

# DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS E RESÍDUOS DE MADEIRA\*

*Glaucinei Rodrigues Corrêa<sup>1</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de utilização de resíduos de madeira e termoplásticos reciclados para fabricação de painéis termoprensados para serem utilizados na indústria moveleira. Com o propósito de avaliar essa possibilidade, para o delineamento, com 28 tratamentos e duas repetições, foram combinados dois tipos de resíduos de madeira (de pinus e de aglomerado), dois tipos de termoplásticos (polietileno de baixa densidade (PEBD) e polipropileno (PP)) e adesivo de uréia-formaldeído. As chapas produzidas tiveram suas propriedades físicas e mecânicas determinadas de acordo com a norma NBR 14810. Os resultados evidenciaram que: a) a adição de termoplástico nos tratamentos, influenciou negativamente a tração perpendicular; b) as chapas produzidas com resíduos de pinus e PEBD tiveram melhores resultados do MOR e MOE; c) os tratamentos com resíduos de pinus e termoplásticos, tiveram a resistência ao arrancamento de parafuso favorecida; d) a quantidade de termoplástico empregada influenciou positivamente os resultados de teor de umidade; e) tratamentos com maior porcentagem de termoplástico, tiveram menores valores de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura e f) uma maior porcentagem de adesivo, 9%, influenciou positivamente a absorção de água, o inchamento em espessura e a resistência à tração perpendicular.

**Palavras-chave:** Resíduos; Termoplásticos; Painel de aglomerado.

---

\* 60º Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Minas Centro, Belo Horizonte.

<sup>1</sup> Professor da Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG.

## 1 INTRODUÇÃO

Na cidade de Ubá, representativo pólo moveleiro do país, com mais de 300 empresas, são recolhidos aproximadamente 900 toneladas de resíduos por mês, gerados durante o processamento da madeira sólida ou de painéis de madeira reconstituída. Esses resíduos, atualmente são destinados para a produção de energia por meio de queima ou para produção de carvão.

Em relação aos termoplásticos, a reciclagem no Brasil corresponde aproximadamente a 200 mil toneladas por ano, sendo reciclado apenas 21% dos plásticos rígidos e filmes presentes no lixo urbano. Unindo-se esses dois materiais — os resíduos de madeira e os plásticos reciclados — pode-se obter materiais compósitos com potencialidades para diversas aplicações<sup>2</sup> e propriedades peculiares que os distinguem de outros materiais atualmente utilizados na indústria moveleira, eliminando o desperdício, diminuindo gastos com energia na produção de matéria-prima e colaborando com a qualidade de vida: transformando o lixo em matéria-prima.

O objetivo geral deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização dos resíduos de madeira juntamente com termoplásticos reciclados, empregando adesivos de uréia-formaldeído para fabricação de painéis termoprensados. Os objetivos específicos foram: a) Determinar o efeito da inclusão de dois tipos de resíduos de madeira e dois tipos de termoplásticos reciclados na fabricação do compósito; b) Determinar o efeito das porcentagens de cada material na composição dos painéis; c) Determinar o efeito do teor de adesivo de uréia-formaldeído nas propriedades dos painéis; d) Determinação das propriedades dos painéis de acordo com a NBR 14810 “Chapas de madeira aglomerada”.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os painéis de madeira reconstituída podem ser classificados de acordo com a transformação da madeira; pelo tipo de processo seco ou úmido e pela densidade final do produto. A madeira para fabricação dos painéis pode ser transformada em lâminas, formando os painéis de compensados e painéis de OSB (*Oriented Strand Board*); em partículas, formando os painéis de aglomerado e em fibras, formando os painéis de fibras de média densidade – MDF. As propriedades dos painéis dependem de vários fatores. Os principais envolvem os tipos e tamanhos das partículas, técnicas de produção, tipo e quantidade de resina, distribuição e orientação das partículas, densidade do painel, conteúdo de umidade e tratamento pós-produção. (MOSLEMI, 1974).

### **Compósito Madeira-Plástico**

Compósitos são materiais resultantes da mistura ou combinação de dois ou mais constituintes, que se diferem na forma e composição química e que são essencialmente insolúveis um no outro, com a finalidade de se obter qualidades superiores dos seus constituintes individualmente. Geralmente um material é a matriz — que é o meio de transferência da força aplicada — e o outro o reforço — que fornece a principal resistência ao esforço. Os processos de produção dos compósitos a base de partículas lignocelulósicas e termoplásticos podem ser, basicamente, por extrusão ou termoprensagem. Embora sejam feitos das mesmas

---

<sup>2</sup> Uma das possíveis aplicações seria em tampos de balcões ou gabinetes da Itatiaia Móveis — empresa que apoiou a pesquisa e tem interesse na utilização deste compósito.

matérias-primas, os dois processos representam áreas de estudo bem distintas, com consideráveis diferenças de maquinários, tecnologias e propriedades. Portanto, neste artigo será dada ênfase ao processo de termoprensagem em função do objeto de estudo.

MALDAS e KOKTA (1990) avaliaram o efeito do anidrido ftálico como agente compatibilizador nos compósitos de poliestireno-madeira. As propriedades mecânicas, exceto a resistência ao impacto, melhoraram com o aumento da porcentagem de anidrido até um determinado limite. Segundo os autores, quando o anidrido ftálico é usado como agente compatibilizador, o grupo anidrido reage quimicamente com os grupos OH da celulose ou da lignina, formando ligações éster durante a prensagem e aquecimento.

KRZYSIK, et al. (1991), produziram painéis com compósitos formados por fibras de polipropileno e fibras de madeira tratadas com polipropileno maleatado (PPMA). Os painéis foram produzidos de modo a obter uma densidade de 1,0g/cm<sup>3</sup> e espessura de 3,2mm. No teste de inchamento em espessura, nas misturas com 70% de fibras de madeira houve um aumento de 20% de inchamento devido à adição de 3% de PPMA. Entretanto, nas misturas com 80% de fibras de madeira, quando aumentou-se de 1 para 3% o PPMA, houve uma diminuição do inchamento em espessura de 21%.

SONG e HWANG (1997) utilizaram partículas de borracha de pneu reciclado e fibras de madeira na produção de painéis em várias proporções de peso e quatro níveis de adesivo difenilmetano diisocianato – MDI. Os resultados apresentados mostraram que com o aumento da porcentagem de borracha diminuem os valores das propriedades mecânicas (MOR, MOE e resistência interna). Mas nas mesmas porcentagens de madeira e borracha, as propriedades aumentam com o aumento do conteúdo de adesivo.

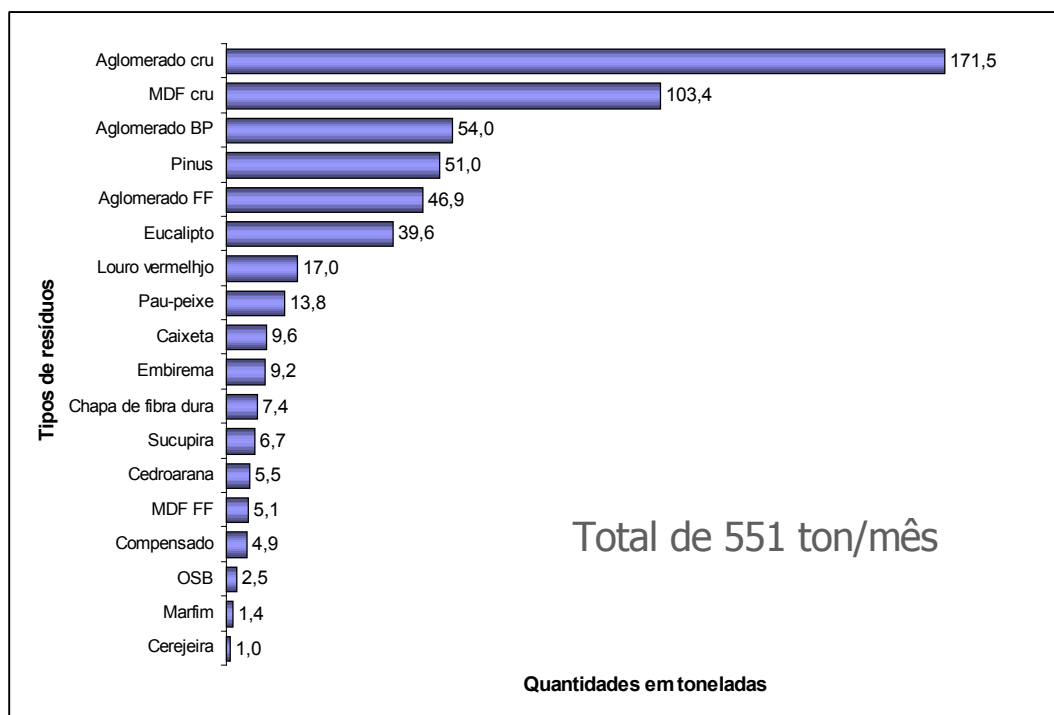
YOUNGQUIST et al. (1992) produziram painéis com 4 valores de densidade, utilizando 3 tipos de misturas (90% de madeira e 10% de poliéster; 90% de madeira e 10% de polipropileno; e 80% de madeira, 10% de poliéster e 10% de resina fenólica). Os resultados mostraram que existe uma forte correlação entre o aumento da densidade e o aumento das propriedades mecânicas. As misturas com 80% de madeira, 10% de poliéster e 10% de resina fenólica tiveram valores de propriedades mecânicas maiores que as demais misturas. As misturas com 80% de madeira, 10% de poliéster e 10% de resina fenólica tiveram menos absorção de água e a mistura de 90% de madeira e 10% de poliéster tiveram mais absorção de água.

MACIEL (2001) produziu painéis empregando três níveis de poliestireno e dois níveis da mistura contendo poliestireno e polietileno tereftalato, três níveis de adesivo a base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído e três níveis de solução de poliestireno em tolueno, combinados com três níveis de partículas de madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*. Os painéis produzidos com níveis mais reduzidos de plástico, solução de poliestireno em tolueno e 6% de adesivo, apresentaram valores médios de resistência à tração perpendicular superiores aos demais painéis. Os painéis produzidos com níveis mais elevados de plástico, particularmente o poliestireno e solução de poliestireno em tolueno tiveram a resistência ao arrancamento de parafusos favorecida.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Para a definição dos resíduos de madeira a serem utilizados na formação do compósito, primeiramente fez-se uma pesquisa (Figura 1), com uma amostragem de 45% das empresas, no pólo moveleiro de Ubá. A quantidade de resíduos gerados

por mês, de acordo com os números fornecidos pelas empresas pesquisadas foi de aproximadamente 551 toneladas.



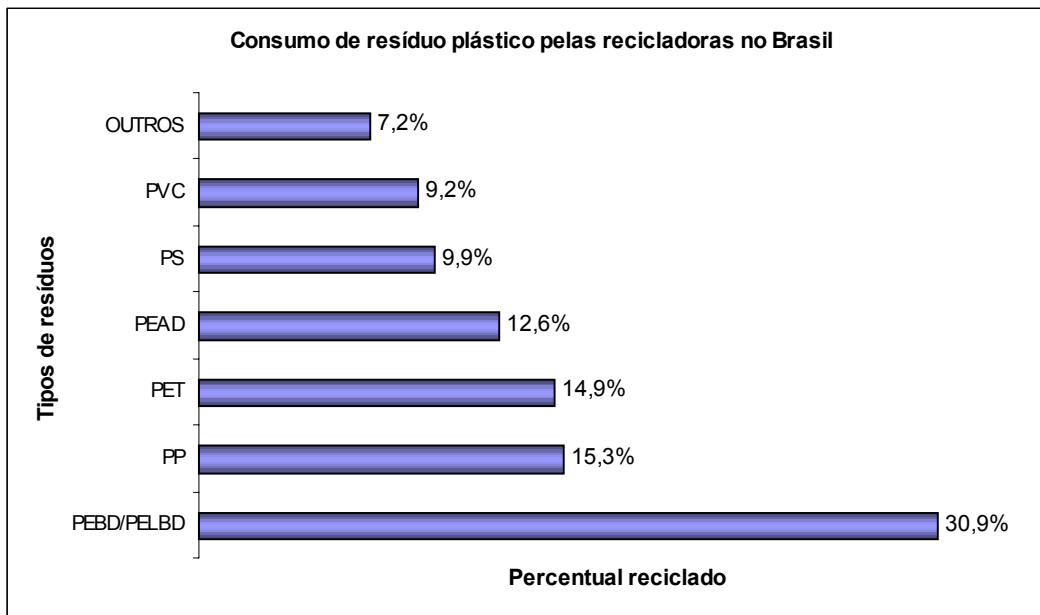
**Figura 01:** Tipos e quantidades de resíduos gerados mensalmente no pólo moveleiro de Ubá.

Para a fabricação dos corpos-de-prova foram selecionados dois tipos de resíduos de madeira, um de madeira sólida e outro de madeira reconstituída, em ambos os que representaram maior quantidade. Sendo o aglomerado, dos painéis de madeira reconstituída, com 171,5 toneladas, representando 31,1% do total e o *Pinus ellioti*, das madeiras sólidas, com 51 toneladas, representando 9,1% do total.

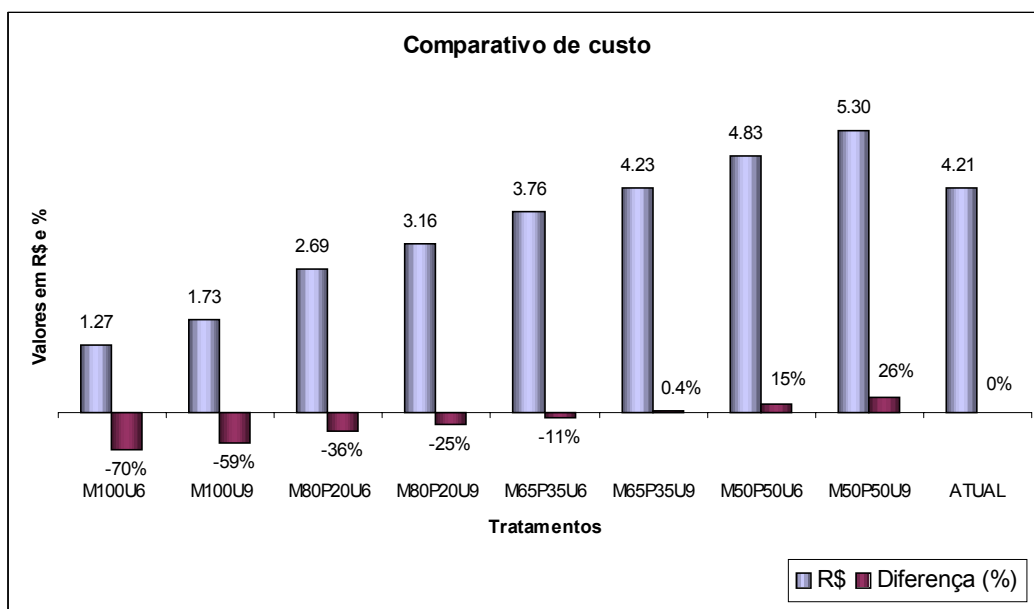
Para a seleção dos termoplásticos reciclados, foram selecionados os que representam a maior quantidade no lixo urbano (Figura 2) e os que têm ponto de fusão abaixo de 200°C — acima dessa temperatura há uma instabilidade química das fibras de madeira. Os termoplásticos selecionados foram: o polipropileno com 15,3% e o polietileno de baixa densidade com 30,9%, sendo as temperaturas de fusão de 175°C e 112°C, respectivamente.

Realizou-se estudos de viabilidade econômica para a definição das porcentagens de cada material na formação do compósito, bem como, para possíveis aplicações em escala industrial. O custo<sup>3</sup> (Figura 3), calculado somente com a matéria-prima, serviu de referência para o comparativo com o painel de aglomerado e mostrou-se ser um material viável economicamente para utilização em grande escala.

<sup>3</sup> Para a formação do custo, calculou-se a quantidade em m<sup>3</sup> do painel de aglomerado que é utilizado em um dos tampos de gabinetes que são fabricados pela Itatiaia Móveis, empresa que apoiou o projeto. Em seguida calculou-se qual a quantidade do compósito madeira-plástico, em diversos tratamentos, seria necessária para a fabricação do tampo.



**Figura 02:** Percentual de resíduo plástico consumido pelas recicladoras. Fonte: STUMPF (2003)



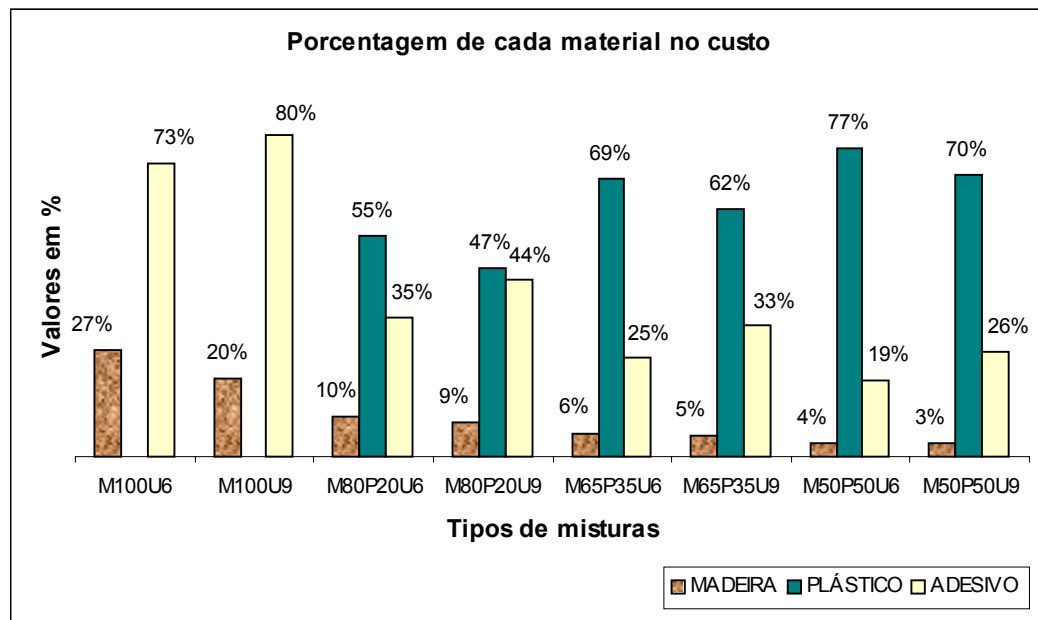
**Figura 03:** Comparativo de custo da matéria-prima utilizada para fabricação de um tempo de armário dos diversos tratamentos em relação ao atual. As letras “P” indicam os termoplásticos, o “M” a madeira, o “U” a resina de uréia-formaldeído.

Percebe-se, ao analisar o gráfico (Figura 3), que os tratamentos com porcentagem de termoplásticos até 35%, mostraram-se viáveis economicamente. Embora o custo dos tratamentos com 50% de termoplástico tenha mostrado que são inviáveis para esta aplicação, definiu-se incluí-los no delineamento experimental em função de outras aplicações deste material.

Após o estudo de viabilidade econômica, fez-se a classificação granulométrica e em seguida o peneiramento das partículas dos resíduos de madeira e dos termoplásticos reciclados de forma a se ter uma compatibilidade no tamanho das partículas e também um melhor aproveitamento dos resíduos.

Para o delineamento, com 28 tratamentos e duas repetições, foram combinados os dois tipos de resíduos de madeira, dois tipos de termoplásticos e dois níveis de adesivo de uréia-formaldeído. As chapas foram produzidas para se ter densidade final de 0,65g/cm<sup>3</sup>. O adesivo utilizado foi o de uréia-formaldeído, Cascamite PB 2045, contendo de 64 a 66% de sólidos resinosos. A quantidade de partículas foi calculada de modo a se ter duas repetições por tratamento.

Na Figura 4 está representada a quantidade em porcentagem que cada matéria-prima representa na formação do custo do compósito nos diversos tratamentos. Para o cálculo, considerou-se os seguintes preços<sup>4</sup>: resíduos de madeira a R\$ 0,05/Kg; termoplásticos reciclados a R\$1,10/Kg e o adesivo de uréia-formaldeído a R\$ 1,46/Kg.



**Figura 04:** Porcentagem de cada matéria-prima para formação dos diversos tratamentos. A letra “P” indica os termoplásticos, o “M” a madeira, o “U” o adesivo de uréia-formaldeído.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade

Em função dos resultados obtidos, concluiu-se que a maioria dos valores esteve dentro da norma NBR 14810. Segundo MOSLEMI (1974), a densidade do painel é de suma importância porque influencia as propriedades físicas e mecânicas.

<sup>4</sup> A média dos preços das matérias primas é referente ao mês de junho de 2004.

De acordo com o teste de Scott-Knott, com intervalo de confiança em relação à média de 95%, o coeficiente de variação entre os tratamentos foi de 6,88% e não houve, estatisticamente, diferenças entre os tratamentos.

### **Tração Perpendicular à Superfície**

De acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 2 grupos distintos estatisticamente. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 44,83%. Os melhores resultados foram os tratamentos com 100% de resíduos de madeira e os que empregaram uma pequena porcentagem (20%) de termoplásticos. Em relação aos termoplásticos reciclados, os tratamentos com PEBD tiveram média superior de resistência à tração perpendicular. Os tratamentos que empregaram somente madeira (testemunhas), superaram os com misturas de termoplásticos. Esses resultados são explicados pela fraca adesão entre as partículas de madeira, que são hidrofílicas, e as de termoplásticos, que são hidrofóbicas.

### **Resistência à Flexão Estática**

De acordo com IWAKIRI (1979), o MOR está correlacionado principalmente com a densidade do painel e geometria das partículas. Para o MOR, de acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 2 grupos distintos estatisticamente. Os grupos foram separados de acordo com o tipo de resíduo empregado. Os tratamentos com melhores resultados empregaram resíduos de pinus, e os tratamentos que tiveram valores inferiores, empregaram resíduos de aglomerado. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 42,38%. Para o MOE, de acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 3 grupos distintos estatisticamente. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 36,52%. Os tratamentos que resistiram a uma maior carga para a ruptura foram os com 100% de pinus e 9% de adesivo. Dentre os que empregaram termoplásticos os tratamentos de PEBD e resíduos de pinus, foram os que tiveram maiores valores.

### **Arrancamento de Parafuso**

De acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 2 grupos distintos estatisticamente e o coeficiente de variação entre tratamentos foi de 26,25%. Os melhores resultados foram os tratamentos de PEBD com resíduos de pinus e PP com resíduos de pinus.

### **Teor de Umidade**

De acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 6 grupos distintos estatisticamente. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 6,69%. Quanto maior a quantidade de termoplástico empregada na mistura, menor foi o teor de umidade do corpo-de-prova. Basicamente, o primeiro grupo, foram tratamentos com 50% de termoplásticos; o segundo e terceiro, tratamentos com 35% de termoplásticos; o quarto e quinto tratamentos com 20% de termoplásticos, e o sétimo grupo, tratamentos sem adição de termoplásticos.

### **Absorção de Água**

De acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 5 grupos distintos estatisticamente. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 12,38% na absorção de água em 2h e 12,13% em 24h. A

porcentagem de termoplástico e de adesivo teve influência significativa. Quanto maior a porcentagem de termoplástico empregada, independente do tipo de madeira e termoplástico, menores foram os valores de absorção de água. A explicação para esses resultados se resume no caráter hidrofóbico dos termoplásticos, levando a uma absorção nula de água e ao caráter hidrofílico da madeira, pela riqueza de grupos polares (OH), fazendo com que este material absorva quantidades significativas de moléculas de água.

### **Inchamento em Espessura**

De acordo com o resultado do teste de Scott-Knott, os tratamentos foram classificados em 5 grupos distintos estatisticamente. O coeficiente de variação entre tratamentos foi de 18,74% para o inchamento em 2h e 18,73% para 24h. A maioria dos tratamentos que empregou misturas com termoplásticos superou os valores estabelecidos pela norma. Os tratamentos com resíduos de aglomerado, dentro do mesmo nível de termoplástico e adesivo, incharam menos do que os com resíduos de pinus. A porcentagem de termoplástico empregada nos tratamentos teve grande influência. Os tratamentos com maior quantidade de termoplásticos tiveram menores valores de inchamento em espessura. Todos os tratamentos sem mistura de termoplástico (testemunhas) ultrapassaram o valor máximo estabelecido pela norma.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos neste estudo se referiram a chapas experimentais fabricadas em laboratório, os quais atenderam, em boa parte, as exigências estabelecidas pela NBR 14810. A aplicação em escala industrial exige o desenvolvimento de estudos de forma a adequar os parâmetros aos requisitos e características de produção da empresa.

Considerando-se o emprego desse compósito de madeira-plástico em produtos da indústria moveleira e de acordo com a análise e discussão dos resultados dos ensaios relatados, concluiu-se que: a) A adição de termoplástico nos tratamentos influenciou negativamente a tração perpendicular; b)As chapas produzidas com resíduos de pinus e PEBD, independente da mistura empregada, tiveram melhores resultados do MOR e MOE; c)Os tratamentos com resíduos de pinus e termoplásticos, independente do tipo, tiveram a resistência ao arrancamento de parafuso favorecida; d)A quantidade de termoplástico empregada nos tratamentos, independente da mistura, teve influência direta nos resultados de teor de umidade. Tratamentos com maior porcentagem de termoplástico, tiveram menores valores de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura; e) Uma maior porcentagem de adesivo empregada na fabricação das chapas, influenciou positivamente a absorção de água, inchamento em espessura e a resistência à tração perpendicular.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810. *Chapas de madeira aglomerada*. 2002.
- 2 IWAKIRI, S. *A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus*. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Tese de doutorado. Curitiba, 1979.
- 3 KRZYSIK, A. M., YOUNGQUIST, J. A., MYERS, G. E., CHAHYADI, I. S. and KOLOSICK, P. C. *Wood-Polymer Bonding in Extruded and Nonwoven Web Composite Panels*. In: Proceedings of a Symposium. Madison, WI: Forest Products Research Society: p. 183-189, 1991.
- 4 MACIEL, A. S. *Chapas de partículas aglomeradas de madeira de Pinus elliotti ou Eucalyptus grandis, em mistura com poliestireno e poliestireno tereftalato*. Dissertação de mestrado. Viçosa, DEF/UFV, 2001.
- 5 MALDAS, D. and KOKTA, B. V. *Influence of Phthalic Anhydride as a Coupling Agent on the Mechanical Behavior of Wood Fiber-Polystyrene Composites*. Journal of Applied Polymer Science, v. 41, p. 185-194, 1990.
- 6 MORAES, M. F. D. *Estudo da competitividade de cadeias integradas no brasil: impactos das zonas de livre comércio*. Cadeia: Madeira e Móveis. UNICAMP/BNDES. Campinas, 2002.
- 7 MOSLEMI, A. A. *Particleboard. Volume 1: Materials*. Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press, 243p, 1974.
- 8 SONG, X. M. and HWANG, J. Y. *A Study of the microscopic Characteristics of Fracture Surface of MDI-Bonded Wood Fiber/Recycled Tire Rubber Composites Using Scanning Electron microscopy*. Wood and Fiber Science, v. 29, n.2, p.131-141, 1997.
- 9 STUMPF, S. O e ZUÑEDA, J. L *Perfil da indústria de plástico reciclado do estado de Minas Gerais*. Plastivida. São Paulo, 2003.
- 10 YOUNGQUIST, J. A., KRZYSIK, A. M., MUEHL, J. H. and CARLL, C. *Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites*. Forest Products Journal, v. 42, n. 6, p. 42-48, jun. 1992.

# DEVELOPMENT OF COMPOSITES OF RECYCLED THERMOPLASTICS AND WOOD RESIDUES\*

Glaucinei Rodrigues Corrêa<sup>5</sup>

## Abstract

The objective of this thesis was to verify the possibility of using wood residues along with recycled thermoplastic to be used in furniture industry. With the purpose of evaluating this possibility, for the delineation, with 28 treatments and two repetitions, two types of wood residues (of *Pinus elliotti* and of particleboard), two thermoplastic types (low density polyethylene and polypropylene) and urea-formaldehyde adhesive. The produced boards had its physical and mechanical properties determined by Brazilian Standard Norms and Regulations NBR 14810-3 (2002) Particleboard. The results proved that: a) the addition of thermoplastic in the treatments, negatively influenced the perpendicular tensile strength; b) the boards produced with residues of *Pinus elliotti* and low density polyethylene, had better results of the rupture modulus and elasticity modulus; c) the treatments with residues of *Pinus elliotti* and thermoplastic, favoured the resistance to the pulling up of screw; d) the amount of thermoplastic used in the treatments positively influenced damp level results; e) treatments with bigger percentage of thermoplastic, had lower damp levels, water absorption and thickness swelling and f) a bigger adhesive percentage used in the manufacture of boards, 9%, positively influenced the water absorption, the thickness swelling and the perpendicular tensile strength.

**Key-words:** Residues; Thermoplastic; Particleboard.

---

\* 60<sup>o</sup> Annual Congress ABM, July 25th to 28th, 2005. Minas Centro, Belo Horizonte.

<sup>5</sup> Teacher of the State University of Minas Gerais – UEMG.