

# FABRICAÇÃO DE AGLOMERADOS DE TRÊS CAMADAS COM MADEIRA DE *Pinus elliottii* Engelm. E CASCA DE *Eucalyptus pellita* F. Muell

Djeison Cesar Batista<sup>1</sup>, Edv Oliveira Brito<sup>2</sup>, Vítor Garcia Setubal<sup>3</sup>, Lucas Geromel de Góes<sup>4</sup>

(recebido: 13 de setembro de 2006; aceite: 22 de março de 2007)

**RESUMO:** Conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar as propriedades físicas e mecânicas das chapas de madeira aglomerada de três camadas, utilizando-se madeira de *Pinus elliottii* Engelm e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. As propriedades mecânicas avaliadas foram flexão esttica (módulo de ruptura - MOR - e módulo de elasticidade - MOE) e ligao interna (LI), enquanto que as propriedades físicas foram inchamento em espessura (IE) e absoro de gua (AA). Avaliaram-se três diferentes composies de casca e madeira nas capas e no miolo: uma sem casca e duas com casca. Estudou-se ainda a adio ou não de 1% de parafina (sobre o peso seco das partículas), resultando em seis tratamentos com quatro repeties em cada. Dentre os tratamentos com casca e sem aplicao de parafina, foram observados maiores valores de MOR, MOE e LI do que naqueles com casca e aplicao de parafina.

Palavras-chave: Aglomerados, casca, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus pellita*.

## THREE-LAYER PARTICLEBOARD PRODUCTION WITH *Pinus elliottii* Engelm. WOOD AND THE ADDITION OF *Eucalyptus pellita* F. Muell. BARK

**ABSTRACT:** This work evaluated the physical and mechanical properties of three-layer particleboard manufactured with *Eucalyptus pellita* bark and *Pinus elliottii* wood. The mechanical properties evaluated were static bending (modulus of rupture and modulus of elasticity) and internal bonding, while physical ones were water absorption and thickness swelling. Three different bark and wood compositions in the core and on the layers were evaluated: one without bark and two with bark. It was even studied the addition or not of 1% of paraffin (over the particles dry weight), resulting in six treatments, each one with four repetitions. There were showed better results of MOR, MOE e LI among the treatments with bark and without paraffin than in those with bark and paraffin.

Key words: Particleboard, bark, *Eucalyptus pellita*, *Pinus elliottii*.

### 1 INTRODUO

Os paines de madeira aglomerada, comercialmente denominados de “aglomerados”, so produzidos com partículas de madeira, com a incorporao de um adesivo sinttico e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através de aplicao de calor e pressão na prensa  quente. Outros materiais lignocelulósicos podem ser utilizados na fabricao de aglomerados (IWAKIRI, 2000).

De acordo com Teixeira (2003), os resíduos florestais (cascas, folhas, galhos, etc.) gerados pelas empresas de diversos segmentos industriais de base florestal não têm sido aproveitados corretamente devido ao desconhecimento ou  inexistência de tecnologias disponíveis a serem transferidas. Assim sendo, têm sido

utilizados de forma menos valorizada, como na queima direta em sistemas de gerao de energia. A quantidade de resíduos oriundos das indústrias madeireiras e de resíduos da explorao florestal  bastante elevada, embora a utilizao de resíduos na indústria nacional ser ainda em pequena escala. Alguns trabalhos de pesquisa têm demonstrado a viabilidade de utilizao dos mesmos, e ressaltam a necessidade do melhor aproveitamento da mteria-prima (material lignocelulósico) e uso racional dos recursos florestais (BRITO, 1995; IWAKIRI, 2000).

Muitos trabalhos utilizando casca e outros resíduos de madeira já foram desenvolvidos nos países do hemisfério norte, em particular nos Estados Unidos da América e Canadá (USDA FOREST SERVICE, 2006). Porém, estes trabalhos utilizaram, na sua maioria, a casca de espécies de coníferas como *spruce* (*Picea orientalis*), *Douglas-fir*

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Florestal na UFRRJ – Departamento de Produtos Florestais – Instituto de Florestas – BR 465, km 7 – 23851-970 – Seropédica, RJ – Bolsista de Iniciao Científica PIC/UFRRJ – djeisoncesar@click21.com.br

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Produtos Florestais na UFRRJ, Instituto de Florestas, BR 465, km 7 – 23851-970 – Seropédica, RJ – edva@ufrj.br

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Florestal na UFRRJ – Departamento de Produtos Florestais – Instituto de Florestas – BR 465, km 7 – 23851-970 – Seropédica, RJ – vgsetubal@gmail.com

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia Florestal na UFRRJ – Departamento de Produtos Florestais – Instituto de Florestas – BR 465, km 7 – 23851-970 – Seropédica, RJ – saosebaflorestal@yahoo.com.br

(*Pseudotsuga taxifolia*), *cedar (Cedrus libani)*, espécies de *Pinus*, e com menos frequência a casca de espécies de angiospermas monocotiledôneas, como *Populus* sp. Em alguns desses trabalhos foram obtidas melhorias nas propriedades físico-mecânicas dos aglomerados produzidos, com a adição de casca de *Pinus brutia* (KALAYACIOGLU & NEMLI, 2006). No Brasil, existem poucas pesquisas a respeito da inclusão de casca de eucalipto ou outra espécie na produção de aglomerados. Brito et al. (2005) concluíram que a inclusão de casca de *Eucalyptus pellita*, em até 10% (sobre o peso seco da chapa), é viável tecnologicamente na produção de aglomerados convencionais. No entanto, têm-se desenvolvido trabalhos aplicando outros destinos à casca de algumas espécies de eucalipto, como, por exemplo, na extração de taninos para a produção de adesivos e na utilização de taninos como preservativos de madeira (MORI et al., 2001; VITAL et al., 2001).

A geometria das partículas (forma e tamanho) é o primeiro fator que afeta tanto as propriedades das chapas quanto seu processo de manufaturamento. De fato, o desempenho dos aglomerados é, em grande parte, o reflexo das características das partículas. A geometria das partículas influencia indiretamente o acabamento, colagem e as propriedades de revestimento de aglomerados (MOSLEMI, 1974).

A qualidade dos painéis de madeira, especificamente as chapas de partículas, está em função dos estudos realizados previamente sobre composições de algumas variáveis, como granulometria das partículas, teor de adesivo, umidade, entre outros e dos processos utilizados na produção das mesmas (MENDES et al., 2001). Michaque (1992) ressalta que a geometria das partículas é um dos fatores básicos determinantes das propriedades e características das chapas, juntamente com as espécies de madeira, tipo e quantidade de resina e outros aditivos.

Quando se altera a geometria ou a granulometria das partículas, há a necessidade também de se averiguar a melhor proporção de adesivos a serem utilizados, entre outras variáveis do processo produtivo. Bodig & Jayne (1982) confirmam que das inúmeras variáveis que influem sobre as propriedades mecânicas das chapas de aglomerados, as dimensões e a geometria das partículas são umas das mais importantes.

No trabalho de Nunes et al. (1999) realizado com partículas do estipe do palmitreiro, foi observado, em geral, melhores respostas nas propriedades físico-mecânicas nas chapas produzidas com a menor granulometria, 2,00 –

0,61mm. Peixoto & Brito (2000), com chapas produzidas de partículas a partir de madeira de *Pinus taeda* L., mostraram que aquelas fabricadas com granulometrias de 2,00 – 0,61mm apresentaram maior valor de resistência à tração, enquanto que aquelas produzidas com partículas de maior granulometria (4,37 – 0,61mm) apresentaram maior valor de flexão estática. Brito & Silva (2002), utilizando as espécies exóticas *Gmelina arborea* Linn. Roxb e *Samanea samam* (Jacq). Merr na produção de chapas de aglomerados, obtiveram melhores resultados para flexão estática e ligação interna quando utilizaram a maior granulometria (5,61 – 0,61mm) e melhores resultados de inchamento em espessura quando utilizaram partículas de menor granulometria (2,08 – 0,61mm).

Realizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar as propriedades físicas de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) e as propriedades mecânicas de flexão estática (módulo de ruptura - MOR - e módulo de elasticidade - MOE -) e ligação interna (LI) das chapas de aglomerados de três camadas, produzidas com partículas de madeira do tipo convencional com adição de casca, utilizando-se diferentes composições de casca e madeira nas capas e no miolo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido no Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). A madeira utilizada para a confecção das partículas do tipo convencional foi de *Pinus elliottii* Engelm., com treze anos de idade. A casca foi obtida de moirões utilizados na usina de tratamento do Instituto de Florestas, da espécie *Eucalyptus pellita* F. Muell., com quatro anos de idade. Ambas as espécies plantadas no campus da UFRRJ.

Da árvore foram retirados discos de 2,5 cm de espessura a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, além de um disco extra à altura do DAP, todos para a determinação da densidade básica da madeira. A densidade da casca (estabilizada em câmara a 65% de umidade e 20°C) foi determinada pelo método da imersão em mercúrio, tomando-se 30 amostras de 10 x 10 cm aleatoriamente dentre os moirões. A densidade das duas matérias-primas foi determinada como sugere Vital (1984).

As partículas de madeira do tipo convencional foram produzidas em um gerador de partículas, com comprimento de 3 cm, espessura de 0,5 mm e largura variável entre 1 e 5 cm. Estas partículas passaram por um moinho de martelo, com peneira de 8 mm. Para a obtenção da casca

os moirões foram descascados com facão em tiras longitudinais, e em seguida estas foram picadas transversalmente, atingindo um comprimento aproximado de 10 cm e processados em moinho de martelo do mesmo modo que as partículas de madeira.

As partículas foram classificadas de acordo com sua granulometria, por uma peneira automática de agitação mecânica com diferentes malhas. No miolo foram utilizadas partículas de maior granulometria, aquelas que passaram na peneira de 4,01 mm e ficaram retidas na peneira de 2,01 mm; enquanto que na capa foram utilizadas partículas de menor granulometria, aquelas que passaram na peneira de 2,01 mm e ficaram retidas na peneira de 0,60 mm.

As partículas de casca foram classificadas somente nas peneiras de malha 2,01 e 0,60 mm, com o objetivo único de se retirar a fração dos finos. Deste modo, foi utilizado o mesmo tipo de partícula de casca em todos os tratamentos.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC), com dois fatores e quatro repetições. A parafina representou o fator "A", havendo a adição ou não de parafina às chapas; enquanto a composição das chapas representou o fator "B", havendo três diferentes composições de casca e madeira:

- Composição 1: 0% de casca nas capas, 50% de madeira nas capas (2,01-0,60 mm), 0% de casca no miolo, 50% de madeira no miolo (4,00-2,01mm);
- Composição 2: 10% de casca nas capas, 40% de madeira nas capas (2,01-0,60 mm), 0% de casca no miolo, 50% de madeira no miolo (4,00-2,01mm);
- Composição 3: 0% de casca nas capas, 50% de madeira nas capas (2,01-0,60 mm), 10% de casca no miolo, 40% de madeira no miolo (4,00-2,01mm).

Os tratamentos podem ser observados na Tabela 1.

Todas as partículas foram pré-secadas ao ar, e em seguida foi utilizada uma estufa de circulação forçada a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  para que atingissem o teor de umidade pré-estabelecido de 5%. Foram produzidas quatro chapas de  $0,70 \text{ g/cm}^3$  por tratamento, totalizando 24 chapas.

A proporção de adesivo uréia-formaldeído utilizada na confecção das chapas foi de 6% sobre o peso seco das partículas. O sulfato de amônia foi utilizado como catalisador do adesivo. Nos tratamentos T1, T2 e T3 foi aplicado 1% de emulsão de parafina, em relação ao peso seco das partículas, para aumentar a resistência à absorção de água das chapas (MALONEY, 1977).

Após a pesagem das partículas de madeira e de casca nas quantidades adequadas para a composição de cada chapa, as partículas foram levadas a um tambor rotativo. O adesivo e a parafina foram aplicados por meio de aspersão.

Após a aplicação do adesivo, foram feitas as chapas de  $40 \times 40 \times 1,27 \text{ cm}$  em uma prensa hidráulica de pratos planos e horizontais com aquecimento elétrico. O tempo de prensagem foi de 10 min, à temperatura de  $140^\circ\text{C}$  e pressão igual a  $30 \text{ kgf/cm}^2$ . Depois de prensadas e devidamente identificadas, as chapas foram acondicionadas em sala de climatização ( $65 \pm 5\%$  de umidade e temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) e em seguida tiveram a densidade determinada de acordo com a norma ASTM 1037-91 (ASTM, 1982).

As chapas foram submetidas aos seguintes ensaios mecânicos: flexão estática (módulo de ruptura - MOR - e módulo de elasticidade - MOE) e ligação interna (LI). Nos ensaios de MOR e MOE foram utilizados dois corpos-de-prova por chapa, totalizando oito corpos-de-prova por tratamento. No ensaio de LI foram utilizados cinco corpos de prova por chapa, totalizando vinte corpos-de-prova por tratamento. Para a realização destes ensaios foi utilizada uma máquina universal de ensaios, hidráulica, marca EMIC, com capacidade máxima de 10 toneladas. Os ensaios físicos realizados nas chapas foram: absorção de água (AA2H e AA24H) e inchamento em espessura (IE2H e IE24H), após 2 e 24 horas de imersão. Nestes ensaios utilizaram-se dois corpos-de-prova por chapa, totalizando oito corpos-de-prova por tratamento.

Todos os ensaios deste trabalho foram realizados de acordo com a norma ASTM D 1037-91 (ASTM, 1982).

Os resultados obtidos pelas chapas nos ensaios físicos e mecânicos foram comparados à norma americana CS 236-66. Na Tabela 2, são apresentados os valores mínimos para as propriedades de MOR, MOE e LI e valores máximos para IE exigidos por essa norma (COMMERCIAL STANDARD, 1968).

Os resultados obtidos foram processados com o uso de *software* estatístico. O teste de Lilliefors (95% de probabilidade) foi aplicado para verificar se os dados seguiam a distribuição normal. Para observar o efeito da interação entre os fatores foi aplicada a análise da variância a 95% de probabilidade, tanto para o teste *F*, quanto para o teste de *Tukey*.

**Tabela 1** – Delineamento experimental.**Table 1** – Experimental outline.

Tratamentos	Parafina	Capa (%)		Miolo (%)	
		Casca	Madeira	Casca	Madeira
T1	SIM	0	50	0	50
T2	SIM	10	40	0	50
T3	SIM	0	50	10	40
T4	NÃO	0	50	0	50
T5	NÃO	10	40	0	50
T6	NÃO	0	50	10	40

**Tabela 2** – Valores mínimos exigidos pela norma CS 236-66 para as propriedades mecânicas e valores máximos para inchamento em espessura para chapas de partículas.**Table 2** – Minimum values required by CS 236-66 standard for mechanical properties and maximum values of thickness swelling for particleboards.

Tipo (uso)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) Média min	Classe <sup>2</sup>	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	LI (kgf/cm <sup>2</sup> )	IE %
1 <sup>1</sup>	A (alta, igual ou superior a 0,80g/cm <sup>3</sup> )	1	168	24500	14	55
		2	236	24500	9,8	55
	B (média, entre 0,60 e 0,80 g/cm <sup>3</sup> )	1	112	24500	4,9	35
		2	168	28000	4,2	30
C (baixa, abaixo de 0,60 g/cm <sup>3</sup> )	1	56	10500	1,4	30	
	2	98	17500	2,1	30	

<sup>1</sup>Tipo 1 – Chapa de partículas (geralmente feita com resina uréia-formaldeído) adequada para aplicação em interiores.

<sup>2</sup>Classe – Classificação de resistência baseada nas propriedades dos painéis produzidos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Densidade das matérias-primas

A densidade básica média da árvore de *P. elliptica* foi de 0,42 g/cm<sup>3</sup> e a densidade média da casca de *E. pellita* (12%) foi igual a 0,52 g/cm<sup>3</sup>. Brito et al. (2004) obtiveram valores de densidade semelhantes para a madeira desta mesma espécie, enquanto Brito et al. (2005) obtiveram valores semelhantes para a densidade da casca da mesma espécie. A densidade ponderada das matérias-primas utilizada nas chapas com inclusão de casca, calculada como proposto por Moslemi (1974), foi de 0,43g/cm<sup>3</sup>. Portanto, a densidade das matérias-primas utilizadas neste trabalho encontra-se dentro do intervalo de 0,30 a 0,50g/cm<sup>3</sup>, proposto por Maloney (1977) para a produção de chapas de aglomerados de média densidade.

#### 3.2 Densidade das chapas

A densidade média das chapas (12% de umidade) e a razão de compactação para cada tratamento encontram-se na Tabela 3.

Como observado na Tabela 3, todas as chapas atingiram a densidade pré-estabelecida de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, o que possibilitou uma comparação equivalente entre as propriedades dos tratamentos. Todas as chapas foram classificadas como tipo “1B”, de acordo com a norma CS 236-66. O coeficiente de variação mostra que o processo de confecção das chapas foi bem conduzido. A razão de compactação obtida indica que houve densificação suficiente durante o processo de confecção das chapas (MALONEY, 1977).

#### 3.3 MOR, MOE e LI

De acordo com o teste de Lilliefors, todos os dados obtidos para as propriedades mecânicas de MOR, MOE e

**Tabela 3** – Densidade média das chapas por tratamento.**Table 3** – Particleboards mean density per treatment.

Tratamento	Densidade Média (g/cm <sup>3</sup> )	Razão de Compactação
T1	0,702 a	1,67
T2	0,701 a	1,63
T3	0,701 a	1,63
T4	0,702 a	1,67
T5	0,701 a	1,63
T6	0,702 a	1,63
CV %	2,43	-

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

LI das chapas seguiram a distribuição normal, e puderam ser analisados através da análise de variância. Em seguida, procedeu-se a análise de variância, e foi aplicado o teste de Tukey sempre que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados resumidos da análise de variância para o MOR, MOE e LI.

**Tabela 4** – Resumo da análise de variância das propriedades mecânicas das chapas.**Table 4** - Summary of particleboard mechanical properties analysis of variance.

FV	GL	F		
		MOR	MOE	LI
Parafina (A)	1	37,42*	15,56*	138*
Composições (B)	2	38,23*	0,20	25,16*
A X B	2	37,39*	4,11*	13,49*
Resíduo	42			
CV%	-	12,88	36,14	31,28

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

De acordo com o teste aplicado, foi observada significância na interação entre os fatores “parafina” (A) e “composições” (B) nas propriedades mecânicas avaliadas neste trabalho.

Na Tabela 5, encontram-se os valores médios das propriedades mecânicas de MOR, MOE e LI de cada tratamento e seus respectivos coeficientes de variação (CV%).

### 3.3.1 Fator “Parafina”

Os resultados em função do fator “parafina” podem ser observados na Tabela 6.

Os tratamentos onde foi empregada somente madeira de pinus para a confecção das chapas apresentaram comportamento diferenciado dos tratamentos onde houve composição de casca e madeira. Para os primeiros (T1 e T4), em relação ao MOR, o melhor tratamento foi aquele com aplicação de parafina; enquanto que para o MOE não houve diferença significativa e para a LI o melhor tratamento foi sem parafina.

Para o segundo grupo (T2, T3, T5 e T6), os tratamentos onde houve as composições de casca e madeira, todos os tratamentos com parafina apresentaram pior resultado para MOR, MOE e LI. Este último grupo sugere resultados mais coerentes, uma vez que a adição de parafina resulta em uma diminuição da massa das partículas (em relação ao peso seco das chapas), reduzindo a resistência mecânica das chapas.

### 3.3.2. Fator “Composições”

Na Tabela 7, encontram-se os resultados da análise estatística em função das diferentes composições de casca e madeira.

Em relação ao MOR, todos os tratamentos com parafina apresentaram diferença significativa entre si, sendo que o tratamento T1 (composição sem casca) apresentou a maior média, seguido por T3 e T2. Os tratamentos sem parafina não apresentaram diferença significativa entre si, e para estes, o tratamento T6 (composição 3) obteve a maior média absoluta.

Em relação ao MOE, todos os tratamentos com parafina apresentaram diferença significativa entre si, sendo que o tratamento T1 (sem casca) obteve o melhor resultado, seguido por T3 e T2. Os tratamentos sem parafina não apresentaram diferença significativa entre si, sendo que o tratamento T5 (composição 2) obteve a maior média absoluta, seguido por T6 e T4.

**Tabela 5** – Valores médios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna.

**Table 5** – *Modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bond mean values*

Tratamentos	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	CV%	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	CV%	LI (kgf/cm <sup>2</sup> )	CV %
T1	112,6	8,83	13792,7	16,56	1,71	27,79
T2	50,0	15,09	7149,1	15,34	0,39	25,15
T3	65,2	14,67	9569,1	8,44	1,01	29,71
T4	93,2	12,05	14268,3	27,95	2,25	21,26
T5	87,6	16,48	18688,5	61,23	2,05	38,36
T6	105,6	11,56	16865,1	50,78	1,94	25,91

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3.

**Tabela 6** – Diferença de médias em função da aplicação de parafina.

**Table 6** – *Means difference in function of paraffin application.*

Composição	Parafina					
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )		MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )		LI (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
1	112,6 a(T1)	93,2 b(T4)	13792,7 a(T1)	14268,3 a(T4)	1,71 b(T1)	2,25 a(T4)
2	50,0 b(T2)	87,6 a(T5)	7149,1 b(T2)	18688,5 a(T5)	0,39 b(T2)	2,05 a(T5)
3	65,2 b(T3)	105,6 a(T6)	9569,1 b(T3)	16865,1 a(T6)	1,01 b(T3)	1,94 a(T6)

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

**Tabela 7** – Diferença de média em função das diferentes composições casca x madeira.

**Table 7** – *Mean differences in function of the different bark x wood compositions.*

Composições	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )		MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )		LI (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Parafina		Parafina		Parafina	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
1	112,6a(T1)	93,2ab(T4)	13792,7a(T1)	14268,3a(T4)	1,71a(T1)	2,25a(T4)
2	50,0c(T2)	87,6b(T5)	7149,1c(T2)	18688,5a(T5)	0,39c(T2)	2,05a(T5)
3	65,2b(T3)	105,6ab(T6)	9569,1b(T3)	16865,1a(T6)	1,01b(T3)	1,94a(T6)

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Quanto à LI, dentre os tratamentos com parafina, houve diferença significativa entre as composições das chapas, sendo que o tratamento T1 (composição sem casca) apresentou a maior média, seguido por T3 e T2. Dentre os tratamentos sem parafina, não houve diferença significativa entre as médias. Porém, em termos absolutos, o tratamento

T4 (sem casca) obteve a maior média, seguido pelos tratamentos T5 e T6.

### 3.4 Comparação à norma CS 236-66

Comparando os valores de MOR, MOE e LI à norma CS 236-66, somente o tratamento T1 (sem casca) obteve

média superior ao mínimo requerido para o teste de MOR (112,6 kgf/cm<sup>2</sup> contra 112,0 kgf/cm<sup>2</sup>). Nenhum outro tratamento, em nenhum outro teste, obteve média superior à mínima exigida pela referida norma.

Brito et al. (2005) estudaram a inclusão de diferentes porcentagens de casca de *Eucalyptus pellita* e madeira de *Pinus elliottii* na produção de aglomerados de uma camada. Com a adição de 10% de casca, obtiveram valores médios para MOR, MOE e LI, respectivamente de 120,9 kgf/cm<sup>2</sup>, 22102,0 kgf/cm<sup>2</sup> e 2,0 kgf/cm<sup>2</sup>, onde somente o MOR foi superior ao mínimo exigido pela norma.

No presente trabalho, dentre os maiores valores dos ensaios de MOR, MOE e LI obtidos pelos tratamentos compostos com adição de casca, somente no ensaio de LI foi observado valor médio superior (2,05 kgf/cm<sup>2</sup> contra 2,0 kgf/cm<sup>2</sup>) ao obtido no trabalho de Brito et al. (2005). Tais resultados reafirmam a redução da resistência mecânica das chapas produzidas com adição de casca (MOSLEMI, 1974).

O manejo de cascas fibrosas é bastante difícil durante a manufatura das chapas de aglomerados, não ocorrendo em algumas vezes a perfeita homogeneização e distribuição de adesivo entre as partículas. Isso colabora para a baixa resistência mecânica das chapas e valores discrepantes de resistência dentro de um mesmo tratamento.

### 3.5 AA e IE

De acordo com o teste de Lilliefors, todos os dados obtidos para as propriedades físicas de AA e IE das chapas puderam ser analisados através da distribuição normal. Em seguida, procedeu-se a análise de variância, e foi aplicado o teste de Tukey todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

Na Tabela 8, encontram-se os valores médios dos ensaios de AA após 2 e 24 horas de imersão (AA2H e AA24H) e IE após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H) dos tratamentos e seus respectivos coeficientes de variação (CV%).

Os resultados resumidos da análise de variância dos ensaios de AA e IE encontram-se na Tabela 9.

Também foi observada significância na interação entre os fatores “parafina” (A) e “combinações” (B) para as propriedades físicas avaliadas neste trabalho.

#### 3.5.1 Fator “Parafina”

Os resultados em função do fator “parafina” podem ser observados na Tabela 10.

A aplicação de parafina tem a finalidade de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, sendo um processo industrial consagrado. Porém, o efeito observado neste trabalho, em particular, para a adição de parafina foi o contrário do esperado. Em todos os tratamentos, em ambos os ensaios e períodos de imersão, a AA e o IE foram maiores nos tratamentos com o acréscimo da parafina. Tais resultados indicam que o produto utilizado poderia estar com algum problema, interferindo na eficácia do mesmo.

#### 3.5.2 Fator “Composições”

Os resultados em função do fator “composições” encontram-se na Tabela 11.

Para o ensaio de absorção de água, em ambos os períodos de imersão, as diferentes composições não apresentaram diferença significativa entre si. Da mesma forma, o ensaio de inchamento em espessura não apresentou diferença significativa entre as composições, para os dois períodos de imersão.

Era esperado que as propriedades físicas de IE e AA das chapas fossem prejudicadas com adição de casca. Isso se deve ao fato de a constituição química destas ser muito complexa, apresentando extrativos solúveis, suberinas, polifenóis, dentre outros, que devido a particularidades de suas estruturas químicas facilitam a formação de pontes de hidrogênio com a água, permitindo maior impregnação desta última nas chapas de aglomerados.

**Tabela 8** – Valores médios de inchamento em espessura e absorção de água.

**Table 8** – Thickness swelling and water absorption mean values.

Tratamentos	IE2H (%)	CV%	IE24H (%)	CV%
T1	69,9	10,38	158,4	5,25
T2	80,6	8,31	166,7	4,51
T3	75,2	7,81	164,2	3,25
T4	60,3	7,63	149,7	3,93
T5	55,1	15,05	142,6	5,33
T6	55,6	8,16	144,4	3,42

**Tabela 9** – Resumo da análise de variância das propriedades físicas das chapas.**Table 9** – Summary of particleboard physical properties analysis of variance.

FV	GL	F			
		IE2H	IE24H	AA2H	AA24H
Parafina (A)	1	98,49*	81,41*	80,24*	100,74*
Composições (B)	2	0,857	0,029	0,156	0,930
A X B	2	6,39*	5,60*	15,52*	11,17*
Resíduo	42	-	-	-	-
CV%	-	9,61	4,35	5,57	5,50

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 10** – Ensaios físicos em função da aplicação de parafina.**Table 10** – Physical tests in function of paraffin application.

Composição	Parafina			
	AA2H (%)		AA24H (%)	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO
1	150,6 a(T1)	147,8 b(T4)	168,9 a(T1)	158,6 b(T4)
2	167,5 a(T2)	134,1 b(T5)	183,8 a(T2)	143,7 b(T5)
3	163,9 a(T3)	135,4 b(T6)	173,7 a(T3)	146,3 b(T6)

  

Composição	IE2H (%)		IE24H(%)	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO
	1	69,9 a(T1)	60,3 b(T4)	158,4 a(T1)
2	80,6 a(T2)	55,1 b(T5)	166,7 a(T2)	142,6 b(T5)
3	75,2 a(T3)	55,6 b(T6)	164,2 a(T3)	144,4 b(T6)

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Moslemi (1974) cita um trabalho em que o crescente acréscimo de casca, até 30% (sobre a massa de partículas), de *redwood* (*Sequoia sempervirens* Endl.) em chapas de aglomerado de três camadas, da mesma madeira, reduziu paulatinamente a absorção de água das chapas; em contrapartida, as propriedades de inchamento em espessura e expansão linear são diretamente prejudiciais por tal adição de casca. Os autores do presente trabalho acreditam que a casca fibrosa do *Eucalyptus pellita* não possa ser comparada à casca da espécie do trabalho citado por Moslemi (1974), quanto à melhoria das propriedades de absorção de água.

No presente trabalho, mesmo os tratamentos isentos de casca em suas composições obtiveram valores de AA e IE tão elevados quanto os tratamentos compostos por

casca, demonstrando ausência de padrão em tais resultados.

Brito et al. (2005), utilizando as mesmas espécies de casca e madeira do presente trabalho, obtiveram valores de AA2H, AA24H, IE2H e IE24H, respectivamente, iguais a 96, 110, 32 e 33%, no tratamento com inclusão de 10% de casca em aglomerados de uma camada. Nos tratamentos compostos com casca, do presente trabalho, foram apresentados piores valores de AA e IE do que aqueles obtidos por Brito et al. (2005). Isto sugere que tais propriedades são melhores nas chapas de aglomerados manufaturadas com inclusão de casca em somente uma camada. Porém, não se explica os elevados valores de AA e IE apresentados pelos tratamentos sem casca (T1 e T4) do presente trabalho.

**Tabela 11** – Ensaio físicos em função das diferentes composições de casca e madeira.**Table 11** – Physical tests in function of the different bark and wood combinations.

Composições						
Parafina	AA2H (%)			AA24H (%)		
	1	2	3	1	2	3
SIM	150,6 (T1)a	167,5 (T2)a	163,9 (T3)a	168,9 (T1)b	183,8 (T2)ab	173,71 (T3)ab
NÃO	147,8 (T4)a	134,1 (T5)a	135,4 (T6)a	158,6 (T4)a	143,7 (T5)a	146,3 (T6)a

  

Composições						
Parafina	IE2H (%)			IE24H (%)		
	1	2	3	1	2	3
SIM	69,9 (T1)b	80,6 (T2)ab	75,2 (T3)ab	158,4 (T1)b	166,7 (T2)ab	164,22 (T3)ab
NÃO	60,3 (T4)a	55,1 (T5)ab	55,64 (T6)ab	149,7 (T4)a	142,6 (T5)ab	144,4 (T6)ab

SIM parafina: T1 – composição 1; T2 – composição 2; T3 – composição 3. NÃO parafina: T4 – composição 1; T5 – composição 2; T6 – composição 3. Médias seguidas pela mesma letra em uma mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

### 3.6 Comparação à norma CS 236-66

Os valores de IE de todos os tratamentos foram superiores ao máximo permitido pela norma CS 236-66.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados neste trabalho foram considerados insatisfatórios de acordo com a norma CS 236-66;

Nos tratamentos com casca e sem aplicação de parafina foram observados maiores valores de MOR, MOE e LI do que naqueles com casca e aplicação de parafina;

Dentre as composições com casca, a composição 3 (0% de casca nas capas, 50% de madeira nas capas, 10% de casca no miolo, 40% de madeira no miolo) apresentou melhores resultados de MOR; e também obteve a maior média absoluta dentre os tratamentos sem parafina neste ensaio;

Nos ensaios de MOE e LI com aplicação de parafina, a composição com casca que apresentou melhores resultados foi a 3 (0% de casca nas capas, 50% de madeira nas capas, 10% de casca no miolo, 40% de madeira no miolo);

No ensaio de MOE sem aplicação de parafina, a composição 2 (10% de casca nas capas, 40% de madeira nas capas, 0% de casca no miolo, 50% de madeira no miolo) apresentou média absoluta superior aos de mais tratamentos;

No ensaio de LI sem aplicação de parafina, a composição com casca que apresentou maior média

absoluta foi a 2 (10% de casca nas capas, 40% de madeira nas capas, 0% de casca no miolo, 50% de madeira no miolo);

Os resultados de AA e IE obtidos neste trabalho não foram consistentes, sugerindo falta de certeza nas conclusões a respeito deles.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à empresa Borden Química, pela doação do adesivo uréia-formaldeído PB 5070.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. In: \_\_\_\_\_. **Annual Book of ASTM Standards, ASTM D - 1037-91**. Philadelphia, 1982.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: N. Reinhold, 1982. 712 p.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm plantado no Sul do Brasil**. 1995. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BRITO, E. O.; BATISTA, D. C.; VIDAURRE, G. B.; SAMPAIO, L. C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 369-375, out./dez. 2005.

- BRITO, E. O.; ROCHA, J. D. S.; VIDAURRE, G. B.; BATISTA, D. C.; PASSOS, P. R. A.; MARQUE, L. G. C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de Pinus. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 1-6, 2004.
- BRITO, E. O.; SILVA, G. C. Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de Gmelina arborea Linn. e Samanea saman (Jacq.) Merr. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 127-134, jan./dez. 2002.
- COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: mat formed wood particleboard. [S.l.], 1968.
- IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251-256, 2000.
- KALAYCIOGLU, H.; NEMLI, G. Properties of structural particleboards prepared from the bark of *Pinus brutia*. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 11., 1997, Antalya, Turkey. **Anais...** Antalya: [s.n.], 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/V4/T19E/2-34.HTM>>. Acesso em: 20 maio 2006.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977.
- MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 10, n. 56, p. 67-72, 2001.
- MICHAQUE, A. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- MORI, F. A. et al. Estudo de taninos da casca de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake para produção de adesivos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 257-263, 2001.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University, 1974. v. 1/2.
- NUNES, W. H.; ADRADE, A. M.; BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas do estipe de *Euterpe edulis* Martius (palmeiro). **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, p. 95-105, 1999.
- PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulometria de partículas de Pinus taeda combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000.
- TEIXEIRA, L. C. Resíduos florestais: tecnologias disponíveis e suas tendências de uso. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: UFV, 2003. p. 191-203.
- USDA. **USDA forest service**. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn091.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2006.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: UFV, 1984. (Boletim técnico, 1).
- VITAL, B. R. et al. Avaliação dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden como preservativo de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 245-256, 2001.