

# III SIRS Simpósio sobre resíduos sólidos

*in memoriam* ao Prof. Dr. Edson Martins de Aguiar

**ANAIS**

de 02 a 04 de dezembro de 2013  
no Anfiteatro Jorge Caron - campus 1 da USP São Carlos

Informações: [www.eesc.usp.br/sirs](http://www.eesc.usp.br/sirs) - contato: [simposiors@gmail.com](mailto:simposiors@gmail.com)

**Realização**



**Apoio**



ArcelorMittal Piracicaba  
Aços Longos

ArcelorMittal



Laboratório de Construção Civil  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo



Superintendência de Gestão Ambiental



Tecumseh



STI  
Sistema de Tratamento de Efluentes  
EESC - USP



## PAINÉIS DE PARTÍCULAS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE PODAS DE ÁRVORES

**Professor Titular Francisco Antonio Rocco Lahr** <sup>(1)</sup> Professor Titular da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. e-mail: [frocco@sc.usp.br](mailto:frocco@sc.usp.br)  
Av. Trabalhador São-carlense, 400; Fone: (16) 33738206.

**Karen Anéris Blecha** <sup>(2)</sup> Professora de Cálculo da Escola Estadual Professor José Toledo Camargo em Itirapina/São Paulo.

**Maria Fátima do Nascimento** <sup>(3)</sup> Arquiteta, Pesquisadora, Dra em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. e-mail: [fati@sc.usp.br](mailto:fati@sc.usp.br)

### INTRODUÇÃO

Os resíduos oriundos do processamento da madeira tem se apresentado como agravante contribuição à geração de impactos ambientais, motivando pesquisas que visem soluções a esta problemática de dimensões mundiais.

O emprego de resíduos de madeira na elaboração de novos materiais, cujas propriedades físicas e mecânicas, dependendo dos fatores e níveis experimentais estipulados, podem alcançar ou até ultrapassar as da madeira maciça (ENGLISH, 2002).

A fabricação de painéis de madeira tem sido o foco de diversas pesquisas (SILVA *et al.*, 2012). O autor ainda relata que dentre os adesivos utilizados na fabricação destes materiais destaca-se a resina poliuretana a base de mamona tendo como principal aspecto o da baixa emissão de formaldeído, sendo menos poluente ao meio ambiente quando comparada outros adesivos, como a uréia formaldeído.

### OBJETIVO

O presente trabalho objetivou confeccionar e avaliar chapas aglomeradas com partículas de madeira oriundas de podas de árvores colhidas na Escola de Engenharia de São Carlos das espécies Jatobá (*Hymenaea sp*) e Canelinha (*Nectandra lanceolata*) e resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona e verificar as condições de resistência física e mecânica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas podas de árvores urbanas das espécies Jatobá (*Hymenaea sp*) e Canelinha (*Nectandra lanceolata*), empregando-se como adesivo a resina poliuretana (PU) bicomponente derivada de mamona.

A resina utilizada apresenta baixa emissão de formaldeído e ausência de extensor, possuindo 66% de sólidos, pH entre 8 e 9 e massa específica média de 1,29g/cm<sup>3</sup>.

Os rejeitos de podas passaram por seleção e de separação das folhas, picagem em moinho, peneiramento com malha de 2,8mm, correção do teor de umidade para 5%, sendo posteriormente misturados com a resina poliuretana. Em seguida foram picados, encolados e conduzidos à prensa hidráulica a quente. O processo de prensagem dos compósitos consistiu na aplicação de pressão 3,5 MPa durante 10min.

Para análise da viabilidade de produção das chapas a partir dos insumos citados, foram realizados ensaios físicos e mecânicos com base na norma Brasileira ABNT NBR 14810:2002-2-3, sendo obtidas as propriedades físicas: densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), teor de umidade ( $U_m$ ) e inchamento após 2 horas ( $In_{2h}$ ) e mecânicas: adesão interna (AI), módulo de resistência à flexão (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) na flexão. Os resultados obtidos foram também comparados com os limites estabelecidos pelos documentos normativos em vigência: ANSI A208.1:1999, CS 236-66:1968 e EN 312:2003.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados (média; desvio padrão-DP; coeficiente de variação-CV) das variáveis-resposta referentes aos corpos de prova retirados de cada uma das 6 chapas elaboradas por condição experimental.

Tabela 1 - Variáveis-resposta obtidas dos corpos de prova das chapas confeccionadas com resíduos de poda de madeira Jatobá.

Chapa	$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$U_m$ (%)	$In_{2h}$ (%)	AI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	970	6,2	4,5	1,01	17	1988
2	995	5,7	4,8	1,05	17	1890
3	983	5,9	5,0	0,94	19	1667
4	957	6,3	4,6	1,08	16	1623
5	948	6,7	5,4	0,86	17	1839
6	958	6,3	5,4	1,03	16	1630
<b>Média</b>	969	6,2	5,0	1,00	17	1773
<b>DP</b>	20	0,30	0,04	0,08	1,07	154
<b>CV (%)</b>	2	6	8	8	6	9

Tabela 2 - Variáveis-reposta obtidas dos corpos de prova das chapas confeccionadas com resíduos de poda de madeira Canelinha.

Chapa	$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )	U <sub>m</sub> (%)	In <sub>2h</sub> (%)	AI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	853	5,7	3,4	0,89	16	1656
2	842	5,6	5,0	0,81	18	1589
3	867	5,6	4,9	0,84	17	1674
4	863	5,4	6,1	0,71	17	1784
5	860	5,5	4,3	0,76	17	1602
6	849	5,2	4,2	0,81	17	1545
<b>Média</b>	856	5,5	4,7	0,80	17	1642
<b>DP</b>	10	0,18	0,90	0,06	0,50	84
<b>CV (%)</b>	1	3	2	8	3	5

Tabela 3 - Variáveis-reposta obtidas dos corpos de prova das chapas confeccionadas com 50% de resíduos de poda de madeira Canelinha e 50% de resíduos de poda de madeira Jatobá.

Chapa	$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )	U <sub>m</sub> (%)	In <sub>2h</sub> (%)	AI (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	883	6,7	4,4	0,85	18	1489
2	892	6,8	6,1	0,74	16	1658
3	869	7,5	6,2	0,76	17	1704
4	901	7,0	6,0	0,96	19	1542
5	880	5,9	5,2	0,84	16	1724
6	889	6,4	5,6	0,79	19	1598
<b>Média</b>	886	6,7	5,6	0,82	18	1619
<b>DP</b>	11	0,51	0,90	0,08	1,43	93
<b>CV (%)</b>	1	8	12	10	8	6

De acordo com os requisitos da norma Brasileira ABNT NBR 14810:2002, as chapas devem apresentar densidade compreendida entre 551kg/m<sup>3</sup> e 750kg/m<sup>3</sup>. As chapas produzidas apresentaram densidade variando entre 856kg/m<sup>3</sup> e 969kg/m<sup>3</sup>, ultrapassando os requisitos da norma e confirmando resultados apresentados por Nascimento (2003), sendo classificados como de alta densidade de acordo com as normas ANSI A208.1 e CS 236-66<sup>(6)</sup> por serem superiores a 800kg/m<sup>3</sup>. A Norma Brasileira especifica que o teor de umidade médio não pode ser inferior a 5% nem superior a 11%, o que foi atendido por todas as chapas confeccionadas.

Quanto ao inchamento, a norma Brasileira e a norma Americana ANSI A208.1 apresentam 8% como valor máximo após imersão em água por 2 horas. Todas as chapas produzidas atenderam a esta exigência.

Para espessura variando de 8mm a 13mm, a norma Brasileira e a norma Europeia especificam o valor mínimo de 0,40MPa para a adesão interna. Todas as chapas

apresentaram valores muito superiores ao valor requerido pela norma, indicando o bom desempenho do adesivo utilizado.

As normas EN 312:200 e CS 236-66 estabelecem os valores mínimos para o módulo de resistência à flexão respectivamente iguais a 16MPa e 16,80MPa. Os valores encontrados do MOR para os três tratamentos investigados foram superiores aos limites das referidas normas, o mesmo não ocorrendo com o módulo de elasticidade na flexão.

Os valores dos coeficientes de variação obtidos estão de acordo com os apresentados nos trabalhos de Nascimento (2003) e Dias (2008), o que confere confiabilidade à consistência do processo de produção dos painéis desenvolvidos.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho evidenciaram a viabilidade técnica da produção de painéis de madeira a partir de resíduos de podas de árvores urbanas.

A densidade dos materiais fabricados ultrapassou o limite superior estipulado pela norma Brasileira, sendo de 29% a maior diferença encontrada, proveniente dos materiais fabricados com resíduos das árvores da espécie Jatobá, classificando os materiais produzidos como de alta densidade.

O teor de umidade dos materiais desenvolvidos apresentou ser inferior ao limite estipulado pelo documento normativo Brasileiro, sendo o maior valor 44% inferior ao limite superior de referência.

O inchamento em espessura após 2h dos materiais fabricados foram ambos inferiores a 8%, apresentando ser o maior deles 30% inferior ao limite estabelecido pela norma Brasileira.

A adesão interna dos materiais fabricados mostrou ser superior ao valor mínimo estipulado pela norma Brasileira, apresentado os painéis constituídos de resíduos de poda de madeira Jatobá os maiores valores, sendo 150% superiores ao valor limite da norma.

Os resultados dos módulos de resistência à flexão dos materiais fabricados foram superiores ao módulo de resistência limite estipulado pela norma Brasileira, diferentemente do módulo de elasticidade, que apresentou valores inferiores os limites estabelecidos pelos documentos normativos internacionais, podendo ser aumentados com a inclusão de proporções de resina sobre as partículas superiores a utilizada neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006). ABNT NBR 14810-2-3: **Chapas de madeira**. Rio de Janeiro.

AMERICAN NATIONAL STANDARD (1999). A208.1: **Particleboard**. Gaithersburg.

COMMERCIAL STANDARD (1968). CS 236-66: **Mat formed wood particleboard**.

ENGLISH, B.; CLEMONS, C. M (1997). **Weight reduction: wood versus fillers in polypropylene. Proceeding of the fourth international conference on wood fiber, plastic composites**, 237-244, Madison, Wisconsin - USA.

NASCIMENTO, M. F. CPH (2003). **Chapas de Partículas Homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 117p. São Carlos, São Paulo.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; VARANDA, L. D.; ROCCO, F. A. L (2012). **Particleboard Manufactured with Bicomponent Polyurethane Resin base on Castor Oil**. International Journal of Composite Material, v. 2, p. 115-118.