

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ REITORIA DE PESQUISAS E PÓS – GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANÁLISE DA QUALIDADE DE PAINÉIS COMPENSADOS  
COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE MANAUS

Bolsista: Juliana Torres Silva, FAPEAM

MANAUS

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ REITORIA DE PESQUISAS E PÓS – GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL

PIB-A/0082/2010

ANÁLISE DA QUALIDADE DE PAINÉIS COMPENSADOS  
COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE MANAUS

Bolsista: Juliana Torres Silva, FAPEAM  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Nabor da Silveira Pio

MANAUS

2012

Todos os direitos deste relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas, ao Núcleo de Estudo e Pesquisa em Ciência da Informação e aos seus autores. Parte deste relatório só poderá ser reproduzida para fins acadêmicos ou científicos.

Esta pesquisa, financiada pelo Fundo de Amparo a Pesquisa do Amazonas – FAPEAM, através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Amazonas, foi desenvolvida pelo Núcleo de Estudo e Pesquisa em Ciência da Informação e se caracteriza como sub projeto do projeto de pesquisa Bibliotecas Digitais.

## RESUMO

Este trabalho é resultante de uma pesquisa realizada a partir da coleta de painéis compensados em 5 empresas distribuídas aleatoriamente nos bairros de Manaus. As análises foram realizadas em dois tipos de painéis - com espessura 15mm e 9mm respectivamente. Com base nos dados fornecidos pelo IBAMA, foi verificado uma estimativa de mais de 70 empresas atuantes no setor de painéis laminados, estas empresas estão localizadas em diferentes zonas da cidade, e não estão restritas a apenas este produto, como também diversos tipos de painéis como MDF e aglomerado; materiais de construção, madeira entre outros. Os painéis compensados normalmente são provenientes de cidades do Sul e Sudeste do país, e fabricados a partir da madeira de pinus (*Pinus sp.*) e eucalipto (*Eucalyptus sp.*); apenas uma pequena parte deste produto é originária do Estado do Pará, que para isso utilizam a espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para a fabricação deste. Com os painéis coletados foram realizados ensaios físico-mecânicos e verificado um melhor desempenho para as empresas 2, 3 e 4, para os painéis com espessura 15mm, e para as Empresas 1, 2 e 5 com os painéis de espessura 9 mm. Para a conclusão dos seguintes resultados, foi utilizado como base os números do Programa Nacional de Qualidade da Madeira, além de outros estudos.

## ABSTRACT

This work is the result of a survey made with plywood panels in five firms distributed in Manaus city. The analysis were conducted on two types of panels – with thickness 15 mm and 9 mm respectively. Based on data provided by Ibama (Brazilian Institute of the environment and renewable natural resources). Was verified an estimate of more than 70 companies in the sector of laminated panels. This firms are not restricted to just this product, but also other types of panels, for example mdf and chipboard, building materials, wood and others. The plywood panels are usually originating from the cities of South and Southeast of the country, and are made from the wood of *Pinus sp.* and *Eucalyptus sp.*; only a small part of this product is originating from the state of Pará, and made of *Schizolobium amazonicum* wood. With the panels collected, were made physical and mechanical tests and verified a better performed for companies 2, 3 and 4 to 15 mm thickness, and to companies 1, 2 and 5 to painels with 9 mm thickness. For the conclusion of the results, was used as basis the numbers of the National Wood Quality Program, and other studies.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	7
1. Caracterização e Produção do Painel Compensado.....	8
2. Propriedades do Compensado .....	11
MÉTODOS UTILIZADOS.....	13
1. Levantamento Informações .....	13
2. Coleta de Dados .....	13
3. Avaliação dos dados.....	13
4. Análise dos resultados.....	19
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	21
Análise das empresas e origem do produto.....	21
Análise das propriedades físicas .....	21
Análise das propriedades mecânicas .....	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
REFERÊNCIAS .....	27
CRONOGRAMA .....	31

## INTRODUÇÃO

O setor de base florestal brasileiro está intimamente relacionado com diversos outros segmentos industriais, tais como: celulose e papel, gráfica, mobiliário, siderurgia, construção civil, dentre outros. Entre as principais, encontra-se o segmento industrial do compensado, que representa 11% da produção de madeira processada mecanicamente no Brasil (POLZL, 2003).

A madeira compensada é um material a base de painéis de lâminas de madeira, consistindo de um número ímpar de camadas de lâminas com grã adjacente em ângulos retos, que são submetidas a um processo de colagem e prensagem com adesivos resistentes e a prova d'água. As lâminas da superfície são chamadas de capas, e qualquer lâmina interior com grã perpendicular a direção das capas são chamadas de miolos (GONÇALVES e ALMEIDA, 1998).

Segundo Macedo (2004), sob o ponto de vista regional, o parque produtor de compensados divide-se em duas vertentes: de um lado, a Região Norte projeta-se como o mais expressivo centro industrial de painel compensado de madeiras tropicais, geralmente duras, enquanto, por outro, a Região Sul mantém-se especializada no processamento de madeiras moles, provenientes de florestas plantadas, destacando-se o *Pinus elliotti*.

No contexto atual, a utilização dos produtos de laminação encontra-se bem diversificada, como por exemplo, nas peças componentes de uma moderna casa de madeira (pisos, forros, paredes internas e externas, telhados), na confecção de embarcações, na produção de embalagens especiais resistentes a exposição e ao tempo, na fabricação de instrumentos musicais e esportivos, construção civil, além de outras possíveis e prováveis aplicações (ALBUQUERQUE, 2004). No entanto, apesar de sua versatilidade e disponibilidade, a utilização destes painéis, nem sempre ocorre em condições satisfatórias no tocante à tecnologia agregada ao material, seu emprego fica às vezes, dificultado por não serem totalmente conhecidas suas propriedades físico-mecânicas e seu desempenho em diferentes condições de serviço (ZANGIÁCOMO e LAHR, 2007).

Assim sendo, a pesquisa foi baseada a partir de observações provenientes da análise do setor de madeira-móveis (2009), que indicou a grande demanda de consumo de painéis compensado na cidade de Manaus, fazendo-se necessário portanto, um estudo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis comercializados na cidade.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. Caracterização e Produção do Painel Compensado

Os painéis de madeira estão consolidando posições de destaque no setor florestal brasileiro e na economia brasileira, em decorrência do grande crescimento da produção na última década. Nos anos 90, nenhum outro segmento do setor florestal brasileiro teve taxas de crescimento similares aos da indústria de painéis de madeira (TUOTO e MIYAKE, 2001).

Em virtude de possuir diversas características favoráveis, o compensado encontra utilizações das mais variadas, como na construção civil para aplicações estruturais ou não (pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto etc.), na construção de barcos e na fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros (BORTOLETO JÚNIOR e GARCIA, 2004).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta algumas normas que especificam as dimensões, suas tolerâncias e as condições específicas a serem seguidas para classificação das chapas de compensado. A NBR 9532/86, “Chapas de madeira compensada – Especificações” especifica as características geométricas e suas tolerâncias. Segundo essa norma, todas as chapas, independentemente do tipo, exceto quando mencionado, deverão apresentar as seguintes características:

- **Montagem** - Número de lâminas ímpar, lâmina de face e contra-face paralela ao comprimento da chapa, não sendo admitido duas lâminas coladas entre si com a mesma orientação de grã.
- **Dimensão** - As chapas devem ter dimensões de 2440mm por 1220mm, permitindo-se variações não superiores a  $\pm 2$ mm em qualquer direção. Outras dimensões são consideradas especiais. As dimensões devem ser tomadas no meio da largura e comprimento da chapa.
- **Forma** - Todas as chapas devem ser retangulares, formando quatro ângulos retos, permitindo-se um desvio de no máximo 10”.
- **Espessura** - As chapas podem ter as espessuras de 4, 6, 9, 12, 15, 18 e 21mm. As tolerâncias aceitas para cada uma das espessuras deve ser determinada a, no mínimo, 50mm da borda da chapa, em um ponto tomado ao acaso.

Gonçalves (1998) afirma que a fabricação do compensado é mais complexa se comparada ao beneficiamento da madeira serrada. A ABIMCI (2004) – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente cita que o fluxo do processo produtivo de uma fábrica de compensados é relativamente simples, envolvendo as seguintes atividades:

**a. Juntadeira de miolo:**

Difícilmente os painéis compensados são formados por lâminas inteiras, geralmente a composição destes painéis utiliza lâminas fracionadas ao meio, em um terço ou em um quarto.

As lâminas estreitas são encaminhadas para uma juntadeira de miolo, objetivando seu aproveitamento e obter uma única lâmina com a dimensão padrão estabelecida. O processo de juntagem envolve as seguintes fases: alimentação, suavização, inspeção eletrônica, recorte, colagem, descarregamento e empilhamento.

As lâminas juntadas na dimensão padrão são encaminhadas, geralmente através de empilhadeira, para preparação e montagem do compensado.

**b. Montagem do compensado:**

Previamente a montagem do compensado, as lâminas são submetidas à aplicação superficial de cola, através de um equipamento específico denominado passadeira de cola.

Duas diferentes passadeiras de colas podem ser consideradas no processo produtivo, sendo uma utilizada exclusivamente para aplicação de cola uréica, na fabricação do compensado de uso interno e outra para aplicação de cola fenólica na fabricação do compensado de uso externo (resistente à umidade). Após a aplicação de cola, ocorre automaticamente a montagem do compensado.

Na montagem sempre é considerado um número ímpar de camadas ou lâminas, definida em função da espessura final do compensado. As lâminas são cruzadas (balanceadas), de forma que cada camada apresente uma lâmina disposta com grã perpendicular à camada adjacente.

Normalmente, a lâmina que confere o balanceamento ao compensado é aquela destinada a compor o miolo curto.

Posteriormente a montagem, o compensado montado é transportado através de roletes até uma pré-prensa.

**c. Pré-prensagem:**

O compensado previamente montado é submetido à pré-prensagem em uma prensa a frio que é carregada e descarregada manualmente.

A pré-prensagem tem como finalidade principal preparar o compensado para a prensagem final, facilitando o carregamento da prensa principal e conferindo menor tempo melhor qualidade de colagem ao produto final.

**d. Prensagem:**

Após a pré-prensagem, o compensado montado é enviado a uma prensa multipratos com alimentação e descarregamento automático.

Na prensa o compensado montado é submetido à ação de pressão e temperatura por um período de tempo previamente definido. Tanto o tempo, como a temperatura e pressão dependem do tipo de cola empregada, bem como da espessura do compensado.

Após a prensagem, o compensado semi-acabado é encaminhado para pré-classificação.

**e. Pré-classificação:**

Consiste basicamente na aplicação de massa de rápido endurecimento, acrílica ou similar, objetivando eliminar eventuais defeitos superficiais (nós abertos, trincas, etc.) na capa e contracapa após a prensagem. Tal procedimento visa conferir ao compensado uma melhor aparência.

**f. Esquadrejamento:**

O compensado consertado é, através de roletes, direcionado a uma serra esquadrejadeira, a qual é responsável por conferir as dimensões finais (comprimento e largura) requeridas para o produto.

**g. Lixamento:**

Também através de roletes, o compensado já esquadrejado segue para uma lixadeira de desbaste e, posteriormente, para uma lixadeira bitoladeira, onde é definida a espessura do painel.

**h. Classificação:**

Após o lixamento o compensado é classificado e, caso existam imperfeições que possam ser consertadas, o painel é emassado novamente. Caso contrário, o compensado é rejeitado ou classificado como sendo de qualidade inferior.

**i. Armazenamento, embalagem e expedição:**

O compensado classificado é embalado, onde o mesmo é palletizado. O produto palletizado é armazenado em local adequado para posterior expedição.

**2. Propriedades do Compensado**

Steck (1995) apud Dias (2005) afirma que uma das propriedades mais importantes dos produtos derivados da madeira é a densidade. Sendo dependente da quantidade de adesivo e da pressão utilizada, a densidade do compensado é geralmente maior que a da madeira maciça utilizada como matéria-prima.

Assim como a madeira sólida as lâminas são higroscópicas, e, portanto o teor de umidade do compensado depende das condições climáticas do ambiente a que está exposto. O teor de umidade de equilíbrio do compensado com o ambiente é menor que o da madeira maciça, devido as linhas de cola (OLIVEIRA e FREITAS, 1995).

O compensado também está sujeito a variações dimensionais devido à variação de umidade, da temperatura e de outros fatores. Segundo Oliveira e Freitas (1995) o compensado apresenta estabilidade dimensional muito superior a outros produtos a base de madeira.

Stamato (1998) afirma que, a laminação cruzada do compensado resulta em propriedades físicas e mecânicas mais desejáveis para a utilização estrutural em elementos como almas de vigas, painéis de piso, etc. A resistência da madeira na direção paralela às fibras é muitas vezes maior que na direção perpendicular. A construção com fibras cruzadas, utilizada no compensado, aumenta significativamente a resistência e a rigidez na direção normal às fibras, se comparado com a madeira maciça. Portanto, painéis de compensado possuem, no plano da chapa, boa rigidez e resistência nas direções perpendicular e paralela às fibras da lâmina de face. A laminação cruzada também confere ao compensado boa resistência à tração e à compressão tanto na direção longitudinal quanto na direção normal às fibras da lâmina de face, compensando a baixa resistência à tração e à compressão que a madeira maciça apresenta na direção normal às fibras.

Tensões de tração perpendiculares ao plano do painel devem ser evitadas. Tensões de compressão perpendiculares ao plano do painel de compensado resultam em deformações menores que na madeira maciça da mesma espécie utilizada como matéria prima da chapa, devido contribuição do adesivo (STAMATO, 1998).

A resistência ao cisalhamento no plano da chapa de compensado é superior à resistência ao cisalhamento da madeira maciça, pois, devido à laminação cruzada, esforços tangenciais sempre serão resistidos por fibras em duas direções, ortogonais entre si. Na madeira maciça existe uma única direção das fibras, ocorrendo uma direção preferencial de ruptura por cisalhamento onde há menor resistência (STAMATO, 1998).

Contudo, apesar de sua versatilidade, a utilização de painéis fica às vezes dificultado por não serem totalmente conhecidas as suas propriedades físico/mecânicas e seu desempenho em diferentes condições de serviço, ocasionando diversos problemas de qualidade, sendo reproduzido sequencialmente pelo excesso da procura da matéria-prima, acabando por aumentar a tendência à utilização de um material não padronizado (ZANGIÁCOMO e LAHR, 2007).

Assim sendo, a presente pesquisa será uma renovação de projeto, tendo como objetivo gerar informações sobre a qualidade dos painéis compensados comercializados na cidade de Manaus, a partir de ensaios físicos e mecânicos, indicando também a origem deste produto bem como o número de empresas envolvidas neste segmento de base florestal.

## MÉTODOS UTILIZADOS

O estudo foi iniciado primeiramente a partir da montagem de um cronograma de atividades divididas nas seguintes fases:

### 1. Levantamento Informações

Foi realizado o levantamento do número de empresas que comercializam painéis compensados em Manaus, a partir de uma visita ao IBAMA, para obtenção do cadastro destas, estimando assim um número equivalente ao segmento representativo da cidade.

### 2. Coleta de Dados

Foram adquiridos quatro painéis por empresa, sendo dois com bitola de 9 mm e dois com bitola 15 mm (tratamentos), em cinco empresas (repetições) selecionadas ao acaso, para comparação de qualidade, de acordo com a tabela abaixo.

Ensaio	TRATAMENTOS					Nº de painéis
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	
9	2	2	2	2	2	10
15	2	2	2	2	2	10
<b>Total</b>	4	4	4	4	4	<b>20</b>

### 3. Avaliação dos dados

Os painéis serão avaliados a partir das análises de suas propriedades físicas e mecânicas. Para isso, será utilizada a norma NBR – Norma Brasileira Registrada para as seguintes finalidades:

NBR 9488/86 – Amostragem de Compensado para Ensaio: A amostragem será feita a partir da extração aleatória de cada lote, um número mínimo de espécimes (n) que devem constituir a amostra. A manipulação dos corpos de prova deve ser cuidadosa para não afetar suas características físicas, químicas ou mecânicas, e também devem ser protegidos contra condições variáveis de umidade, temperatura e quaisquer outra influência danosa, além de serem devidamente identificados.

NBR 9489/86 – Condicionamento dos Corpos de Prova: A sala de ensaio deve ter uma temperatura  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  e umidade relativa  $65 \pm 5\%$ . As amostras serão mantidas de maneira que a corrente de ar tenha livre acesso em todos os lados, até que atinjam condições de equilíbrio verificáveis pela massa constante. (Considera-se massa constante quando duas pesagens sucessivas, com intervalo mínimo de 4 horas, apresentar variação máxima de 0,3% em relação à massa da última pesagem).

### ***Propriedades Físicas***

NBR 9485 – Determinação da Massa Específica Aparente (Densidade): É a razão entre a massa, expressa em gramas, do corpo de prova e seu volume, em  $\text{cm}^3$ , determinados na mesma condição de umidade.

- Serão retirados 5 corpos de prova com dimensões de 100mm por 50mm,
- Após, as amostras serão condicionadas e pesadas com precisão de 0,1g.
- A largura e o comprimento serão medidos dos corpos de prova serão medidos com o paquímetro, efetuando-se duas medidas em cada direção, considerando a médias aritméticas dos valores obtidos de cada direção como as dimensões de cada corpo de prova.
- A espessura também será medida com um micrômetro em quatro pontos localizados na intersecção de retas paralelas às bordas e distantes 25mm das mesmas. A espessura a ser considerada é a média aritmética dos valores obtidos nos quatro pontos.
- Cálculo da massa específica:

$$Me_a = m / (c.l.e)$$

Onde:

$Me_a$  = massa específica aparente, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$m$  = massa do corpo de prova, em g;

$c$  = comprimento do corpo de prova, em cm;

$l$  = largura do corpo de prova, em cm;

$e$  = espessura do corpo de prova, em cm

- Os resultados deverão ser expressos pela média aritmética dos valores obtidos dos cinco corpos de provas da chapa.

NBR 9484 – Determinação do teor de umidade: É a massa de água contida no compensado, expressa como uma porcentagem da massa seca do compensado.

- Serão retiradas amostras de cada chapa, totalizando cinco corpos de prova de dimensões tais que sua massa seca seja no mínimo de 10g, estes devem estar livres de lascas e serragem.
- Os corpos serão pesados com precisão de 0,01g, secados em estufa a  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ , até obterem massa constante. (Considera-se massa constante quando duas pesagens sucessivas, com intervalo mínimo de 4 horas, apresentar variação máxima de 0,3% em relação à massa da última pesagem).
- Os corpos de prova deverão ser secos em dessecador.
- Após isso, serão novamente pesados, evitando que nesta operação que o acréscimo de teor de umidade seja superior a 0,1%.
- Cálculo do teor de umidade:

$$\text{TU} = ( (M_u - M_s) / M_s ) \cdot 100$$

Onde:

TU = teor de umidade, em%

$M_u$  = massa úmida (inicial) do corpo de prova, em g.

$M_s$  = massa seca (final) do corpo de prova, em g.

- Os resultados serão expressos pela média aritmética dos valores obtidos para cada corpo de prova, com precisão de 0,1%.

NBR 9486 – Determinação da Absorção de Água:

- Serão retirados cinco corpos de prova de cada painel com dimensões 75x25x9 mm (comprimento, largura e espessura), sendo que o comprimento deverá ser perpendicular à direção das fibras da lâmina externa.
- As superfícies e as bordas dos corpos serão lixadas a fim de remover possíveis defeitos de corte.

- Os corpos de prova serão secados por 24 horas à temperatura de  $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , esfriados em dessecador, e pesados em balança com precisão de 0,01 g ( $M_i$ ).
- Após isto, serão imersos em água destilada, mantendo a temperatura constante de  $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- Ao final serão removidos um de cada vez, enxugados na superfície com papel absorvente e pesados ( $M_f$ ).
- Cálculo da percentagem de água absorvida

$$A = ( (M_f - M_i) / M_i ) . 100$$

Onde:

A = quantidade de água absorvida, em %;

$M_f$  = massa final do corpo de prova, em g;

$M_i$  = massa inicial do corpo de prova, em g;

- Os resultados serão expressos pela média aritmética dos valores obtidos para cada corpo de prova, com precisão de 0,1%.

NBR 9535 – Determinação do Inchamento: Esta norma prescreve o método de determinação do inchamento, que é o acréscimo da espessura da chapa de compensado quando submetida à absorção de água; e recuperação da espessura, que é a capacidade da chapa de compensado de adquirir a espessura inicial após a imersão em água e posterior secagem.

- Serão retirados de cada chapa seis corpos de provas com dimensões 60mm x 10mm. O comprimento deverá ser perpendicular à direção das fibras da lâmina externa e a espessura do corpo de prova igual à espessura da chapa.
- As superfícies e as bordas dos corpos serão lixadas a fim de remover possíveis defeitos de corte.
- Os corpos de prova serão condicionados conforme a NBR 9489.
- A espessura será medida no centro de todos os corpos com um micrômetro e logo após, serão separados em duas séries de três, sendo uma série a de controle.

- Os corpos utilizados como controle serão secos à temperatura de  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  por 24 horas, e depois serão resfriados em dessecador. Após isto, serão medidos novamente como prescrito anteriormente.
- A outra série de corpos de prova será imersa em água destilada, mantendo a temperatura constante de  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ , por 24 horas.
- Depois, serão removidos um de cada vez, enxugando sua superfície rapidamente com papel absorvente e medidos.
- Os corpos serão secos a uma temperatura de  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ , por 24 horas e depois serão resfriados em dessecador. Após, serão medidos novamente.
- O cálculo da percentagem de recuperação da espessura

$$R = ( (e_1 \cdot e_5) / (e_2 - e_3) ) \cdot 100$$

Onde:

R = Recuperação da espessura, em %;

$e_1$  = soma das espessuras dos corpos de prova, utilizadas como controle, condicionados, em mm;

$e_2$  = soma das espessuras dos corpos de prova, utilizadas como controle, secos em estufa, em mm;

$e_3$  = soma das espessuras dos corpos de prova, antes da imersão em água, em mm;

$e_5$  = soma das espessuras dos corpos de prova, após imersão em água, em mm;

- Por final, o cálculo da percentagem de inchamento mais recuperação da espessura:

$$IR = ( (e_1 \cdot e_4) / (e_2 \cdot e_3) - 1 ) \cdot 100$$

Onde:

IR = Inchamento mais recuperação da espessura, em %;

$e_4$  = soma das espessuras dos corpos de prova após imersão em água e secos em estufa, em mm;

- O cálculo da percentagem de inchamento será a diferença entre os valores obtidos para inchamento mais recuperação da espessura (IR) e recuperação da espessura (R).

### *Propriedade Mecânica*

NBR 9533 – Determinação da Resistência à Flexão Estática: Esta norma prescreve o método de determinação do módulo de elasticidade e resistência máxima à flexão estática do compensado.

- Serão retiradas amostras com cinco corpos de prova de cada direção (paralela e perpendicular à grã das lâminas externas).
- Os corpos serão retirados a uma distância não menor do que 50mm das bordas da chapa, procurando distribuí-los aleatoriamente em toda sua extensão, com as dimensões: largura:  $l = 75\text{mm}$  de largura e comprimento:  $c = 25 \cdot e + 50\text{ mm} \geq 50\text{ mm}$ , sendo “e” a espessura do corpo de prova.
- Os corpos de prova deverão ser condicionados de acordo com a NBR 9489.
- Serão medidas a espessura do corpo de prova através de micrômetro e a largura através de paquímetro, com precisão de 0,05 mm.
- A largura (l) do corpo de prova será medida também através de um paquímetro, posicionando seu eixo transversal, com precisão de 0,1mm.
- O vão deverá ser ajustado para que a distância entre os centros dos apoios (L) seja igual a 25 vezes a espessura nominal do corpo de prova. Esta distância (L) não deverá ser inferior a 100mm, admitindo-se uma precisão de 0,5mm.
- O corpo de prova será posicionado sobre os apoios da máquina de ensaio, e por conseguinte será aplicada uma carga continuamente e a uma velocidade constante.
- Cálculo da velocidade:

$$V = (k \cdot L^2) / (6 \cdot e)$$

Onde:

V = velocidade de carregamento, em mm/s;

K = 0,00005, taxa de deformação da fibra;

L = distância entre os apoios (vão).em mm;

e = espessura do corpo de prova, em mm;

- O módulo de elasticidade será determinado, registrando-se as cargas e as correspondentes deflexões.

- O cálculo do módulo de elasticidade

$$E_b = (L^3 \cdot (F_2 - F_1)) / (4 \cdot l \cdot e^3 \cdot (S_2 - S_1))$$

Onde:

$E_b$  = módulo de elasticidade N/mm<sup>2</sup>;

$L$  = distância entre os centros dos apoios (vão), em mm;

$l$  = largura do corpo de prova, em mm;

$F_2 - F_1$  = incremento de carga no trecho reto da curva carga-deformação, determinado em newtons, com precisão de 1%;

$e$  = espessura do corpo de prova, em mm;

$S_2 - S_1$  = incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente à  $F_2 - F_1$ , determinado em milímetros, com precisão mínima de 0,01 mm.

- O módulo de elasticidade de cada grupo de corpos de prova retirados da mesma chapa será a média aritmética dos resultados individuais, arredondados para centésimos de N/mm<sup>2</sup>.

#### 4. Análise dos resultados

Os ensaios das propriedades físicas foram realizados no INPA – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia e no laboratório de Física da Madeira da UFAM, enquanto que o ensaio das propriedades mecânicas foram realizados na Universidade Federal do Paraná – UFPR.

Para análise dos dados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado – DIC, considerando que:

- Este delineamento leva em consideração apenas os princípios de repetição e casualização;
- Os tratamentos são divididos em parcelas de forma inteiramente casual;
- Exige que o material experimental seja semelhante e que o estudo (testes) seja realizado em condições homogêneas.
- Os aspectos que devem ser considerados na semelhança entre as unidades experimentais são aqueles que interferem nas respostas das mesmas aos tratamentos;

- Geralmente é mais utilizado em experimentos nos quais as condições experimentais podem ser controladas (por exemplo em laboratório);

Após os ensaios dos corpos-de-prova, os valores médios referentes a cada variável resposta avaliada foram submetidos a análise de variância. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, foi possível aplicar-se o teste Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise das empresas e origem do produto

Com base nos dados fornecidos pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), estimou-se que mais de 70 empresas comercializam painéis compensados na cidade de Manaus. Estas empresas estão localizadas em diferentes zonas da cidade, e não estão restritas a apenas este produto, como também diversos tipos de painéis como MDF e aglomerado; materiais de construção, madeira entre outros.

A partir de visitas *in loco*, ligações e troca de e-mails, foi verificado que os painéis normalmente são provenientes de cidades do Sul e Sudeste do país, e fabricados a partir da madeira de pinus (*Pinus sp.*) e eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Apenas uma pequena parte deste produto é originária do Estado do Pará, e utilizam a espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para a fabricação dos painéis.

### Análise das propriedades físicas

A tabela 1 apresenta os valores médios encontrados para as propriedades de teor de umidade, massa específica aparente, absorção de água e inchamento dos painéis com espessura 15 mm.

Tabela 1. Valores médios das propriedades físicas dos painéis com espessura 15 mm.

Tratamentos (15 mm)	Propriedades			
	Teor de umidade (%)	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de Água (%)	Inchamento (%)
Empresa 1	11,274 bc	0,640 a	45,571 d	21,048 a
Empresa 2	11,076 cd	0,586 bc	56,261 bc	7,470 d
Empresa 3	10,880 d	0,562 c	59,711 b	18,074 b
Empresa 4	12,760 a	0,626 ab	53,851 c	11,382 c
Empresa 5	11,486 b	0,502 d	89,952 a	10,246 c

\* Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem estatisticamente, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Foi verificado diferença significativa entre as médias para o teste de teor de umidade, onde foi constatado um valor máximo de 12,760% para a Empresa 4 e mínimo de 10,880% para a Empresa 3. As Empresas 1 e 2 apresentaram ambiguidade, com características em comum entre os painéis de valor *b* e *c* e dos painéis de valor *c* e *d* respectivamente.

Os resultados encontrados estão de acordo com os valores determinados pelo PNQM (Programa Nacional de Qualidade da Madeira) que variam de no mínimo de 9% e máximo 12%, para o referido teste.

Para o teste de massa específica aparente também foram visualizadas diferenças estatísticas. Segundo Kollman et al. (1975) apud Almeida (2009), a massa específica do compensado depende da espécie da madeira, umidade das lâminas, temperatura e pressão de prensagem, utilizadas na manufatura. Assim sendo, foi verificado que os painéis com maior massa específica foi o da Empresa 1, enquanto que a massa específica mais baixa foi encontrada na Empresa 5. Os painéis das empresas 2 e 4 demonstraram um comportamento ambíguo.

Neste sentido, é interessante ressaltar que os valores descritos pelo PNQM são de no mínimo  $0,517 \text{ g/cm}^3$  e máximo de  $0,591 \text{ g/cm}^3$ , desta forma é possível afirmar que os números obtidos pela Empresa 1, 4 e 5 não encontram-se em conformidade com a norma.

Para o teste de absorção de água, os painéis da Empresa 5 foram os que tiveram maior porcentagem de absorção, com 89,952%, o que pode significar que a linha de cola não ofereceu nenhuma barreira contra a absorção de água nas camadas internas, tornando-o para este teste um produto de baixo potencial. Com exceção das Empresas 1 e 5, os demais valores determinados, assemelham-se com os encontrados no estudo de Campos et al (2009) que realizou os mesmo ensaios com madeira compensada produzidas com *Pinus SP*.

No teste de inchamento, observa-se que a Empresa 1 obteve a maior porcentagem, com 21,048% e a Empresa 2 a menor com 7,470%, definindo um melhor padrão para uso exterior. Alguns valores da tabela 1 mostram-se superiores aos valores encontrados por Pollnow (2010), como os da Empresa 1 e 3.

A tabela abaixo apresenta os valores médios encontrados para as mesmas propriedades físicas acima citadas, em painéis com espessura 9 mm.

Tabela 2. Valores médios das propriedades físicas dos painéis com espessura 9 mm

Tratamentos (9 mm)	Propriedades			
	Teor de umidade (%)	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de Água (%)	Inchamento (%)
Empresa 1	11,546 a	0,554 a	62,408 c	3,964 d
Empresa 2	10,783 b	0,570 a	51,842 d	5,394 c
Empresa 3	11,676 a	0,460 b	103,488 a	4,508 dc
Empresa 4	10,708 b	0,560 a	68,974 b	18,910 a
Empresa 5	11,264 a	0,598 a	51,408 d	12,332 b

\* Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem estatisticamente, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a tabela 2, as médias apresentadas para o teste de teor de umidade possuem valores estatisticamente diferentes. Confrontando-as com os números exigidos pelo PNQM que determina a porcentagem máxima de 12%, pode-se afirmar que os painéis das empresas analisados encontram-se dentro das conformidades da norma.

Para o teste de massa específica aparente, foi verificado que, com exceção do valor encontrado para o painel da Empresa 3, as demais empresas não apresentaram diferença significativa, além de estarem de acordo com os padrões exigidos pelo PNQM, que recomenda uma massa específica na faixa de 0,516 a 0,614 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados encontrados, também aproximam-se aos valores obtidos no estudo de Cabral (2011).

Em relação à absorção de água, é possível observar que houve efeito significativo para os tratamentos testados. O painel que mais absorveu água foi o da Empresa 3, e o que absorveu menos foi o da Empresa 2 e 5, sendo estes últimos desta forma, mais resistentes para essa propriedade em relação aos demais e, portanto teriam melhor desempenho para uso exterior.

No teste de inchamento, os valores obtidos mostraram-se inferiores aos valores descritos por Pollnow (2010) em seu estudo, no entanto, quando comparados com Iwakiri (2001) et al., os valores médios encontrados foram de 5,49% e 4,85% para painéis com cinco lâminas, a base de adesivo uréia-formaldeído.

### Análise das propriedades mecânicas

O teste de flexão estática é um dos ensaios mais importantes para determinação das características mecânicas da madeira. Dois parâmetros são obtidos neste ensaio: o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) (LIMA e PIO, 2007).

A tabela 3 apresenta os valores médios para essa propriedade.

Tabela 3. Valores médios do teste de flexão estática paralela dos painéis com espessura 15 mm

Tratamentos (15 mm)	Flexão Estática	
	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)
Empresa 1	7252,876 a	45,976 ab
Empresa 2	5478,800 ab	54,192 a
Empresa 3	3708,132 b	29,174 b
Empresa 4	4925,710 ab	35,554 ab
Empresa 5	5750,278 ab	40,696 ab

\* Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem estatisticamente, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.  
MOE: Módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura

Em relação ao MOE, as Empresas 2, 4 e 5 não demonstraram diferença estatística entre si, assim como as Empresas 1, 4 e 5 também não diferenciaram para MOR.

De acordo com os valores determinados pelo PNQM, os números obtidos mostraram-se inferiores á norma, não estando portanto dentro dos padrões exigidos. Contudo, se comparados com o estudo de Almeida (2011), que realizou o mesmo teste para compensados fabricados a partir de *Pinus Elliot*, os valores para MOR são bem próximos.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o mesmo teste acima citado para painéis compensados com espessura 9 mm.

Tabela 4. Valores médios do teste de flexão estática paralela em painéis com espessura 9 mm

Tratamentos (9 mm)	Flexão Estática	
	MOE (Mpa)	MOR (MPa)
Empresa 1	6544,030 a	45,962 ab
Empresa 2	5384,424 ab	53,096 a
Empresa 3	3420,242 b	29,712 b
Empresa 4	4568,450 ab	35,346 ab
Empresa 5	5192,692 ab	41,024 ab

\* Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem estatisticamente, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.  
MOE: Módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura

Para este teste foi verificado que os painéis das Empresas 2, 4 e 5, também não diferenciaram estatisticamente para os ensaios com espessura 9 mm para o módulo de ruptura, bem como os da Empresa 1, 4, 5 para o módulo de elasticidade. Os valores encontrados são inferiores aos do PNQM, no entanto, no estudo de IWAKIRI (2009) com painéis de pinus tropicais, os valores de MOE são parecidos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Foram verificadas mais de 70 empresas que trabalham com painéis compensados na cidade de Manaus. Tais empresas encontram-se distribuídas em toda a cidade, não tendo uma zona específica para concentração deste setor. Existe grande variação de produtos comercializados por essas empresas, não sendo apenas restrito a painéis compensados. É importante ressaltar que nem todas as empresas cadastradas pelo IBAMA encontram-se em plena atividade, e que o número trata-se de uma estimativa, visto que o banco de dados do instituto não é atualizado.
- Foi verificado que os painéis normalmente são provenientes de cidades do Sul e Sudeste do país, e fabricados a partir da madeira de pinus (*Pinus sp.*) e eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Apenas uma pequena parte deste produto é originária do Estado do Pará, e utilizam a espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para a fabricação dos painéis.
- Baseado nos números descritos pelo PNQM, os painéis com 15mm de espessura das empresas 2, 3 e 4 demonstram bons rendimentos dentro das 5 avaliações submetidas, enquanto que os painéis das empresas 1, 2 e 5 obtiveram os melhores rendimentos entre os painéis com espessura 9mm.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **A História do Compensado**. Revista da Madeira, n.29, 2004.

ALMEIDA, N. F. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de compensados**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba – SP. 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Classificação**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9531).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Especificação**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9531).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Amostragem de compensado para ensaio**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9488).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Condicionamento de corpos de prova compensados para ensaio**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9489).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9485).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9484).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9486).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Determinação do Inchamento.** Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9535).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: Determinação da resistência à flexão estática.** Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9533).

BORTOLETTO JR., G; GARCIA.; J. N. **Propriedades de Resistência e Rigidez à Flexão Estática de Painéis OSB e Compensados.** Revista *Árvore*, Viçosa, v.28, n. 24, p. 563-570, 2004.

CABRAL, B. M. **Qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos por indústrias da região de Irati/PR.** Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati – PR. 2011.

CAMPOS, C. I. et al. **Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzidos com *Pinus SP* e resina poliuretana bi-componente.** Revista *Madeira Arquitetura & Engenharia*, n. 24, ano 10, Janeiro-Junho, 2009

DIAS, F. M. **Aplicação da Resina Poliuretana à Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Compensada e Aglomerada.** São Carlos - SP. 2005. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 151p.

GONÇALVES, S. L. F. & ALMEIDA, A. R. C. **A indústria de lâminas e compensados de madeira no estado do Amazonas: um cenário do processo produtivo e**

**tendências para o próximo milênio.** Niterói-RJ. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 8 p. 1998.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 669-673, jul./set. 2009.

LIMA, N. N. e PIO, N. S. **Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwyer e *Eperua oleifera* Ducke.** *Acta Amaz.*, 2007, vol.37, no.3, p.347-352.

MACEDO, R. **Resinas para Compensado.** Revista Referência. Curitiba: Jota Comunicação, ano VI, n. 34, jun 2004.

MACEDO, A. R. P. e ROQUE, C. A. L. **Painéis de Madeira.** Relatório Setorial Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. v.9, p. 1-14, 1997.

OLIVEIRA, J. T.; FREITAS, A. R. **Painéis à Base de Madeira.** Boletim Técnico BT/PCC/149. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP. 1995. 44p.

POLLNOW, R. K. **Painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos com resina ureia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino.** Universidade Federal de Pelotas, 2010.

POLZL, W. B. *et al.* **Eficiência Produtiva e Econômica do Segmento Industrial da Madeira Compensada no Estado do Paraná.** Revista Floresta, Curitiba-PR, v.33, n.2, p. 147-155, 2003.

STAMATO, G. C. **Resistência ao Embutimento da Madeira Compensada.** São Carlos-SP. 1998. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 137p.

TUOTO, M.; MIYAKE, N. **A indústria de painéis de madeira supera as expectativas.** Informativo STCP, Curitiba, n.5, p.21-22, 2001.

ZANGIÁCOMO, A. L. & LAHR, A. R. **Emprego de Espécies Tropicais Alternativas na Produção de Elementos Estruturais de Madeira Laminada Colada.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos-SP, v.9, n.40, p.101-131, 2007.

**Programa Nacional de Qualidade da Madeira.** Catálogo Técnico nº 1. Compensado de *Pinus*. Disponível em: <<http://www.abimci.gov.br>>. Acesso em 25 julho 2012.

## CRONOGRAMA

Nº	Descrição	Ago 2010	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2011	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2012	Fev	Mar	Abr	
1	Revisão de Literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Visita às Instituições Públicas		X	X																			
3	Coleta dos Painéis				X	X	X	X															
4	Avaliação das Propriedades Físicas							X	X														
5	Avaliação das Propriedades Mecânicas								X	X													
6	Tabulação dos dados									X													
7	Análise e Interpretações das Propriedades Físicas e Mecânicas										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Elaboração do Resumo e Relatório Final																						X
9	Preparação da Apresentação Final para o Congresso																						X