

RESUMO

A minimização dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos gera uma preocupação mundial, levando os pesquisadores a criar linhas de gerenciamento e aproveitamento desses resíduos. A embalagem cartonada longa vida, por exemplo, é alvo de críticas de ambientalistas, pois é tida como um resíduo agressor ao meio ambiente devido a sua difícil degradação nos aterros, cuja composição inclui 75% de papel, 20% de polietileno e 5% de alumínio. O objetivo desse trabalho foi produzir chapas de partículas compostas por resíduos industriais descartados, tais como o resíduo oriundo da fabricação de celulose e papel e os rejeitos das embalagens cartonadas (o alumínio e o polietileno), a serem aplicados futuramente em painéis de vedação (forros e paredes) para edificações de interesse social. Foram produzidas chapas de partículas em diferentes traços: 30%, 40%, 50% e 60% de resíduo de celulose em relação à massa total dos compósitos, completadas com o material Tetra Pak triturado, e também os traços testemunhas, com 100% de resíduo de celulose e 100% de rejeitos das embalagens cartonadas. Pretende-se apresentar os resultados dos ensaios de inchamento, tração paralela às faces e flexão estática.

ABSTRACT

The minimization of the ambient impacts caused by the solid residues generates a world's concern leading the researchers to create lines of management and utilization of these residues. The carton packing long-life package, for example, is target of environmentalist's critical, because it's considered an aggressive residue to the environment due to its difficult degradation in the embankments, which composition includes 75% of paper, 20% of polyethylene and 5% of aluminum. The objective of this work was to produce particleboards composed of discarded industrial residues, such as the deriving residue of the manufacture of cellulose and paper and of the carton packing rejects (the aluminum and the polyethylene), in order to be applied in gasket panels (linings and walls) in the future, for constructions of social interest. Particleboards had been produced in different traces: 30%, 40%, 50% and 60% of cellulose residue in relation to the total mass of the composite, completed with the Tetra Pak material triturated, and also the certification traces, with 100% of cellulose residue and 100% of carton packing rejects. It is intended to present the results of the assays of swell, parallel traction to faces and static flexion.

CARACTERIZAÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS COMPOSTAS DE RESÍDUOS CARTONADOS E DE CELULOSE E PAPEL

Tarsila Miyazato

FAAC – UNESP/ Bauru, IC
tatamiyazato@hotmail.com

Rosane Aparecida G. Battistelle

FEB – UNESP/ Bauru, PD

Ivaldo de Domenico Valarelli

FEB – UNESP/Bauru, PD

INTRODUÇÃO

A forte cultura consumista é um dos principais fatores que causa o problema da geração de lixo. O inadequado manejo e o destino dos resíduos sólidos envolvem sérias questões ambientais, econômicas e sociais, podendo ocasionar graves conseqüências num futuro próximo. Diante desta problemática, governo e sociedade buscam alternativas que visam a minimizar a degradação da natureza e aumentar o bem estar da população.

Segundo JOHN (2000), no modelo atual de produção, os resíduos são sempre gerados na produção de bens de consumo, que ao final de sua vida útil se convertem em resíduos. Desta forma, a massa de resíduos gerados é superior a massa de bens de consumo em longo prazo para qualquer economia mundial.

Existem alguns métodos de tratamento antes do envio ao destino final, tais como: a incineração, a compostagem e a reciclagem, que são indicados com o objetivo de reduzir o volume dos resíduos sólidos a serem dispostos nos aterros sanitários. Segundo as pesquisas de MELDONIAN (1998) e CALDERONI (1998), a adoção de métodos de tratamento como a coleta seletiva e reciclagem apresentam vantagens sócio-econômicas e ambientais, dentre as quais destacam o reaproveitamento e reutilização dos resíduos como fonte de matérias-primas, economia de energia, maximização na utilização das áreas de disposição final, redução da poluição à saúde pública e ao meio ambiente, e por fim, a geração de renda e emprego.

A reutilização dos diferentes resíduos vem sendo abordada constantemente por pesquisadores como uma das principais metas para se alcançar o desenvolvimento sustentável, reduzindo

assim, a produção dos resíduos gerados pelas inúmeras atividades humanas.

A reciclagem dos resíduos, com o aperfeiçoamento de projetos que visam poupar impactos ao meio ambiente, e a substituição de materiais tradicionais por outros mais eficientes podem vir a criar produtos melhores (a nível comercial) e, com maior durabilidade.

As formas adequadas de aproveitamento de resíduos e de subprodutos industriais, como matéria secundária, devem abranger um completo conhecimento do processo de geração, caracterização completa e identificação do potencial de aproveitamento dos resíduos, definindo as características limitantes do uso e da aplicação.

SARAIVA (2002) defende a utilização de resíduos industriais na aplicação de materiais de construção, sendo assim uma solução sustentável, tanto para redução na quantidade de recursos naturais e de resíduos encaminhados a aterros, como também, para a minimização do impacto ambiental de ambas as atividades.

VAZQUES (2001) comenta em seu trabalho sobre a redução dos resíduos por meio do desenvolvimento de tecnologias limpas com extração adequada de recursos e na produção de novos materiais de menor impacto. Destacam-se as pesquisas de SAVASTANO Jr. (2000), NASCIMENTO (2003) e DACOSTA et al. (2005), que se focaram na idéia de encapsulamento dos resíduos sólidos a serem empregados em chapas de partículas, como matéria-prima para a construção civil.

Nesse contexto, esta pesquisa tem como finalidade aproveitar os resíduos da fabricação da celulose e papel, o polietileno e o alumínio, provenientes do processo de desagregação das embalagens Tetra Pak, na confecção de chapas de partículas para serem

destinadas às habitações de interesse social, na forma de forros ou divisórias.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por principal objetivo avaliar as características físicas e mecânicas de chapas de partículas, produzidas a partir dos rejeitos das embalagens Tetra Pak (polietileno e alumínio) e do resíduo oriundo da fabricação de papel e celulose, para ser futuramente utilizado como painéis de vedação em habitações de interesse social.

METODOLOGIA

Para a confecção das placas, foram utilizados os seguintes materiais: os resíduos de celulose e papel e das embalagens Tetra Pak trituradas, a resina uréia – formaldeído (UF), do tipo Cascamite PB - 2346, como estabilizante dos compósitos e, por fim, emulsão de parafina (S – 630), cujo objetivo é preencher os vazios das partículas.

O resíduo industrial de celulose e papel utilizado provém da empresa VCP (Votorantim Celulose e Papel), unidade de Jacareí – SP, e foi doado pela mesma. O resíduo de polietileno e alumínio foi cedido pela indústria IBAPLAC, do município de Ibaté – SP (fábrica de telhas aglomeradas).

A metodologia adotada baseia-se na avaliação das características físicas e mecânicas das chapas nos traços de 30%, 40%, 50% e 60% de resíduo de celulose em relação à massa total dos compósitos, completadas com o material Tetra Pak, bem como os traços testemunhas, com 100% de resíduo de celulose e 100% de Tetra Pak.

A nomenclatura utilizada em cada traço para os ensaios é dada por:

- Traço 01 – 100% Celulose e 0% Tetra Pak
- Traço 02 – 60% Celulose e 40% Tetra Pak
- Traço 03 – 50% Celulose e 50% Tetra Pak
- Traço 04 – 40% Celulose e 60% Tetra Pak
- Traço 05 – 30% Celulose e 70% Tetra Pak
- Traço 06 – 0% Celulose e 100% Tetra Pak

Foram realizados os ensaios de resistência à flexão estática, tração paralela às faces e determinação do coeficiente de inchamento. Todas essas variáveis foram obtidas conforme os procedimentos apresentados no trabalho de NASCIMENTO (2003) e na norma americana ASTM 1037 (1996).

RESULTADOS

ENSAIO DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FACES

A avaliação do ensaio de resistência à tração paralela às faces prosseguiu de acordo com as recomendações da norma ASTM 1037:1996, item 21: Tensile Strength Parallel to Surface. Foram utilizados 12 corpos-de-prova de cada traço, com dimensões de aproximadamente 25,5 cm de comprimento, 1,0 cm de espessura e 3,8 cm de largura, os quais foram todos medidos com o auxílio de um

paquímetro digital, na espessura e largura (nos pontos médios).

Em seguida, os corpos-de-prova foram colocados verticalmente na máquina de ensaio universal DARTEC do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira da USP – São Carlos. Essa máquina atua produzindo uma força de tração nos corpos-de-prova e, através de um microcomputador, registra automaticamente os valores de força, deslocamentos e deformações ocorridas nos corpos-de-prova.

Com os dados obtidos neste ensaio, calculou-se a resistência das placas à tração paralela, por meio da seguinte expressão:

$$f = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

Onde:

f = resistência à tração paralela às faces;

F = máxima força de tração aplicada ao corpo-de-prova;

A = $a \times b$ (área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo-de-prova).

Os resultados deste ensaio estão dispostos no Gráfico 01, que mostra as médias da resistência à tração paralela de cada traço.

Analisando o Gráfico 01, visualiza-se que o aumento da quantidade de alumínio e polietileno das embalagens Tetra Pak nos diferentes traços contribuiu, de modo efetivo, para a obtenção de maiores valores de resistência à tração paralela as fibras dos compósitos.

Os valores das médias dos deslocamentos obtidos no ensaio de tração estão compilados no Gráfico 02.

O deslocamento ocorre em função da quantidade de carga que solicita o corpo-de-prova, até seu rompimento. Verifica-se que nos traços com maiores quantidades de Tetra Pak ocorreram um maior deslocamento, variando entre 0,108 cm no traço 01, 100% celulose, até 0,56 cm no traço 06, 100% de Tetra Pak.

ENSAIO DE INCHAMENTO

O ensaio de inchamento é importante para a compreensão do comportamento do material na presença de água. Este ensaio consiste na determinação do coeficiente de inchamento do corpo-de-prova após ter sido imerso em água pelo período de 2 e 24 horas. Os corpos-de-prova, após terem sido medidos na espessura (E inicial),

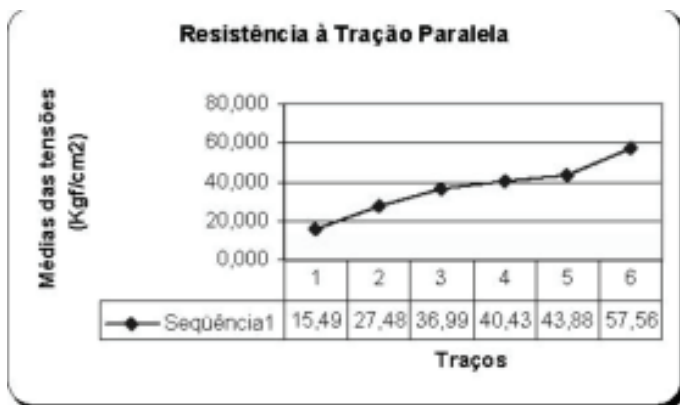


Gráfico 01 – Médias das tensões normais encontradas para cada traço

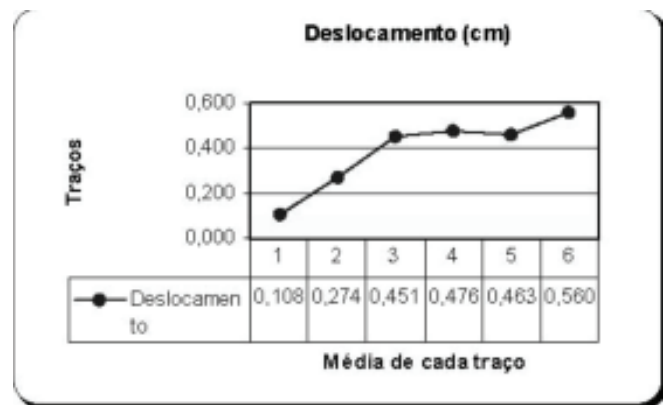


Gráfico 02 – Médias dos deslocamentos verticais para cada traço

utilizando-se um paquímetro digital, são imersos em água, e após ter passado o período de 2h, são retirados e medidos novamente na espessura (E final). O mesmo ocorre após 24h. A diferença entre a espessura final e a inicial, fornece o coeficiente de inchamento do material, utilizando-se a seguinte equação:

$$I = \frac{(E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}})}{E_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

I = coeficiente de inchamento;

E final = espessura final;

E inicial = espessura inicial;

Os procedimentos adotados quanto ao tamanho dos corpos-de-prova no ensaio de absorção de água, também foram utilizados neste ensaio, sendo as medidas dos corpos-de-prova de 7,6cm de largura, 15,2cm de comprimento e 1,0cm aproximadamente de espessura.

As médias do coeficiente de inchamento de cada traço estão dispostas em um gráfico comparativo, contendo informações referentes à imersão por 2 e 24 horas.

Os valores obtidos do ensaio de inchamento estão apresentados no Gráfico 03.

Nota-se no Gráfico 03 que os traços contendo maiores quantidades de resíduo de celulose foram os que incharam mais, cuja espessura aumentou em até 61,79%.

Como já era previsto, o coeficiente de inchamento foi diminuindo gradativamente em função do decréscimo da quantidade de resíduo de celulose e aumento dos rejeitos das embalagens cartonadas. Isso se deve ao fato da maior porosidade e permeabilidade do resíduo de celulose que, em contato com a água absorve grandes quantidades da mesma e eleva significativamente de tamanho.

Além disso, devem-se atribuir ao plástico e o alumínio, presentes nos corpos-de-prova, característicos impermeáveis, o que vem a dificultar a penetração da água no compósito.

FLEXÃO ESTÁTICA

De acordo com as regulamentações da norma ASTM 1037 (1996), foram necessários 12 corpos-de-prova para cada traço, nas dimensões nominais de aproximadamente 30,0 cm de comprimento, 1,0 cm de espessura e 7,6 cm de largura. Para a realização

deste ensaio foi utilizada a mesma máquina de ensaios do LaMEM/ São Carlos.

Os corpos-de-prova foram dispostos em cima dos apoios, deixando um vão livre de 24 cm, e um carregamento uniformemente crescente foi inserido no ponto médio do vão livre, exercendo-o uma força vertical pontual.

O cálculo da resistência e de rigidez à flexão baseou-se nas seguintes equações propostas pela ASTM:

Módulo de Ruptura:

$$R = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (3)$$

Tensão no Limite de Proporcionalidade:

$$S_{pl} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (4)$$

Para uma melhor visualização dos valores médios de módulo de ruptura e tensão de proporcionalidade e obtidos neste ensaio, apresentam-se a seguir os Gráficos de 04 e 05, mostrando uma comparação entre as médias obtidas de cada traço.

Analisando os Gráficos 04 e 05, verifica-se, novamente, que o acréscimo da quantidade de rejeitos da embalagem

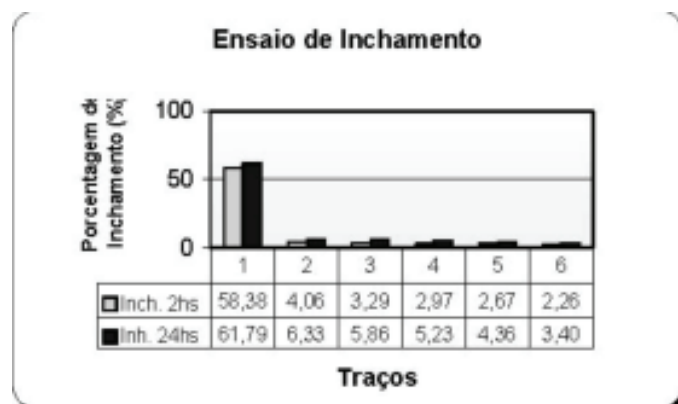


Gráfico 03 – Médias da porcentagem de inchamento obtidas em cada traço

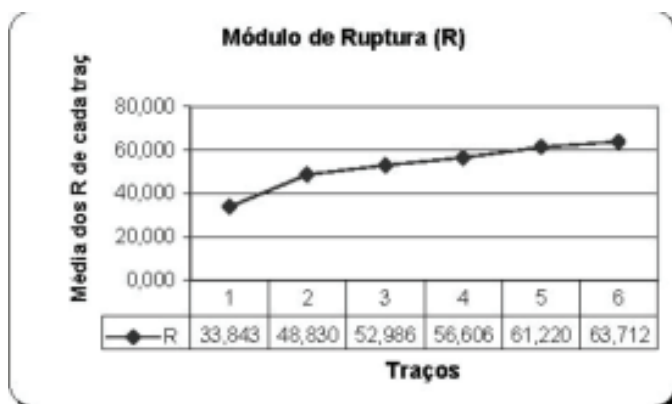


Gráfico 04 – Médias dos módulos de ruptura para cada traço

cartonada na mistura fez com que aumentassem os valores do módulo de ruptura e da tensão de proporcionalidade, destacando a influência deles na resistência à flexão estática das chapas.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento de um material alternativo, desde que estudado tecnicamente, proporciona uma série de benefícios econômicos e sociais, relacionados ao menor custo de mercado e geração de empregos, implantação da coleta seletiva, ao processamento e destinação desses materiais. Como consequência, possibilita o resgate da cidadania dos envolvidos, bem como benefícios ambientais, pois incentiva a reciclagem das embalagens longa vida, evitando, assim, a disposição em lixões e aterros sanitários.

Em relação aos ensaios de resistência mecânica, todos os traços mostraram desempenho inferior comparado com os valores da norma CS 236-66 (1968). Porém, isso se deve, principalmente, ao fato da baixa densidade dos materiais utilizados na

composição das placas.

O ensaio de resistência à tração paralela apresentou valores variando de 15,5 a 57,5 Kgf/cm², onde se verifica um aumento gradativo a partir do traço com 100% de celulose até o traço com 100% de rejeitos de Tetra Pak, concluindo-se que a inserção do rejeito de Tetra Pak fez aumentar a resistência das diferentes misturas.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 (USDA, 1999) para chapas de partículas de madeira com baixa e média densidade (menores que 0,59 e entre 0,59 e 0,8 g/cm³ respectivamente) admite valores mínimos requeridos de 56 e 112 kgf/cm² para MOR. No ensaio de flexão estática realizado, as médias do módulo de ruptura (MOR) variavam de 34 a 64 Kgf/cm², aumentando-se sucessivamente os valores de MOR de acordo com a variação na porcentagem de Tetra Pak presente nos compósitos. Quanto aos valores de SPL (tensão no limite da proporcionalidade), as chapas apresentaram uma variação de 14 a 25 Kgf/cm.

No ensaio de inchamento, todos os traços, com exceção ao traço 06, com 100% de celulose (61,79%), apresentaram índices permitidos pela

norma CS 236-66 (1968), que é de 35%, variando de 6,33% e 3,4% para o índice de inchamento.

Uma conclusão imediata constatada nos experimentos citados foi à importância da presença do polietileno e do alumínio nas chapas, pois eles proporcionam uma maior coesão, resistência e impermeabilidade a elas. Por meio de uma interpolação dos dados obtidos nos ensaios realizados, foi escolhido o traço 04 (60% de Tetra Pak e 40% de celulose) como o traço ideal para ser aplicado em painéis de vedação.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 1037**. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, p. 137 – 166, 1996.
2. CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 3ª edição. São Paulo: Humanitas Editora, 346 p, 1998.
3. COMMERCIAL STANDARD C.S. 236-66. **Mat formed wood particleboard**. 1968.
4. DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. **Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas**



Gráfico 05 – Médias das tensões limites para cada traço

com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* (Engelm.). *Ciência Florestal*, v.15, n° 3. Santa Maria, p. 311-322, 2005.

5. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 113 p., 2000.

6. MELDONIAN, N. L. **Alguns aspectos do lixo urbano no Estado de São Paulo e considerações sobre reciclagem do alumínio e do papel.** Campinas: UNICAMP, 1998.

7. NASCIMENTO, M. F. do. **CHP – Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil.** São Carlos. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 145 p., 2003.

8. SARAIVA, F. **O papel da celulose na construção civil.** *Revista: O Papel*, no. 10, ano LXII, p. 77 – 88, 2002.

9. SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** Tese de livre-docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

10. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood Handbook: wood as an engineering material.** Washington: U. S. Government Printing Office, 466 p., 1999.

11. VÁZQUES, E. Introdução. In: CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. (Orgs.). **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção:** projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA/ Caixa Econômica Federal, p. 22-25, 2001.

AGRADECIMENTOS

A Fapesp, pelo financiamento da presente pesquisa; ao Laboratório de Processamento de Madeira da Unesp de Bauru, à pesquisadora Fátima Maria do Nascimento e ao técnico José Francisco, do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras da USP de São Carlos e ao Sr. Eduardo Gomes, proprietário da empresa IBAPLAC.