correspondente à combinação T/t possui dois níveis, sendo um 60°C e 15 minutos e o outro 90°C e 10 minutos, resultando em seis níveis que correspondem às seis condições de produção descritas na seção 4.1.

A análise estatística utilizada foi a Análise de Variância com nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. Nos casos em que houve diferenças significativas foi necessário realizar o Teste de Tukey, com o intuito de identificar estas diferenças. Para a análise estatística foi utilizado o software R versão 2.10.0 de 2009.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir estão apresentados os resultados obtidos com os testes físicos e mecânicos para cada uma das seis condições de produção, juntamente com a análise estatística dos mesmos e a sua comparação com a literatura.

5.1. Ensaio físicos

A Tabela 4 apresenta as médias dos ensaios físicos para cada uma das seis condições de produção.

TABELA 4 – Resultados médios dos ensaios físicos para as seis condições de produção.

Condições de produção	Massa específica (g/cm³)	Teor de umidade (%)	Inchamento (%)	Absorção (%)
1	0,63	12,27	6,31	38,73
2	0,61	12,83	6,46	36,57
3	0,60	12,74	6,94	49,11
4	0,61	13,04	5,43	38,73
5	0,59	12,55	6,06	47,74
6	0,57	12,75	6,86	42,42

5.1.1. Massa Específica

A Figura 18 apresenta o gráfico com as médias das massas específicas para cada uma das condições de produção.

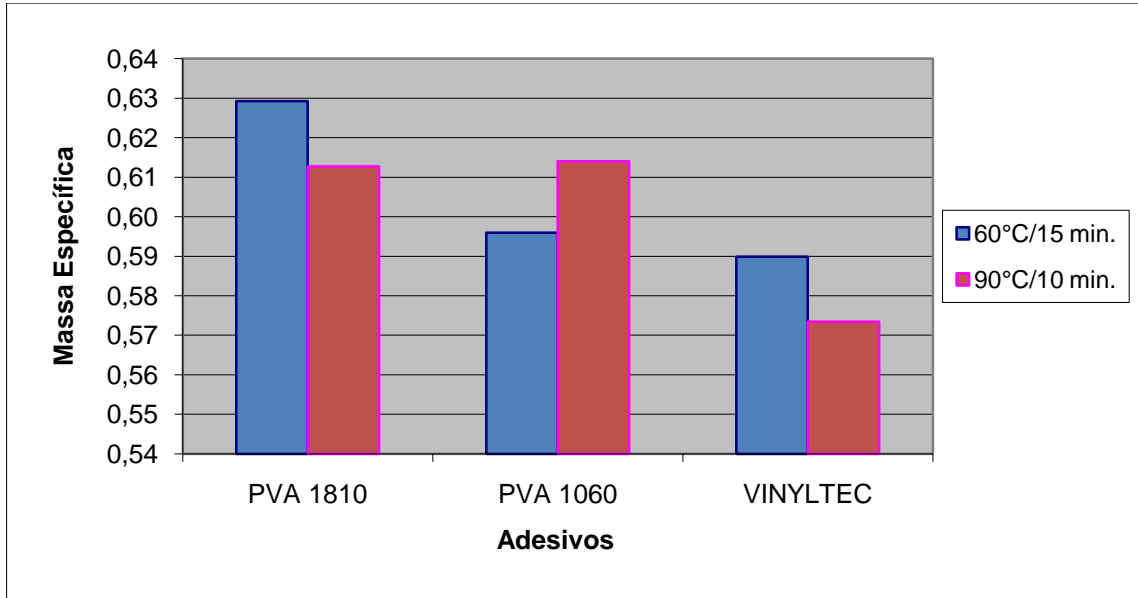


FIGURA 18 – Gráfico da massa específica média em cada condição de produção.

A análise de variância para os adesivos ($F_{2,30} = 8,75$; $p < 0,05$) mostrou que há diferença significativa entre os adesivos. Já análise de variância para a combinação T/t ($F_{1,30} = 0,46$; $p > 0,05$) não houve diferença significativa e entre as condições de produção ($F_{2,30} = 2,19$; $p > 0,05$) mostrou que não houve interação, portanto pode-se notar que a combinação de tempo e temperatura não influenciou na densidade dos compensados.

A Tabela 5 mostra as médias de cada condição de produção juntamente com o teste de Tukey para cada adesivo e combinação T/t. Pode-se notar então que existe diferença significativa entre as médias do adesivo PVA 1018 e o VINYLTEC, onde a média da massa específica para o primeiro é maior. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de o adesivo PVA 1018 possuir maior teor de sólidos, entre 55 e 65%, enquanto o VINYLTEC possui o teor de sólidos entre 48 e 52%.

TABELA 5 – Médias de massa específica (g/cm^3) para as seis condições de produção.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	0,63	0,60	0,59	0,61a
90°C/10 min.	0,61	0,61	0,57	0,60a
Média Adesivos	0,62A*	0,60AB	0,58B	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

5.1.2. Teor de umidade

A Figura 19 apresenta o gráfico contendo as médias de teor de umidade para cada condição de produção estudada.

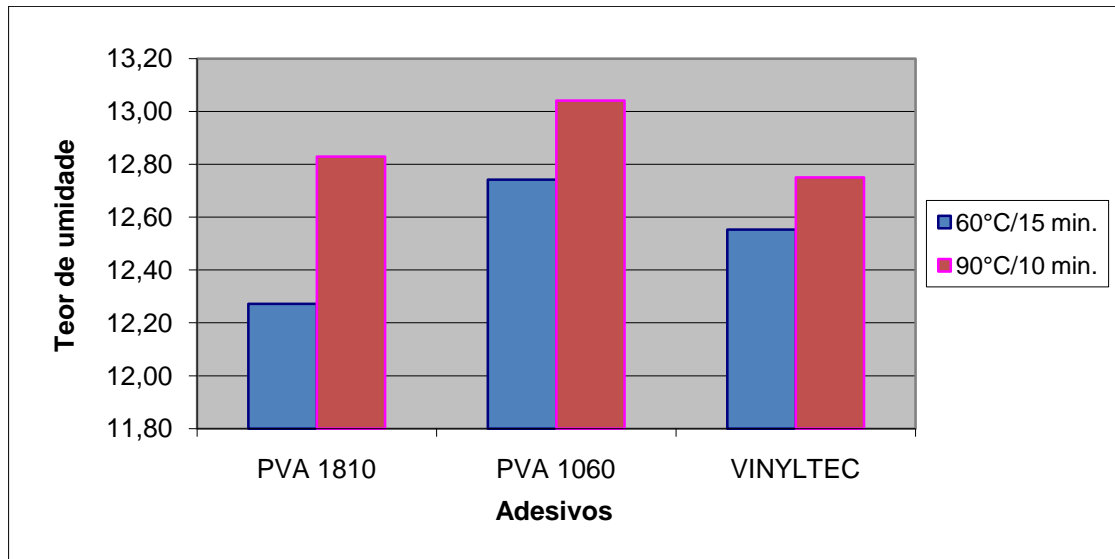


FIGURA 19 – Gráfico do teor de umidade médio em cada condição de produção.

Como pode ser visto no gráfico da Figura 19 os teores de umidade variaram entre 12 e 13%, valores um pouco acima dos padrões para testes laboratoriais, que segundo Iwakiri et. al. (2006) variam de 11 a 12%.

A análise de variância realizada entre os adesivos ($F_{2,30} = 0,97$; $p > 0,05$) e entre a combinação T/t ($F_{1,30} = 2,91$; $p > 0,05$) mostrou que não houve diferença significativa e entre as seis condições de produção ($F_{2,30} = 0,27$; $p > 0,05$) não houve interação, com isso nota-se que o tipo de adesivo e a combinação T/t não influenciaram no teor de umidade dos corpos de prova.

5.1.3. Absorção

A Figura 20 apresenta o gráfico com as médias da absorção de água para cada uma das seis condições de produção.

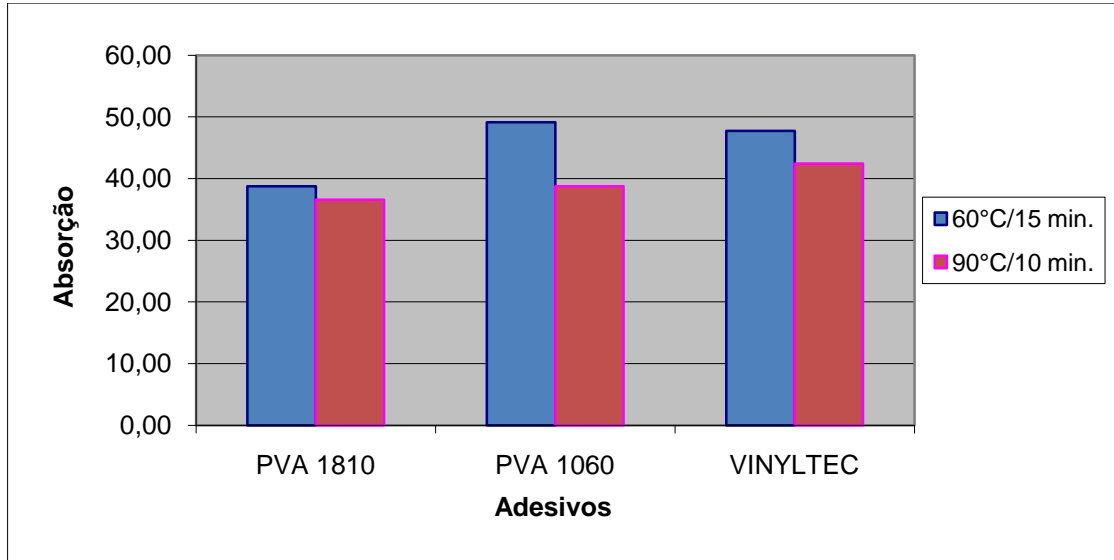


FIGURA 20 – Gráfico da absorção de água média em cada condição de produção.

A análise de variância para os adesivos ($F_{2,30} = 9,7$; $p < 0,05$) mostrou que existe diferença significativa entre as absorções. A Tabela 6 apresenta o teste de Tukey onde pode-se notar que o adesivo PVA 1810 possui absorção significativamente menor que os outros dois, que por sua vez não diferiram um do outro, comprovando o fato de ele ser classificado como D3 segundo a norma DIN EN-204, o que o torna um adesivo PVA resistente a umidade, absorvendo assim uma menor quantidade de água. Isto também pode ser percebido também através da Figura 20.

Em um trabalho realizado por Bortolletto Junior (2003) onde foram produzidos compensados de 11 espécies diferentes de eucalipto pode-se comparar a absorção média conseguida com o PVA 1810 com a absorção dos painéis de compensado de *Eucalyptus torrelliana* e *Eucalyptus saligna* produzidos com fenol-formaldeído.

Houve também diferença significativa entre médias das combinações T/t ($F_{1,30} = 16,28$; $p < 0,05$), mas não houve interação entre as condições de produção ($F_{2,30} = 2,63$; $p > 0,05$), com isso percebe-se que entre si as combinações T/t são diferentes, mas combinadas com os adesivos, de alguma forma não influenciaram nos valores de absorção.

TABELA 6 – Médias da absorção de água (%) para as seis condições de produção.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	38,73	49,11	47,74	45,19a
90°C/10 min.	36,57	38,73	42,42	39,24b
Média Adesivos	37,65B*	43,92A	45,08A	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

5.1.4. Inchamento

A Figura 21 apresenta os valores encontrados de inchamento para cada condição de produção.

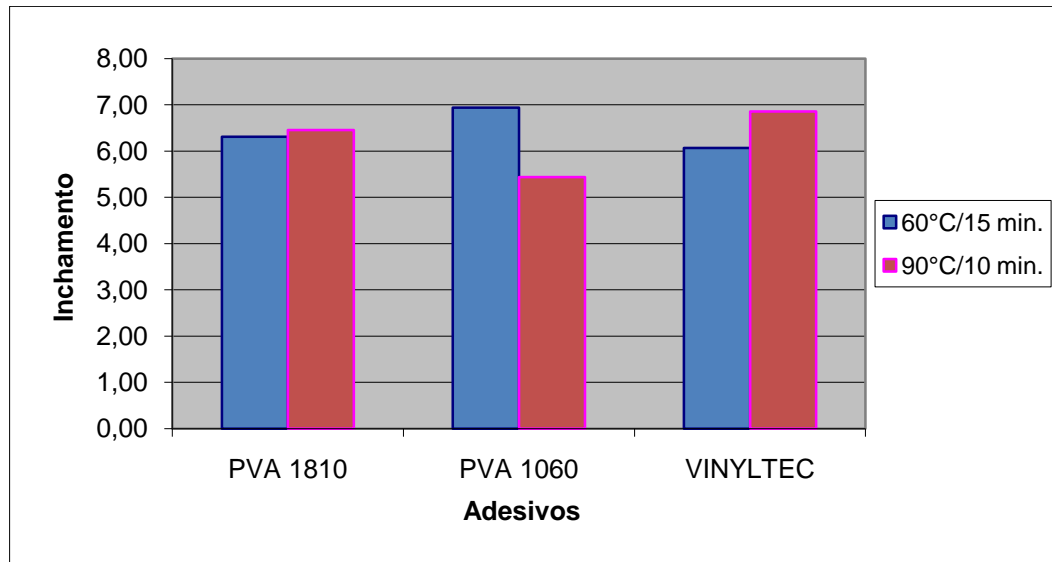


FIGURA 21 – Gráfico do Inchamento para cada condição de produção.

Como pode ser visto os valores de inchamento encontrados estão entre 5 e 7 % , os quais podem ser considerados baixos principalmente comparando-se aos inchamentos esperados para painéis aglomerados que são de 12%. Análises comparativas dos resultados de inchamento não puderam ser realizadas com outros autores, pois os trabalhos consultados não apresentaram a realização deste ensaio. Também não foi possível a realização da análise estatística para este ensaio, pois pela norma o inchamento para cada condição de produção resultou em um único valor e análise estatística não pode ser realizada para um único valor.

5.2. Ensaio mecânicos

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios mecânicos de cisalhamento na linha de cola e de flexão estática paralela e perpendicular.

5.2.1. Flexão estática paralela

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados médios de módulo de ruptura (MOR) paralelo para as seis condições de produção, juntamente com a média de cada adesivo e das combinações T/t.

TABELA 7 – Médias do módulo de ruptura (MPa) para a flexão estática paralela.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	61,33	54,07	48,61	54,67a
90°C/10 min.	60,47	48,14	33,18	47,26b
Média Adesivos	60,90A*	51,10B	40,89C	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Realizando a análise de variância para os adesivos ($F_{2,30} = 26,38$; $p < 0,05$) e para a combinação T/t ($F_{1,30} = 10,85$; $p < 0,05$) mostrou que houve diferença significativa, e para as seis condições de produção ($F_{2,30} = 3,6$; $p < 0,05$) houve interação. Através da realização do teste Tukey (Tabela 7) percebeu-se que os três adesivos diferem estatisticamente um do outro com relação as suas médias de MOR, onde o adesivo PVA 1810 obteve um melhor desempenho com um MOR de 60,90 MPa e o pior desempenho foi percebido para o VINYLTEC com um MOR de 40,89, esta diferença pode ser melhor visualizada na Figura 22.

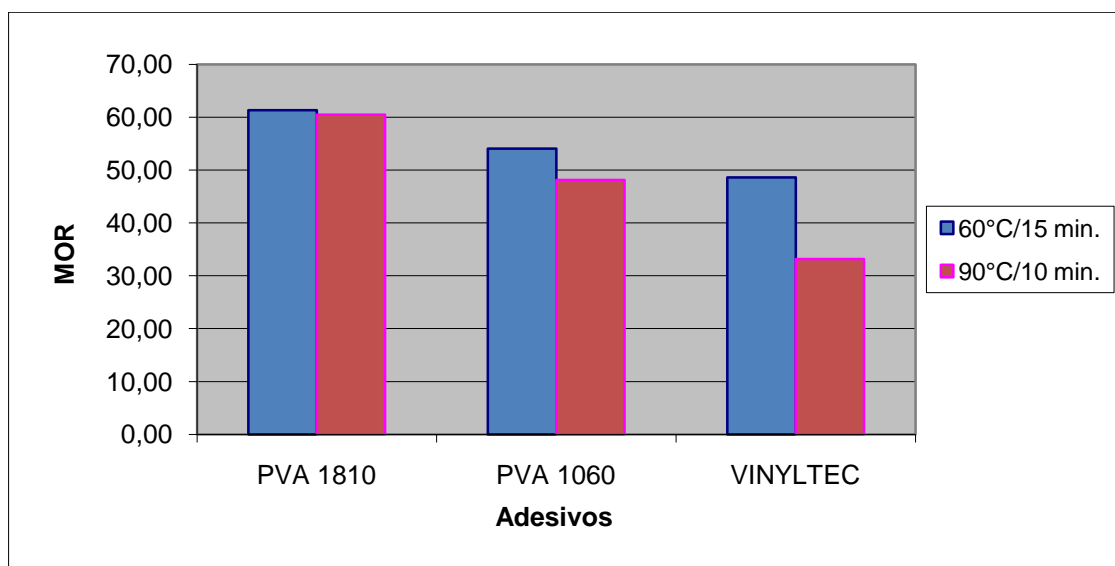


FIGURA 22 – Gráfico das médias do módulo de ruptura para flexão estática paralela em cada condição de produção.

Ao comparar estes valores aos encontrados por Bortoletto Júnior (2003) com MOR variando de 84 a 130 MPa o qual testou 11 espécies de eucalipto com fenol-formaldeído para produção de compensados, nota-se que foi obtido um valor menor, mas já era um valor esperado, pois o fenol-formaldeído é um adesivo estrutural, mais resistente, enquanto o PVA já não possui esta mesma característica.

Em um estudo realizado por Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) onde foram produzidos compensados de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com uréia-formaldeído obteve-se valores médios de MOR variando de 79 a 93 MPa, valores estes também superiores aos adesivos testados, pois uréia formaldeído também é um adesivo mais resistente que o PVA.

A Tabela 8 apresenta os resultados médios de módulo de elasticidade para a flexão estática paralela.

TABELA 8 – Médias do módulo de elasticidade (MPa) para a flexão estática paralela.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	9082,00	8228,50	7706,17	8338,89a
90°C/10 min.	9026,50	6149,67	3436,33	6204,17b
Média Adesivos	9054,25A*	7189,08B	5571,25C	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

A análise de variância realizada entre os adesivos ($F_{2,30} = 19,44$; $p < 0,05$) e entre a combinação T/t ($F_{1,30} = 21,88$; $p < 0,05$) mostrou que existe diferença significativa, e entre as seis condições de produção ($F_{2,30} = 7,1$; $p < 0,05$) houve interação. Através do teste de Tukey (Tabela 8) percebe-se que as médias das combinações tempo e temperatura diferiram entre si, o mesmo ocorreu com os adesivos, as médias dos três adesivos diferiram entre si mostrando que o adesivo PVA 1810 possui o melhor valor de módulo de elasticidade 9054,25 MPa, ou seja, ele resiste mais à deformação que os outros adesivos, enquanto o adesivo VINYLTEC possui o menor módulo de elasticidade 5571,25 MPa. Na Figura 23 percebe-se melhor esta variação.

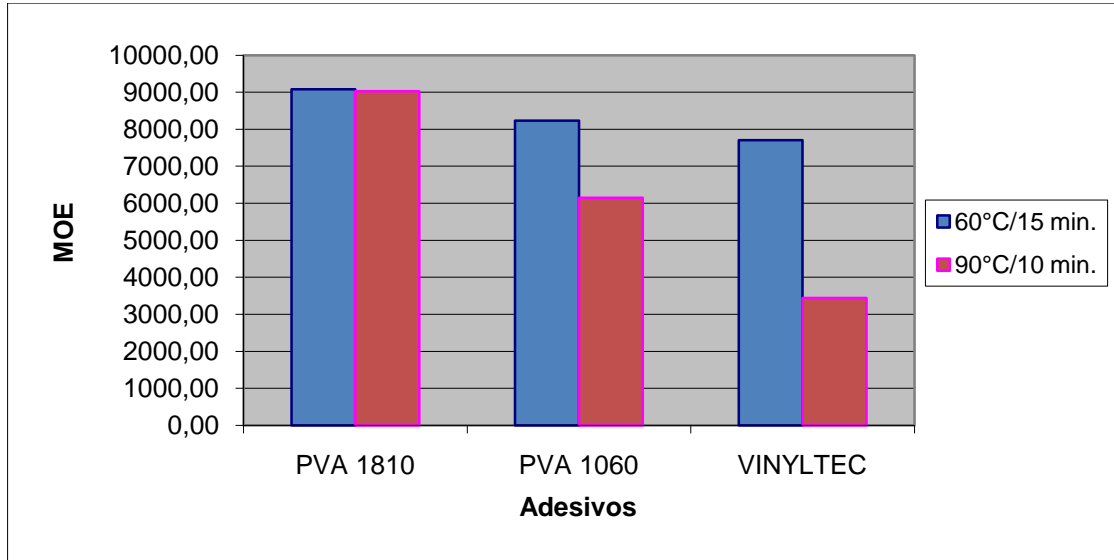


FIGURA 23 – Gráfico das médias do módulo de elasticidade para flexão estática paralela em cada condição de produção.

Comparando-se com os valores obtidos por Bortoletto Júnior (2003) onde encontra-se MOE para flexão estática paralela variando de 12500 a 19600 MPa em média, percebe-se que os adesivos PVA testados possuem valores de MOE bem menores, ou seja não seria um bom substituto para o fenol formaldeído neste caso.

O mesmo ocorre comparando-se com os valores obtidos por Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) os quais obtiveram módulos de elasticidade variando de 12700 e 13900 MPa. Também não sendo um bom substituto para a uréia formaldeído neste caso.

5.2.2. Flexão estática perpendicular

A Tabela 9 apresenta os valores médios para o módulo de ruptura na flexão estática perpendicular.

TABELA 9 – Médias do módulo de ruptura (MPa) para a flexão estática perpendicular.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	29,56	27,02	27,49	28,02a
90°C/10 min.	31,37	26,99	21,59	26,65a
Média Adesivos	30,47A*	27,00AB	24,54B	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

A análise de variância entre os adesivos ($F_{2,30} = 4,30$; $p < 0,05$) mostrou que há diferença significativa entre os módulos de ruptura dos adesivos, já a análise de variância realizada para a combinação T/t ($F_{2,30} = 0,69$; $p > 0,05$) mostrou que não houve diferença significativa, e entre as seis condições de produção ($F_{2,30} = 1,97$; $p > 0,05$) não houve interação, portanto o tempo e a temperatura mesmo combinados com os adesivos não influenciaram nesta propriedade. O teste Tukey (Tabela 9) apresenta a diferença existente entre os adesivos PVA 1810 e o VINYLTEC, com o primeiro obtendo média de MOR superior sendo ela de 30,47 MPa, enquanto a outra de 24,54 MPa. Nota-se então que novamente o adesivo VINYLTEC obteve o pior resultado entre os três. A Figura 24 apresenta os resultados obtidos.

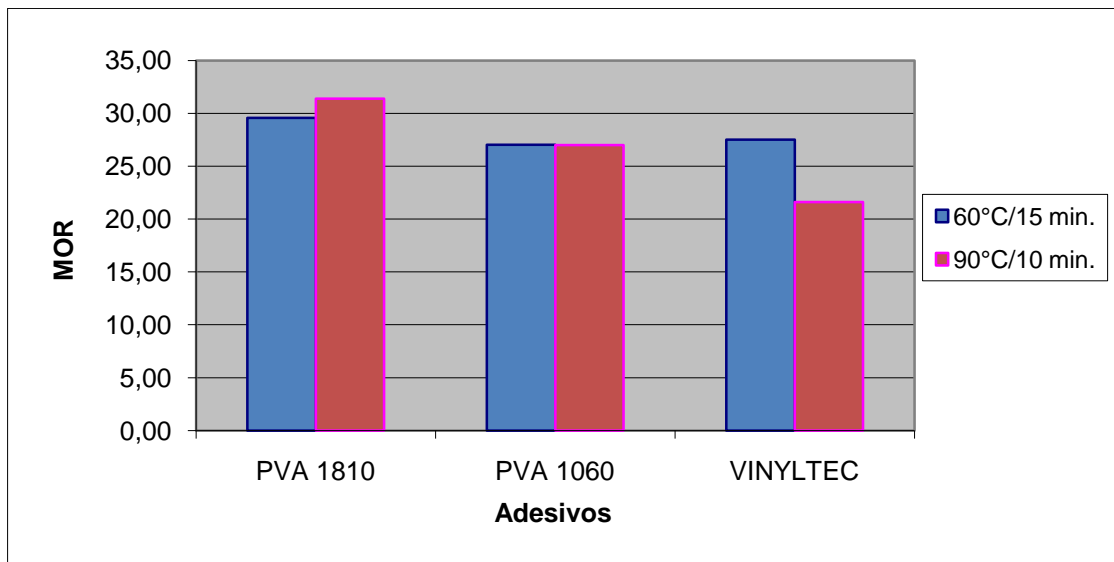


FIGURA 24 – Gráfico das médias do módulo de ruptura para flexão estática perpendicular em cada condição de produção.

Os valores obtidos por Bortoletto Junior (2003) para o módulo de ruptura à flexão estática perpendicular variaram de 46 a 64 MPa, os quais foram superiores aos valores médios obtidos para as três formulações de PVA, principalmente pelo fato de o fenol-formaldeído ser um adesivo estrutural.

O mesmo fato pode ser constatado para o estudo realizado por Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) onde os valores de MOR perpendicular variaram de 35 a 41 MPa.

A Tabela 10 apresenta os valores obtidos para o módulo de elasticidade na flexão estática perpendicular.

TABELA 10 – Médias do módulo de elasticidade (MPa) para a flexão estática perpendicular.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	2904,67	2712,17	2596,67	2737,83a
90°C/10 min.	2908,17	2365,67	2119,75	2464,53b
Média Adesivos	2906,42A*	2538,92B	2358,21C	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

A análise de variância realizada para os adesivos ($F_{2,30} = 18,06$; $p < 0,05$) e para a combinação T/t ($F_{1,30} = 14,78$; $p < 0,05$) mostrou que houve diferença significativa, e para as seis condições de produção ($F_{2,30} = 4,91$; $p < 0,05$) houve interação. O teste Tukey (Tabela 10) mostrou que realmente houve diferença entre as combinações tempo e temperatura, e que as médias dos três adesivos obtiveram diferenças significativas entre si, mostrando novamente que o adesivo PVA 1810, possui características superiores aos outros dois, enquanto o adesivo VINYLTEC possui características inferiores. Na Figura 25 estão apresentados os valores médios de módulo de elasticidade, na qual pode-se perceber a variação existente entre os adesivos e a combinação T/t.

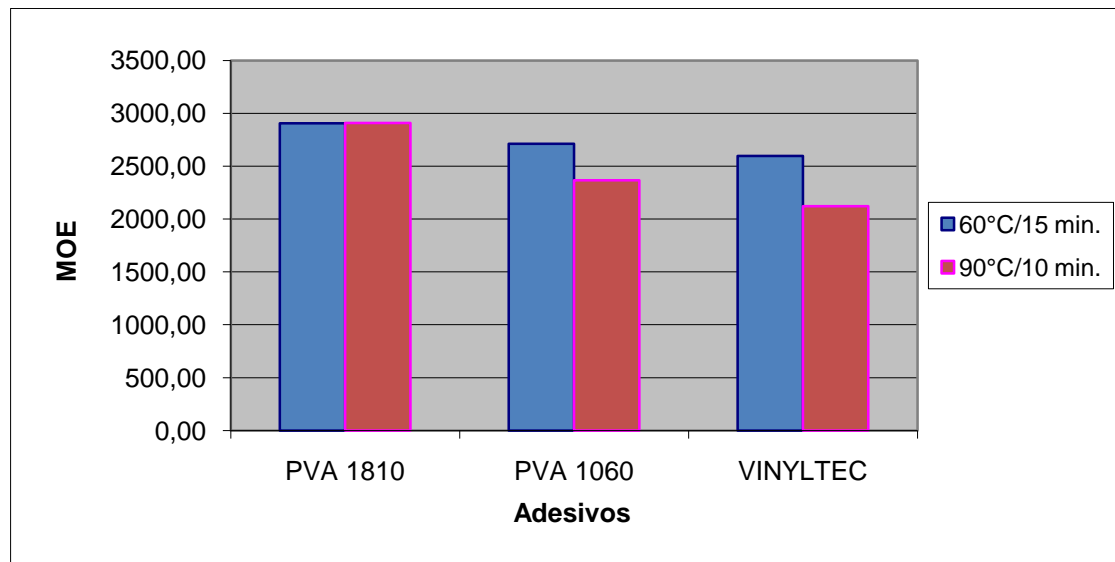


FIGURA 25 – Gráfico das médias do módulo de elasticidade para flexão estática perpendicular em cada condição de produção.

Bortoletto Júnior (2003) apresentou valores de MOE perpendicular superiores aos obtidos neste trabalho, variando de 3400 a 5400 MPa, pelo fato principal de ter utilizado o adesivo estrutural de fenol-formaldeído.

O mesmo ocorreu para o adesivo de uréia-formaldeído testado por Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004), o qual apresentou valores de MOE perpendicular variando de 3500 a 3900 MPa.

Pode-se perceber no geral que para a flexão estática tanto perpendicular quanto paralela o adesivo PVA 1810 possui características superiores aos outros dois. Mas comparando-se aos adesivos de fenol-formaldeído e uréia-formaldeído todos os três adesivos PVA possuem características de resistência a flexão baixas, não devendo ser utilizado como um adesivo estrutural.

5.2.3. Cisalhamento na linha de cola

A Tabela 11 apresenta os resultados médios de cisalhamento na linha de cola obtidos para todas as condições de produção.

TABELA 11 – Médias do cisalhamento na linha de cola (MPa) para cada condição de produção.

	PVA 1810	PVA 1060	VINYLTEC	Média T/t
60°C/15 min.	2,61	2,97	3,29	2,96a
90°C/10 min.	3,58	3,44	3,16	3,39a
Média Adesivos	3,09A*	3,21A	3,22A	

*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey, $\alpha = 0,05$).

A análise de variância realizada para os adesivos ($F_{2,30} = 0,06$; $p > 0,05$) e para as combinações T/t ($F_{1,30} = 1,78$; $p > 0,05$) mostrou que não houve diferenças significativas, e para as seis condições de produção ($F_{2,30} = 0,95$; $p > 0,05$) não ocorreu interação. Esta é uma tendência diferente do que ocorreu na flexão estática, na qual o adesivo PVA 1810 possuiu valores os superiores aos outros. Nota-se então que para o cisalhamento na linha de cola os três adesivos possuem as mesmas características, não diferindo entre si, e também não houve alguma influência do tempo ou da temperatura. A Figura 26 apresenta o gráfico com as médias dos valores em cada condição de produção.

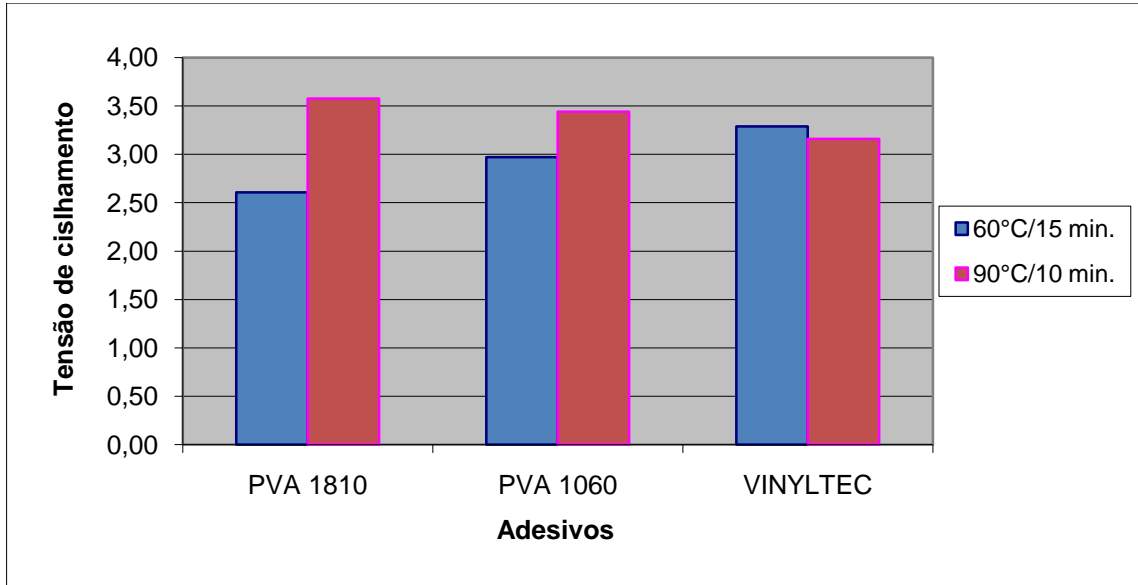


FIGURA 26 – Gráfico das médias do cisalhamento na linha de cola em cada condição de produção.

No cisalhamento da linha de cola houve também uma tendência diferente comparando com outros adesivos.

No estudo realizado por Bortoletto Júnior (2003) com fenol-formaldeído esta característica variou de 2,5 à 2,7 MPa, enquanto as médias para os três adesivos PVA foram superiores a 3 MPa, ou seja, comparando com o FF que é um adesivo estrutural os adesivos PVA testados obtiveram valores superiores.

Almeida; Bortoletto Junior e Jankowsky (2004) mostraram resultados também inferiores de 1,91 e 1,68 MPa, ou seja, os adesivos PVA mostraram-se superiores se comparados também com a uréia-formaldeído.

Em um estudo realizado por Çolakoglu e Demirkir (2005) utilizando uréia-formaldeído com bórax em compensados, mostrou também resultados equivalentes a metade dos obtidos com os três adesivos PVA.

Portanto no caso do cisalhamento na linha de cola os adesivos testados mostraram-se superiores tanto em relação ao FF quanto a UF, podendo substituir estes adesivos em condições nas quais o cisalhamento na linha de cola torna-se a característica mais exigida.

6. CONCLUSÃO

Pôde-se concluir com este trabalho que dentre os três adesivos PVA testados o qual apresentou melhor desempenho em praticamente todos os ensaios foi o PVA 1810, que obteve a menor absorção de água, maior densidade do painel, e maior resistência à flexão estática tanto paralela quanto perpendicular, conseqüentemente maiores valores para os módulo de ruptura e de elasticidade.

Além do mais o PVA 1810 apresentou porcentagem de absorção de água comparáveis àquelas apresentadas para compensados de eucalipto produzidos com resina fenólica.

Com relação à flexão estática tanto paralela quanto perpendicular os três adesivos apresentaram valores bem abaixo àqueles encontrados na literatura para compensados produzidos com fenol-formaldeído e uréia-formaldeído, portanto não seriam adesivos recomendados para a substituição destes adesivos comumente utilizados em aplicações que exijam esforços de flexão. No entanto, algumas aplicações para uso interno e não estrutural os painéis produzidos com o adesivo PVA 1810 apresentaram propriedades favoráveis.

Apesar disso os três adesivos apresentaram valores de resistência ao cisalhamento na linha cola grandes e iguais entre si. Tal resultado pode ser justificado pelo fato do adesivo PVA ter como característica especial seu desempenho plástico e o mesmo foi favorável quando solicitado ao esforço de cisalhamento, pois ele absorveu a deformação plástica e conseguiu aumentar a resistência nesta solicitação.

Com relação aos tempos e temperaturas adotados, foi difícil chegar a uma conclusão da sua influência nos painéis, ou qual das duas combinações adotadas foi a que obteve melhor desempenho, já que não se sabe dizer se a influência foi do tempo ou da temperatura, por isso recomenda-se para trabalhos futuros isolar apenas a variável tempo, ou temperatura, com a intenção de chegar em uma conclusão sobre sua influência no painel produzido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9484**: Compensado: determinação do teor de umidade. 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 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 ISO 12466-1**: Compensado: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Produtos de Madeira**. Curitiba, n.15, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Fluxograma de produção de compensado de madeira**. Curitiba, n.20, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Fluxograma de produção de lâminas de madeira**. Curitiba, n.19, 2004c.

ALMEIDA R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR G.; JAMKOWSKY I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 11, n. 1, p. 14-24, ago./dez. 2004.

BALDWIN, R. F. **Plywood and veneer-based products: Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1995.

BERGLUND, L.; ROWELL, M. R. Wood Composites. In: ROWELL, M. R. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. Cap. 10.

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

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

CASTANHO FILHO, E. P. et al. Índice de preços de eucalipto para o estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, SP, v. 40, n.3, p. 29-40, mar. 2010.

ÇOLAKOĞLU G.; DEMIRKIR C. Characteristics of plywood panels produced with urea formaldehyde resin (UF) containing borax. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 64, n. 3, p. 250-251, dez. 2005.

CURRIER, R. A. The importance of lumber seasoning in wood gluing. **Western Dry Kiln Clubs**, Corvallis, OR. 4 p. 1961; Disponível em: <http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/4872/1/Importance_Lumber_ocr.pdf> . Acesso em 27/01/2011.

DESPRES A. et. al. Colourless formaldehyde-free urea resin adhesives for wood panels. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 68, n. 1, p. 13-20, maio 2009.

DISTRIBUIÇÃO geográfica de área cultivada e número de produtores, 2007/2008. In: **Levantamento Censitário das unidades de produção agropecuária do Estado de São Paulo**, 2009a. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/mapaculturas/Eucalipto.php>. Acesso em: 10/03/2011

DISTRIBUIÇÃO geográfica de área cultivada e número de produtores, 2007/2008. In: **Levantamento Censitário das unidades de produção agropecuária do Estado de São Paulo**, 2009b. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/mapaculturas/Pinus.php>. Acesso em: 10/03/2011

FRIHART, R. C. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, M. R. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. Cap. 9.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials: Bond Formation and Performance. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 10.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: Document Center Xerox – USC, 2000. 242 p.

HOONG Y. B. et. al. Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol–formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 30, n. 3, p. 416-421, dez. 2009

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI S. et. al. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, out. 2006.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p. 363-367, set./dez. 2007.

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

MACHADO, J. S. **Placas de derivados de madeira: tipos de placas e sua especificação**. Lisboa: LNEC Divisão de edições e Artes Gráficas, 2005.

MAMINSKI M. L.; BORYSIUK P.; ZADO A. Study on the water resistance of plywood bonded with UF-glutaraldehyde adhesive. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 66, n. 6, p. 469-470, abril 2008.

MOUBARIK A. et. al. Characterization of a formaldehyde-free cornstarch-tannin wood adhesive for interior plywood. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 68, n. 4, p. 427-433, dez. 2009.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO – SIF. **Revista da madeira**, set. 2003.

R Development Core Team . **R: A language and environment for statistical computing.** Version 2.10.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. Disponível em: <http://www.R-project.org>.

SÃO PAULO (Estado). **Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agrícola – LUPA 2007/2008.** Disponível em: São Paulo: CATI/IEA/SAA, 2009a.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-Based Composite Materials: Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook:** wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 11.

UMAÑA, C. L. A.; BRITO, E. O. Cozimento da madeira altera qualidade das lâminas. **Revista da madeira**, n.78, ano 14, fev. 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=78eid=485>. Acesso em: 16 mar. 2011.