

Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização

Plywood production from 11 species of the genus *Eucalyptus*, evaluation of their physical-mechanical properties and indications for utilization

Geraldo Bortoletto Júnior

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo a produção de compensados fenólicos a partir de onze espécies do gênero *Eucalyptus*, a avaliação das propriedades físicas e mecânicas desses painéis e a indicação dos seus possíveis usos em construção civil. Os resultados indicaram que os compensados de todas as espécies avaliadas podem ser destinados ao uso externo, com exceção para o compensado de *E. citriodora*, restrito ao uso intermediário. Os compensados podem ser utilizados na construção, na fabricação de formas de concreto e destinados ao uso naval, neste caso restrito a condições de uso nas quais os painéis não sejam solicitados à flexão estática perpendicular, devido aos valores de MOE que não atendem aos requisitos das Normas Brasileiras NBR 9531 (1986) e NBR 9532 (1986).

PALAVRAS-CHAVE: Produção, Manufatura, Compensado, *Eucalyptus*, Propriedades, Utilização

ABSTRACT: The objectives of this study were the production of phenolic plywood from eleven species of the genus *Eucalyptus*, the evaluation of physical and mechanical properties of those panels and the indication of their possible uses in civil construction. The results indicated that the plywood from all the appraised species can be destined to external use, with exception of *E. citriodora* plywood, restricted to intermediate use. The plywood can also be used for construction, production of framework and naval use, in this case restricted to use conditions in which the panels are not requested to the perpendicular static bending, due to the values of MOE that did not reach the requirements of the Brazilian Standard - NBR 9531 (1986) and NBR 9532 (1986).

KEYWORDS: Production, Manufacture, Plywood, *Eucalyptus*, Properties, Utilization

INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos florestais sob a ótica do uso múltiplo visa a diversificação de produtos, agregação de valor e maximização do lucro, e tem sido intensificada através da iniciativa dos empreendedores do setor e de pesquisas que constituem a base para o desenvolvimento dessas iniciativas.

Muito ampla é a gama de potenciais produtos que podem ser gerados a partir da madeira de eucalipto. Dentre esses produtos, destaque pode ser dado para o compensado pelo fato de agregar considerável valor à matéria-prima. Pesquisas que enfocam a utilização do eucalipto para essa finalidade não estão somente relacionadas ao uso ou ao melhor aproveitamento das espécies do

gênero, mas também a uma fonte alternativa de matéria-prima frente às madeiras de folhosas nativas e de pinus.

De acordo com Zugman (1998), 70% dos compensados produzidos no Brasil são manufaturados com madeiras de florestas tropicais nativas e a produção de compensados com madeira de *Pinus* spp. vem crescendo, sendo responsável pelos 30% restantes da produção nacional. Estimativas mais recentes indicam que 60% das chapas compensadas brasileiras são produzidas com madeiras tropicais nativas, enquanto que os outros 40% são produzidos a partir de madeiras provenientes de florestas plantadas nas regiões Sul e Sudeste, particularmente de espécies do gênero pinus. Cabe salientar que são incluídos como compensado tropical os tipos “combi” e “sarrafeado”, nos quais as lâminas das faces são compostas por madeira tropical e o miolo por lâminas ou madeira sarrafeada de *Pinus* spp., respectivamente (ABIMCI, 1999).

No que diz respeito à utilização de folhosas nativas, o custo de exploração, as grandes distâncias a serem vencidas com o transporte de toras, de lâminas, ou do compensado já manufaturado até os grandes centros de consumo, as fortes pressões dos grupos ambientalistas em relação à origem da madeira e a necessidade de certificação, são fatores que encarecem os custos podendo ser restritivos à plenitude do mercado de compensados tropicais e justificam momentaneamente a tendência de substituição por madeiras oriundas de florestas plantadas. Segundo a ABIMCI (1999), o aproveitamento do grande potencial representado pelas florestas tropicais para manufatura de compensados, dependerá de uma política adequada de desenvolvimento, particularmente para a região Amazônica.

Com relação à madeira de *Pinus* spp., estimativas apontam que no médio prazo haverá um descompasso entre oferta e demanda o que deve gerar um colapso no abastecimento dessa matéria-prima para o segmento de madeira sólida - serraria, produção de lâminas e manufatura de compensados (ABIMCI, 1999). A diminuição dos estoques de toras de pinus para laminação e serraria já é uma realidade e se fará sentir ainda mais na segunda metade dessa década, como decorrência das reduzidas taxas de plantio nos 80 e 90 (SBS, 2000).

Diante do cenário apresentado e de acordo com a ABIMCI (1999), pode-se esperar que o eucalipto venha ter uma penetração via substituição de nativas e também poderá cobrir a limitação no suprimento de madeira de pinus. Embora apresente bom potencial de expansão, conforme atestam Zugman (1998) e ABIMCI (1999), pode-se afirmar que a utilização do eucalipto na produção nacional de compensados é incipiente. Parte disso resulta dos paradigmas preconceituosos que ainda cercam a utilização da madeira de eucalipto para esse fim, mas também não se pode deixar de levar em conta que não são muitas as pesquisas realizadas sobre a viabilidade técnica desse gênero, considerada a ampla gama de espécies que o compõe, bem como a diversidade existente de híbridos e clones. Assim, o incremento da pesquisa neste vasto campo é necessário e fundamental, sobretudo para garantir possíveis fontes alternativas de matéria-prima.

O presente estudo teve como objetivo a manufatura de compensados a partir de 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, a avaliação das propriedades físicas e mecânicas desses painéis e a indicação dos seus possíveis usos em construção civil.

REVISÃO DE LITERATURA

Os primeiros estudos feitos no Brasil, relacionados com a produção de lâminas e compensados a partir de espécies do gênero *Eucalyptus*, tiveram início na ESALQ / USP com Jankowsky em 1979. O autor utilizou as madeiras de *Eucalyptus saligna* Sm., *E. urophylla* S.T.Blake e *E. grandis* Hill ex Maiden. Nesse estudo, somente foi possível a produção de compensados com as lâminas de *E. grandis*, que resultou em um painel de alta densidade, resistente e estável. As outras duas espécies geraram lâminas de qualidade inadequada, inviabilizando a produção dos compensados (Jankowsky, 1979).

Jankowsky e Aguiar (1983), realizaram novo estudo a partir das madeiras de *Eucalyptus triantha* Link., *E. microcorys* F. Muell, *E. pellita* F. Muell, *E. saligna* e *E. grandis*, com 10 anos de idade. Nesse estudo, somente o *E. triantha* e o *E. saligna* geraram lâminas com qualidade aceitável e os autores concluíram serem essas espécies aptas para manufatura de compensados.

Aguiar (1986), avaliando a madeira de *Eucalyptus grandis*, concluiu ser possível produzir lâminas dessa espécie através do processamento em torno desenrolador e sugeriu ser a mesma de grande potencial para manufatura de compensados, porém, revelou que as lâminas produzidas em seu trabalho prestariam quase que exclusivamente para compor o miolo dos painéis.

Gaiotto et al. (1993), trabalhando com a madeira de *Eucalyptus grandis*, concluíram que os compensados obtidos a partir dessa espécie podem cumprir todas as funções estruturais necessárias para um compensado do tipo exterior. Nesse estudo o compensado de eucalipto, quando comparado com o compensado de pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), apresentou densidade aproxima-

damente 10% mais alta e resistência à flexão estática igual ou levemente superior.

Gaiotto (1993), produziu lâminas a partir da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. urophylla* e concluiu que, pelas características que apresentaram as lâminas obtidas no estudo, seria possível a utilização para manufatura de compensados, porém, o uso estaria limitado ao miolo do painel, devido à grande incidência de nós e rachaduras laterais.

Pereyra (1994), desenvolveu um trabalho que teve como objetivo avaliar a madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden para produção de lâminas por desenrolamento e manufatura de compensados. O autor concluiu que o *E. dunnii* é uma espécie de alto potencial para utilização como matéria-prima na indústria. Pelo fato de ter produzido compensados para usos a prova d'água e posteriormente à caracterização mecânica isso não ter sido comprovado, o autor sugeriu novos estudos com outras formulações de adesivos fenólicos, visando aquele objetivo não alcançado.

Pio (1996) desenvolveu um trabalho com o objetivo de avaliar a madeira do *Eucalyptus scabra* Dum-Cours e do *Eucalyptus robusta* Sm. como fonte de matéria-prima para a produção de compensados. O autor concluiu que as lâminas obtidas de ambas espécies foram de boa qualidade e os compensados produzidos apresentaram boa estabilidade dimensional, indicando ser as espécies estudadas de alto potencial para utilização em escala comercial.

Interamnense (1998) desenvolveu um estudo sobre a utilização da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. maculata* Hook e *E. punctata* DC var. *punctata*, para produção de painéis compensados. O autor concluiu que o *E. punctata* não apresentou resultados satisfatórios sob as condições em que foi analisado e isso impossibilitou a produção de com-

pensados. Com relação às outras duas espécies, o autor concluiu que as lâminas obtidas foram de boa qualidade e os compensados produzidos apresentaram boa estabilidade dimensional com alto potencial para utilização em escala comercial na indústria laminadora e moveleira.

Rincoski (1999) manufacturou compensados uréicos a partir da madeira de *Eucalyptus citriodora* Hook e concluiu, comparando com dados da literatura, que os painéis demonstraram melhor estabilidade nos ensaios de inchamento em espessura, melhor resistência ao cisalhamento da linha de cola e menor percentagem de falha na madeira (ensaio seco e úmido), bem como valores inferiores em flexão estática, em relação a outras espécies (*E. scabra* e *E. robusta*), respectivamente.

Com base na revisão de literatura, pode-se afirmar que o presente estudo é inédito no que diz respeito à produção de compensados com a maioria das espécies abordadas e, especialmente, à indicação dos possíveis usos desses painéis em construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

As lâminas utilizadas no presente estudo foram obtidas a partir da madeira de 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, provenientes de plantios localizados na Estação Experimental de Anhembi, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP. As espécies selecionadas foram as seguintes: *Eucalyptus pilulares* Sm., *E. propinqua* Deane et Maiden, *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. pyrocarpa* Johnson et Blaxell, *E. tereticornis* Sm., *E. urophylla*, *E. Pellita* F. Muell, *E. citriodora*, *E. torelliana* e *E. saligna*. A seleção dessas espécies deu-se em função da disponibilidade de árvores com diâmetros compatíveis com a laminação, as quais geraram lâminas de qualidade adequada ao desenvolvimento da pesquisa proposta.

Foram coletadas aleatoriamente três árvores por espécie e retirados um disco e uma tora da base de cada uma delas. Assim, no total, foram amostradas 33 árvores, produzindo 33 discos e 33 toras. Os discos foram utilizados para determinação da densidade básica das espécies e as toras destinadas à laminação.

As lâminas de madeira, obtidas a partir das toras após descascamento e aquecimento em água, foram produzidas em torno laminador no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP, com espessura nominal de 2,00 mm e guilhotinadas nas dimensões de 1,00 x 1,00 m.

Depois de guilhotinadas, as lâminas foram dispostas paralelamente ao plano horizontal sobre suportes de madeira para secagem natural, em local coberto, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente (umidade entre 10% e 12%). Posteriormente, as lâminas tiveram seu teor de umidade reduzido para valores entre 6% e 7%, através da secagem entre os pratos de uma prensa quente, a uma temperatura de 120°C, durante 10 minutos. Da maneira descrita, foram secas cinco lâminas sobrepostas a cada vez.

Anteriormente à manufatura dos compensados, as lâminas já secas foram classificadas em classes de qualidade decrescente (N, A, B, C, D), conforme a Norma Brasileira NBR 9531 – Chapas de Madeira Compensada: Classificação, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986).

Na etapa de produção foram manufacturados compensados de cinco lâminas, coladas com adesivo fenólico, visando o uso exterior (classificados genericamente como EX), do tipo C/C, ou seja, capas com lâminas da qualidade C e miolos com lâminas da qualidade D ou superior, conforme descrito na Norma Brasileira NBR 9531 (ABNT, 1986). As dimensões nominais

das chapas foram de 1000 x 1000 x 10 mm. Após o esquadreamento as chapas adquiriram dimensões de 850 x 850 x 10 mm.

O teor de sólidos e o pH da resina à base de fenol-formaldeído determinados antes da formulação foram, respectivamente, 48% e 12,35. A formulação do adesivo, em partes por peso, foi a seguinte: resina (100); água (8); farinha de casca de coco (7) e farinha de trigo (4,5). Após a formulação a viscosidade do adesivo foi estimada através do tempo de escoamento em Copo Ford nº 8, cujo tempo foi de 30 a 40 segundos. O adesivo foi aplicado sobre as lâminas, em linha dupla, com gramatura de 360 g/m². O tempo de montagem dos compensados foi de 60 minutos.

O ciclo de prensagem para obtenção dos compensados foi o seguinte: tempo de prensagem de 10 minutos, pressão de prensagem de 13 kgf/cm² (1,3 MPa) e temperatura de prensagem de 145°C.

A definição das variáveis do ciclo de prensagem e da formulação do adesivo baseou-se nas recomendações do Boletim Técnico Cascophen HL-2080 (Alba Química, 1999), bem como em ensaios preliminares que possibilitaram pequenos ajustes que se fizeram necessários para atingir o tempo de escoamento sugerido pelo fabricante da resina.

Ao todo foram manufaturadas cerca de 90 chapas compensadas. Posteriormente, foram selecionadas aleatoriamente três chapas de cada espécie, exceto para o compensado de *E. maculata* para o qual foram selecionadas somente duas chapas. Assim, foram selecionadas 32 chapas no total, destinadas ao presente estudo.

A partir das chapas selecionadas, foram retirados aleatoriamente corpos-de-prova para avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos compensados, cujas dimensões e métodos de ensaio seguiram as prescrições das normas brasileiras.

A Tabela 1 apresenta as propriedades que foram avaliadas e o número de corpos-de-prova obtidos de cada chapa para a realização dos ensaios.

Na análise estatística dos dados obtidos através dos ensaios realizados, considerou-se o efeito das espécies (tratamentos) sobre as propriedades avaliadas. Para obtenção desses resultados realizou-se uma análise de variância e, posteriormente, um teste de médias de Tukey, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar médias que diferiram entre si. Para a realização da análise de variância empregou-se o programa estatístico denominado *Statistical Analysis System (SAS)*.

Tabela 1

Propriedades avaliadas e número de corpos-de-prova obtidos de cada painel compensado de eucalipto (Evaluated properties and number of samples per panel of plywood)

Ensaio/Normas	Propriedades	Número de corpos-de-prova por Chapa
Massa Específica NBR 9485/86	Massa Específica Aparente	5
Absorção de Água NBR 9486/86	Absorção Superficial	5
	Absorção Total	5
Flexão Estática Paralela* NBR 9533/86	MOR e MOE	5
	MOR e MOE	5
Resistência da Linha de Colagem ao Esforço do Cisalhamento NBR 9534/86	Tensão de Ruptura (condição seca) e Falha na Madeira**	7
	Tensão de Ruptura (condição úmida) e Falha na Madeira	7
	Tensão de Ruptura (pós-fervura) e Falha na Madeira	7

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

** Analisada através da comparação com fotografias de várias situações de falha na madeira apresentadas no Anexo A da norma EN 314-1 (1993)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica das espécies

Entre as espécies estudadas, o *E. saligna* apresentou o menor valor médio de densidade básica. O maior valor foi verificado para o *E. propinqua*, seguido do *E. citriodora*, *E. tereticornis* e *E. maculata*, cujas densidades básicas médias estão acima de 0,7 g/cm³, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2

Valores médios da densidade básica e idade das árvores de 11 espécies de *Eucalyptus* (Mean values of the specific gravity (oven dry weight/green volume) and age of the trees of 11 species of *Eucalyptus*)

Espécies	Densidade Básica(g/cm ³)	Idade(Anos)
<i>E. pilularis</i>	0,67	17
<i>E. propinqua</i>	0,77	21
<i>E. microcorys</i>	0,63	17
<i>E. maculata</i>	0,71	17
<i>E. pyrocarpa</i>	0,64	17
<i>E. tereticornis</i>	0,74	19
<i>E. urophylla</i>	0,60	21
<i>E. pellita</i>	0,65	17
<i>E. citriodora</i>	0,76	19
<i>E. torelliana</i>	0,61	20
<i>E. saligna</i>	0,56	23

Os resultados de densidade básica indicam que as espécies de eucalipto abordadas nesse estudo compreendem madeiras que poderiam ser classificadas como moderadamente pesadas a pesadas ou como de densidade média (p. ex. o *E. saligna*) a alta (p. ex. o *E. propinqua*).

De acordo com Lutz (1978), espécies de madeira com densidade básica entre 0,40 e 0,70 g/cm³ são adequadas para produção de lâminas. Segundo Walker (1993), espécies adequadas para laminação tendem apresentar densidade básica entre 0,38 e 0,70 g/cm³, com preferência para aquelas com densidade próxima de 0,5 g/cm³.

Certos estudos como os de Gaiotto (1993), Pereyra (1994) e Pio (1996), utilizaram espécies

de eucalipto cujas densidades básicas encontram-se dentro das faixas sugeridas por Lutz (1978) e Walker (1993), e os seus valores são próximos aos de algumas das espécies consideradas no presente estudo, sendo que todas as espécies abordadas nesses trabalhos geraram lâminas viáveis para manufatura de compensados.

Outros estudos como os de Interamnense (1998) e Rincoski (1999), bem como o presente estudo, ocuparam-se em laminar algumas espécies com densidades básicas acima das faixas sugeridas por Lutz (1978) e Walker (1993), no entanto obtendo lâminas viáveis para manufatura de compensados. Feitas essas observações, pode-se considerar que a faixa sugerida por ambos autores constitui um parâmetro mais apropriado para inferir sobre a facilidade em laminar uma determinada espécie de madeira do que propriamente um indicativo da qualidade das lâminas que podem ser geradas pela espécie, não se traduzindo como uma restrição pré-determinada às madeiras de alta densidade.

Propriedades físicas das chapas de madeira compensada

Massa específica aparente e absorção de água

A Tabela 3 apresenta os valores médios da massa específica aparente e do teor de umidade, bem como os valores médios de absorção superficial e total de água dos compensados obtidos para cada uma das espécies.

Houve diferença significativa entre os valores médios da massa específica obtidos para o compensado das diferentes espécies. Isso mostra que os compensados das espécies de eucalipto estudadas não poderiam constituir um único grupo com respeito àquela propriedade. Assim, os compensados gerados a partir dessas espécies poderiam ser classificados em quatro grupos diferentes, de A até D.

Tabela 3

Valores médios das propriedades físicas dos painéis compensados de 11 espécies de *Eucalyptus*
(Mean values of the physical properties of plywood panels from 11 species of *Eucalyptus*)

Tratamentos (Espécies)	Propriedades			
	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)	Absorção de Água	
			Superficial(%)	Total(%)
<i>E. pilularis</i>	0,895 BC ¹	9,75	14,65 DE	23,82 DE
<i>E. propingua</i>	0,922 B	9,89	15,10 DCE	21,31 EF
<i>E. microcorys</i>	0,805 D	9,97	20,66 AB	30,07 BC
<i>E. maculata</i>	0,889 BC	9,21	23,88 A	32,60 B
<i>E. pyrocarpa</i>	0,887 BC	9,79	15,81 DC	26,09 DC
<i>E. tereticornis</i>	0,973 A	9,89	9,23 F	17,51 F
<i>E. urophylla</i>	0,906 BC	9,48	11,86 EF	23,38 DE
<i>E. pellita</i>	0,868 C	9,75	15,29 DCE	25,26 DE
<i>E. citriodora</i>	0,999 A	9,18	20,69 AB	31,33 B
<i>E. torelliana</i>	0,767 D	9,18	18,42 BC	36,79 A
<i>E. saligna</i>	0,783 D	10,24	15,81 DC	33,08 AB

¹ Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, quando comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro.

Os valores médios do teor de umidade dos compensados observados no presente estudo são bem próximos do valor médio informado por Kollmann (1962), citado por Kollmann et al. (1975), bem como são compatíveis com os de outros estudos que abordaram a manufatura de compensados a partir de espécies de eucalipto, colados com resina à base de fenol-formaldeído, como os de Pereyra (1994), Pio (1996) e Interamnense (1998).

Com relação aos valores médios de absorção d'água exibidos na Tabela 3, pode-se dizer que foram estatisticamente distintos entre as espécies, devido a características inerentes a cada uma delas, cujos compensados podem ser classificados em seis grupos, de A até F.

Os valores médios da absorção superficial (determinados com as laterais dos corpos-de-prova impermeabilizadas com parafina) foram inferiores aos da absorção total, cerca de 40% em média, e demonstram que as linhas de cola foram eficientes e atuaram como uma "barreira" à penetração d'água nas camadas de lâminas internas. Isso se deve ao adesivo fenólico, que não é higroscópico após a cura, mas também à farinha de casca de coco, que possui a mesma característica. Portanto, embora esse tipo de

farinha eleve o custo da colagem, ela é de grande importância, pois altera efetivamente a capacidade de absorção d'água do painel, sobretudo das camadas de lâminas internas, quando as laterais encontram-se protegidas.

Dados sobre absorção d'água em compensados manufaturados a partir de espécies de eucalipto são escassos na literatura. Os valores médios de absorção total d'água obtidos no presente estudo foram inferiores (cerca de 38% em média) aos mesmos valores apresentados por Pereyra (1994), para compensados de *E. dunnii*. Esse fato, além do efeito das espécies e da espessura dos compensados (10 mm no presente estudo e 15 mm para *E. dunnii*), pode estar relacionado com a formulação da resina utilizada na colagem dos mesmos. Embora em ambos trabalhos utilizaram-se adesivos fenólicos, no de Pereyra (1994) adicionou-se farinha de trigo e catalisador (não utilizado no presente estudo) ao adesivo, os quais são elementos higroscópicos, e não se adicionou farinha de casca de coco, fatos que certamente contribuíram com o aumento da absorção d'água pelos compensados manufaturados em seu trabalho. Por outro lado, a utilização da farinha de casca de coco,

certamente contribuiu para redução da absorção d'água dos corpos-de-prova empregados no presente estudo, sobretudo nas regiões das linhas de colagem.

Propriedades mecânicas das chapas de madeira compensada

Flexão estática

Esse ensaio teve por finalidade avaliar a resistência (Módulo de Ruptura - MOR) à flexão e a rigidez (Módulo de Elasticidade - MOE) do compensado e tais propriedades são as de maior importância no uso construtivo e estrutural do painel.

A Tabela 4 apresenta os valores médios do MOR e MOE obtidos nos ensaios de flexão estática paralela e perpendicular. Esses valores diferiram estatisticamente, o que demonstra que os compensados das diferentes espécies não podem ser classificados num único grupo. O compensado dessas espécies pode ser

segregado em quatro e três grupos, segundo o MOR e MOE paralelo (de A até D e de A até C), respectivamente, e em cinco grupos para MOR e MOE perpendicular (de A até E). Essa segregação em grupos demonstra que a resposta das espécies frente ao ensaio de flexão estática paralela foi mais uniforme do que a resposta ao mesmo ensaio na direção perpendicular.

Os valores médios do MOR paralelo foram superiores aos mesmos valores obtidos na direção perpendicular, cerca de 50% em média ou, praticamente, o dobro. Já para o MOE, essa mesma diferença foi ainda maior, em média cerca de 70%. Resultados muito semelhantes foram encontrados por Pio (1996) e Intermnense (1998), ensaiando compensados de *E. scabra* e *E. robusta*, e *E. cloeziana* e *E. maculata*, respectivamente, manufaturados com cinco camadas e lâminas de 2 mm, como os do presente estudo.

Tabela 4

Valores médios dos módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) nos ensaios de flexão estática (paralela e perpendicular) dos painéis compensados de 11 espécies de *Eucalyptus*
(Mean values of the modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) in static bending (parallel and perpendicular) of plywood panels from 11 species of *Eucalyptus*)

Tratamentos (Espécies)	Flexão Estática Paralela		Flexão Estática Perpendicular	
	MOR	MOE	MOR	MOE
	kgf/cm ² (MPa)	kgf/cm ² (MPa)	kgf/cm ² (MPa)	kgf/cm ² (MPa)
<i>E. pilularis</i>	1324 A ¹ (130)	173426 B (17008)	635 AB (62)	46166 BC (4527)
<i>E. propinqua</i>	971 CD (95)	130948 C (12842)	536 CDE (53)	37510 E (3679)
<i>E. microcorys</i>	975 CD (96)	137393 C (13474)	468 E (46)	39211 DE (3845)
<i>E. maculata</i>	1228 AB (120)	162999 B (15985)	613 ABC (60)	46714 BC (4581)
<i>E. pyrocarpa</i>	980 CD (96)	126254 C (12382)	528 DE (52)	43692 CD (4285)
<i>E. tereticornis</i>	1277 A (125)	165524 B (16233)	612 ABC (60)	45647 BC (4477)
<i>E. urophylla</i>	1302 A (128)	197114 A (19331)	559 BCD (55)	49430 B (4848)
<i>E. pellita</i>	1042 C (102)	129859 C (12735)	503 DE (49)	38583 DE (3784)
<i>E. citriodora</i>	1283 A (126)	196834 A (19304)	648 A (64)	55949 A (5487)
<i>E. torelliana</i>	1104 BC (108)	126083 C (12365)	499 DE (49)	34861 E (3419)
<i>E. saligna</i>	855 D (84)	125789 C (12336)	467 E (46)	38690 DE (3794)

¹ Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, quando comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro.

Pereyra (1994), ensaiando compensados de *E. dunnii*, encontrou diferenças notavelmente menores entre as duas direções, cerca de 12% para o MOR e 17% para o MOE, as quais certamente estão correlacionadas com o número de camadas (nove) do compensado manufaturado no seu estudo. Segundo Tsoumis (1991), um número maior de camadas resulta em maior uniformidade de resistência e rigidez, ao longo do comprimento (direção paralela) e largura (direção perpendicular) do painel compensado, em função de uma melhor distribuição das tensões que se desenvolvem durante o carregamento no ensaio de flexão.

Os valores médios do MOR obtidos no presente estudo, quando confrontados com as especificações da Norma DIN 68705-3 (1981), citada por Pereyra (1994), que exige um valor mínimo de 408 kgf/cm² (40 MPa) para o MOR paralelo e 153 kgf/cm² (15 MPa) para o MOR perpendicular de compensados que se destinam à construção, atendem inteiramente às suas exigências, inclusive com excelente margem de segurança, equivalendo ao dobro ou ao triplo do valor médio mínimo exigido pela norma, dependendo da espécie.

De acordo com a Norma DIN 68792 (1979), no ensaio de flexão estática paralela, compensados de cinco camadas destinados à fabricação de formas de concreto necessitam apresentar um valor médio mínimo de 459 kgf/cm² (45 MPa) para o MOR e de 51000 kgf/cm² (5000 MPa) para o MOE. No ensaio de flexão estática perpendicular, os valores mínimos são de 306 kgf/cm² (30 MPa) para o MOR e 25493 kgf/cm² (2500 MPa) para o MOE. Tendo em vista os valores médios de MOR e MOE obtidos no presente estudo, nas direções paralela e perpendicular, verifica-se que todas exigências da norma citada podem ser plenamente atendidas pelos compensados de todas as espécies avaliadas, com larga margem de segurança.

Compensados para forma de concreto, sem especificações de número de camadas e direção (paralela ou perpendicular), necessitam apresentar um valor médio mínimo de 40789 kgf/cm² (4000 MPa) para o MOE, segundo exigência da Norma Brasileira NBR 9532 – Chapas de Madeira Compensada: Especificação (ABNT, 1986). Esse valor exigido é atendido por todos os compensados obtidos nesse estudo, considerando os valores médios do MOE paralelo. Entretanto, considerando o MOE perpendicular, haveria restrição para o compensado de seis das espécies avaliadas (*E. propinqua*, *E. microcorys*, *E. pellita*, *E. torelliana* e *E. saligna*). É necessário comentar que a norma citada encontra-se em processo de revisão, com forte tendência para adoção dos critérios estabelecidos pela Norma DIN 68792 (1979), que é mais abrangente e específica nesse caso particular.

Para classificar o compensado como naval, a Norma Brasileira (ABNT, 1986) exige um valor médio mínimo de 61183 kgf/cm² (6000 MPa) para o MOE, sem especificações de número de lâminas e direção, paralela ou perpendicular. Essa exigência é atendida por todos compensados gerados nesse estudo, considerando os valores médios obtidos para o MOE paralelo. Porém, considerando os valores médios do MOE perpendicular, nenhum dos compensados gerados no presente estudo seria capaz de atender àquela exigência. Isso restringe a utilização desses compensados a condições de uso nas quais os mesmos não sejam solicitados à flexão estática perpendicular, mas somente à flexão estática paralela.

Para satisfazer tal exigência não atendida, uma provável solução é a manufatura dos compensados com um número maior de camadas (sete ou nove), e possivelmente com maior espessura, cerca de 15 mm, a fim de tornar mais uniforme a resistência, mas sobretudo a rigidez, entre as direções paralela e perpendicular.

Resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento

A Tabela 5 apresenta os valores médios da tensão de ruptura¹ dos corpos-de-prova nas condições seca (teor de umidade médio de 9,67%), úmida (24 horas submersos em água fria) e pós-fervura (ciclo de fervura e secagem), obtidos no ensaio de cisalhamento. Tais valores foram estatisticamente diferentes e isso mostra que os compensados de todas as espécies não constituem um único grupo, segundo aquelas propriedades. Os compensados poderiam ser separados por espécies em três grupos (de A até C) de acordo com os valores médios da tensão de ruptura (seco e fervura) e em quatro grupos (de A até D), segundo os valores médios da tensão de ruptura obtidos no ensaio de cisalhamento pós-fervura.

Os valores médios da tensão de ruptura obtidos no presente estudo, que se referem ao ensaio seco, quando comparados aos obtidos

nos trabalhos de Gaiotto (1993), Pio (1996) e Interamnense (1998), cujos compensados foram colados com adesivo à base de fenol-formaldeído e gramatura de cola igual ou próxima (360 g/m², 360 g/m² e 350 g/m², respectivamente) à empregada no presente estudo (360 g/m²), são compatíveis. Aqueles mesmos valores, quando comparados aos obtidos por Pereyra (1994), que também utilizou adesivo à base de fenol-formaldeído com gramatura de cola menor (330 g/m²), são superiores.

Por outro lado, os valores médios da tensão de ruptura obtidos no presente estudo, ensaio úmido e pós-fervura, foram consideravelmente superiores aos obtidos por todos os autores citados. Entretanto, a percentagem de ruptura ou falha na madeira foi baixa e inferior aos valores obtidos pelos demais autores, considerando os ensaios realizados nas três condições (seca, úmida e pós-fervura).

¹ No presente texto, o termo tensão de ruptura, adotado pela NBR 9534 (ABNT, 1986), é empregado como sinônimo de resistência (Nota do Autor).

Tabela 5

Resultados (valores médios) do ensaio de cisalhamento da linha de colagem dos painéis compensados de 11 espécies de *Eucalyptus*
(Results of the bonding line shear test (mean values) of plywood panels from 11 species of *Eucalyptus*)

Tratamentos (Espécies)	Resistência da Linha de Colagem ao Esforço do Cisalhamento					
	Seco		Úmido		Pós-Fervura	
	Tensão de Ruptura	Falha na Madeira	Tensão de Ruptura	Falha na Madeira	Tensão de Ruptura	Falha na Madeira
	kgf/cm ² (MPa)	(%)	kgf/cm ² (MPa)	(%)	kgf/cm ² (MPa)	(%)
<i>E. pilularis</i>	25,2 ABC (2,5)	7,6	25,8 ABC (2,5)	16,2	24,2 AB (2,4)	2,4
<i>E. propinqua</i>	23,6 BC ¹ (2,3)	4,8	27,4 ABC (2,7)	5,5	21,5 BC (2,1)	1,8
<i>E. microcorys</i>	25,1 ABC (2,5)	34,3	24,4 BCD (2,4)	12,9	21,4 BC (2,1)	7,6
<i>E. maculata</i>	22,6 C (2,2)	0	23,8 BCD (2,3)	0	21,9 ABC (2,1)	2,9
<i>E. pyrocarpa</i>	24,5 ABC (2,4)	9,5	25,8 ABC (2,5)	19,5	20,2 BC (2,0)	1,6
<i>E. tereticornis</i>	23,5 BC (2,3)	1,0	28,1 AB (2,8)	7,1	22,4 ABC (2,2)	0,6
<i>E. urophylla</i>	26,1 AB (2,6)	26,7	28,0 AB (2,7)	25,8	22,5 ABC (2,2)	8,6
<i>E. pellita</i>	26,7 AB (2,6)	9,5	29,4 A (2,9)	21,9	22,7 ABC (2,2)	17,2
<i>E. citriodora</i>	27,4 A (2,7)	11,0	20,1 D (2,0)	4,5	–	–
<i>E. torelliana</i>	23,5 BC (2,3)	10,5	23,0 CD (2,3)	4,3	19,1 C (1,9)	2,4
<i>E. saligna</i>	24,4 ABC (2,4)	21,4	25,1 ABC (2,5)	13,0	19,6 C (1,9)	2,9

¹ Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, quando comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro.

O ensaio de cisalhamento tem como finalidade avaliar a qualidade da linha de colagem e classificar o compensado segundo o local de utilização, ou seja, se o mesmo pode ser destinado ao uso interior (avaliado no ensaio seco), intermediário (avaliado no ensaio úmido) ou exterior (avaliado no ensaio pós-fervura). Para tanto, o valor médio da tensão de ruptura combinado com o valor médio da percentagem de ruptura ou falha na madeira não devem ser menores que o limite especificado na Tabela 6, conforme a norma EN 314-2 (1993).

Confrontando os valores médios da tensão de ruptura e da percentagem de ruptura ou falha na madeira obtidos no presente estudo, ensaio seco, úmido e pós-fervura, com os valores médios mínimos apresentados na Tabela 6, observa-se que os compensados de todas as espécies avaliadas atendem aos critérios estabelecidos, inclusive com larga margem de segurança, podendo ser indicados para o uso interior, intermediário e exterior (condição mais agressiva à linha de cola). Exceção deve ser feita ao compensado manufaturado a partir da madeira do *E. citriodora*, porque 16 dos 21 corpos-de-prova tiveram as lâminas descoladas após serem submetidos ao ciclo de fervura, demonstrando que a colagem obtida na maioria dos corpos-de-prova não resistiu à preparação prévia ao ensaio de cisalhamento propriamente dito. Uma possível explicação para esse fato pode estar relacionada com a presença de óleos essenciais na madeira dessa espécie, que interferem negativamente na cura do adesivo, na formação da linha de colagem e, posteriormente, na sua performance. Assim, o

compensado de *E. citriodora* seria indicado somente para o uso interno e intermediário, considerando as condições de manufatura empregadas no presente estudo.

A Norma Brasileira NBR 9531 (ABNT, 1986), não especifica nenhum valor de referência para tensão de ruptura no ensaio de cisalhamento, mas, exige um mínimo de percentagem de falha na madeira de 60%, 60% e 80% para classificar o compensado para uso interno, intermediário e externo, respectivamente. Confrontando os resultados obtidos no presente estudo (Tabela 5) com as exigências dessa norma, observa-se que os compensados de todas as espécies não poderiam ser indicados sequer para uso interno. De modo semelhante, a confrontação dos resultados obtidos por Pio (1996), Interamnense (1998) e Pereyra (1994), com as exigências da norma brasileira, na maioria dos casos, levaria à mesma observação feita para os compensados obtidos no presente estudo. É necessário comentar que essa norma encontra-se em processo de revisão e apresenta forte tendência para a adoção dos critérios estabelecidos pela norma européia EN 314-2 (1993), cuja vantagem reside no fato de levar em consideração não só o aspecto de falha na madeira, mas também o valor da tensão de ruptura de maneira combinada. Assim, conforme visto na Tabela 6, à medida em que aumenta a tensão de ruptura a exigência em termos de falha na madeira reduz, até o momento em que pode ser desprezada, ou seja, quando a tensão de ruptura for suficientemente alta (igual ou superior a 10,2 kgf/cm² ou 1,0 MPa).

Tabela 6

Requisitos de colagem (valores médios) para painéis compensados
(Bonding requirements (mean values) for plywood panels)

Resistência da Linha de Colagem ao Esforço do Cisalhamento	
Tensão de Ruptura (TR) kgf/cm ² e (MPa)	Ruptura ou Falha na Madeira(%)
2,0 (0,2) ≤ TR < 4,1 (0,4)	≥ 80
4,1 (0,4) ≤ TR < 6,1 (0,6)	≥ 60
6,1 (0,6) ≤ TR < 10,2 (1,0)	≥ 40
10,2 (1,0) ≤ TR	Sem Exigência

Fonte: EN 314-2 (1993)

Outra vantagem em favor da adoção da norma europeia é a coleção de fotografias coloridas de diversas situações de falha na madeira, com a indicação das suas percentagens (a partir de 0% até 100%, de 10% em 10%), através das quais podem ser feitas comparações com os corpos-de-prova após o ensaio de cisalhamento, auxiliando sobremaneira a análise e a determinação da percentagem de falha na madeira, bem como a obtenção de resultados mais uniformes, além de contribuir para minimização da subjetividade inerente a esse tipo de análise.

CONCLUSÕES

Houve diferença significativa entre os valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos compensados obtidos a partir das 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, de modo que os painéis produzidos no presente estudo não constituem um único grupo e podem ser classificados em grupos diferentes, segundo cada uma das propriedades avaliadas.

Segundo os resultados obtidos nos ensaios de resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento, confrontados com as especificações da norma EN 314-2 (1993), os compensados de todas as espécies consideradas no presente estudo podem ser destinados ao uso exterior, com exceção para o compensado de *E. citriodora* que se restringe ao uso intermediário.

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de flexão estática, confrontados com as normas DIN 68705-3 (1981) e DIN 68792 (1979), os compensados de todas as espécies consideradas no presente estudo podem ser destinados à construção e à fabricação de formas de concreto, respectivamente, inclusive com larga margem de segurança em relação aos valores médios mínimos exigidos pelas tais normas.

Os compensados manufaturados no presente estudo podem ser destinados ao uso naval, entretanto, há restrições para o compensado de todas as espécies com relação aos módulos de elasticidade (MOE), obtidos no ensaio de flexão estática perpendicular, que não atendem aos requisitos das Normas Brasileiras NBR 9531 e NBR 9532 (ABNT, 1986). Isso restringe a utilização desses compensados a condições de uso nas quais os mesmos não sejam solicitados à flexão estática perpendicular, mas somente à flexão estática paralela. Tal restrição pode ser superada através da manufatura de compensados com um número de camadas maior, ou seja, sete ou nove camadas, a fim de tornar mais uniforme a resistência, mas sobretudo a rigidez, entre as direções paralela e perpendicular.

AUTOR E AGRADECIMENTOS

GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP - Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP - 13400-970 – Email: gbortoll@esalq.usp.br

O autor expressa os seus agradecimentos ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e aos Doutores Nilson Franco e Takashi Yojo, Pesquisadores da Divisão de Produtos Florestais - DPF, pela valiosa colaboração nos ensaios de absorção d'água e resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento, realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira / DPF / IPT.

O autor também expressa o seu agradecimento à Alba Química S/A, na pessoa do Sr. Mário de Andrade, pelo fornecimento do adesivo empregado no presente estudo, bem como pelo apoio prestado durante a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA. **Estudo setorial**. Curitiba, 1999. 54p.
- 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: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9486)
- 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 da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9534)
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: determinação da resistência à flexão estática**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9533)
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: especificação**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9532)
- AGUIAR, O.J.R. **Métodos para controle das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden, visando a produção de lâminas por desenrolamento**. Piracicaba, 1986. 92p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- ALBA QUÍMICA. **Cascophen HL-2080**. São Paulo, 1999. 4p. (Boletim técnico, 55).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete**. Berlin: Beuth Verlag, 1979. (DIN 68792)
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Plywood: building-veneer plywood**. Berlin: Beuth Verlag, 1981. (DIN 68705-3)
- EN – EUROPEAN STANDARD. **Plywood – bonding quality: part 1 - test methods**. CEN members, 1993. (EN 314-1)
- EN – EUROPEAN STANDARD. **Plywood – bonding quality: part 2 - requirements**. CEN members, 1993. (EN 314-2)
- GAIOTTO, M.R. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* para produção de lâminas**. Piracicaba, 1993. 119p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- GAIOTTO, M.R.; WATAI, L.T.; JANKOWSKY, I.P. Avaliação experimental do compensado de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS / SBEF, 1993. v.2, p.595-599.
- INTERAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell), *Eucalyptus maculata* (Hook) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensados**. Curitiba, 1998. 81p. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.
- JANKOWSKY, I.P. Manufatura de painéis compensados com madeira de *Eucalyptus* spp: resultados preliminares. **Circular técnica IPEF**, n.82, p.1-4, 1979.
- JANKOWSKY, I.P.; AGUIAR, O.J.R. Manufatura de painéis compensados com *Eucalyptus*: caracterização de diversas espécies. **Floresta**, v.14, n.1, p.46-53, 1983.
- KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v.2, 703p.
- LUTZ, J.F. Wood veneer: log selection, cutting and drying. **USDA technical bulletin**, n.1577, 1978.
- PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. Piracicaba, 1994. 87p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- PIO, N.S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. Curitiba, 1996. 101p. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Paraná

- RINCOSKI, C.R. Influência da gramatura de cola nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Agrárias**, v.18, n.1/2, p.37-53, 1999.
- SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Contribuição do grupo de trabalho “madeira e florestas” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC**. São Paulo: SBS, 2000. 33p.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. cap. 3, p.309-339.
- WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p.377-416.
- ZUGMAN, I.C. Estrutura das indústrias e comércio de madeira compensada e laminada no Brasil e no mundo. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais**. Viçosa: SIF / UFV / DEF, 1998. p.49-54.