

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia de Construção Civil**

ISSN 0103-9830

**BT/PCC/149**

---

**Painéis à Base de Madeira**

---

**José Tarcisio da Silva Oliveira**  
**Amantino Ramos de Freitas**

São Paulo - 1995

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Construção Civil  
Boletim Técnico - Série BT/PCC

Diretor: Prof. Dr. Célio Taniguchi  
Vice-Diretor: Prof. Dr. Eduardo Camilher Damasceno

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Paulo Helene  
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Vahan Agopyan

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alex Kenya Abiko  
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.  
Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco  
Profa. Dra. Maria Alba Cincotto  
Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves  
Prof. Dr. Vahan Agopyan

Coordenador Técnico  
Prof. Dr. Alex Kenya Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Oliveira, José Tarcísio da Silva

Painéis à base de madeira / J.T. da S. Oliveira,  
A.R. de Freitas. -- São Paulo : EPUSP, 1995.

41p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica  
da USP. Departamento de Engenharia de Construção  
Civil, BT/PCC/149)

1. Madeira - Painéis 2. Madeira (Materiais de  
construção) I. Freitas, Amantino Ramos de II. Uni-  
versidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departa-  
mento de Engenharia de Construção Civil III. Título  
IV. Série

CDU 674.8  
691.11

## CONTEÚDO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. ADESIVOS PARA MADEIRA.....	02
2.1. Mecanismo de Adesão.....	02
2.1.1. O Processo Físico-Químico da Colagem.....	03
2.1.2. União Através das Reações de Superfícies da Madeira.....	05
2.2. Adesivos Sintéticos.....	06
2.2.1. Adesivos à Base de Fenol-Formaldeído.....	06
2.2.2. Adesivos à Base de Uréia-Formaldeído.....	07
2.2.3. Adesivos à Base de Resorcinol-Formaldeído.....	07
2.2.4. Adesivos à Base de Isocianatos.....	08
2.2.5. Resinas Adesivas Termoplásticas.....	09
2.3. Adesivos de Origem Natural.....	10
2.3.1. Cola Animal.....	10
2.3.2. Cola Peixe.....	10
2.3.3. Cola de Albumina de Sangue.....	11
2.3.4. Cola de Caseína.....	11
2.3.5. Cola de Soja.....	12
2.3.6. Adesivos de Tanino.....	12
3. MADEIRA COMPENSADA.....	13
3.1. Definição.....	13
3.2. Classificação.....	13
3.3. Características.....	14
3.3.1. Propriedades Físicas e Mecânicas do Compensado.....	15

3.4. Etapas de Produção.....	15
3.4.1. Preparo da Tora.....	15
3.4.2. A Obtenção das Lâminas.....	16
3.4.3. Secagem e Classificação das Lâminas.....	17
3.4.4. Junção das lâminas e Colagem das Bordas.....	17
3.4.5. Aplicação de Adesivo.....	18
3.4.6. Prensagem do Compensado.....	18
<b>4. CHAPAS DE PARTÍCULAS.....</b>	<b>19</b>
4.1. As Características e os Principais Fatores que Afetam o Desempenho das Chapas de Partículas.....	20
4.1.1. Influência do Teor de Umidade.....	21
4.1.2. Influência da Resina.....	22
4.1.3. Influência dos Aditivos.....	23
4.1.4. Influência da Densidade.....	23
4.1.5. Influência do Tamanho e da Geometria das Partículas.....	23
4.1.6. Influência dos Extrativos da Madeira.....	25
4.2. Principais Etapas Envolvidas na Produção das Chapas de Partículas Aglomeradas.....	25
4.2.1. Produção das Partículas.....	26
4.2.2. Secagem das Partículas.....	26
4.2.3. Aplicação do Adesivo.....	26
4.2.4. Formação do Colchão.....	27
4.2.5. Prensagem do Colchão.....	27
4.2.6. Acabamento das Chapas.....	27
<b>5. CHAPAS DE FIBRAS.....</b>	<b>28</b>
5.1. Classificação das Chapas de Fibras.....	28
5.2. Processos de Fabricação de Chapas de Fibra.....	29
5.2.1. Processo Úmido de Produção de Chapas de Fibras.....	29
5.2.2. Processo a Seco de Produção de Chapas de Fibras.....	32
5.3. Chapas de Fibras de Média Densidade.....	32
5.4. Principais Fatores que Afetam as Propriedades das Chapas de Fibras em Geral.....	32
5.4.1. Matéria Prima.....	32
5.4.2. Densidade das Chapas.....	33
5.4.3. Teor de Umidade na Massa de Fibra e nas Chapas Acabadas.....	33
5.4.4. Adição de Resinas e Aditivos.....	34

5.4.5. Prensagem das Chapas.....	34
5.4.6. O Refino das Fibras.....	36
5.4.7. Tratamento Térmico das Chapas de Fibras.....	36
5.5. Principais Etapas a Serem Seguidas no Processo de Fabricação das Chapas de Fibras.....	37
5.5.1. Preparo da Matéria-Prima.....	37
5.5.2. Cavaqueamento e Classificação dos Cavacos.....	37
5.5.3. Polpação dos Cavacos.....	38
5.5.4. Formação do Colchão.....	38
5.5.5. Prensagem do Colchão.....	38
5.5.6. Recondicionamento das Chapas.....	38
6. NOVAS TENDÊNCIAS EM PAINÉIS A BASE DE MADEIRA.....	39
7. CONCLUSÃO.....	40
8. BIBLIOGRAFIA.....	42

## **LISTA DE FIGURAS**

### **FIGURAS**

1. Esquema da região das linhas de colagem segundo WATAI (1987)..... 04
2. Torno desenrolador de lâminas..... 16
3. Efeito da temperatura de prensagem sobre a absorção de água e inchamento em espessura de chapa dura..... 35
4. Efeito da temperatura de prensagem sobre a resistência à flexão de chapa dura..... 35
5. Efeito da pressão numa prensagem a quente sobre a resistência à flexão e tração de chapa dura..... 36

## **LISTA DE TABELAS**

### **TABELA**

1. Espessura, número de lâminas - Tolerância (mm)..... 14
2. Classificação das chapas de fibras de acordo com a densidade, segundo KOLLMANN (1975)..... 28

## PAINÉIS À BASE DE MADEIRA

### 1. INTRODUÇÃO

Apesar de possuir-mos em nosso País a maior floresta úmida do mundo, ou seja 280 milhões de hectares na Amazônia, existem a cada dia mais incertezas quanto ao aproveitamento desse recurso como fonte segura de suprimento de madeira para a nossa indústria madeireira. Tais dificuldades no aproveitamento da floresta amazônica para a produção de madeira se baseia em fatores tais como acessibilidade difícil a médio prazo, alta densidade de espécies por unidade de área ou grande heterogeneidade arbórea, falta de conhecimento das características tecnológicas da grande maioria das espécies, ausência de planos de exploração auto-sustentável que garanta o aproveitamento do recurso sem a sua destruição e principalmente a pressões de ambientalistas internacionais.

Por outro lado a partir da década de 60 com a criação da lei dos incentivos fiscais, houve uma acentuada ampliação da área plantada no País, possibilitando a formação de grandes florestas artificiais, sobretudo com espécies do gênero **Eucalyptus**, seguida em menores quantidade de outras do gênero **Pinus**.

A forma de aproveitamento das madeiras, tanto provenientes das florestas nativas como daquelas aqui aclimatadas, têm como alternativas para a utilização em forma sólida, a produção de painéis à base de madeira, que são a sua reconstituição, quer em forma de lâminas, resíduos, cavacos ou fibras unidas por adesivos dando origem a um produto final com características na maioria das vezes diferentes daquelas do material de origem. Alguns tipos de painéis possuem propriedades melhores do que a madeira de origem; é o caso dos compensados, produto que utiliza como matéria prima o que há de melhor em uma floresta, o que quer dizer toras de diâmetros elevados, concentricidade perfeita e com o menor número de defeitos possíveis. Por outro lado os painéis à base de madeira aglomerada e de fibras têm como principal vantagem o aproveitamento de qualquer material ligno-celulósico, ou seja resíduos de serraria, árvores de baixa classificação provenientes de desbastes, e principalmente como alternativas de aproveitamento de milhões de hectares de florestas de eucaliptos plantadas com a finalidade exclusiva para atender a demanda de madeira para a produção de celulose e principalmente como fonte de energia, atuante como termo-redutor do minério de ferro na produção do gusa pela siderurgia. Tais florestas citadas anteriormente possuem alguns inconvenientes para utilizações mais nobres, na forma de

madeira serrada, pois principalmente no caso das florestas energéticas o principal requisito para implantação foi a elevada taxa de crescimento das espécies, não levando em consideração outras características que pudessem produzir um material com características tecnológicas aplicáveis a um maior número de utilizações possíveis. Por outro lado, há necessidade de outras formas de utilização deste material, em face da constante oscilação de preços da celulose no mercado internacional e principalmente pela inversão por parte da indústria siderúrgica na utilização do carvão vegetal para o carvão mineral, mais uma vez destacando aí a pressão de ambientalistas internacionais. Portanto, de imediato, resta como forma mais adequada de utilização de tais florestas a sua conversão em cavacos para posterior utilização como matéria prima na indústria de painéis, destacando-se aí a produção das chapas de partículas.

Este trabalho têm como objetivo levantar informações a respeito das principais etapas envolvendo a produção painéis derivados de madeira, bem como das principais variáveis que interferem tanto no processo de produção, como no desempenho do produto acabado.

## **2. ADESIVOS PARA MADEIRA**

Antes de discutirmos a respeito de técnicas de produção dos painéis propriamente ditas, torna-se necessário considerar-mos a respeito de um dos principais componentes na produção de tais materiais, que são os adesivos.

### **2.1. Mecanismos de Adesão**

Os fundamentos da adesão foram estudados na Inglaterra por McBain e seus colaboradores durante 1920, e paralelamente nos Estados Unidos por Brawne, Trnax e Brouse.

Segundo KNIGHT (1952), McBain definiu dois tipos de adesão, mecânica entre superfícies porosas, e específica entre superfícies lisas, sendo o termo geral adesão, dependente das forças intermoleculares. Assim as juntas específicas são possíveis somente quando usamos superfícies extremamente lisas, como metal muito bem polido ou vidro, por outro lado juntas puramente mecânicas são possíveis entre superfícies porosas, tais como madeira, porcelana entre outras.

### 2.1.1. O Processo Físico-Químico da Colagem

As colas são substâncias químicas complexas cujo processo físico-químico se desenvolve muito devagar. Mas, agora já é conhecida a relação entre os elementos fundamentais, isto é, entre as forças de coesão e adesão. A coesão é a força de atração entre os átomos ou as moléculas de uma mesma substância química. A adesão é a força adesiva entre moléculas de substâncias diferentes. Esta força pode ser desenvolvida só quando as moléculas estão bastante juntas uma das outras. Por isso aplica-se, tanto em colagem a frio, quanto em colagem a quente, uma certa pressão sobre as superfícies da junta a ser colada.

STAMM (1964), afirma que os fenômenos de adesão e ligações adesivas são de importância vital nos muitos usos da madeira. A colagem, como ligação natural de fibra para fibra, está tornando cada vez mais importante, quando a nossa economia impõe a necessidade para utilização de pequenas toras de crescimento secundário para serraria, e um mais completo e eficiente uso da madeira. Madeiras laminadas, compensados, chapas de partículas, e chapas de fibras são todos dependentes de uma boa união com adesivos. O fenômeno de adesão está também envolvido em todas as operações de acabamento da madeira.

Ainda de acordo com STAMM (1964), a resistência de uma união formada entre um sólido e um adesivo, é dependente de uma combinação complexa das forças de atração entre os materiais e muitos outros fatores secundários, tendendo a reduzir a efetividade da união. Ambas as forças coesivas e adesivas, consistindo de forças eletrostáticas primárias, covalentes, ou forças de união metálica ou forças secundárias de Van der Waals, ou pontes de hidrogênio, estão envolvidas. Entre os fatores reconhecidos que reduzem a efetividade da união, são imperfeições do contato, presença de contaminantes das superfícies, e concentrações de tensões, resultantes das condições impostas extremamente, ou alterações internas ou interfacial que resulta do envelhecimento do adesivo.

No caso da madeira, SKEIST (1977), diz que por ordem de efeito, para uma união ótima por colagem, o adesivo precisa ser capaz de penetrar ao nível das fibras solidamente presas, aderindo por meio de adesão específica (isto é, ligação de valência secundária). Uma adesão adequada poderá ser perfeita, se o adesivo estabelecer uma "fixação molecular" sobre alguns constituintes da madeira, na parede celular das fibras solidamente presas. É desejável um contato íntimo entre as superfícies opostas da madeira. Alternativamente, em uma linha de cola espessa, o adesivo precisa ser capaz de desenvolver uma força coesiva, no mínimo tão resistente, quanto a força

adesiva da interface da madeira com a cola. Tais juntas serão tão resistentes, quanto a madeira adjacente, em cisalhamento ou em tração normal a linha de cola. De acordo com WATAI (1987), uma ligação colada pode ser claramente dividida em cinco regiões bem distintas, ou sejam: o adesivo, os dois substratos e as duas interfaces entre o adesivo e cada um dos substratos. A ligação por adesivo entre dois substratos está esquematizada na figura 1, segundo WATAI (1987).

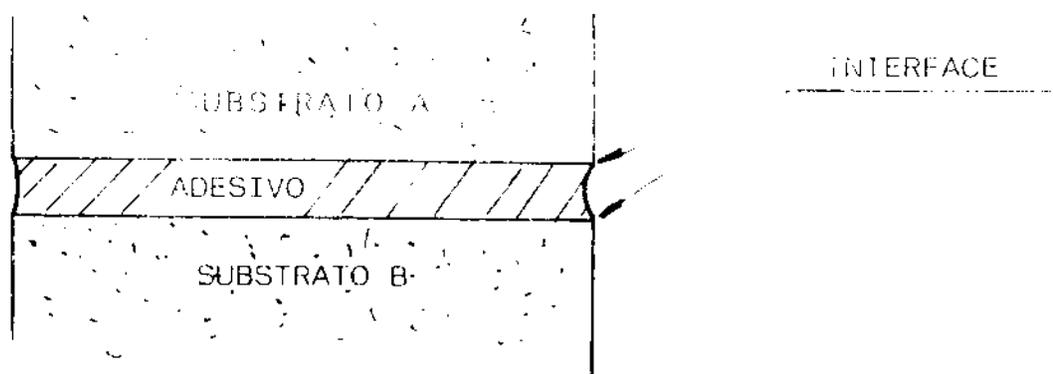


Figura 1- Esquema da região das linhas de colagem segundo WATAI (1987).

De acordo com o IBDF (1982), independentemente das teorias envolvidas, sabe-se que o desenvolvimento de uma boa colagem, depende substancialmente de três requisitos essenciais:

- 1) adequado umedecimento proporcionado pelo adesivo líquido;
- 2) solidificação do adesivo líquido; e
- 3) suficiente capacidade de modificação da forma, por parte do adesivo já solidificado, a fim de reduzir os efeitos das tensões elásticas que acompanham a formação da junta ou colagem

Estes requisitos essenciais são abordados em termos de movimento e mobilidade do adesivo durante o processo de colagem. Portanto durante o processo de formação da colagem, pode-se atribuir ao adesivo as seguintes funções de movimento e mobilidade:

- Fluidez - Refere-se ao escoamento da massa líquida do adesivo no plano da superfície do substrato;

- Transferência - Refere-se ao movimento pelo qual o adesivo transfere-se para as duas faces dos substratos a serem colados. O termo ganha maior significado nas colagens em que o adesivo é aplicado apenas em uma das superfícies;
- Penetração - movimento do adesivo no sentido de penetrar na estrutura capilar e porosa do substrato;
- Umedecimento - Movimento do adesivo, no sentido de recobrir a estrutura submicroscópica do substrato, adquirindo maior proximidade e contato a nível molecular;
- Solidificação - Movimentos envolvidos na mudança do estado físico, incluindo a migração ou evaporação do solvente, orientação molecular, polimerização e "cross-linking".

### 2.1.2. União Através das Reações de Superfícies da Madeira

Tais métodos alternativos de união da madeira envolvem a "ativação" química das superfícies da madeira, para subsequente união, sem o uso de um aditivo químico adicional ou adesivo. Uma ampla variedade de métodos tem sido utilizados para unir a madeira pela ativação química de suas superfícies. De acordo com YOUNG et alii (1982), tais métodos podem ser assim categorizados:

- 1) Oxidação da superfície da madeira com ácido nítrico, ácido peroxiacético, peróxido de hidrogênio, hipocloritos, percloratos etc ;
- 2) Geração de radical livre, via reações de redox (isto é, Ion férrico e peróxido de hidrogênio);
- 3) Condensação ácida catalizada, das estruturas da lignina e/ou da degradação de carboidratos;
- 4) Incorporação de agentes de ligação, tais como diaminas (diamina hermatóxileno, diamina phenileno), glicóis (glicol etileno, 1-6- hexano-diol), anidrido maleico, e formaldeído;
- 5) Incorporação dos materiais, tais como lignosulfonatos e álcool furfuri.

Ainda de acordo com YOUNG (1982), Stofko e Zavarin utilizaram uma ampla variedade de agentes oxidantes na manufatura de compensados e chapas de partículas. A técnica envolveu o tratamento de uma face de uma lâmina com um oxidante tal como cromatos, ácido crômico, nitratos, peróxidos, hipocloritos, percloratos, permanganatos, compostos férricos etc, e a face oposta com um catalizador, tal como sais férricos, outros sais de metais, ou agentes orgânicos e inorgânicos. Quando o material tratado foi prensado com aquecimento, uma excelente união foi formada.

## 2.2. Adesivos Sintéticos

São os mais importantes adesivos para madeira. Suas principais propriedades são quanto a resistência a umidade e serem imunes a ataque de microorganismos. Por essas propriedades essas resinas são amplamente utilizadas na indústria madeireira.

Como diz WATAI (1987), os adesivos sintéticos são geralmente classificados de acordo com sua termo-estabilidade. Um adesivo termo estável é definido como aquele que possui a capacidade de se solidificar através de reações químicas ativadas por calor e ou catalizadores resultando-se numa colagem resistente a umidade e ao calor. Por sua vez, um adesivo termo-plástico é aquele que é capaz de ser, repetidamente, amolecido por aquecimento e endurecido por resfriamento. A classe dos adesivos termo-estáveis é representado principalmente pelas resinas de origem fenólicas, a passo que as resinas termo-plásticas se baseiam principalmente no cloreto polivinílico e acetato polivinílico.

### 2.2.1. Adesivos à Base de Fenol-Formaldeído

Foi a primeira resina sintética a encontrar aplicação comercial como adesivo de madeira. Tais adesivos requerem altas temperaturas de colagem, em torno de 135 a 150°C. São disponíveis em filmes secos, como líquidos ou como pó, que deve ser reconstituído para líquidos, por adição de água. Todas elas requerem a adição de um endurecedor. A resina e o endurecedor são misturados na proporção de 100 partes por 20 ou até 30 em peso.

Sobre a pressuposição que o processo de colagem é feito de maneira apropriada, e que especialmente as condições de endurecimento foram corretas, a resistência das juntas coladas com cola fenólica é muito boa, mesmo ainda que as condições de uso de tais juntas sejam totalmente adversas. Segundo KOLLMANN et alii (1975), tais juntas não serão danificadas sobre as seguintes condições:

- longo tempo de exposição em água fria ou água quente;
- ciclos de secagem e umedecimento;
- valores extremos de temperatura e umidade relativa; agindo permanentemente ou intermitentemente;
- temperaturas próximas, ou ainda um pouco acima da temperatura de carbonização da madeira;
- ataques por bactérias, fungos, e outros microorganismos, bem como termitas; e

- exposição a muitos compostos químicos, tais como óleos, álcalis, e preservativos de madeira, incluindo retardantes de fogo.

Dai poder-se afirmar que as colagem com adesivos fenólicos, adequadamente preparadas, são mais duráveis do que a própria madeira. Entretanto, o alto custo da fenol, depois da crise do petróleo, levou a novas pesquisas, a fim de encontrar matérias-primas alternativas para a produção de adesivos resistentes contra umidade.

### **2.2.2. Adesivos à Base de Uréia-Formaldeído**

PETERSON (1964), diz que os adesivos a base de resina de uréia, são sem dúvida os mais usados na indústria de carpintaria dos Estados Unidos. Eles são classificados como resistentes a umidade, mas são do tipo que perde a resistência quando submetidos a condições de umidade por um período de tempo relativamente curto, e essa resistência jamais é recuperada. Conseqüentemente, exposição repetida em condições de alta umidade, é prejudicial para as uniões feitas com uréia, que eventualmente irão falhar. A colagem feita com esses adesivos também são afetadas desfavoravelmente por temperaturas elevadas, e a 65°C ou mais, ela tende a romper rapidamente por completo. Uma combinação de alta umidade e temperatura ligeiramente elevada, é particularmente danosa às uniões feitas com tal adesivo.

O adesivo está disponível na forma líquida ou em pó, com o líquido provavelmente sendo a forma mais comum. Na forma líquida, a preparação para uso envolve a adição de um catalizador. Nas formas de pó, normalmente é necessário um catalizador combinado, e necessita somente ser misturado com água.

Apesar de serem amplamente utilizados e preferidos, em quase todas as áreas da indústria madeireira, segundo SAMLAIC (1983), a emissão do formaldeído continua apresentando grandes problemas, especialmente quando se refere a utilização de chapas aglomeradas nos países industrializados, onde o controle do meio ambiente é mais rígido e severo.

### **2.2.3. Adesivos à Base de Resorcinol-Formaldeído**

De acordo com STAMM (1964), esses adesivos são completamente semelhantes às colas fenólicas, exceto que eles curam a temperatura apreciavelmente mais baixa, devido o resorcinol substituir o fenol. Eles são assim adequados para uso a temperatura ambiente, ou ligeiramente aquecidos em membros estruturais de madeira.

Eles são de custos consideravelmente mais elevados do que as resinas fenólicas. Entretanto, eles são usados frequentemente em misturas com resinas fenólicas para colagem com aquecimento moderado. São geralmente fornecidos na forma líquida, com um reagente endurecedor, que deve ser adicionado a pouco tempo antes do uso, com a vida de trabalho da resina contendo o endurecedor sendo significativamente reduzida, devido a alta reatividade da cola.

PETERSON (1964), diz que com o desenvolvimento desses adesivos, completou a necessidade de um adesivo completamente impermeável e que poderia ser usado a baixas temperaturas. A resina normalmente tem uma longa vida de armazenagem, de no mínimo seis meses, se armazenados a temperaturas abaixo de 21 °C. O adesivo é fornecido em duas partes, sendo uma parte líquida, e a outra um pó catalizador, que é normalmente combinado com um material como farinha de trigo. O adesivo é preparado para uso pela mistura de ambas as partes precisamente medidas, com a quantidade especificada dos dois componentes.

As juntas feitas com os adesivos resorcinólicos são segundo SKEIST (1977), de alta resistência estrutural, geralmente maior do que a própria madeira. Eles são resistentes a quase que quaisquer condições a que a madeira poderá ser exposta, mantendo sua resistência em relação ao carregamento, durante a exposição em todos os tipos de alterações climáticas. Eles fornecem excelente resistência, quando submetidos a condições como fadiga (carregamento cíclicos), água fervendo, condições cíclicas extremas de umidade e temperatura, congelamento e descongelamento, e muitos tipos de solventes, exceto soluções altamente causticas. Tais adesivos são utilizados numa variedade de aplicações, tais como colagem de laminados marítimos, vigas estruturais, painéis estruturais, embarcações e uma variedade de equipamentos esportivos. Em geral eles são usados onde é exigida uma união completamente impermeável, e devido a problemas de produção, ou por alguma outra razão, onde a cola fenólica que cura a alta temperatura não é adequada.

#### **2.2.4. Adesivos à Base de Isocianatos**

Os adesivos de isocianatos começaram a ser utilizados na década 60, para a produção de chapas aglomeradas. As chapas produzidas com este tipo de cola apresentam todas as características das chapas produzidas com os adesivos fenólicos.

Antes do seu desenvolvimento, as chapas aglomeradas destinadas para as construções, especialmente para aquelas de uso externo, eram coladas com colas fenólicas. A pesquisa porém mostrou que as chapas para tal fim, podem ser coladas

com colas de isocianatos, e que as propriedades destas chapas ultrapassam aquela das chapas coladas com os adesivos fenólicos. SAMLAIC (1983), enfatiza ainda a não emissão do formaldeído, além de formar um produto de alta resistência contra umidade. Contudo a utilização desses adesivos é bastante limitada, devido ao seu preço relativamente alto. Daí serem utilizados frequentemente em combinação com outras colas, principalmente com as fenólicas.

### 2.2.5. Resinas Adesivas Termoplásticas

As resinas adesivas termoplásticas são grandes polímeros, que fundem ou amolecem quando aquecidos, e endurecendo novamente ao ser resfriado. Eles não sofrem alterações químicas. A cura é afetada fisicamente. São utilizadas como solução ou dispersão em água. A adesão permite a evaporação ou absorção do líquido constituinte.

O principal uso destes adesivos, se faz onde a resistência das juntas, não é tão importante como na utilização das resinas termo-curáveis para usos estruturais. Nas linhas de colas desses adesivos, as tensões são geralmente baixas. Há uma tendência típica em aumentar o avanço das deformações.

Como exemplo dos adesivos termoplásticos, temos aqueles à base de emulsões de acetato de polivinil, que de acordo com STAMM (1964), são adesivos inteiramente pré-polimerizados e curam pela perda do solvente dispersante.

KOLLMANN et alii (1975), diz que esses adesivos usados na colagem de madeira sólida a frio, tem substituído as colas animal e de caseína pelas seguintes razões:

- facilidade de manuseio;
- proporcionarem condições de limpeza;
- tempo de armazenagem praticamente ilimitado;
- resistência a microorganismos;
- não causam mancha na madeira;
- propriedades de contato e prensagem aproximadamente igual às da cola animal; e
- baixa pressão para cura.

## **2.3. Adesivos de Origem Natural**

Quanto a essa classificação de adesivos de origem natural, levaremos em consideração principalmente os adesivos à base de amidos, gomas naturais, colas proteicas animais e vegetais, colas celulósicas, adesivos de taninos entre outros.

### **2.3.1. Cola Animal**

Este tipo de adesivo, extraído geralmente da pele e ossos de gado abatido, é universalmente conhecido e utilizado em forma de placas ou escamas secas, as quais são maceradas em água fria, até o amolecimento completo por absorção, e a seguir dissolvidas e utilizadas a quente em banho-maria.

Como cita BROTERO (1946), foi talvez a primeira cola usada pelo homem, pois há notícias históricas sobre o seu emprego, 1500 anos a.C. no antigo Egito. É o adesivo comumente empregado pelos marceneiros em todas as aplicações correntes da madeira, devido à facilidade de emprego, altas qualidades adesivas, elevada resistência mecânica a seco e não alterar nem manchar qualquer tipo de madeira. O mais sério inconveniente encontrado na sua aplicação, é a falta de resistência à umidade, a qual impede o emprego em serviços onde essa condição é essencial.

Como citado por HOUWINK & SALOMON (1965), a composição química do colágeno, a principal proteína que constitui a pele, osso e músculo, obtida através de uma ampla variedade de animais terrestres difere muito pouco. A cola animal é fabricada mais comumente através de couro ou osso de gado ou carneiro. Ela é classificada dentro de dois tipos principais, cola de osso e cola de couro. A diferença entre elas, são devido a grande diferença nos métodos de processamento. Uma pequena quantidade de cola é também feita com pele de coelho.

### **2.3.2. Cola de Peixe**

A cola de peixe é usada principalmente por ser um produto da indústria do bacalhau, porém tem diminuído grandemente em importância. É utilizada como adesivo em carpintarias, tendo sido largamente substituída por cola animal líquida.

SKEIST (1977), diz que, com o desenvolvimento de modernas tecnologias, e às vendas promocionais de novos e diferentes adesivos, um usuário com um particular problema de adesivo, poderá facilmente desperceber o potencial da cola de

peixe na solução de seu problema específico. Aqui seguem algumas propriedades que fazem desta cola particularmente única:

- fornecida como um adesivo líquido;
- completamente solúvel em água;
- boa adesão para metal, borracha, vidro, cortiça, madeira e papel;
- um alto deslocamento inicial;
- insolúvel em solventes orgânicos;
- o seu não amolecimento às temperaturas acima de 26°C;
- quando seca, possui consistência suficientemente dura. Não é gomosa;
- poderá ser feita resistente a umidade e insolúvel em água; e
- uma classe especial poderá ser usada em emulsões fotográficas.

### **2.3.3. Cola de Albumina de Sangue**

De acordo com HOUWINK & SALOMON (1965), a cola de albumina do sangue poderá ser feita através de sangue fresco, provavelmente do abate caseiro, ou do sangue seco solúvel, em forma de pó e água. O sangue seco e solúvel na forma de pó, é preparado através de sangue fresco, por evaporação do soro sobre pressão reduzida, a uma baixa temperatura, para prevenir a coagulação. A albumina coagulada é insolúvel e tem muito pouco poder de união. A adição de álcali na mistura de albumina-água, melhora as propriedades adesivas.

Compensado colado com albumina do sangue, é normalmente prensado a quente, para insolubilizar a proteína. A união tratada com aquecimento é moderadamente resistente, e extremamente resistente a umidade, mas ela está sujeita ao ataque por fungos e bactérias.

### **2.3.4. Cola de Caseína**

A cola de caseína é feita por dissolução da caseína, uma fosfoproteína obtida do leite, em um solvente aquoso alcalino.

HOUWINK & SALOMON (1965), cita que praticamente toda caseína utilizada para propósito de adesivo, é obtida através do leite desnatado, por precipitação com ácido sulfúrico, hidróclorídrico ou lático. Devido ao método de manufatura, a caseína é contaminada com outros sólidos do leite. A composição do produto comercial poderá variar, entretanto, entre os seguintes limites aproximados: proteína, 80-90%;

cinzas, 1-4%; gordura, 0,1-3%; umidade, 7-10%; lactose, 0-4%; e ácidos/expressado com ácido láctico, 0,3%.

Quando preparados corretamente, com matéria prima de primeira qualidade e os processos de colagem também seguem um critério tecnicamente aconselhável, os resultados obtidos são perfeitamente satisfatórios.

### **2.3.5. Cola de Soja**

Segundo HOUWINK & SALOMON (1965), a cola de soja é a mais importante das diversas feitas com proteína vegetal. Uma cola que é satisfatória para a fabricação de compensado semi-resistente a umidade, e para revestimento de alguns tipos de papeis, e poderá ser feita através do resíduo ou da farinha restante, após o óleo ter sido extraído do grão. A farinha de soja poderá variar em grau considerável no teor de proteína, entre outros fatores que afetam as propriedades da cola. O teor de proteína poderá ser aumentado em torno de 40 a 50%, pela remoção de algumas substâncias contaminantes, tais como materiais fibrosos.

STAMM (1964), afirma ser a cola de soja, de alguma maneira semelhante à de caseína, mas inferior nas propriedades de resistência, em condições úmidas e secas de suas juntas. O seu uso na fabricação de compensado de folhosas para uso interno, é em grande parte devido o seu custo consideravelmente mais baixo.

### **2.3.6. Adesivos de Tanino**

A industrialização e o melhoramento do padrão de vida, especialmente nos países em desenvolvimento, resultaram em maior consumo de produtos de madeira. Ocorre porém, especialmente nos países em desenvolvimento, que o custo da cola em relação ao custo total das chapas é relativamente muito alto.

SAMLAIC (1983), cita que em alguns países da América Latina, este custo alcança 40 a 45%, enquanto que nos países industrializados da Europa alcança apenas 18%.

De acordo com COPPENS et alii (1980), na África do Sul, a pesquisa relacionada com adesivos de tanino, a partir de espécies de acácia, foi iniciada em 1964. Desde então, uma vasta série de resinas adesivas tem sido desenvolvida para a fabricação de painéis de madeira, vigas laminadas e "finger joints". O tanino de quebracho (*Schinopsis* sp), foi introduzido no mercado europeu como constituinte único

ou parcial para a fabricação de compensados e aglomerados. A Finlândia utiliza cerca de 2500 toneladas de extrato de quebracho anualmente na indústria de compensados.

SAMLAIC (1983), cita que os resultados obtidos com adesivos de tanino são geralmente superiores a aqueles obtidos com colas fenol-formol. As experiências mostram que a longo prazo, as colas de tanino resistem melhor às intempéries, do que as colas fenólicas, sendo além disto o custo menor.

### **3. MADEIRA COMPENSADA**

#### **3.1. Definição**

Compreende-se por compensado a sobreposição de lâminas finas de madeira unidas por adesivos. É prensado de forma que duas lâminas contíguas são coladas ortogonalmente. O compensado é sempre formado por um número ímpar de lâminas, o que fornece ao produto a sua principal característica, que é a sua elevada estabilidade dimensional. Na confecção do compensado às lâminas podem ser compostas de mais de uma espécie, desde que as lâminas simétricas em relação ao centro sejam da mesma espécie, e de mesma espessura. Embora possa fabricar compensado de qualquer espessura e número de lâminas, WATAI (1987) diz ser os mais comuns compostos de 3, 5, 7 ou 9 lâminas, cuja espessura variam de 6 mm a 20 mm.

#### **3.2. Classificação**

Na América do Norte a moderna indústria do compensado está dividida em produtos fabricados à base de madeira de folhosas e àqueles a base de coníferas. Como citado por SCHNIEWIND (1989), tais produtos classificados acima possuem usos comuns, sendo os compensados das folhosas relacionados mais às indústrias de painéis decorativos e os provenientes das coníferas sendo mais utilizados para construção civil e utilizações industriais.

A classificação das chapas de compensado quanto ao local de utilização considera três tipos básicos conforme mostrado pelo IBDF (1986):

- IR - Interior - Chapa colada com cola do tipo inferior destinados a utilização em locais protegidos da ação d'água ou de alta umidade relativa. O mínimo de falha na madeira deve ser de 60%, quando submetido ao ensaio de cisalhamento;

- IM - Intermediária - Chapa colada com cola do tipo intermediária, destinada a utilização interna mas em ambiente de alta umidade relativa, podendo eventualmente receber a ação d'água. O mínimo de falha na madeira deve ser de 60% quando submetida ao ensaio de cisalhamento

- EX - Exterior - Chapa colada com cola a prova d'água, destinada ao uso exterior ou em ambientes fechados onde são submetidos a repetidos ciclos de umedecimentos e secagens ou ação d'água. O mínimo de falha na madeira deve ser de 80% quando submetido ao ensaio de cisalhamento.

### 3.3. Características

Quanto às especificações, de acordo com projeto de norma da ABNT descrito pelo IBDF (1986), todas as chapas, independente do tipo, exceto quando mencionado, deverão apresentar às seguintes características:

- Montagem - Número de lâminas ímpar, lâmina de face e contraface paralela ao comprimento da chapa, sendo admitido duas lâminas coladas entre si com a mesma orientação do grã

- Dimensões - As chapas deverão ter dimensões de 2440 mm por 1220 mm, permitindo-se variações não superiores a  $\pm 2$  mm em qualquer direção. Outras dimensões são consideradas especiais. As dimensões deverão ser tomadas no meio da largura e comprimento da chapa.

- Forma - Todas as chapas deverão ser retangulares, formando quatro ângulos retos permitindo-se um desvio de no máximo, 10".

- Espessuras - As chapas poderão ter as espessuras de 4, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 mm. As tolerâncias aceitas para cada uma das espessuras são apresentadas na Tabela 1. A espessura deve ser determinada a, no mínimo, 50 mm da borda da chapa, em um ponto tomado ao acaso.

Tabela 1- Espessura, número de lâminas - Tolerância (mm)

Espessura (mm)	N. Mínimo de Lâminas	Tolerâncias (mm)
4	3	$\pm 0,5$
6	3	$\pm 0,6$
9	5	$\pm 0,7$
12	5	$\pm 0,8$
15	7	$\pm 1,0$
18	7	$\pm 1,0$
21	9	$\pm 1,0$

### 3.3.1. Propriedades Físicas e Mecânicas do Compensado

- Atinge teores de equilíbrio higroscópicos um pouco inferior a madeira sólida;
- estabilidade dimensional muito superior à outros produtos à base de madeira, com contração ou expansão volumétrica atingindo aproximadamente 0,2% na faixa da variação higroscópica;
- expansão em espessura independente do tamanho do painel e espessura das lâminas, podendo atingir até 0,9% em toda a variação higroscópica;
- tal como a madeira sólida, o compensado possui coeficientes de expansão e condutividade térmica muito baixos;
- a permeabilidade do compensado difere da madeira sólida, devido ao aparecimento de pequenas fendas que ocorrem durante a fase de laminação;
- a densidade final do painel é mais ou menos a mesma da madeira de origem;
- a resistência mecânica do compensado geralmente é mais baixa que a madeira sólida;
- tanto o módulo de elasticidade quanto a resistência a flexão são dependentes da posição em que a amostra é testada;
- a resistência ao cisalhamento na maioria das vezes é superior àquela da madeira de origem.

## 3.4. Etapas de Produção

### 3.4.1. Preparo da Tora

Antes de serem desenroladas, ou transformadas em lâminas pelo torno laminador, as toras deverão ser descascadas e acondicionadas em tanques contendo vapor ou água quente para que as mesmas se tornem amolecidas e de maior plasticidade, o que propiciará a obtenção de lâminas menos quebradiças e mais lisas.

Para a produção de compensados, normalmente são utilizadas as madeiras leves, de densidade baixa a média devido à sua relativa abundância, baixo custo e melhor trabalhabilidade. As madeiras de alta e média densidade, as chamadas madeiras nobres são empregadas principalmente para a folheação ou para a produção de compensados especiais. Hoje em dia algumas das espécies mais utilizadas para a indústria do compensado são o pinus, virola, canela, pessegueiro, cedro, muiatinga, hévea, copaliba, mogno, ipê e pau ferro.

### 3.4.2. A Obtenção das Lâminas

WATAI (1987), afirma ser o método mais comum de produção de lâminas, o corte de toras em torno rotativo. Esse torno é equipado com garras acopladas em semi-eixos, que fazem girar a tora contra a faca que avança automaticamente. A lâmina emerge entre a faca e a contra faca ou barra de pressão. A função desta contra faca é de exercer pressão sobre a madeira para prevenir a formação de fendas ou arrancamento de fibras nas lâminas produzidas. A figura 2 ilustra de forma esquemática um torno laminador com uma tora sendo desenrolada e as suas respectivas partes, segundo WATAI (1987).

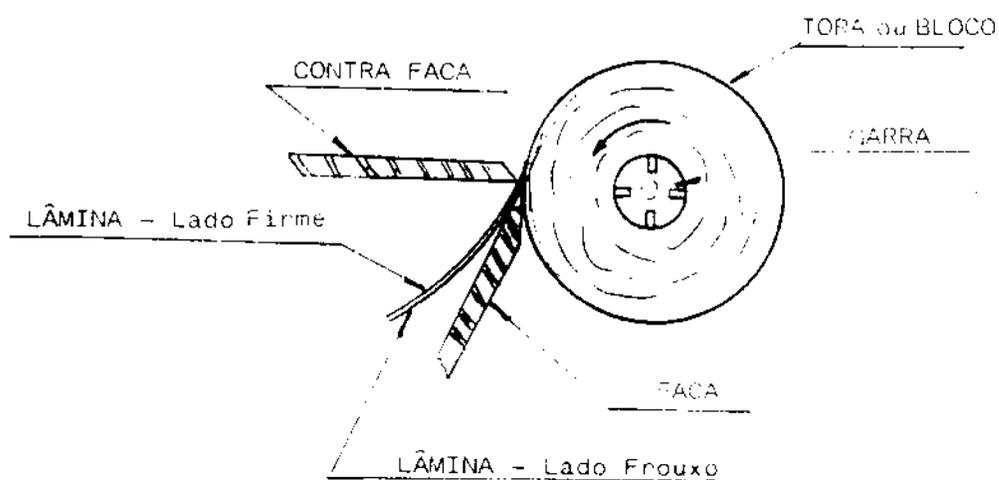


Figura 2- Torno desenrolador de lâminas.

As lâminas possuem uma face firme que é pressionada pela contra-faca ou barra de pressão e outra que está em contato com a navalha, que normalmente possuem defeitos, como fissuras que são dependentes da pressão exercida pela contra-faca sobre a mesma. Dependendo do tipo e classe de compensado que se quer produzir, várias espessuras de lâminas são desenroladas.

Após serem produzidas no torno, as lâminas são transportadas por esteiras à uma bancada onde existe uma guilhotina, onde as lâminas verdes são cortadas em dimensões pré-estabelecidas e também são retirados os defeitos. Antes de

serem secas, deve-se também fazer a separação das lâminas do cerne e do albúmo ou a parte externa da tora, uma vez que estas últimas apresentam teores de umidades substancialmente mais elevados que as primeiras.

### **3.4.3. Secagem e Classificação das Lâminas**

A secagem das lâminas se faz com o objetivo de reduzir o seu teor de umidade a um teor predeterminado, e produzir um material plano e flexível. A maioria dos secadores utilizados para essa finalidade, são equipados com séries de rolos que transportam as lâminas através dos mesmos. A energia para a secagem normalmente é fornecida por vapor, e tais secadores podem atingir temperaturas bastante elevadas. A secagem é feita em um tempo muito baixo (alguns minutos), e o teor de umidade final também é baixo, ou seja por volta de 4 a 6% de teor de umidade. Para que se possa obter uma secagem uniforme e sem o aparecimento de defeitos, há uma necessidade de uma perfeita operação desses secadores, com secagem com uma temperatura inicial mais baixa e maior quantidade de umidade, tendendo a um aumento de temperatura e conseqüente diminuição da umidade relativa no secador, a medida que o processo tende ao final. Em secadores modernos todas essas operações de secagem de lâminas podem ser feitas automaticamente, mediante programação do sistema, levando em consideração diversos fatores, tais como espécie de madeira utilizada, espessura das lâminas, entre outros.

As lâminas secas devem ser empilhadas de acordo com a largura e a classe. As lâminas devem ser classificadas visualmente por pessoas treinadas que devem levar em consideração o tipo e tamanho dos defeitos, bem como o número e as características da grã das várias lâminas. As técnicas de empilhamento das lâminas também é importante, a fim de evitar danos principalmente nas bordas das mesmas. Desde que as lâminas não sejam utilizadas imediatamente após a secagem, estas deverão ser acondicionadas em ambientes com umidade relativa e temperaturas controladas, a fim de manterem um novo teor de equilíbrio higroscópico, compatível com a necessidade do processo de produção das chapas.

### **3.4.4. Junção das Lâminas e Colagem das Bordas**

Principamente na confecção de grandes painéis de compensado, devem ser feitas as junções das lâminas mais estreitas, que devem formar de preferência às camadas mais internas do compensado. Faz-se esta união de diversas maneiras, como

através de costuras, com máquinas semelhantes àquelas utilizadas em confecções, através de grampeamento ou ainda mesmo com adesivos. Nessa etapa é também importante que se faça a eliminação de defeitos, tais como nós, esmoado, furos entre outros, que podem ser cobertos com pedaços sadios do mesmo material.

### **3.4.5. Aplicação de Adesivo**

Originalmente os adesivos eram aplicados através de pincéis, principalmente em pequenas fabriquetas, entretanto nas operações de larga escala, a forma de aplicação predominante é através de rolos espalhadores. Normalmente existe um conjunto de rolos, todos revestidos de borracha, que tem a função básica de espalhar os adesivos, que estão associados a outros dois rolos que tem por função além do espalhamento do adesivo, também dosar a espessura desejada da camada de adesivo nas lâminas. Outro método utilizado para espalhar o adesivo nas lâminas é através de cortina, que consiste de uma máquina com um reservatório do adesivo e um par de lâminas de aço, sob tal reservatório, que com abertura entre elas possibilita a formação de um filme de adesivo sobre a superfície da lâmina. Fatores tais como pH, viscosidade, quantidade de cargas e componentes dos adesivos devem ser previamente analisados, afim de se obter combinações ótimas de tais fatores que possibilitem uma união perfeita.

### **3.4.6. Prensagem do Compensado**

Imediatamente após o adesivo ser aplicado nas lâminas, deve-se proceder a montagem do compensado, seguido do carregamento da prensa. No caso da prensagem a frio, após serem empilhados em uma prensa de abertura única, e aplicada a pressão adequada, a carga de chapas deve ser presa por grampos bem apertados afim de manter a pressão original. Após o esticamento dos grampos a carga deve ser retirada da prensa e levada para local adequado, à temperatura ambiente. Para o caso da prensagem a frio a pressão deve variar de 6 a 10 kg/cm<sup>2</sup>, e o tempo de prensagem será calculado com base no tempo de gelatinização do adesivo no copo, vezes quatro. Normalmente esse tempo varia de 3 a 12 horas. É sempre recomendável dar uma pequena pressão inicial por aproximadamente 15 minutos, antes da aplicação total da pressão. O tempo de prensagem pode ser reduzido tanto pela adição de catalizadores nos adesivos, quanto pelo aumento da temperatura ambiente acima de 20°C.

Adesivos termofixos como àqueles à base de uréia e fenol formaldeído, curam-se mais rapidamente com aplicação de calor associado a prensagem. Tais

prensas são constituídas de um determinado número de pratos aquecidos, onde no intervalo de dois pratos adjacentes são carregados uma determinada quantidade de chapas devidamente montadas. No caso da utilização de uma prensa aquecida, o seu carregamento deve ser o mais rápido possível, a fim de evitar a secagem do adesivo antes da prensagem. O tempo de prensagem dependerá essencialmente da temperatura da prensa e do tipo de adesivo utilizado. A espessura do compensado também influencia o tempo final de prensagem. À temperatura de prensagem variando de 100 a 160°C, o tempo de prensagem poderá limitar a apenas alguns minutos. Quanto a pressão de colagem, no processo a quente este pode variar de 12 a 20 kg/cm<sup>2</sup> também dependendo da espécie de madeira entre outros fatores. KOLLMANN (1975), enfatiza três regras básicas a serem observadas nos processos de colagem a quente:

- 1- quanto mais rápido o tempo de cura do adesivo, maior é a precisão requerida do processo;
- 2- o calor aplicado e o tempo de aquecimento devem atingir a um mínimo necessário ao processo;
- 3- nunca tentar acelerar a velocidade de produção através da utilização excessiva de aquecimento ou pressão

O autor acima enfatiza que o aquecimento prolongado irá reduzir a qualidade do compensado. A plasticidade da madeira aumenta rapidamente, acima do ponto de ebulição da água, causando compressão indesejável das chapas

#### **4. CHAPAS DE PARTÍCULAS**

MALONEY (1977), define chapas de partículas como um termo genérico para um painel fabricado de materiais ligno-celulósico (geralmente à base de madeira), inicialmente na forma de peças discretas de partículas, claramente distintas das fibras, combinado com uma resina sintética ou outro adesivo adequado, e unidos juntos sob ação de calor e pressão em uma prensa aquecida.

Quanto a matéria prima a ser utilizada na produção das chapas, esta pode ser de várias origens, tais como madeiras de média a baixa densidade provenientes de produção específica para tal finalidade, ou proveniente de desbastes, resíduos de madeira bruta, costaneiras, ou ainda de outros materiais ligno-celulósicos como bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas quer utilizados puros ou misturados com partículas de madeira.

NAKAMURA & SOBRAL FILHO (1982), trabalhando com espécies da Amazônia, concluiu que do ponto de vista tecnológico, é perfeitamente viável fabricar-se aglomerado usando-se uma mistura de espécies como fonte de matéria prima madeireira. Através da modificação de parâmetros do processo de manufatura, tais como resina, densidade da chapa e geometria das partículas, pode-se produzir diferentes tipos de chapas com as características adequadas às exigências de faixas específicas do mercado consumidor de aglomerado.

Tais painéis podem se classificar em baixa densidade, com valores abaixo de  $0,40 \text{ g/cm}^3$  densidade média, de  $0,40$  a  $0,80 \text{ g/cm}^3$ , e chapas de partículas de alta densidade, ou seja acima de  $0,80 \text{ g/cm}^3$ . As chapas também podem ser caracterizadas através da geometria das partículas em:

- aglomerado convencional - Produzido com partículas chamadas cepilhos (15 mm aproximadamente) e pó de madeira, empregados principalmente na indústria de móveis;
- aglomerado de fibras orientadas - ou (OSB Oriented Strand Board), nome conhecido no mercado externo. Utiliza lascas estreitas e longas (2 a 10 mm x 30 a 50 mm). Utilizado principalmente para uso estrutural;
- aglomerado "waferboard" - Emprega lascas longas (20 a 50 mm x 35 a 70 mm) Utilizado também para usos estruturais;
- aglomerados "flakeboard" - Chapa produzida com uma pequena partícula de madeira de dimensões pré-determinadas; com espessura bastante uniforme.

Segundo MARRA et alii (1975), citado por KEINERT JUNIOR (1988), a chapa de partículas estrutural caracteriza-se pela utilização de partículas consideradas grandes, possuindo dimensões intermediárias, entre os cavacos e flocos (flakes), especificados na tabela de elementos primários da madeira.

#### **4.1. As Características e os Principais Fatores que Afetam o Desempenho das Chapas de Partículas**

As características de performance de compensados estruturais, são frequentemente utilizadas como padrão para composição de painéis estruturais feitos de partículas. E como enfatiza KEINERT JUNIOR (1988), enquanto que a maioria das propriedades das chapas de partículas podem ser modificadas por diferentes matérias-primas e processos, é muito difícil elevar todas as suas propriedades de importância ao nível dos compensados, sem exceder o preço destes.

Quanto às propriedades mais importantes em painéis estruturais, têm-se o módulo de elasticidade em flexão, módulo de ruptura, expansão linear, inchamento em

espessura, ligação interna ou tração perpendicular a superfície e a resistência a fixação por pregos e parafusos.

De acordo com MALONEY (1985), citado por KEINERT JUNIOR (1988), o módulo de elasticidade (MDE) e o módulo de ruptura (MOR) são bastante influenciados pelas variáveis razão de compactação (densidade da chapa dividido pela densidade da madeira), geometria das partículas, percentagem de adesivos e densidade da face da chapa.

#### **4.1.1. Influência do Teor de Umidade**

YEH et alii (1991), concluiu que chapas a uma umidade relativa constante de 95%, poderá perder respectivamente 49 e 48% de seu MOR e MDE em relação a uma condição constante de 65% de umidade relativa. Os autores acima concluíram ainda que o efeito dos níveis de carregamento, sobre a redução das propriedades mecânicas residuais nas chapas de partículas (flake boards), é menos pronunciado do que os tratamentos higroscópicos, e tais influências poderão ser facilmente minimizadas, pelo aumento no teor de resina. Entretanto, reduções mais altas podem resultar da combinação de tratamentos higroscópicos e níveis de carregamento. ARMSTRONG & GROSSMAN (1972), conclui ser os valores de "creep" (deformação ao longo do tempo sobre carregamento constante) na flexão maiores com níveis mais altos de teores de umidade, podendo ser até 5 vezes maior do que os mesmos valores medidos para a madeira às mesmas condições de teor de umidade.

Segundo MALONEY (1977), o teor de umidade, e a sua distribuição no colchão formado antes da operação de prensagem, contribui significativamente para as propriedades finais das chapas. Por exemplo, se um alto nível de umidade está nas faces do colchão e um baixo nível no centro (miolo), as faces das chapas serão altamente densificadas em relação ao centro; com a resistência à flexão e a rigidez das chapas sendo significativamente maior do que em chapas prensadas semelhantemente, porém com um teor de umidade uniforme através do colchão, tendo a mesma densidade.

#### **4.1.2. Influência da Resina**

Tanto o tipo quanto os níveis de resina estão associados com as propriedades das chapas de partículas. A grande maioria das chapas são feitas a partir da resina de uréia-formaldeído a níveis de 6 a 10%, com base no peso seco em estufa

da madeira. Quando resinas de fenol-formaldeído são utilizadas, são aplicadas a níveis ligeiramente mais baixos. MALONEY (1977), afirma que o tipo de resina determinou a resistência da chapa a deterioração sob condições ambientais severas, tais como exposição ao meio externo. Normalmente, resinas fenólicas são utilizadas para adquirir resistência a umidade e ao intemperismo. Resina de uréia-formaldeído é utilizada quando as chapas destinam a aplicações interiores. GENERALLA et alii (1989), estudou os efeitos de dois níveis de resina fenol-formaldeído líquida, ou seja 4,5 e 6,5% de resina sólida, sobre certas propriedades físicas e mecânicas de "flakeboards", fabricadas comercialmente. Em condições de equilíbrio das chapas a uma condição de 65% de umidade relativa do ar, a temperatura ambiente, houve uma melhora geral nas propriedades das chapas nos níveis de resinas mais elevadas. Nestas condições houve melhora em 6% para a ligação interna, 14% para o módulo de ruptura perpendicular à chapa. Numa condição cíclica de umedecimento e acondicionamento à condição de 65% de umidade relativa, o aumento no nível de resina aumentou significativamente o MOR - paralela (15%), MOR - perpendicular (33%), módulo de elasticidade perpendicular (23%) e a ligação interna (25%). As alterações dimensionais foram geralmente menor a 6,5% de resina em relação aos níveis mais baixos. DAVIS (1988), concluiu que chapas comerciais (OSB, waferboard), unidas com resina líquida à base de fenol, são equivalentes em propriedades, àquelas feitas à base dos adesivos de isocianatos, porém com uma maior economia no custo do adesivo.

KRZYSIK e YOUNG (1986), descreve um sistema de adesivo renovável, baseado em efluentes de uma fábrica de celulose, destinado a produção de "flakeboard". O sistema envolve uma base de ativação das superfícies dos flocos de madeira com hidróxido de sódio 3N, seguido pela aplicação da lignina kraft metilada. Chapas produzidas em laboratório com este sistema de adesivo, foram testadas e comparadas com àquelas produzidas com as resinas convencionais à base de fenol-formaldeído, apresentando os seguintes resultados:

- estabilidade dimensional superior, quando medidas por absorção de água e inchamento em espessura, comparadas às amostras de controle;
- embora a resistência a ligação interna foi abaixo dos valores encontrados nas chapas unidas com o adesivo convencional, esta foi bem acima dos padrões aceitos pela ANSI;
- o módulo de elasticidade foi 35% superior ao controle, e o módulo de ruptura equivalente àquele encontrado nas chapas produzidas com a resina à base de fenol-formaldeído.

#### **4.1.3. Influência dos Aditivos**

Parafina, normalmente na forma de uma emulsão, é adicionada a superfície, para melhorar as características dimensionais, particularmente àquelas associadas com a absorção de água líquida. Segundo MALONEY (1977), os níveis de parafina variam entre 0,25 a 1,0%. Outros aditivos, tais como preservativos e retardantes de fogo podem ser adicionadas para conferir às chapas resistência ao apodrecimento e contra-fogo.

#### **4.1.4. Influência da Densidade**

A variável mais importante da espécie, que governa às propriedades das chapas é a densidade. MALONEY (1977), mostra que nos Estados Unidos usa-se normalmente espécies de densidades variando de 0,30 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Na prática o modo mais fácil de melhorar as propriedades da chapa, é através do aumento do peso específico da chapa, que poderá ser conseguido através da variação da taxa de compactação (relação entre a densidade da chapa e a densidade da espécie), obtida após o processo de prensagem do colchão. GEIMER (1982), afirma ser o movimento dimensional resultante do tratamento de saturação por vácuo-pressão, máximo, e pode ser definido como uma função da densidade da chapa, sem considerar o teor de umidade. HASELEIN (1989), trabalhando com chapas produzidas tanto de madeira de eucalipto, como de embaúba, além da mistura de ambas espécies, diz que a tração perpendicular a superfície ou ligação interna, foi relacionada a densidade das chapas, composição e teor de adesivos. A resistência aumentou linearmente com o aumento da densidade das chapas. GEIMER (1982), conclui em trabalho relacionando o inchamento em espessura com o peso específico, que independentemente do nível de exposição das chapas à condições de inchamento, há sempre um maior inchamento em espessura quando aumenta a densidade da chapa.

#### **4.1.5. Influência do Tamanho e da Geometria das Partículas**

Partículas mais finas e longas, como os flocos, fornecem produtos com alta resistência a flexão e rigidez, e em tais produtos é desejável ter mais partículas nas superfícies. Partículas curtas e lascadas são excelentes para melhorar as propriedades de adesão no centro das chapas. MALONEY (1977), cita três configurações básicas de chapas levando em consideração o tamanho das partículas:

- a primeira é homogênea, onde a mistura das partículas está distribuída ao acaso através da chapa;
- uma segunda formulação é de três camadas, onde as partículas ou flocos finos estão nas camadas das faces e àquelas mais grossas no centro (miolo). Essas chapas, dependendo da espessura, são feitas de 15 a 20% de partículas finas em cada face, com o restante do material sendo feito de partículas grossas no centro;
- uma terceira configuração, é a chapa graduada ou de multicamadas. Nesse caso, as partículas mais finas estão sobre as faces da chapa, existindo uma variação gradativa do tamanho das partículas, através das mais finas nas faces para as mais grossas no centro (miolo).

CHASE (1985), enfatiza que a geração de "flakes", "water" e "strands" de alta qualidade é essencial para a produção de chapas de qualidade. Tais elementos necessitam ser longos e finos, numa razão de aproximadamente 120:1, sendo isto a chave para a obtenção de uma performance eficiente do produto.

Com relação a estabilidade dimensional das chapas de partículas, VITAL (1980), estudou o efeito do comprimento e espessura dos flocos, espessura das partículas, peso específico da chapa, e o tipo de resina sobre as características de estabilidade dimensional e absorção de água em chapas de flocos (flakeboard) e chapas de partículas. De acordo com esse autor a variável mais importante relacionada com a expansão linear de chapas de flocos, foi a geometria do floco, ou seja, houve um efeito interativo entre o comprimento e a espessura do floco. As chapas que tiveram uma melhor estabilidade linear foram de baixa densidade ( $0,55 \text{ g/cm}^3$ ), fabricadas com adesivos fenólicos, com flocos longos (50,4 mm) e qualquer espessura entre 0,15 e 0,91 mm, ou com flocos finos (0,15 mm), de qualquer comprimento entre 12,7 a 50,8 mm. No que diz respeito ao inchamento em espessura, um comprimento de floco entre 42 e 48,0 mm e de espessura entre 0,25 a 0,45 mm, foi ainda segundo VITAL (1980), uma combinação ótima para tal característica, associada àquele expansão linear. Para as chapas de partículas, o inchamento em espessura mínima foi obtido com chapas feita com partículas finas (0,15 mm).

Partículas com elevada esbelteza podem ser facilmente alinhadas, por meios mecânicos ou elétricos, para comporem chapas, o suficiente para competir com o compensado, do ponto de vista estrutural.

MALONEY (1977), sumariza os diversos aspectos do desempenho das chapas que estão diretamente relacionados com a geometria das partículas:

- propriedades mecânicas tais como a resistência a flexão, rigidez, resistência a tração paralela a superfície, resistência a tração perpendicular à superfície (ligação interna), resistência a fixação de parafusos e pregos.
- características da superfície da chapa, particularmente o aplainamento das superfícies e extremidades, que por sua vez afeta o acabamento e características de colagens;
- sensibilidade a umidade, tais como absorção de umidade, através da fase líquida ou vapor, e as alterações correspondentes nas dimensões, propriedades mecânicas, e características da superfície.
- comportamento nas operações de usinagem, tais como serragem, furação, aplainamento e lixamento.

#### **4.1.6. Influência dos Extrativos da Madeira**

Os extrativos normalmente diminuem a habilidade das partículas de serem unidas pelos adesivos, interferindo desta maneira nas propriedades das chapas. BRIDGE (1971), estudando a abrasividade de chapas de partículas feitas com madeira de pinus, unidas com resina a base de uréia formaldeído, conclui que além da densidade da chapa e teores de sólidos na resina acima de 8%, o teor de sílica da fonte de madeira utilizada também contribuiu para aumentar as características abrasivas das superfícies das chapas.

#### **4.2. Principais Etapas Envolvidas na Produção das Chapas de Partículas Aglomeradas**

Foram abordados anteriormente alguns dos fatores dominantes que controlam a produção das chapas prensadas, que podemos sumarizar com o tipo da matéria-prima, espécies de madeira, tamanho e geometria das partículas, nível de resina, distribuição e alinhamento das partículas e a densidade da chapa entre outros. A seguir as principais etapas da produção, onde deverão ser otimizados todos esses parâmetros, para que se possa obter um produto final com propriedades bastantes satisfatórias.

#### **4.2.1. Produção das Partículas**

Caso a madeira utilizada está na forma de toras, estas devem ser descascadas, e passadas através de moinhos especiais que podem ser calibrados para produzirem as partículas com formas e dimensões bastante uniformes, que serão especificadas a partir do tipo de chapa que se quer produzir. No caso da utilização de resíduos de serraria, estes devem ser lavados antes de serem levados aos picadores, para evitar acúmulo de areia ou outras impurezas nos equipamentos. Após a picagem, as partículas passam por um sistema de classificação por tamanho, em peneiras especiais, para serem armazenadas em seguida, em silos especiais.

#### **4.2.2. Secagem das Partículas**

As partículas devem ser secas um pouco antes da utilização, não justificando a secagem com grande antecedência, uma vez ser este material altamente higroscópico, tende a absorver umidade do meio a velocidades muito rápidas, em consequência das dimensões reduzidas. As partículas deverão apresentar teor de umidade final variando de 2 a 3%, dependente do teor e tipo de resina utilizada. Após o espalhamento do adesivo o teor de umidade do colchão formado nunca deverá ultrapassar os 10% de teor de umidade.

#### **4.2.3. Aplicação do Adesivo**

Uma vez definida a composição e o teor de adesivo a ser utilizado, faz-se a aplicação do adesivo em misturadores adequados a tal operação. Quando se utiliza teores muito baixos de determinado adesivo, na maioria das vezes faz-se opção pela forma de pó, o que por sua vez as partículas poderão chegar a esta fase com teores de umidade superiores àqueles mencionados acima. Quando a chapa a ser produzida for de composição homogênea das partículas, utiliza-se somente um misturador. Entretanto se as chapas forem compostas de mais de uma camada de partículas de tamanhos diferentes, utiliza-se mais de um misturador, ou seja para cada classe de tamanho das partículas, deve se ter um misturador específico. Este procedimento se justifica pelo fato de que as partículas menores necessitam de teores de adesivos maiores, devido estas apresentarem uma maior superfície específica em relação às partículas maiores. Junto aos adesivos, devem ser adicionados os aditivos, tais como a parafina, retardantes de fogo, fungicidas, inseticidas entre outros.

#### **4.2.4. Formação do Colchão**

As partículas mais o adesivo são transportadas até a estação formadora do colchão, onde a formação se dá sobre placas metálicas depositadas sobre bandejas ou sobre uma linha contínua de formação. Tanto na formação do colchão em três camadas, como na formação homogênea, o processo é feito automaticamente, com espessura pré-determinada que permita atingir a espessura final e densidade desejadas da chapa após a prensagem. É nesta fase do processo que se faz a orientação das partículas, caso se queira um produto com propriedades superiores ao convencional. Esta operação também é automatizada, ora baseada em vibração mecânica, ora movendo as partículas em campos elétricos adequados a essa finalidade. Após a formação do colchão, faz-se uma pré-prensagem a fim de facilitar o manuseio até a operação de prensagem.

#### **4.2.5. Prensagem do Colchão**

O tempo de prensagem irá depender da espessura final da chapa. Dependendo da composição do adesivo adota-se com regra um tempo de 15 a 20 segundos para cada milímetro de chapa. Normalmente aplica-se pressões da ordem de 20 a 30 kg/cm<sup>2</sup>, com temperaturas variando de 150-190°C. Em termos gerais uma chapa de partícula de aproximadamente 20 mm de espessura, unida com adesivo à base de ureia-formaldeído, pode ser prensada em 4 a 6 minutos a temperaturas variando de 150-190°C. Chapas produzidas com resinas fenólicas, requer tempo de prensagem um pouco maior e temperaturas mais elevadas. No entanto, o tempo de prensagem poderá ser reduzido com a aplicação de catalizadores especiais. Após o encerramento do tempo de prensagem, a pressão deve ser reduzida de forma gradual, até a abertura total da prensa, de forma a evitar que as chapas sofram deformações.

#### **4.2.6. Acabamento das Chapas**

As chapas deverão ser empilhadas após a retirada da prensa, e serem resfriadas lentamente, a fim de completar o processo de cura do adesivo. Uma vez resfriadas estas devem ser esquadrejadas, lixadas e cortadas nas dimensões convencionais.

## 5. CHAPAS DE FIBRA

KOLLMANN (1975), cita uma definição reconhecida pela FAO, 1958/59, em que "chapa de fibra, é uma chapa com densidade largamente variável, manufaturada através de fibra de madeira, ou outras fibras vegetais refinadas ou parcialmente refinadas. Agentes de união e outros materiais podem ser incorporados na fabricação da chapa para aumentar a resistência mecânica, resistência a umidade, contra fogo e apodrecimento ou para melhorar alguma outra propriedade".

Em um sentido mais técnico, a definição da ISO é mais precisa: é um material lamelar geralmente excedendo 1,5 mm de espessura, manufaturada através de fibras ligno-celulosicas com a união primaria através de um entrelaçamento das fibras e as suas inerentes propriedades adesivas. Materiais de ligação e ou aditivos poderão ser adicionados.

### 5.1. Classificação das Chapas de Fibras

As chapas de fibras podem ser classificadas de acordo com a sua densidade, variando em cinco tipos conforme mostra a Tabela 2. Os limites de densidade a serem atingidos pela classificação são aproximados, e esta pode variar de um país para outro

Tabela 2- Classificação das chapas de fibras de acordo com a densidade, segundo KOLLMANN (1975).

<b>Não Comprimida</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Chapa Isolante Semi-rígida	0,02...0,15
Chapa Isolante Rígida	0,15...0,40
<b>Comprimida</b>	
Chapa de Fibra de Densidade Média (Semi-dura)	0,40...0,80
Chapa Dura	0,80...1,20
Chapa Dura Densificada Especial	1,20...1,45

Ainda segundo a recomendação da ISO-818/68, as chapas de fibra para construções em geral são classificadas a seguir:

Tipos de Chapa	Macia	Média	Dura
Densidade g/cm <sup>3</sup>	< 0,35	> 0,35 e 0,80	> 0,80

## 5.2. Processos de Fabricação de Chapas de Fibra

Os processos de manufatura das chapas podem ser classificados em processo úmido, seco e o semi-seco. No processo úmido produz-se chapas de fibras com a densidade variando de 0,16 - 0,40 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que no processo seco produz-se as chapas de fibras de média densidade.

### 5.2.1. Processo Úmido de Produção de Chapas de Fibras

Essa chapa é largamente usada para revestimento, painéis interiores, isolamento rígido de telhado, e como divisória. É um material de custo relativamente baixo, que requer muito pouco, ou às vezes nenhum agente de ligação das fibras. MALONEY (1977), cita uma tecnologia baseada na produção de papel, descoberta em 1924 por William H. Mason, que originou o processo MASONITE para a produção de chapa dura. Esse processo conhecido segundo KOLLMANN (1975), também como processo de explosão, utiliza normalmente a madeira de coníferas como matéria-prima, que sob certas circunstâncias pode ser misturado em 75% com madeira de folhosas. A madeira chega até uma planta-Masonite em duas classes:

- a) madeira roliça ou pequenas toras com casca;
- b) aparas, serragem, costaneiras ou outros resíduos de serrarias, podendo também incluir a casca.

A madeira sólida, é transformada em cavacos de aproximadamente 20 mm de comprimento. Esses cavacos juntamente com os demais resíduos de madeira, passam através de uma peneira de cavacos que faz a separação nas frações fina, média e grossa dos cavacos. Os finos, praticamente na forma de serragem, são levados às caldeiras para serem utilizados como combustível. Os cavacos de tamanho médio, 10 a 25 mm de comprimento são levados ao depósito de cavacos. Os cavacos maiores retornam aos picadores e daí novamente peneirados e classificados. Tanto casca e nós, não são separados, uma vez que eles não interferem nesse processo.

Uma característica única do processo Masonite é que a ligação celulose - lignina é quebrada, e as fibras são parcialmente hidrolizadas sobre alta pressão de vapor. Há liberação de ácidos naturais da madeira. Quanto ao processo de explosão

propriamente dito, este acontece em um cilindro de alta pressão de aproximadamente 1500 a 1800 mm de altura e 500 a 600 mm de diâmetro. Com capacidade normalmente para 120 kg de cavacos, após carregado, ele é fechado e logo em seguida vapor é admitido para elevar a pressão a 40 kg/cm<sup>2</sup> por 60 segundos a partir daí a pressão do vapor é elevada rapidamente para 70 - 80 kg/cm<sup>2</sup>, com respectivo aumento de temperatura de 284 para 294°C, mantendo nessas condições por somente poucos segundos (5 segundos), fazendo logo em seguida a liberação súbita da pressão. Em seguida os cavacos são descarregados na parte do fundo do cilindro, onde explodem devido a altas pressões internas. A estrutura dos cavacos de madeira é completamente quebrada e uma massa de fibras de coloração marrom é produzida. O tempo da alta pressão é muito crítico, e depende das propriedades dos cavacos (espécie de madeira, tamanho, teor de umidade). Variação no tempo de pressão de apenas meio segundo poderá alterar substancialmente às características do produto. As fibras explodidas passam por um ciclone onde água é adicionada. O vapor é separado e as fibras são colocadas num tanque. Água quente e limpa é levada ao tanque de fibras para lavagem de açúcares resultantes da hidrólise parcial da madeira. Nesse estágio faz-se o refinamento da massa de fibra a uma temperatura de aproximadamente 70°C.

A consistência do estoque de fibras é mantida por um regulador. O estoque é peneirado para a remoção de feixes de fibras não suficientemente refinadas, passando a partir daí através de uma bateria de refinadores adaptados para as propriedades da matéria-prima. Finalmente as fibras entram numa máquina do tipo Fourdrinier, onde água é adicionada, levando o estoque para uma consistência de 1 a 2%. O ph do estoque nos tanques é de aproximadamente 4,5, devido a formação de ácidos orgânicos. No entanto para se ter segurança no próprio refinamento, bem como diminuir a corrosão dos equipamentos, é desejável ajustar o ph para próximo de 6,5. Pequenas quantidades de agentes repelente de água, tal como parafina são frequentemente adicionados a massa durante o refino. Um colchão úmido, variando em espessura de 19 a 51 mm, dependendo da subsequente densificação e espessura desejada da chapa é formada sobre a tela da máquina. O colchão úmido passa por uma sucção, de modo a conter ainda quente, por volta de 28 a 35% de sólidos. O colchão úmido, parcialmente desidratado é cortado em comprimento de 5 metros. A velocidade da peneira na máquina formadora de chapa do tipo Fourdrinier, varia entre 4 a 41 m/minuto dependendo do produto. Os colchões são em seguida alimentados nas prensas, onde são prensados entre 175° e 200°C, e sobre pressão de 6 a 35 kg/cm<sup>2</sup>. Quando se produz chapa isolante, a prensa é equipada com reguladores de fechamento, que fazem as chapas nas espessuras desejadas. Exige-se um tempo de prensagem de

15 a 30 minutos, para a completa secagem das chapas. Após descarregadas da prensa, as chapas são empilhadas em esteiras móveis, e após inspeção e classificação são passadas através de um umidificador, para elevar o teor de umidade para aproximadamente 5%. Para melhorar as propriedades das chapas, tais como resistência mecânica, a umidade e abrasão, utilizam-se alguns tratamentos térmicos ou mesmo têmpera em óleo.

As chapas masonite contêm em torno de 38% de lignina, em contraste aos 18 ou 22% para outras chapas duras e por volta de 26% para a madeira de coníferas. O método é descontínuo, e um operário atende entre 6 e 7 cilindros. O processo não consome energia elétrica, mas 1,6 a 1,8 toneladas de vapor por chapa é utilizado. Uma planta com uma capacidade de 50.000 toneladas de chapas por ano, necessita de 4 a 5 cilindros. Um cilindro permite 22 a 35 explosões por hora, o que produz 1,5 a 2,0 toneladas de fibras secas por dia. A chapa dura produzida por esse método com a qualidade S-1-S (uma superfície plana, prensada utilizando uma tela na parte inferior da prensa para saída do excesso de água) ou S-2-S (duas superfícies planas, prensadas sem tela) poderá ter densidades variando entre 0,85 a 1,43g/cm<sup>3</sup>.

### **5.2.2. Processo a Seco de Produção de Chapas de Fibras**

Tal processo começou a ser estudado em 1945, nos Estados Unidos e segundo MALONEY (1977), tal método se baseou na eliminação da água contida no colchão de fibras formado no processo masonite.

Normalmente os cavacos e outros materiais residuais são convertidos mecanicamente por cozimento, e moldos onde a massa de fibra é preparada. Neste caso é também normal aplicar a resina e parafina na matéria-prima antes da moagem, uma vez que o atrito no moinho prepara simultaneamente a fibra e mistura os aditivos a ela. O colchão é então formado num sistema contínuo, não havendo entretanto àquele entrelaçamento das fibras, que é possível quando as chapas são produzidas pelo processo úmido. Devido a essa falta de entrelaçamento e a muita baixa, ou quase nenhuma adesão obtida através da lignina e pontes de hidrogênio na prensagem a quente, o processo de produção da chapa dura é dependente ainda do adesivo para o desenvolvimento de propriedades físicas e mecânicas das chapas. Se o colchão têm um teor de umidade abaixo de 10%, ele normalmente é prensado formando uma chapa plana dos dois lados, que apresenta uma cor bastante clara, em contraste às chapas formadas pelo processo úmido.

As chapas de fibras feitas por esse processo entram no mesmo mercado como àquelas que utilizam o método úmido. Há pesquisadores que asseguram que chapas formadas pelo processo úmido é algumas vezes superior em propriedades, devido ao entrelaçamento das fibras que ocorre durante a formação do colchão e ao desenvolvimento de auto-colagem das fibras, além da remoção de partes das hemiceluloses e outros açúcares secundários. A eliminação de quantidades elevadas de água necessária para a formação do colchão é uma vantagem desse processo, particularmente nos dias atuais em que pressões estão sendo feitas no sentido de proibir a liberação de efluentes de qualquer operação industrial. Por outro lado, resinas sintéticas, que estão se tornando de custo cada vez mais altos, precisam ser utilizados como adesivos nas chapas produzidas pelo processo seco de produção de chapas de fibras

### **5.3. Chapas de Fibras de Média Densidade**

Na metade dos anos 60, ocorreu o mais recente desenvolvimento na indústria de chapas de fibras. MALONEY (1977), afirma que esse produto é chamado de chapa de fibras de densidade média (MDF). A maioria das fábricas produtoras dessas chapas, utilizam o refinador pressurizado para gerar fibras mais finas, que têm de longe maior volume do que àquelas produzidas por refinadores atmosféricos. Essas chapas, normalmente são muito mais espessas do que as chapas duras tradicionais, que variam de aproximadamente 2,5 a 9,5 mm de espessura. As chapas de média densidade (MDF), possuem espessura superior a 9,5 mm, e são utilizadas normalmente na indústria de móveis. Esse processo é entretanto um maior refinamento no desenvolvimento de chapas utilizando fibras por processo a seco.

### **5.4. Principais Fatores que Afetam as Propriedades das Chapas de Fibras em Geral**

As propriedades das chapas isolantes, chapas duras e às de média densidade variam amplamente. Tais diferenças são não só devidas à matéria-prima e o processo de fabricação, mas resultante de fatores tais como colagem, impregnação, tratamento térmico, têmpera, entre outros.

### **5.4.1. Matéria Prima**

A indústria de chapa de fibra começou com o propósito de converter os resíduos de madeira de baixo custo, em produtos com aplicações definidas e de maior valor comercial. Atualmente essa indústria prefere madeira de coníferas, mas normalmente as folhosas são de menor custo e de suprimento mais fácil, razão esta da utilização cada vez mais crescente de misturas desses grupos de árvores produtoras de madeira. Conforme afirma KOLLMANN (1975), as espécies de coníferas têm aproximadamente 0,6 a 0,8 milhões de fibras por  $\text{cm}^3$  de madeira, ao passo que as folhosas possuem entre 2 e 3 milhões de fibras por  $\text{cm}^3$ . Apesar do comprimento das fibras não ser uma característica distinta das chapas, ele tem uma influência decisiva nas propriedades de entrelaçamento quando se dá a formação do coichão de fibras. Portanto, não há dúvidas de que algumas propriedades das chapas produzidas dependem não só do comprimento, mas também da espessura da parede das fibras.

A casca é um resíduo da indústria da madeira sólida, e é de certa forma limitada às indústrias de chapas de fibras e de partículas. Apesar da contra indicação de seu uso, alguns autores relatam que a quantidade de casca utilizada nessa indústria poderá variar de 0 a 45%.

### **5.4.2. Densidade das Chapas**

A densidade influencia a maioria das propriedades das chapas. Para a madeira sólida, compensado e chapas de partículas, uma forte correção existe entre a densidade e a absorção de água, inchamento, propriedades térmicas e acústicas, propriedades de resistência e elasticidade entre outras. No caso das chapas de fibras, o que determina as propriedades e o comportamento das chapas são principalmente os métodos de fabricação, especialmente a polpação, o pH, o tipo e a quantidade de adesivos e aditivos, temperatura, pressão e tempo de prensagem, bem como tratamento térmico e têmpera em óleo.

### **5.4.3. Teor de Umidade na Massa de Fibra e nas Chapas Acabadas**

No processo úmido, o teor de umidade baseado no peso úmido da massa de fibras, antes da prensagem a quente, deverá estar entre 65 a 72%. Existe uma forte relação entre absorção de água e a resistência a flexão e o teor de umidade. Quanto ao teor de umidade das chapas no ponto de saturação das fibras, este é inferior à madeira

sólida, variando de 14% para as chapas duras temperadas em óleo para 25% para as chapas isolantes.

#### **5.4.4. Adição de Resinas e Aditivos**

Segundo KOLLMANN (1975), os adesivos, bem como outros aditivos tais como parafina, amido, proteína vegetal entre outros são adicionados na polpa para reduzir a penetração de água e outros líquidos polares nas fibras. LABOSKY JUNIOR et alii (1993), estudando a influência dos níveis de pressão de vapor no refino sobre as chapas de fibras de média densidade (MDF), fabricadas com cavacos de madeira de red maple (*Acer rubrum L.*), usando quatro níveis de resina a base de ureia formaldeído, conclui que o aumento na pressão de refino não afetou significativamente as propriedades de resistência ou estabilidade dimensional das chapas MDF. Por outro lado, o teor de resina das chapas teve um efeito significativo sobre as propriedades das chapas. Um aumento no teor de resina de 6 para 12%, resultou em um aumento de 174% na resistência à ligação interna, um aumento de 68% no módulo de ruptura, 40% no módulo de elasticidade e um decréscimo de 113 e 60% respectivamente, nas propriedades de inchamento em espessura e absorção de água. Os autores ainda concluíram que outro fator significativo além do teor de resina, que influenciaram tanto às propriedades das chapas, quanto das fibras é o teor de umidade do cavaco de madeira durante o refinamento.

#### **5.4.5. Prensagem das Chapas**

Segundo KOLLMANN (1975), as chapas duras são prensadas e secas numa prensa hidráulica de platos múltiplos, a temperaturas de prensagem variando de 170 a 240°C. As condições de prensagem irão variar com a natureza do estoque de fibras, teor de umidade do colchão na prensa, e a densidade final da chapa. O efeito da temperatura de prensagem sobre a absorção de água e o inchamento em espessura é mostrado na Figura 3.

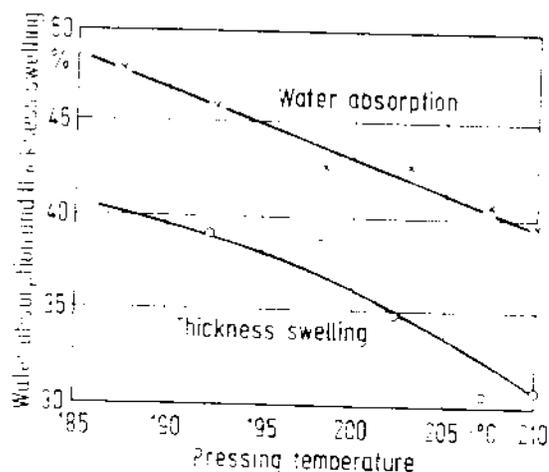


Figura 3- Efeito da temperatura de prensagem sobre a absorção de água e inchamento em espessura de chapa dura.

Quanto ao efeito da temperatura de prensagem sobre a resistência a flexão, este é ilustrado no diagrama da Figura 4, segundo KOLLMANN (1975).

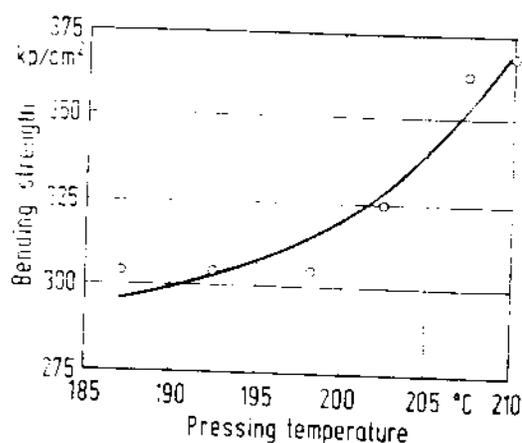


Figura 4- Efeito da temperatura de prensagem sobre a resistência à flexão de chapa dura.

A chapa dura, com uma densidade de  $0,95 \text{ g/cm}^3$ , pode em geral, ser feita com pressões menores do que  $17,5 \text{ kg/cm}^2$ . Quando densidades acima de  $1,0 \text{ g/cm}^3$  são desejadas, uma prensagem especial com pressões mais altas é necessária. A pressão exerce pouca influência nas propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, mas por outro lado, tal efeito é significativo nas propriedades de resistência, como mostra a Figura 5.

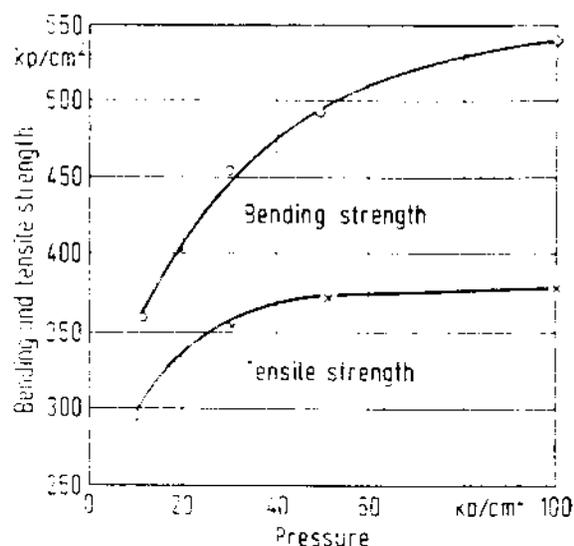


Figura 5- Efeito da pressão numa prensagem a quente sobre a resistência à flexão e tração de chapa dura.

#### 5.4.6. O Refino das Fibras

RAHMAN (1986), concluiu haver uma melhora substancial nas propriedades da superfície da chapa, quando fibras bem refinadas foram utilizadas na formação do colchão. Isso pode ser atribuído ao fato de que as fibras mais finas reteram uma maior quantidade de aditivos químicos. A presença de fibras grossas na massa, por outro lado, foi encontrada como sendo o responsável pelo fraco desempenho das superfícies da chapa, por razões opostas. Daí, mais ênfase deverá ser dada para melhorar a qualidade da fibra da chapa. O objetivo do refinamento não deve ser portanto confinado ao rendimento das fibras, mas deve atingir o máximo de destobrimento e fibrilação, para capacitar a fibra a formar um excelente retículo de fibras, e para reter os aditivos químicos, para estender ao máximo, os maiores desempenho da superfície da chapa. Frações grosseiras deverão ser eliminadas por peneiramento, separação ou quaisquer outros meios.

#### 5.4.7. Tratamento Térmico das Chapas de Fibras

Principalmente na produção de chapas para algumas aplicações especiais, deve se fazer o tratamento térmico no final do processo de fabricação das chapas. KOLLMANN (1975), enumera a seguir algumas alterações pelo qual sofrem as chapas de fibras, quando são submetidas a um determinado tratamento térmico:

- sob adequadas condições de tempo - temperatura de tratamento, uma perda de água de constituição ocorrerá;

- a degradação térmica inicial dos constituintes da madeira resulta na produção de polímeros de furfural, a partir de hemiceluloses, que no entanto são menos higroscópicos que estas;
- eliminação de água ligada aos grupos hidroxilas entre camadas adjacentes de celulose, em substituição por outros compostos;
- tanto a madeira quanto as chapas de fibras adquirem uma considerável resistência ao apodrecimento por aquecimento.

## **5.5. Principais Etapas a Serem Seguidas no Processo de Fabricação das Chapas de Fibras**

A seguir segue-se de maneira resumida as linhas gerais a serem seguidas para a fabricação de chapas de fibras.

### **5.5.1. Preparo da Matéria-Prima**

Normalmente em grandes unidades produtoras de chapas, a madeira chega até o pátio da fábrica, na forma de toras e com a casca. A partir daí remove-se o máximo de casca possível. Para o descascamento da madeira, uma variedade de equipamentos estão disponíveis. A casca poderá ser retirada das toras ou por descascadores mecânicos, através de navalhas ou por atrito, ou ainda por descascamento hidráulico, que consistem em lançar as toras sobre jatos de água com pressões extremamente elevadas, da ordem de 85 -90 kg/cm<sup>2</sup>, ou ainda por explosão de vapor, semelhante ao processo masonite.

### **5.5.2. Cavaqueamento e Classificação dos Cavacos**

Antes da madeira ser convertida em fibra, há normalmente a necessidade de sua transformação em cavacos, de tamanho aproximada àqueles utilizados numa fábrica de celulose. Normalmente para peças de madeira maiores, há necessidade de várias etapas de picagem até obtenção dos cavacos menores. Após serem classificados os cavacos de tamanho médio, de aproximadamente 25 mm de comprimento e de 3 a 6 mm de espessura, passam por um processo de lavagem e separação de impurezas, através de um ciclone de ar comprimido. A partir daí os cavacos passam por outro processo de peneiramento para separar nós e cavacos maiores não eliminados anteriormente.

### **5.5.3. Polpação dos Cavacos**

Existem diversos métodos de polpação, ou seja os processos mecânicos, químico-mecânico e os termo-mecânicos. Mas o objetivo final de todos deve ser o de desfibramento da madeira ou dos cavacos, que para todos os processos devem estar com teores de umidades mais elevados; ou entre 40 - 60% em base seca. A partir do desfibramento, faz-se o refino das fibras, em moinhos especiais, visando obter a máxima separação das fibras e também uma maior fibrilação destas.

### **5.5.4. Formação do Colchão**

No processo a úmido, água deve ser adicionada à massa de fibra, a fim de levar o estoque de fibras para uma consistência de 1 a 2%, caso o processo a seco é utilizado às fibras devem ser secas e teores de umidade inferiores a 10%, e adesivos devem ser adicionados às fibras, além de outros aditivos para melhorar as propriedades do produto acabado.

### **5.5.5. Prensagem do Colchão**

Os colchões são colocados nos pratos de prensas aquecidos a temperaturas entre 175 a 200°C, e sobre pressão variável de 6 a 35 kg/cm<sup>2</sup>, dependente da densidade final e outras propriedades das chapas. No caso do processo úmido o colchão é colocado sobre uma tela, o que permitirá a saída do excesso de água no momento da prensagem. Quanto ao tempo de prensagem, para o processo úmido, este deve variar entre 15 a 30 minutos, podendo ser reduzido caso prevaleça o processo seco.

### **5.5.6. Recondicionamento das Chapas**

Após a prensagem as chapas deverão ser resfriadas a temperatura ambiente, e em seguida serem estocadas num ambiente que permita as chapas atingirem um equilíbrio de teor de umidade por volta de 5 - 6% em base seca. Sendo a partir daí feitos os trabalhos finais de lixamento, cortes, classificação e embalagem das chapas.

## 6- NOVAS TENDÊNCIAS EM PAINÉIS À BASE DE MADEIRA

Outros painéis podem ser fabricados através de colagem de pequenos sarrafos de madeira de comprimentos variados como àqueles produzidos pelo Centre Technique Forestier Tropical, com sede em Paris, que propôs um sistema construtivo à base desses painéis. Segundo PARANT (1986), tal sistema se destina a utilização de espécies de qualidades inferiores existentes nos países tropicais, visando contribuir com uma solução para a precariedade de habitações existentes nestas regiões. Quanto ao sistema, consiste em painéis de madeira feito à base de sarrafos de espessura de 3 cm, e tamanhos variados que são unidos por adesivos, para formarem painéis de 2,50 m de comprimento, por 0,60 m de largura.

LAUFENBERG (1985), enfatiza a tendência de substituição da madeira serrada na forma sólida por madeira composta, com potenciais de utilizações muito grandes, sendo atingidos na última década. Esses painéis constituem principalmente de dois tipos principais, ou seja o painel de madeira laminada e colada, com a utilização de adesivos resistente a umidade, e um novo produto à base de madeira compensada composta, com denominação de COM-PLY no mercado americano, que se compõe de faces constituídas de lâminas, como no compensado, e do centro ou miolo composto de flocos ou partículas. Para a produção de chapas de partículas orientadas (OSB), é necessário uma razão entre o comprimento e espessura da partícula acima de 150, o que possibilita uma maior resistência ao cisalhamento entre as partículas coladas e conseqüentemente do painel. Para os painéis compostos de partículas alinhadas, sendo desenvolvidos atualmente, exige-se uma razão entre o comprimento e a espessura das partículas (pequenas lâminas) acima de 200, o que confere uma melhor eficiência na transferência de tensões nas linhas de colagens desses painéis. No que diz respeito a variabilidade nas propriedades de resistência, os painéis feitos com madeira laminada e colada são superiores à madeira na forma sólida, ou seja, enquanto às propriedades de resistência apresentam para a madeira sólida, um valor médio de coeficiente de variação de aproximadamente 40%, em painéis feitos com um número de aproximadamente 12 lâminas coladas apresenta valores de coeficiente de variação média de aproximadamente 12%.

Portanto existe um potencial muito grande de utilização desses materiais, nas aplicações de engenharia, tal como em vigas-l, e treliças de telhados entre outras.

Outro tipo de painel que já apresenta viabilidade em alguns países, principalmente os escandinavos, é àquele fabricado à base de partículas grosseiras de madeira unidas por cimento. LEE (1984), testou chapas produzidas à base de cimento e

madeira de coníferas, concluiu ser estas muito estáveis dimensionalmente, quando amostras foram submetidas à imersão prolongada em água. Apresentando portanto um melhor desempenho do que o compensado, em relação a absorção de água. BADEJO (1988), estudando o efeito da geometria dos flocos sobre as propriedades de chapas de partículas produzidas através de uma mistura de madeira de folhosas tropicais, apresentou as seguintes conclusões:

- em escala de laboratório, foi tecnicamente viável a produção de chapas de partículas unidas com cimento, utilizando uma mistura de flocos (para a camada central), e serragem (para as camadas externas ou faces) de três espécies de folhosas tropicais;
- painéis fabricados com chapas de densidades mais elevadas, foram geralmente mais resistentes, rígidos e mais estáveis dimensionalmente, sobre umedecimento prolongado em água por 144 horas;
- a utilização de flocos maiores aumentaram significativamente o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade em flexão estática, e melhoraram a estabilidade dimensional relacionada a absorção de água e ao inchamento em espessura;
- o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade em flexão estática foram significativamente reduzidos pelo uso de flocos mais espessos, seguido também de um aumento significativo na absorção de água e do inchamento em espessura das chapas experimentais;
- flocos mais finos e longos produziram chapas de partículas mais resistentes, rígidas, e mais estáveis dimensionalmente.

## **7. CONCLUSÃO**

O presente estudo nos leva a concluir que hoje, a tecnologia da fabricação dos painéis caminha a passos largos para a sua consolidação, com um grande conhecimento já sendo acumulado a respeito dos constituintes das chapas, quer no que diz respeito aos adesivos, onde se procura sempre reduzir a quantidade aplicada sem prejuízo ao desempenho dos painéis, associados ao desenvolvimento de novos produtos, principalmente àqueles à base de composto naturais, o que poderá livrar essa indústria da dependência de produtos à base de petróleo. Quanto a madeira, esses painéis se fundamentam hoje em dia principalmente na utilização de florestas plantadas, de rápido crescimento, pequenos diâmetros e propriedades bastante indesejáveis para a utilização na forma de madeira sólida serrada. Portanto, esses painéis, que em algumas regiões do mundo já tem lugar de destaque em construções em geral, deverá ser uma

peça chave para processos de pré-fabricação, que poderá servir de solução para problemas crônicos do terceiro mundo, como a falta de moradias populares, escolas, postos de saúde, que sem dúvida nenhuma poderá se viabilizar a custos bem mais compatíveis do que os praticados pelos sistemas construtivos vigentes nestas regiões, onde a abundância de umidade, associada a altos índices solarimétricos e grandes extensões de terra, possibilita uma das maiores produtividades de florestas de rápido crescimento do mundo, onde as espécies aqui aclimatadas puderam ter melhores desenvolvimentos do que na sua própria região de origem.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ARMSTRONG, I. D. & GROSSMAN, P. V. A. - The behavior of particleboard and hardboard beams during moisture cycling. **Wood Science and Technology**, (6):128-37. 1972.
- BADEJO, S. O. O. - Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. **Wood Science and Technology**, (22):357-70. 1988.
- BRIDGE, R. R. A. - A quantitative study of some factors affecting the abrasiveness of particleboard. *Forest Products Journal*, 21(11):39-41. 1971.
- BROTERO, F. A. - **Dados para a indústria de contraplacados**. São Paulo, IPT, 1946. 53p. (Bol. Técnico n. 33).
- CHASE, H. A. - Oriented strandboard technology and products: meeting today's needs and tomorrow's challenges. In: *Structural wood composites: meeting today's needs and tomorrow's challenges: Proceedings*; 1984. November 12-14; Madison, Wisconsin. FPRS; 1985: 21-25 (Proceedings 7339).
- COPPENS, H. A.; SANTANA, M. A. E.; PASTORE, F. J. - Tannin formaldehyde adhesive for exterior-grade plywood and particleboard manufacture. **Forest Products Journal**, 30(4): 38-42. 1980.
- DAVIS, C. R. - Phenol-formaldehyde - bonded boards can compete with isocyanates. In: *Structural wood composites: New technologies for expanding markets: Proceedings*; 1987. November 18-20; Madison, Wisconsin, FPRS; 1988: 35-39. (Proceedings 47359).
- GEIMER, R. L. - Dimensional stability of flakeboards as affected by board specific gravity and flake alignment. **Forest Products Journal**, 32(8): 44-52. 1982.
- GENERALLA, N. C.; BIBLIS, E. J.; CARINO, H. F. - Effect of two resin levels on the properties of commercial southern OSB. **Forest Products Journal**, 36(6): 64-68. 1989.

- HASELEIN, C.R. - **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex - Maiden) e em embaúba (*Cecropia* sp.).** Viçosa, UFV, 1989. 75p. (Tese M.S.).
- HOUWINK, R. & SALOMON, G. - **Adhesion and adhesives.** 2 ed. New York, Elsevier Publishing Company, 1965. 548p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. - **Adesão e adesivos para madeira.** Brasília, 1982. 22p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Norma de controle de qualidade e classificação de compensados.** Brasília, 1986. 77p.
- KEINERT JUNIOR, S. - Chapas de partículas estruturais a partir de *Pinus* e *Eucalyptus* spp. In: Simpósio Bilateral Brasil - Finlândia sobre Atualidades Florestais, 1., Curitiba, 1988. **Anais**, Curitiba, UFPr, 1988. p.315-26.
- KNIGHT, R.A.G. - **Adhesives for wood.** London, Chapman & Hall, 1952. 242p.
- KOLLMANN, F.F.P.; KUENZL, E.W.; STAMM, A.J. - **Principles of wood science and technology.** New York, Springer-Verlag, 1975. v.2. 728p.
- KRZYSIK, A. & YOUNG, R.A. - A lignin adhesive system for flakeboard production. **Forest Products Journal**, 36(11/12): 39-44. 1986.
- LABOSKY JR. P. et alii - Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of U.F. - bonded red maple MDF. **Forest Products Journal**, 43(11/12): 82-88. 1993.
- LAUFENBERG, T.L. - Potential for structural lumber substitutes. In: Structural wood composites: meetings today's needs and tomorrow's challenges: Proceedings; 1984. November 12-14; Madison, Wisconsin. FPRS; 1985: 41-53. (Proceedings 7339).
- MALONEY, T.M. - **Modern Particleboard and dry - process fiberboard manufacturing.** California, Miller Freeman Publications, 1977. 671p.

NAKAMURA, R.M. & SOBRAL FILHO, M. - **Aglomerado de mistura de espécies tropicais da Amazônia**. Brasília, IBDF/LPF, 1982. 10p. (Bol. Técnico n. 4).

PARANT, B - Un nouveau système constructif pour la réalisation de maisons en bois en zone tropicale. **Bois et Forêts des Tropiques**, (214): 83-93. 1986.

PETERSON, R.W. Wood adhesives. Ottawa, **Forest Products Research Branch**, n. 1055, 1964. 27p.

RAHMAN, L. Role of fiber quality and in slush overlay on the surface performance of medium density hardboard siding. **Forest Products Journal**, 36(9): 45-50. 1986.

SAMLAIC, J. Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**, (374): 7-10. 1983.

SCHNIEWIND, A.P. **Wood and wood - based materials**, New York, Pergamon Press, 1989. 353p

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. 2ed. Livingston. Van Nortrand Reinhold Company, 1977. 921p.

STAMM, A.J. Wood and cellulose science. New York, The Ronald Press Company, 1964, 549p.

VITAL, B.R. **Dimensional stability and water adsorption of flakeboard and particleboard as related to furnish geometry, board specific gravity, and resin type**. Oregon, Oregon State University, 1980. 149p. (Tese Ph. D.).

WATAI, L. T. **Painéis derivados de madeira**. São Paulo, Boletim ABPM n. 52, 1987. 16p.

YEH, M.C.; TANG, R.C.; HSE, C.Y. Effect of higroscopic treatments and load applications on engineering properties of flakeboards. **Forest Products Journal**, 40(10): 40-50, 1991.

YOUNG, R.A.; et alii. Bound formation by wood surface reactions: Part I - Surface Analysis by ESCA. **Wood Science**, 14(3): 110-119. 1982.