

Reforço com Fibras de Vidro em Painéis Compensados _ uma Alternativa Ecológica.

Cynthia Brito Fonseca
cinthiabritofonseca@hotmail.com
Unileste-MG

Geovane Ferreira da Costa
cinthiabritofonseca@hotmail.com
Unileste_MG

Fabrcio Moura Dias
fmdias2@hotmail.com
Unileste_MG

Resumo: O uso dos painéis de madeira compensada na construção civil é difundido internacionalmente. Dentre as principais indicações se destacam a aplicação em vigas estruturais, fôrmas para concreto armado e protendido, painéis estruturais e de vedação. Os compensados tradicionalmente utilizados apresentam diferenças significativas nos valores de propriedades de resistência e rigidez quando avaliadas nas suas diferentes direções. Os valores obtidos para a direção paralela às fibras da lâmina externa são superiores aos da direção perpendicular às fibras. Com o objetivo de diminuir esta diferença e melhorar as propriedades mecânicas da madeira compensada, este trabalho apresenta um estudo de painéis de madeira compensada reforçada com PRFV (polímero reforçado com fibras). Este produto não existe no mercado brasileiro. Para este experimento, foi adicionada uma camada de tecido de fibra de vidro laminada com resina epoxy, na última lâmina do painel compensado, para comparação de resultados com painéis sem reforço. Os painéis foram caracterizados por meio de ensaios físico-mecânicos propostos pelos documentos normativos brasileiros da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os resultados mostraram que a resina utilizada atendeu às expectativas, apresentando ótima colagem. Notou-se também a eficiência do reforço na melhoria das propriedades mecânicas, além de diminuir a absorção de água e umidade.

Palavras Chave: Painéis de madeira c - Fôrmas para concreto - Polímero reforçado c - -

1. INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica é evidenciada pela incansável busca em minimizar esforços, otimizar tempo e economizar em fontes de energia, para o aprimoramento de um produto em si a partir das matérias-primas que o compõe. Neste contexto, a vantagem dos produtos à base de madeira refere-se ao aproveitamento e melhoramento das propriedades da mesma e a utilização de matérias-primas alternativas na fabricação de tais produtos.

Com o atual crescimento no setor de construção civil, surgiu a necessidade de aperfeiçoar a utilização das fôrmas de concreto, visando diminuir custos e melhorar a qualidade final das estruturas. Alguns problemas ocorridos nessas formas são bastante comuns. Sobrecargas e degradação por envelhecimento ocorrem com certa frequência, causando um baixo número de reutilizações destas fôrmas. Isto força o desenvolvimento de novas técnicas de reforço e recuperação para melhorias deste material.

As propriedades físicas, mecânicas e químicas dos polímeros reforçados com fibra de vidro (PRFV) são muito versáteis e podem ser um complemento para as propriedades ortotrópicas da madeira. A utilização de PRFV para reforço de elementos estruturais de madeira é uma alternativa promissora, pois se trata de um material resistente a corrosão, que proporciona boa economia e um pequeno aumento do peso próprio.

Portanto, esta pesquisa tem por finalidade o estudo e desenvolvimento de um material compósito formado por fibra de vidro e resina polimérica, utilizados como reforço estrutural em painéis compensados. Um dos fatores interessantes dessa pesquisa é a reutilização deste material compósito, conseqüentemente gerando menor número de resíduos havendo um ganho ecológico extraindo menos matéria prima da natureza.

O desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a industrialização da Construção Civil já se faz necessário. Países com um maior nível de industrialização têm desenvolvido soluções e produtos para viabilizarem a construção.

A madeira compensada é bastante utilizada na construção civil e na indústria moveleira. Isto justifica o estudo de materiais alternativos para melhorar a qualidade da madeira compensada. Neste contexto, a madeira compensada reforçada com fibra de vidro (proposta deste estudo) apresenta a vantagem de ser uma tecnologia inovadora e brasileira.

PANEIS DE MADEIRA

A grande demanda de materiais de construção nos últimos anos em conjunto com as crescentes dificuldades para obtenção de madeira maciça com dimensões e qualidades adequadas às diversas necessidades, conduziram ao desenvolvimento da indústria de produtos derivados de madeira.

Neste contexto, a vantagem dos produtos à base de madeira refere-se ao aproveitamento e melhoramento das propriedades da madeira e a utilização de matérias-primas alternativas na fabricação de tais produtos.

Com destaque, os painéis à base de madeira substituem a madeira em diferentes usos, como na fabricação de móveis, pisos e componentes estruturais. Os principais tipos de painéis são: compensado, OSB, MDF e o aglomerado.

Na visão de Mattos *et. al.* (2008), “existem diversos fatores para as mudanças no mercado de painéis”. Podemos citar alguns como: a busca de alternativas à madeira maciça; modernização tecnológica do parque fabril, proporcionando a oferta de novos produtos e a melhoria de qualidade dos já existentes; redução dos juros e melhoria da renda, que deram

forte impulso à construção civil e ao setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira.

Há dois principais tipos de painéis: os feitos de madeira reconstituída (processamento químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação, como o aglomerado, o MDF e o OSB) e os confeccionados com base na madeira processada mecanicamente (formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça).

PAINEL AGLOMERADO

De acordo com Oliveira (2005), os painéis aglomerados são amplamente usados na indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros.

O painel de aglomerado é formado a partir de partículas de madeira que são impregnadas com resina sintética e arrançadas de maneira consistente e uniforme, formando um colchão. Esse colchão, pela ação controlada do calor, pressão e umidade, adquire a forma definitiva e estável denominada aglomerado. O painel de aglomerado pode ser pintado ou revestido com vários materiais, destacando-se as resinas melamínicas, papéis envernizáveis e lâminas ou folhas de madeira natural (MACEDO, 2002; MATTOS et al., 2008; ROQUE, 1997).

Esse método de fabricação do aglomerado faz com que este apresente vantagens em relação a outros tipos de painéis. Segundo Bodig e Jayne (1982) as vantagens são: eliminação da anisotropia da madeira; eliminação dos defeitos redutores da resistência da madeira, como nós, madeira juvenil etc.; possibilidade de manipulação das variáveis de fabricação, como determinar a densidade do painel a ser produzido; produto menos exigente em termos de matéria-prima; menor custo de produção em relação ao compensado, em termos de qualidade da matéria-prima e mão de obra.

Cerca de metade da produção de aglomerado é revestida com diferentes materiais e tecnologias como, por exemplo, os chamados finish foil e BP (baixa pressão), agregando valor às chapas cruas.

Quanto à distribuição de partículas, Maloney (1977) apresenta três configurações básicas de chapas de aglomerado: homogêneas, de múltiplas camadas e graduadas. Esta classificação pode ser bem visualizada pela figura 1, mostrada por Iwakiri *et. al.* (2005) do esquema proposto por Moslemi (1974).

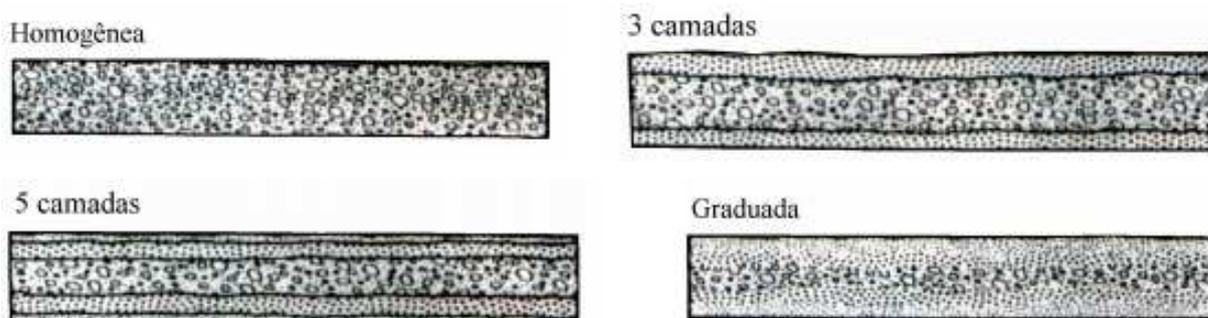


Figura 1 - Sistema de distribuição de partículas no painel aglomerado.

Segundo dados da ABIPA, a capacidade nominal brasileira de produção de painéis aglomerados foi de 3,2 milhões de m³ em 2008.

Quase 90% da produção nacional de aglomerados tem como destino os pólos moveleiros, sendo uma parcela expressiva comercializada diretamente com as fábricas, enquanto um volume menor é vendido para revendedores que atendem a pequenos fabricantes de móveis.

PAINEL COMPENSADO

De acordo com Interamnense (1998 *apud* DIAS, 2005), o compensado é um painel formado por lâminas de madeira, justapostas em camadas ímpares, coladas entre si de maneira que a direção da grã de camadas adjacentes forme um ângulo de 90° entre si (figura 2). Segundo Maloney (1996), estas chapas são produzidas sob duas principais especificações: para uso interno com resina à base de uréia-formaldeído, sendo empregado basicamente na indústria moveleira; para uso externo com colagem de resina à base de fenol-formaldeído, normalmente utilizado na construção civil.

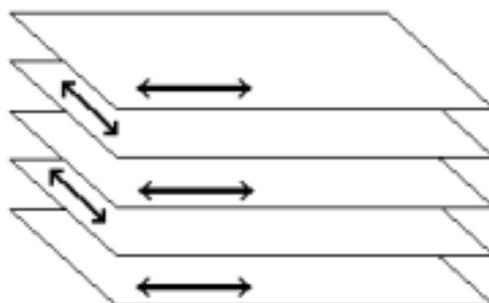


Figura 2 - Posicionamento das lâminas no compensado.

A NBR 9531 (1986) classifica os painéis compensados em três tipos, de acordo com o local de utilização:

- ✓ Interior para painel colado com cola do tipo interior, destinado à utilização em locais protegidos da ação de água ou de alta umidade relativa;
- ✓ Intermediária para painel colado com cola do tipo intermediária, destinado à utilização interna, mas em ambiente de alta umidade relativa, que pode eventualmente receber a ação de água;
- ✓ Exterior para painel colado com cola à prova d'água, destinado ao uso exterior ou em ambientes fechados, onde é submetido a repetidos ciclos de umedecimento e secagens ou ação d'água.

A laminação cruzada do compensado resulta em propriedades físicas e mecânicas mais desejáveis nas solicitações biaxiais. A resistência da madeira na direção paralela às fibras é muitas vezes maior que na direção perpendicular. As fibras cruzadas aumentam significativamente a resistência e a rigidez na direção normal às fibras, do compensado em comparação com a madeira maciça. Portanto, painéis de compensado possuem boa rigidez e resistência na direção perpendicular e paralela às fibras da lâmina de face (OLIN, 1990). Quanto maior for o número de lâminas internas com as fibras paralelas às fibras das lâminas externas, maior será a resistência e a rigidez do painel compensado, entre as duas direções (PEREYRA, 1994).

De acordo com Olin (1990), o posicionamento alternado de lâminas que formam ângulo reto em relação às fibras proporciona ao painel compensado maior resistência ao fendilhamento, melhor estabilidade dimensional, resistência ao empenamento e outras propriedades.

Na construção civil o desenvolvimento da indústria de construções pré-fabricadas abriu um grande espaço para a madeira maciça e compensada. As características de

resistência dos painéis de madeira compensada tornam este material adequado para fechamentos e coberturas, sendo utilizado, juntamente com a madeira maciça, em vários elementos estruturais. Entre as principais aplicações do compensado para a indústria de compensado Finlandesa estão: paredes externas; fechamento de telhados; pisos; painéis de parede; paredes divisórias internas; fachadas; vigas compostas; ligações em treliças; painéis de piso; fôrmas para concreto; coberturas em arco (FPI¹ *apud* STAMATO, 1998).

Além das aplicações na construção civil, os compensados são utilizados também pela indústria moveleira para fabricação de móveis em geral e na fabricação de embalagens para produtos hortícolas.

POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRAS DE VIDRO (PRFV)

Os polímeros reforçados com fibras de vidro (PRFV) são compósitos avançados projetados para reforçar, recuperar e substituir estruturas. São formados a partir da união de fibras sintéticas, incluindo vidro, carbono (ou grafite) e aramida (nome comercial Kevlar[®]) em diferentes formas, responsáveis pela resistência do compósito, com uma matriz polimérica a qual serve para manter as fibras juntas, transferir forças para as fibras e protegê-las contra os efeitos ambientais. Apresenta propriedades mecânicas de resistência e elasticidade superiores às propriedades individuais de cada material. Segundo Norris e Saadatmanesh (1994), as fibras são responsáveis pela resistência do compósito, e a matriz é o produto que as une, sendo responsável pela transmissão dos esforços.

A ideia de materiais reforçados com fibras não é recente. No início da década de 30, fibras curtas de vidro foram adicionadas ao cimento, como reforço, nos Estados Unidos da América. Tang (1997 *apud* DIAS; MIOTTO, 2006) relata que, após a Segunda Guerra Mundial, os produtores norte-americanos começaram a utilizar fibra de vidro e resina poliéster na produção de cascos de embarcações. Nos anos 50, a indústria automotiva introduziu os materiais reforçados com fibras – preliminarmente no corpo dos veículos – devido ao seu baixo peso, elevada resistência mecânica e à corrosão. A primeira aplicação desses materiais na engenharia civil ocorreu na construção de uma cúpula, em 1968, em Benghazi, Líbia.

De acordo com Bakoss e Greenland (1998 *apud* FIORELLI, 2002) apesar de ser pouco usado na construção civil, técnicas de aplicação estão sendo desenvolvidas rapidamente na América do Norte, Europa e Japão, provocando um crescimento em seu uso.

A utilização de PRFV (polímeros reforçados com fibras de vidro) para recuperação e reforço estrutural é um campo extenso e tecnologicamente vasto, que proporcionará economia de tempo e de materiais na construção civil. Percebe-se, também, que a facilidade de associar a outros materiais, o baixo aumento no peso próprio da estrutura, o significativo aumento da resistência e da rigidez e a facilidade de aceitação do produto no mercado de todo o mundo, poderá fazer destas fibras um material bastante utilizado na recuperação e reforço de elementos estruturais. (FIORELLI, 2002, p. 2)

FÔRMAS DE CONCRETO

Atualmente na construção civil as fôrmas de madeira são as mais utilizadas dentre os materiais que podem compor um sistema de fôrmas por apresentarem características que atendem às especificações e com o menor custo (NAZAR, 2007).

De acordo com Fajersztain (1987), conceitua-se sistema de fôrmas uma estrutura que atua no processo de moldagem e sustentação do concreto fresco até que o mesmo atinja resistência suficiente para suportar as cargas que lhes são submetidas. Considerando este conceito, podemos afirmar que as fôrmas estão ligadas diretamente ao bom desempenho de uma estrutura.

As fôrmas devem ter características de resistência para suportar o seu próprio peso, o peso do concreto, o peso do aço e ao tráfego de operários e equipamentos, devendo estes serem previstos em projeto (FAJERSZTAIN, 1987).

Junior (2008) cita algumas vantagens e desvantagens da execução de fôrmas de madeira, dentre elas: reaproveitamento em outras peças; grande flexibilidade de uso e o menor custo de matéria prima. As desvantagens apresentadas pela madeira são: maior geração de resíduos no canteiro de obras; necessidade de profissionais (carpinteiros) no canteiro de obra e o menor número de reutilizações das peças.

As fôrmas devem ser confeccionadas de maneira adequada, travadas, niveladas e escoradas, para que a estrutura de concreto tenha um bom desempenho evitando a ocorrência de deformações não previstas em projeto (JUNIOR *apud* BANET, 2008). Para termos de comparação, o peso do concreto é duas vezes e meia maior que o da água. As fôrmas também devem ser estanques, exceto no caso de fôrmas absorventes, onde é feito o controle de drenagem no excesso de água utilizada para aumentar a trabalhabilidade do concreto; não conter aberturas nas extremidades chamadas de fendas, para evitar o vazamento do concreto; deve possibilitar o correto posicionamento da armadura, um correto lançamento e adensamento do concreto, bem como garantir a segurança tanto para os trabalhadores como para a estrutura de concreto (CALIL, 2005).

Devem ser tomados alguns cuidados para conservação e manutenção das fôrmas como seguir o projeto específico de fabricação; usar racionalmente os materiais visando o reaproveitamento; utilizar desmolde nas chapas facilitando a operação de desfôrma; evitar que a chapa sofra batidas de canto. Na concretagem devem-se tomar algumas precauções em relação às fôrmas, para que a estrutura não seja prejudicada. Antes de concretar, as fôrmas devem ser limpas e molhadas até a saturação.

Calil (2005) cita as propriedades mais importantes dos moldes de concreto como resistência, rigidez, acabamento e economia, em função do custo inicial e sua durabilidade para reutilizações.

A necessidade de aperfeiçoar a utilização das fôrmas, visando diminuir custos e melhorar a qualidade final das estruturas, é de grande importância. Com todos esses procedimentos torna-se necessário buscar alternativas para melhoria dos moldes de concreto, pois este produto é essencial na construção civil.

REFORÇO EM MADEIRAS E PRODUTOS À BASE DE MADEIRA

Segundo Fiorelli (2005), a redução da disponibilidade de espécies de madeiras nativas obriga o desenvolvimento de alternativas viáveis para a utilização racional da madeira

proveniente de florestas plantadas. A madeira laminada colada aparece como uma alternativa técnica viável para o aproveitamento racional da madeira. Esta é reforçada com polímero reforçado com fibra de vidro e utilizada como reforço estrutural. Como resultado do estudo, os adesivos Phenol-resorcinol e epoxy AR-300 mostraram boa eficiência de colagem.

Carvalho (2005) cita a importância do uso de fibras naturais em compósitos utilizados no reforço de elementos estruturais de madeira, tais como o sisal. Suas vantagens são a abundância, biodegradabilidade e o baixo custo em relação às fibras de carbono ou fibras de vidro. Resultados do estudo mostraram que um compósito de epoxy e sisal são suficientemente rígidos e resistentes para reforçar estruturas de madeira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada nessa pesquisa baseia-se no método comparativo das propriedades, entre os painéis compensados com PRFV (polímero reforçado com fibra de vidro) e os painéis compensados sem reforços.

MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O experimento consistiu na avaliação dos efeitos da incorporação de uma camada de fibra de vidro tipo E, bidirecional, de espessura 0,25 mm e de gramatura 600g/m². As propriedades da fibra de vidro são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da fibra de vidro tipo E.

<i>Propriedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Método de Teste</i>
Densidade	2,62 g/cm ³	ASTM D1505
Resistência à tração a 23°C	3100-3800 MPa	ASTM D2101
Módulo de elasticidade	80-81 GPa	Sonic

Fonte: Owens Corning (2009).

O adesivo utilizado para laminação dos corpos de prova foi o adesivo epoxy AR-400 e endurecedor AH-417, fornecidos pela empresa Barracuda Advanced Composites, Rio de Janeiro. Algumas propriedades do adesivo são apresentadas nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Propriedades de trabalhabilidade do adesivo epoxy AR-400.

<i>Propriedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Método de Teste</i>
Densidade	9,7 lbs/gal	ASTM E-201
Densidade endurecida	8,2 lbs/gal	ASTM E-201
Viscosidade a 25°C	12,5 cps	ASTM D-2393
Viscosidade endurecida a 25°C	225 cps	ASTM D-2393
Gel Time a 25°C, 150g	20 min	ASTM D-2471
Tempo de desmolde a 25°C	4 a 6 h	
Tempo de desmolde a 66°C	1 h	

Tabela 3 - Propriedades físicas do adesivo epoxy AR-400.

<i>Propriedades</i>	<i>Valor</i>	<i>Método de Teste</i>
Dureza Shore D	87	ASTM D-2240
Resistência à tração	11,25 psi	ASTM D-638
Módulo de tração	482 psi	ASTM D-638
Alongamento	3,8 %	ASTM D-638
Resistência à compressão	15,25 psi	ASTM D-695
Resistência à flexão	14,25 psi	ASTM D-790
Módulo de flexão	489 psi	ASTM D-790
Impacto Izod, entalhamento	1,19 ft-lb/in	ASTM D-256
Encolhimento	0.007 in/in	ASTM D-2566

Os painéis utilizados foram os de madeira compensada para uso exterior, de número ímpar de lâminas, de 9 e 14 mm de espessura.

CONFECÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

A partir dos painéis, foram retirados os corpos de prova para avaliação das propriedades físico-mecânicas. As dimensões dos corpos de prova e a condução dos ensaios foram baseadas nas prescrições das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. A tabela 4 apresenta quais os ensaios realizados, as respectivas normas adotadas e o número de corpos de prova para cada ensaio.

Tabela 4 - Tipo de ensaio e número de corpos de prova por painel de compensado.

<i>Ensaio</i>	<i>Corpos de prova</i>	<i>Norma</i>
Teor de umidade	6	NBR 9484 (1986)
Flexão estática	Perpendicular	6
	Paralela	
	6	NBR 9533 (1986)

Fonte: (Autor, 2010)

Foram confeccionados 60 corpos de prova, sendo a metade destes retirados do painel de menor espessura, e a metade restante do painel de maior espessura. Foram confeccionados corpos de prova nas duas direções preferenciais, perpendicular e paralela, às fibras da lâmina da face. Dos painéis de cada espessura, metade dos corpos de prova foi reforçada com uma camada de fibra de vidro impregnada com a resina epoxy, para efeito de comparação de propriedades com os corpos de prova sem reforço.

Os painéis foram dispostos sobre uma superfície impermeável para a aplicação do adesivo sobre os mesmos. O adesivo epoxy foi aplicado em uma das faces dos painéis, sendo utilizado um pincel, como pode ser visto na figura 2.

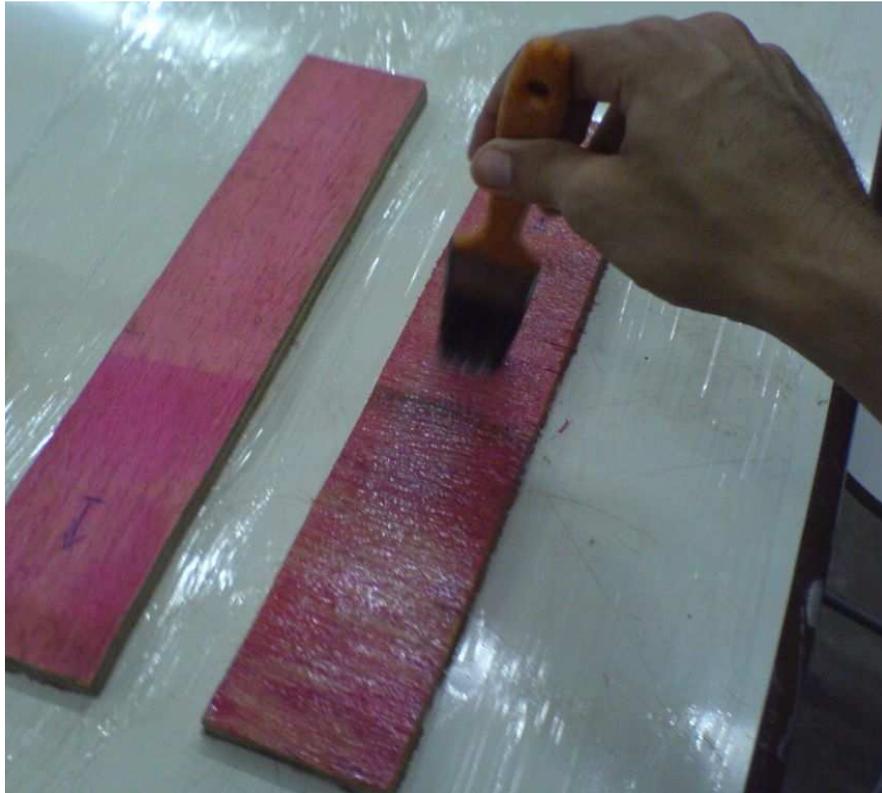


Figura 2 - Aplicação do adesivo epoxy nos corpos de prova.

Em seguida foi depositada uma camada de tecido bidirecional de fibra de vidro e aplicada uma segunda camada de adesivo epoxy. Retirou-se bolhas de ar do material com a utilização de um rolo de desaeração (figura 3).



Figura 3 - Desaeração dos corpos de prova.

Para a cura total do adesivo, os corpos de prova ficaram em local arejado, por 24 horas.

TEOR DE UMIDADE

A norma NBR 9484:86 “Compensado – Determinação do Teor de Umidade” explica como determinar, por pesagem, a perda de massa do corpo de prova entre o estado normal e o estado após secagem até massa constante a 103°C, e como calcular esta perda de massa em porcentagem da massa do corpo de prova após secagem, utilizando este valor para estimar o teor de umidade de painéis inteiros.

A norma exige que os corpos de prova tenham uma massa mínima inicial de 20g, sendo que a forma e as dimensões não tem importância.

Os corpos de prova foram pesados em balança analítica de precisão. Depois de pesados estes foram secos em uma estufa a uma temperatura de 103°C até massa constante. Considera-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas não diferem mais de 0,1% em relação à massa do corpo de prova.

Após resfriados em dessecador até a temperatura ambiente, os corpos de prova foram pesados novamente em balança analítica. A expressão abaixo é utilizada para calcular o teor de umidade.

$$TU = \frac{M_U - M_S}{M_S} \cdot 100$$

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.

ENSAIOS MECÂNICOS

Flexão estática

A norma NBR 9533:86: “Compensado – Determinação da Resistência à Flexão Estática” prescreve o método de determinação do módulo de elasticidade e resistência máxima à flexão estática do compensado.

A norma exige dois apoios, paralelos, auto-ajustáveis (que permitam rotação) e alinháveis no plano horizontal quando do carregamento. O comprimento dos apoios deve exceder a largura do corpo de prova, e seu diâmetro ser maior que 30 mm para corpos de prova com mais de 7 mm de espessura.

Foi aplicada uma carga aos corpos de prova através de um cutelo. Estes foram flexionados até a ruptura e então foi realizada a leitura da força de ruptura para o cálculo da tensão de ruptura. Este cálculo se dá pela seguinte expressão.

$$T_r = \frac{3 \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^2}$$

Onde:

T_r = tensão de ruptura à flexão estática em N/mm²;

$F_{m\acute{a}x}$ = carga de ruptura, em N;

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

l = largura do corpo de prova, em mm;

e = espessura do corpo de prova, em mm.

A figura 4 ilustra a realização do ensaio.



Figura 4- Ensaio de flexão estática.

TEOR DE UMIDADE

A tabela 5 apresenta os resultados do ensaio do teor de umidade dos corpos de prova.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de teor de umidade.

		<i>Teor de umidade (%)</i>	<i>Mé dia aritmética</i>	<i>CV (%)</i>	
Maior espessura	Com reforço	10,40	10,66	1,79	
		10,73			
		10,85			
	Sem reforço	11,03			
		11,90			11,56
		11,76			
Menor espessura	Com reforço	9,95	10,15	6,44	
		11,03			
		9,47			
	Sem reforço	12,48			
		11,97			12,05
		11,72			

O gráfico da figura 5 mostra os valores médios da porcentagem do teor de umidade.

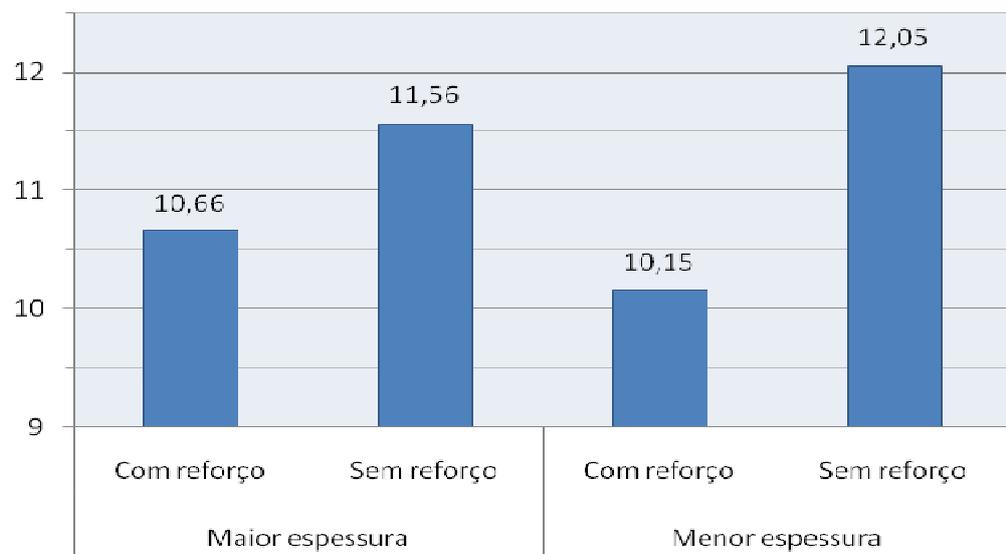


Figura 5 - Média aritmética da porcentagem do teor de umidade dos corpos de prova.

Pela característica higroscópica da madeira, ela libera ou recebe umidade para o ambiente, dependendo das condições climáticas a que está exposta. Nota-se que os corpos de prova contendo polímero reforçado com fibra de vidro apresentaram um menor teor de umidade.

FLEXÃO ESTÁTICA

A tabela 6 apresenta os valores da tensão de ruptura para os corpos de prova com 14 mm de espessura.

Tabela 6 - Valores da tensão de ruptura para corpos de prova com $e = 14$ mm.

		<i>Tensão de ruptura (MPa)</i>	<i>Média aritmética (MPa)</i>	<i>Coefficiente de variação (%)</i>
Longitudinal	Com reforço	66,57	65,40	2,53
		63,06		
		66,57		
	Sem reforço	49,05		
		3,50 *		
Transversal	Com reforço	38,54	51,97	6,93
		47,30		
		56,06		
	Sem reforço	52,55		
		7,01 *		
		38,54	29,78	29,41
		21,02		

Os corpos de prova destacados na tabela 10 romperam com uma tensão abaixo do valor esperado devido a defeitos na linha de cola. Portanto, seus valores foram excluídos do cálculo da média.

A tabela 7 apresenta as tensões de ruptura para os corpos de prova com 8 mm de espessura.

Tabela 7 - Valores da tensão de ruptura para corpos de prova com $e = 14$ mm.

		<i>Tensão de ruptura (MPa)</i>	<i>Média aritmética (MPa)</i>	<i>Coefficiente de variação (%)</i>
Longitudinal	Com reforço	66,57	65,40	2,53
		63,06		
		66,57		
	Sem reforço	49,05		
		3,50 *		
Transversal	Com reforço	38,54	51,97	6,93
		47,30		
		56,06		
	Sem reforço	52,55		
		7,01 *		
		29,78	29,41	

Comparando a tensão de ruptura dos corpos de prova de acordo com a espessura, nota-se que uma quantidade maior de lâminas não é determinante para uma maior resistência à ruptura por flexão estática.

O gráfico da figura 6 compara os valores médios da tensão de ruptura para ambas as espessuras.

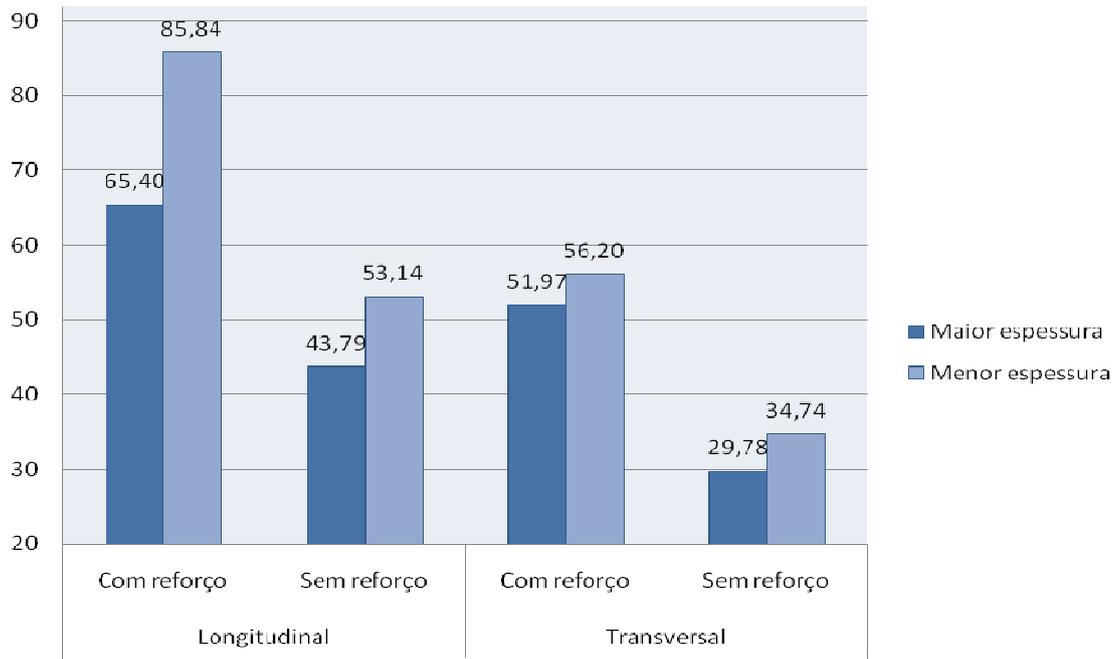


Figura 6 - Valores médios para tensão de ruptura, em MPa.

Analisando os resultados em relação à direção das fibras da face, percebe-se que as tensões de ruptura dos corpos de prova não são próximas, pois de acordo com Dias, Nascimento e Lahr (2002), os valores obtidos para a direção paralela (longitudinal) são superiores aos da direção perpendicular (transversal) à grã das lâminas externas.

Nota-se que os valores médios da tensão de ruptura dos corpos de prova contendo polímero reforçado com fibra de vidro são superiores em relação à tensão média de ruptura dos corpos de prova sem reforço, o que demonstra a capacidade do reforço em melhorar a resistência do painel compensado à flexão estática.

3. CONCLUSÃO

A presença de PRFV (polímero reforçado com fibra de vidro) reduziu a absorção de água pelo painel compensado, sendo os valores de absorção significativamente menores em relação ao painel sem reforço. O peso do painel também foi aumentado, porém a resistência mecânica proporcionada pelo reforço compensa o pequeno aumento da massa específica.

O reforço conteve a liberação das tensões internas de prensagem do painel, aumentou sua estabilidade dimensional e melhorou suas propriedades nos sentidos longitudinais e transversais dos corpos de prova, o que evitou um alto valor de inchamento provocado pela absorção de água.

O adesivo epoxy, tradicionalmente utilizado para a impregnação do tecido de fibra de vidro em madeira sã, mostrou-se compatível para a impregnação de fibras em painéis compensados, apresentando ótima colagem

Sendo assim, reforçando os painéis haverá um ganho ecológico pois aumentará sua reutilização menos matéria prima extraída da natureza e maior ganho econômico em uma obra.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA.** Relatório Setorial. São Paulo: 2002
- NBR 9531:** Chapas de madeira compensada – Classificação. Rio de Janeiro, 1986
- NBR 9484:** Compensado: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1986
- NBR 9533:** Compensado: determinação da flexão estática. Rio de Janeiro, 1986
- CALIL JUNIOR, C. SET 613** – Fôrmas de madeira para concreto armado. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, 2005.
- CARVALHO, R. F.** Compósitos de fibras de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira. 2005. 133f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos
- DIAS, F. M.** Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada. 2005. 178f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- FAJERSZTAJN, H.** Fôrmas para concreto armado. Aplicação para o caso do edifício. 1987. 241f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FINNISH PLYWOOD INTERNATIONAL.** Handbook of finnish plywood, blockboard and laminboard. Helsinki, s.d. 29p. (CI/SfB Technical Publication n. 25)
- FIGLIOLI, J.** Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- IWAKIRI, S.** Painéis de madeira: características tecnológicas e aplicações. Revista da madeira. 2003. Edição especial. Maio
- JUNIOR, T. F. C.** Emprego de Fôrmas de Madeira em Estruturas de Concreto. 2008. 13p. Artigo (Graduação) – Escola de Engenharia, Universidade Católica de Salvador, Salvador
- MACEDO, A. R. P.; ROQUE, C. A. L.** Painéis de madeira. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Relatório Setorial. n. 6, p. 117-132, 1997
- MALONEY, T. M.** Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. California, Miller Freeman Publications. 672p. 1977.
- MATTOS, RENÉ LUIZ G.; GONÇALVES, ROBERTA M.; CHAGAS, FLÁVIA B.** Painéis de madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. BNDS setorial, Rio de Janeiro, 2008
- MOSLEMI, A. A.** Particleboard. Illinois, Southern Illinois University Press. 1974

NAZAR, N. Fôrmas e escoramentos para edifícios. São Paulo: PINI, 2007. 174 p

NORRIS, T. D., SAADATMANESH, H., EHSANI, M. R. Improving the Serviceability of Concrete Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sheets. Federal Highway Administration, 285 p. 1994.

OLIN, H. W. Wood. In: Construction: Principles, Materials & Methods. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990. P. 201-245.

OLIVEIRA, F. V. Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polietileno e embalagens cartonadas. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PEREYRA, O. Avaliação de madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados. Piracicaba, 1994. 87f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TANG, B. Fiber reinforced polymer composites applications in USA. In: First Korea/U.S.A. Road Workshop, Jan. 1997, Washington, DC