

Avaliação da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x
Pinus caribaea var. *hondurensis* para produção de compensadosEvaluation of *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*
wood for plywood productionNatalie Ferreira de Almeida¹, Geraldo Bortoletto Júnior²,
Rafael Farinassi Mendes³ e Paula Gabriela Surdi⁴**Resumo**

Nesse trabalho objetivou-se avaliar o potencial da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 7 anos e 10 meses de idade, para produção de painéis compensados. O delineamento experimental constituiu-se de 8 tratamentos arranjados em esquema fatorial, por meio dos quais foram analisados os efeitos de duas posições de retirada da tora no tronco (A e B), duas gramaturas de adesivo (380 e 420g/m²) e dois tempos de prensagem (8 e 12 minutos). A madeira do híbrido de pinus apresentou bom potencial para produção de compensados, cujos painéis poderiam ser empregados na construção civil, na fabricação de móveis, embalagens e caixas. Porém, o emprego desses compensados em produtos que requeiram elevados valores do MOR e do MOE, como por exemplo em formas de concreto, não é aconselhável, porque esses painéis não satisfariam tais requisitos.

Palavras-chave: Painéis, Propriedades físico-mecânicas, Híbrido de pinus

Abstract

This work aimed to evaluate the potential of the *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* hybrid (seven years and ten months-old) for plywood production. The experimental design consisted of eight treatments arranged in a factorial scheme, for the analysis of two log removal positions in the trunk (A and B), two adhesive spread amounts (380 and 420 g/m²) and two pressing times (8 and 12 minutes). The wood of the pinus hybrid showed good potential for production of plywood panels, which could be employed for construction, furniture, boxes and packaging. However, the use of this plywood for products that require high MOR and MOE values, e.g. concrete forms, it is not recommended, since the panels did not meet the requirements for such properties.

Keywords: Panels; Physical-mechanical properties; Pine hybrid

INTRODUÇÃO

A ampla utilização dos compensados está relacionada à sua boa estabilidade dimensional, à capacidade para suportar cargas de impacto que se impõem a certas estruturas, à resistência a rachaduras e às possibilidades de obtenção de painéis com grandes dimensões. Na confecção dos painéis é possível adicionar ao adesivo preservativos contra organismos xilófagos, mesclar diferentes madeiras em um mesmo painel resultando em flexibilidade da produção, selecionar e utilizar lâminas de menor qualidade no

miolo e lâminas de maior qualidade na capa, cuja prática permite uma redução no custo e, conseqüentemente, no preço do produto final (WALKER, 1993; MACEDO; ROQUE, 1997).

De acordo com Baldwin (1981) a madeira utilizada na produção de um painel compensado responde pelas características e propriedades tecnológicas do produto final. Além das características da madeira, a qualidade de um compensado depende dos procedimentos utilizados em sua manufatura, tais como: o preparo das toras para laminação, regulagem do torno laminador, secagem das lâminas, colagem dos painéis e o tipo de adesivo

¹Mestre do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP - Universidade de São Paulo. Cx. P. 09 - 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: natalie_amd@yahoo.com.br

²Professor Associado. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP - Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Florestais. Cx. P. 09 - 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: gbortoll@esalq.usp.br

³Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira. UFPA - Universidade Federal de Lavras. Cx. P 3037 - 37200-000 - Lavras, MG - E-mail: rafaelfarinassi@gmail.com

⁴Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP - Universidade de São Paulo. Cx. P. 09 - 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: paulasurdi@hotmail.com

empregado, prensagem dos painéis e condições adequadas de armazenamento (IWAKIRI, 2005).

Segundo Walker (1993), existe uma grande variedade de madeiras com características adequadas para a produção de lâminas e painéis compensados. As espécies do gênero *Pinus* spp, por exemplo, já vem sendo utilizadas pelas indústrias de laminação no Brasil desde o início da década de 90, em razão das boas características da madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no País.

No ano de 2000, a empresa Pinus Brasil implantou talhões experimentais com o *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, e estudos conduzidos até o momento pela mesma empresa sobre o desenvolvimento da espécie em comparação com amostras fiéis de outros plantios puros de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, revelaram que aos 5,6 anos de idade o híbrido apresentava incremento médio anual (IMA) de 44,8m³/ha/ano, o *Pinus elliottii* um IMA de 18,8m³/ha/ano e o *Pinus taeda* um IMA de 28,5m³/ha/ano. A alta precocidade e maior produtividade por hectare, diminuição dos custos operacionais e, conseqüentemente, retorno mais rápido no seu investimento, fazem do cultivo um potencial gerador de recursos e investimentos da região (PINUS BRASIL, 2009).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial da madeira deste híbrido de pinus na manufatura de painéis compensados e verificar os efeitos do uso das lâminas produzidas a partir de duas posições da tora no tronco, bem como os efeitos de duas gramaturas de adesivo e de dois

tempos de prensagem utilizados na fase de manufatura dos painéis, sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compensados obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção de lâminas

As lâminas utilizadas na produção dos painéis foram obtidas de árvores do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH), aos sete anos e dez meses de idade, que foram cedidas pela empresa Pinus Brasil Agro Florestal LTDA, localizada na região de Buri – SP.

Foram selecionadas cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) de aproximadamente 30cm, dando-se preferência para aquelas com tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou outros defeitos visuais que poderiam incompatibilizar o material com o seu processamento. As árvores foram derrubadas e de cada uma delas foi retirada uma tora de 2,50 m com início na base. As toras ficaram armazenadas em um tanque de acondicionamento com água até o seu processamento.

Em seguida, das toras de 2,50 metros de comprimento foram amostrados subsequentemente, a partir da base: um disco (I) com 5 cm de espessura; uma tora (A) de 1,10m de comprimento; um disco (II), uma tora (B) e um disco (III). Dessa forma, no total, foram amostradas 10 toras de 1,10m de comprimento e 15 discos de 5 cm de espessura, conforme o ilustrado na Figura 1. As toras foram destinadas à laminação em torno rotativo e os discos utilizados na determinação da massa específica básica da madeira de acordo com a Norma NBR 11941-02 (ABNT, 2003).

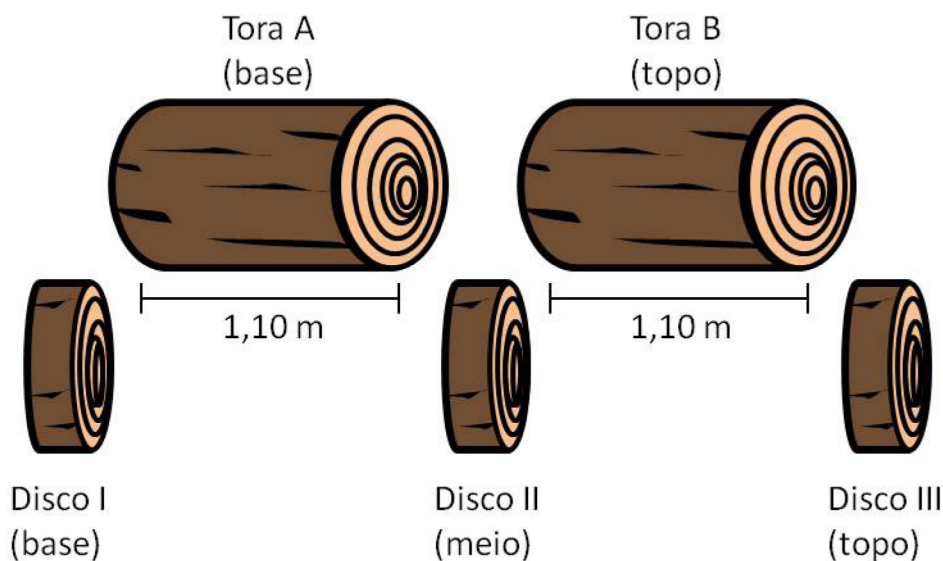


Figura 1. Esquema de retirada das toras para a laminação e dos discos para a determinação da massa específica básica da madeira.

Figure 1. Scheme for the removal of parts of the logs and disks for lamination and wood basic density determination.

As toras, depois de descascadas, foram aquecidas em água com temperatura de aproximadamente 55°C por um período de 24 h, conforme procedimento usual na indústria de laminação de pinus.

As lâminas, com espessura nominal de 2,0mm, foram obtidas através do torno rotativo Thons e Benato, modelo LHT-14, e durante o desenrolamento das toras, as lâminas foram enroladas em bobinas e em seguida guilhotinadas antes do seu resfriamento.

Secagem das lâminas e classificação

As lâminas foram colocadas sobre suportes de madeira para secagem natural, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente (umidade entre 10 e 12%). Em seguida foram classificadas, utilizando-se o método visual, segundo a presença de defeitos, em classes de qualidade decrescentes (A, B, C+, C e D), conforme o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – Compensado de *Pinus* (ABIMCI, 2002).

Manufatura dos compensados

Foram manufaturados compensados de cinco lâminas, sendo que as lâminas empregadas foram as classificadas nas classes de qualidade C e C+, anteriormente referida. As lâminas C foram destinadas ao miolo e as lâminas C+ às capas do painel.

Processo de colagem

Foi empregado o adesivo a base de fenol-formaldeído (FF) em virtude de sua grande utilização na fabricação de compensados para uso exterior. O adesivo foi aplicado em face dupla, utilizando-se duas gramaturas (380 e 420g/m²), e sua formulação, em partes por peso, foi a seguinte: 100 partes de resina FF, 5 partes de casca de coco em pó, 10 partes de farinha de trigo e 8 partes de água. A gramatura e a formulação do adesivo foram baseadas em faixas atualmente utilizadas em diversos estudos com compensado.

Prensagem a quente

O ciclo de prensagem utilizado na produção dos compensados constituiu-se de: pressão específica de 8 kgf/cm², temperatura de 150°C e dois tempos de prensagem de 8 e 12 minutos, sendo que foram acrescidos 40 segundos para fechar e 40 segundos para abrir a prensa.

Obtenção dos corpos-de-prova e ensaios físico-mecânicos

Os painéis foram esquadrejados nas dimensões aproximadas de 0,48 x 0,48 m e então retirados os corpos-de-prova, destinados aos ensaios físicos e mecânicos. Os ensaios físicos e mecânicos que foram efetuados encontram-se na Tabela 1.

Os corpos-de-prova de cisalhamento obtidos para serem ensaiados conforme a Norma Brasileira NBR 9534 (ABNT, 1986) não foram utilizados nos ensaios definitivos para determinação da resistência da colagem. Por meio de pré-ensaios utilizando esses corpos-de-provas verificou-se que a ruptura ocorria invariavelmente na madeira, na região da base dos sulcos dos corpos-de-prova, portanto, fora da linha de cola.

A alternativa encontrada para avaliar a qualidade da colagem dos painéis deu-se por meio de ensaios de resistência da linha de colagem ao esforço de tração perpendicular, não previstos em normas para compensados, portanto, adaptados.

Para a realização desse ensaio, corpos-de-prova com dimensões de 5 x 5 cm, obtidos a partir das sobras dos corpos-de-prova de flexão estática depois de ensaiados, foram colados com adesivo epóxi (Araldite) entre suportes de madeira e o ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos adotados para ensaio de tração perpendicular da ASTM D1037 (ASTM, 2002).

Depois de confeccionados, todos os corpos-de-prova permaneceram acondicionados à temperatura de 22 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5%, local onde foram realizados os ensaios previstos.

Tabela 1. Ensaios físicos e mecânicos do compensado e normas adotadas.

Table 1. Physical and mechanical tests of plywood and standards adopted.

Ensaio	Propriedades	Número de corpos de prova	Normas
Massa Específica	Massa Específica Aparente	4	NBR 9485/86
Teor de Umidade	-----	4	NBR 9484/86
Inchamento em espessura	Inchamento e recuperação em espessura	10	NBR 9535/86
Flexão Estática	Paralela*	MOR e MOE	3
	Perpendicular	MOR e MOE	
Tração perpendicular	Resistência da linha de colagem ao esforço de tração perpendicular	4	ASTM D1037/02

* Direção das fibras das lâminas das capas paralela ao vão ou ao comprimento do corpo-de-prova

Delimitação Experimental e análise estatística dos dados dos ensaios

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial para os tratamentos, visando avaliar a interação entre 3 fatores, cada qual em 2 níveis: posição da tora no tronco (A e B), gramatura de adesivo (380 e 420 g/m²) e tempo de prensagem (8 e 12 minutos). Portanto, foram 8 tratamentos, para os quais foram realizadas 3 repetições, resultando em 24 painéis compensados produzidos.

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades dos painéis produzidos, foi realizada uma análise de variância e, posteriormente, aplicado o teste de médias de Tukey, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar as médias que diferiram entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa específica básica da madeira

Os valores médios de massa específica básica e teor de umidade da madeira do híbrido de PEE x PCH encontram-se na Tabela 2.

O valor médio de massa específica básica da madeira do PEE x PCH foi de 0,320g/cm³. Estudos foram conduzidos com as espécies parentais do híbrido e registra-se que Iwakiri *et al.* (2001) encontraram para a madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* massa específica básica de 0,43

g/cm³ aos 10 anos de idade, e Carpanezzi *et al.* (1986) citam para a mesma madeira valores variando entre 0,35 a 0,50 g/cm³. De acordo com Carpanezzi *et al.* (1986) a madeira do *Pinus elliottii* var. *elliottii*, em idades mais avançadas, possui massa específica básica variando entre 0,50 e 0,56 g/cm³. Com base nestes dados de literatura, observa-se que o valor médio de massa específica básica da madeira do híbrido estudado foi mais próximo ao da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Considerando a posição de retirada dos discos (base, meio e topo), observa-se que a massa específica do híbrido do presente estudo decresceu da base para o topo, ocorrendo o contrário com o teor de umidade. A madeira da base das toras apresentou valor médio de massa específica básica estatisticamente diferente e superior ao das demais posições, as quais, por sua vez, mostraram valores equivalentes.

Massa específica aparente, inchamento em espessura e recuperação em espessura dos painéis compensados

Os valores médios de massa específica aparente (ME) e os respectivos teores de umidade entre parênteses (TU), inchamento em espessura (IE) e recuperação em espessura (RE) dos painéis compensados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 2. Valores médios de massa específica básica e umidade da madeira.

Table 2. Mean values of basic density and wood moisture.

Posição do Disco	Massa específica básica ¹ (g/cm ³)	Teor de umidade da madeira ² (%)
Base	0,339 b	209,1
Meio	0,313 a	229,1
Topo	0,310 a	235,3
Média	0,320	224,5
CV (%)	4,67	6,45

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). 1 – Massa obtida a 0% de umidade e o volume da madeira totalmente saturada em água. 2 – Teor de umidade da madeira totalmente saturada em água.

Tabela 3. Valores médios de massa específica aparente e teor de umidade, inchamento em espessura e recuperação em espessura dos compensados.

Table 3. Mean values of apparent specific mass and moisture content, thickness swelling and recovery of plywood thickness.

Tratamentos	ME (TU)	IE	RE
	g/cm ³ (%)		
1	0,422 (9,59)	4,22	0,56
2	0,425 (9,65)	4,50	0,71
3	0,437 (9,65)	4,51	0,78
4	0,415 (9,53)	4,15	0,53
5	0,403 (9,75)	4,51	0,47
6	0,410 (9,75)	4,71	0,70
7	0,394 (9,84)	3,95	0,72
8	0,396 (9,76)	4,01	0,85
Média	0,413 (9,69)	4,32	0,66
CV (%)	3,64 (1,17)	8,79	32,09

De acordo com os dados da Tabela 3 os painéis apresentaram ME média igual a 0,413 g/cm³. Esse valor está abaixo dos encontrados no Catálogo Técnico nº1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira - Compensado de *Pinus* (ABIMCI, 2002), sendo que os valores de ME média de compensados de *Pinus* spp, variam entre 0,491 e 0,614g/cm³.

Esse resultado está relacionado com a massa específica da madeira do híbrido, também baixa, especialmente devida à sua tenra idade.

De acordo com a análise de variância para a massa específica aparente verificou-se que houve diferença significativa em 5% de probabilidade de erro entre os tratamentos apenas para o fator posição da tora e não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos. O resultado do teste de médias de Tukey, para esta variável, encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4. Teste de médias para a variável massa específica aparente do fator posição da tora.

Table 4. Test of means of the variable apparent specific mass for the position of the log factor.

Posição da Tora	ME (g/cm ³)
A	0,425 A
B	0,401 B

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Observa-se pela Tabela 4 que os painéis manufaturados com lâminas obtidas a partir das toras da posição A (base) apresentaram valor médio de ME estatisticamente superior em relação às toras da posição B. Esse resultado é coerente com o observado para a massa específica básica da madeira, para qual se verificou redução com o aumento da altura de amostragem do fuste, fato decorrente do efeito da idade, pois, em maiores alturas há menor número de anéis de crescimento e maior proporção de lenho juvenil (MORESCHI, 2010).

Considerando o inchamento em espessura (IE) e a recuperação da espessura (RE) dos painéis compensados do híbrido de PEE x PCH na Tabela 3, pode-se notar que os valores médios foram baixos quando comparados com a maioria dos valores encontrados por Iwakiri *et al.* (2001), para compensados fenólicos, compostos por cinco lâminas, produzidos com madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (4,85%; 0,79%), *P. chiapensis* (5,15%; 0,86%), *P. maximinoi* (6,56%; 1,24%), *P. oocarpa* (6,71%; 1,58%), *P. tecunumannii* (6,49%; 2,17%). Isso significa que o compensado do híbrido apresentou melhor estabilidade dimensional relativa; fato positivo e que merece destaque.

De acordo com a análise de variância efetuada para essas variáveis (IE e RE), não houve diferença significativa e nem interação entre os fatores dos tratamentos para a variável RE. Verificou-se que somente para o IE houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para o fator tempo de prensagem, mas não houve diferença para os fatores gramatura e posição da tora e nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

O resultado do teste de médias de Tukey, realizado para a variável IE do fator tempo de prensagem, encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5. Teste de médias para a variável inchamento em espessura do fator tempo de prensagem.

Table 5. Test of means for thickness swelling variable for time pressing factor.

Tempo (minutos)	Inchamento em Espessura (%)
8	4,49 A
12	4,16 B

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Os dados da Tabela 5 mostram que o tempo de prensagem de 12 minutos para a produção dos painéis resultou em diminuição estatisticamente significativa do IE. Supõe-se que o prolongamento do tempo de prensagem para 12 minutos pode ter proporcionado o alcance da temperatura ideal de cura do adesivo nas camadas mais internas do painel tornando a colagem mais resistente nestas regiões. Um maior tempo de exposição à temperatura pode também ter promovido algum tipo de modificação química das lâminas superficiais, o que proporcionou a diminuição da tomada de água e consequentemente o inchamento em espessura.

Arruda *et al.* (2011), avaliando o tratamento térmico em lâminas de madeira de Paricá sobre a qualidade de painéis compensados, observaram a redução da massa das lâminas com o aumento do tempo de tratamento (5, 10 e 15 minutos) na temperatura de tratamento de 150 °C. Os autores justificaram tal mudança com a degradação química dos constituintes da madeira, fato que resultou posteriormente na redução da absorção de água dos painéis compensados.

Resistência da linha de cola ao esforço de tração perpendicular

Os valores médios de resistência da linha de cola ao esforço de tração perpendicular (RLCT) e de falha na madeira estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios de resistência da linha de cola e falha na madeira a tração perpendicular dos painéis compensados

Table 6. Mean values of Shear Stress in Glue Line and wood failure in the perpendicular tension test of the plywood.

Tratamento	Avaliação da linha de cola	
	Tensão de ruptura (MPa)	Falha da madeira (%)
1	1,30	51
2	1,32	55
3	1,22	63
4	1,32	63
5	1,28	54
6	1,32	64
7	1,31	66
8	1,65	66
Média	1,34	60
CV (%)	6,59	29,66

O valor médio de RLCT e falha na madeira dos compensados de PEE x PCH foi de 1,34 MPa e 60%, respectivamente.

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável RLCT, verificou-se que houve interação significativa entre os fatores posição da tora x tempo de prensagem e entre os fatores gramatura x tempo de prensagem dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para a variável RLCT da interação entre os fatores posição da tora x tempo de prensagem e entre os fatores gramatura x tempo de prensagem encontram-se nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7. Teste de médias para a variável RLCT da interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem.

Table 7. Test of means for the variable RLCT for the interaction between the factors log position and pressing time.

Posição da Tora	Tempo de Prensagem (minutos)	
	8	12
A	1,31aA	1,30aA
B	1,27aA	1,48bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas

Através da análise dessas interações (Tabela 7), destaca-se que a combinação do aumento do tempo de prensagem com a utilização das lâminas provenientes das toras B na manufatura dos compensados proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo da resistência da colagem.

Através da análise dessas interações (Tabela 8) destaca-se que a combinação do aumento da gramatura do adesivo e do aumento do tempo de prensagem proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo da resistência da colagem dos compensados.

Tabela 8. Teste de médias para a variável RLCT da interação entre os fatores tempo de prensagem e gramatura de cola.

Table 8. Test of means for the variable RLCT for the interaction between the pressing time and adhesive rate factors.

Tempo (minutos)	Gramatura(g/m ²)	
	380	420
8	1,29aA	1,26aA
12	1,32aA	1,49bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas.

Keinert Júnior e Alberto (1992) avaliaram a influência do tempo de prensagem (6 e 9 minutos) em compensados fenólicos de *Pinus taeda* e obtiveram melhores resultados de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento para os painéis prensados com o maior tempo experimentado. Medina (1986) também avaliou o tempo de prensagem (3, 6 e 9 minutos) sobre as propriedades de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e observou que o maior tempo de prensagem resultou em maior resistência da colagem dos painéis.

De modo geral, diante os resultados apresentados (Tabelas 7 e 8), pode-se destacar que os maiores valores de RLCT foram obtidos para os painéis produzidos com lâminas das toras B, tempo de prensagem de 12 minutos e gramatura de 420g/m².

Flexão estática dos painéis compensados

Os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) paralelo e perpendicular à flexão estática, para os compensados de cada tratamento, estão apresentados na Tabela 9.

De acordo com os dados da Tabela 9 pode-se dizer que os valores médios do MOR (paralelo e perpendicular) e do MOE (paralelo e perpendicular) dos painéis compensados do híbrido de pinus foram, respectivamente, compatíveis e inferiores, quando comparados com os mesmos valores apresentados na Tabela 10.

Considerando que o módulo de elasticidade (MOE) é um indicador de rigidez do material e que o valor médio encontrado para essa propriedade foi baixo, pode-se dizer que os painéis produzidos no presente estudo expressam certa limitação, porque poderão apresentar uma deflexão alta.

A Norma DIN 68705-3 (DIN, 1981) estipula os seguintes valores médios mínimos de resistência para compensados destinados à constru-

ção civil: 40 MPa para o MOR paralelo e 15 MPa para o MOR perpendicular. É possível observar na Tabela 9 que os valores médios dos compensados do híbrido de pinus atendem aos valores estipulados na norma em referência.

Tabela 9. Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados

Table 9. Mean values of the modulus of rupture and modulus of elasticity at static of the plywood bending.

Tratamentos	Flexão Estática (MPa)			
	MOR	MOE	MOR	MOE
	Paralelo		Perpendicular	
1	45	3210	19	1294
2	47	3322	22	1254
3	46	3196	21	1481
4	45	3572	22	1402
5	44	3668	23	1619
6	44	3254	21	1503
7	36	3091	17	1242
8	43	3837	17	1303
Média	44	3394	20	1387
CV (%)	9	13	14	16

De acordo com a Norma DIN 68792 (DIN,1979), compensados de cinco camadas destinados à fabricação de formas de concreto necessitam apresentar os seguintes valores médios mínimos: 45 MPa e 5000 MPa, respectivamente, para o MOR e o MOE paralelos; 30 MPa e 2500 MPa, respectivamente, para o MOR e o MOE perpendiculares. Em face aos valores médios do MOR e do MOE obtidos no presente estudo (Tabela 9), observa-se que os compensados do híbrido de pinus não se enquadram nos requisitos da norma em referência.

Outros resultados de MOR e MOE, obtidos de compensados produzidos com diversas espécies de pinus, encontrados na literatura são consideravelmente variáveis. Tais variações podem ser decorrentes das características dos compensados, tais como espessura e número de lâminas, mas, também, das espécies de madeira empregadas e especialmente da idade das árvores destas espécies. Lara Palma (1997) en-

controu para compensados fenólicos de cinco lâminas (2mm) de *Pinus elliottii* valores médios de 57MPa e 6401MPa para MOR e MOE paralelos e de 29MPa e 2154MPa para MOR e MOE perpendiculares. Iwakiri *et al.* (2009) encontrou para compensados fenólicos de cinco lâminas (2mm) de cinco espécies de pinus tropicais valores variando entre 51MPa e 75MPa para o MOR paralelo e variando entre 4627MPa e 7843MPa para o MOE paralelo.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis, verificou-se que para a variável MOR paralelo houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator posição da tora e para o MOE paralelo não houve diferença significativa entre os tratamentos e interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para as variáveis MOR e MOE perpendiculares não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas houve interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem.

Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para a variável MOR paralelo do fator posição da tora e para as variáveis MOR e MOE perpendiculares da interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem encontram-se nas Tabelas 11 e 12 respectivamente.

Tabela 11. Teste de médias para a variável MOR paralelo do fator posição da tora.

Table 11. Test of means for the variable MOR for log position factor.

Tora	MOR paralelo (MPa)
A	46a
B	42b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Conforme os dados da Tabela 11, o valor médio de MOR paralelo para os painéis produzidos com lâminas retiradas das toras A foi significativamente ($p < 0,05$) maior que os das toras B. Esse resultado, pelo menos como tendência, poderia ser esperado, devido à maior massa específica dos painéis produzidos com lâminas das toras A em relação à massa específica dos painéis pro-

Tabela 10. Valores do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática de painéis compensados de *Pinus* spp - (ABIMCI, 2002).

Table 10. Values of the modulus of rupture and modulus of elasticity pine plywood bending - (ABIMCI, 2002).

Espessura do Painel (mm)	Quantidade de lâminas	Flexão Estática (MPa)				
		MOR	MOE	MOR	MOE	
		Paralelo		Perpendicular		
9	5	Máximo	67	11573	30	2983
		Médio	49	8382	22	2229
		Mínimo	31	5192	14	1476

Fonte: Catálogo Técnico nº 1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) – Compensados de Pinus (ABIMCI, 2002)

duzidos com lâminas das toras B, pois a correlação entre as variáveis massa específica e MOR normalmente é positiva, embora a magnitude de tal correlação possa ser variável.

Tabela 12. Teste de médias para as variáveis MOR e MOE perpendicular para a interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem dos compensados.

Table 12. Test of means for the variable MOR and MOE perpendicular for the interaction between the factors log position and pressing time of the plywood.

		MOR perpendicular (MPa)		MOE perpendicular (MPa)	
		Tempo (minutos)			
		8	12	8	12
Tora	A	21 aA	22 aA	1274 bA	1561 aA
	B	22 aA	17 bB	1442 aA	1273 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas.

A partir do fator tempo de prensagem, observa-se que para o tempo de 12 minutos houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as posições das toras, sendo que os compensados obtidos das toras da posição B apresentaram menores valores médios de MOR e MOE perpendiculares em relação aos obtidos das toras da posição A. Esse resultado poderia ser esperado considerando que os painéis obtidos a partir de lâminas das toras B apresentaram menor valor médio de massa específica.

Para o fator tora, observa-se que para os compensados obtidos das toras B houve diferenças significativas ($p < 0,05$), sendo que o valor médio de MOR perpendicular para os painéis produzidos no tempo de prensagem de 12 minutos foi menor do que o obtido para o tempo de 8 minutos. Sabe-se que no ensaio de flexão estática as lâminas das faces do painel são as que mais contribuem para o resultado final do ensaio, pois durante a prensagem do painel essas lâminas se encontram em contato com os pratos da prensa quente e, portanto, são aquelas que permanecem mais sujeitas à ação direta do calor. Supõe-se que a ação direta do calor (150°C) sobre as lâminas das faces, em função do prolongamento do tempo de prensagem do painel, possa ter causado alguma modificação química e/ou, rearranjo dos constituintes químicos estrutural da madeira, reduzindo as forças de coesão entre as fibras e, por consequência, do MOR perpendicular.

Arruda *et al.* (2011), avaliando o tratamento térmico em lâminas de madeira de Paricá sobre a qualidade de painéis compensados, observaram a redução de até 27% do módulo de rup-

tura dos painéis que passaram pelo tratamento térmico das lâminas na temperatura de 150°C e nos tempos de 5, 10 e 15 minutos.

Para o MOE perpendicular, considerando ainda o fator posição da tora, observa-se que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tempos de prensagem apenas para a posição A, sendo que o valor médio do MOE perpendicular dos compensados prensados no tempo de 8 minutos foi menor do que o dos painéis prensados no tempo de 12 minutos. Isso pode estar relacionado com um estágio de cura do adesivo mais avançado no tempo de 12 minutos.

Analisando conjuntamente os dados da Tabela 12, pode-se dizer que os resultados de MOR e MOE perpendiculares dos compensados apresentaram a mesma tendência sob a influência da interação entre tempo de prensagem e posição da tora, porém, com algumas diferenças em magnitude e em significância estatística. Destaca-se o fato dos painéis produzidos com lâminas provenientes das toras da posição B, prensados no tempo de 12 minutos, terem apresentado, na maioria dos casos, valores inferiores.

CONCLUSÕES

A madeira do híbrido de pinus apresentou bom potencial para produção de compensados, cujos painéis, por exemplo, poderiam ser empregados na construção civil, na fabricação de móveis, embalagens e caixas. Porém, o emprego dos compensados do híbrido em produtos que requeiram elevados valores do MOR e do MOE, como por exemplo em formas de concreto, não é aconselhável, porque esses painéis não satisfariam tais requisitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMICI-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Programa Nacional de Qualidade da Madeira. Curitiba, 2002. 20p. (Catálogo Técnico, 1).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9534: chapas de madeira compensada: determinação da resistência da colagem ao esforço do cisalhamento. Rio de Janeiro, 1986. 3p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

- ARRUDA, L.M.; GONÇALEZ, J.C.; DEL MENEZZI, C.H.S.; MELO, R.R. de. Estudo preliminar das propriedades de compensados de produzidos com lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecânicamente. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.2, n.1, p.29-42, 2011
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1037: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. In: _____. **Annual book of ASTM standard**. Philadelphia: ASTM, 2002. p.1-30.
- BALDWIN, R.F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326p.
- CARPANEZZI, A.A.; FERREIRA, C.A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I.S.; STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; MONTAGNER, L.H.; RAUEN, M.J.; CARVALHO, P.H.R.; SIVEIRA, R.A.; ALVES, S.T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Brasília: Embrapa, CNPE. 1986. 89p. (Documentos, 17).
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN: 68705-3 - **Plywood: building-veneer plywood**. Berlin, 1981. 14p.
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 68792: **Large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete**. Berlin: Beuth Verlag, 1979. 3p
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 245p.
- IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; LIMA, A.J.M.; FERREIRA, E.S.; BATISTA, D.C.; ROMÃO, S.A.A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, v.39, n.3, p.669-673, 2009.
- IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p.71-77, 2001.
- KEINERT JÚNIOR, S.; ALBERTO, M.M.M. Influência de diversos tempos e temperaturas de prensagem em compensados fenólicos de *Pinus taeda*: efeito sobre a resistência de colagem ao esforço de cisalhamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.2, n.1, p.67-79, 1992.
- LARA PALMA, H.A. Determinação de propriedades elásticas e de resistência em compensados de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.51, p.37-48, 1997.
- MACEDO, ARP.; ROQUE, C.A.L. Painéis de Madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.6, p.117-132, 1997.
- MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento na produção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm.** 1986. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira – Manual didático**. Curitiba: UFPR, 2010. 176p. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/publicacoes/propriedadesdamadeira2010.pdf>> Acesso em: 12 set. 2011.
- PINUS BRASIL. **Pinus Brasil Agro Florestal LTDA**. Disponível em: <<http://www.pinusbrasil.com.br>> Acesso em: 20 ago. 2009.
- WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. 595p.

Recebido em 30/01/2012

Aceito para publicação em 22/08/2012

