

**D. C. Araújo<sup>1\*</sup>; C. R. S. Moraes<sup>1</sup>, M.E.D. Altides<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Av. Aprígio Veloso – 882, Bodocongó, 58109 – 970, Campina Grande – PB, Brasil.

(Recebido em 18/07/2008; revisado em 18/08/2008; aceito em 18/08/2008)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

**Resumo:**

---

**Abstract:**

---

\* E-mail: : [danielca@gmail.com](mailto:danielca@gmail.com) (D. C. Araújo)

## 1. Introdução

Na sociedade em que vivemos atualmente existe uma grande preocupação com a ingestão de resíduos sólidos, comprometendo assim os sistemas naturais, sociais, econômicos e a saúde ambiental e humana. Para a maioria dos seres humanos os resíduos sólidos são considerados lixo, por acreditar não ter mais serventia. Tendo assim uma pressa infundável de se livrar do mesmo, sem se preocupar como e onde será descartado.

Para se ter noção deste problema tomando como base, a cidade de Campina Grande, onde o lixão recebe diariamente mais de 200 toneladas de resíduos e apresentando cerca de 500 catadores. Outro problema da mesma cidade refere-se à falta de sensibilização da maioria da população, pois mesmo com a coleta convencional dos resíduos realizada pelo carro coletor, três vezes por semana em cada bairro, as famílias depositam os resíduos em terrenos baldios.

Sob o ponto de vista ecológico, existe a necessidade de se reciclar os resíduos de Tetrapak®, visto que estas embalagens representam cerca de 1,0% do total de resíduos gerados no Brasil, e a sua própria composição multifoliada dificulta a sua decomposição em condições naturais [1]. Além disso, com o descarte da embalagem, há desperdício de matérias-primas nobres como o alumínio e o papel cartão.

Uma das soluções propostas pela reciclagem de resíduos sólidos é o emprego de embalagens longa vida na fabricação de placas e telhas. A composição da embalagem longa vida é composta basicamente por três materiais: papel, plástico e metal, que representam as respectivas proporções de composição: 75%, 20% e 5%.

A etapa primária da reciclagem das embalagens é realizada em uma indústria papelreira, onde as embalagens são introduzidas em um hidrapulper (grande liquidificador, que tem forma de um tanque cilíndrico e rotor giratório ao fundo) para extração das fibras de papel, que fornecem alta qualidade aos insumos produzidos [2,3]. Depois de retirada das fibras de papel, restam ainda as camadas de plástico (polietileno) e metal (alumínio) para serem processadas. Estes materiais são matérias-primas para a

etapa secundária da reciclagem, onde se faz o beneficiamento destas outras camadas.

Uma alternativa para a etapa secundária da reciclagem das embalagens longa vida é a extrusão das camadas de polietileno/alumínio, que possibilita a produção de diversos materiais como brindes, coletores de lixo, base de vassouras, e produção de placas e telhas, este último objeto deste trabalho [3].

As placas têm sido empregadas como matéria prima alternativa para a indústria moveleira e para construção civil. As telhas podem ser usadas em substituição as de fibrocimento, principalmente em prédios, áreas cobertas e propriedades rurais.

O desenvolvimento e utilização desta tecnologia irão proporcionar a redução no consumo de matérias-primas naturais, além de reaproveitar os resíduos descartados na natureza. O Objetivo deste trabalho foi realizar caracterização físico-química, mecânica e térmica destas telhas e placas, visando à melhoria as suas propriedades e segurança no emprego das mesmas.

### 1.1. Processo de fabricação das placas e telhas

O princípio do processo de fabricação das placas e telhas consiste na fusão do material sob pressão e posterior resfriamento [4].

Primeiramente, o polietileno contendo alumínio é triturado em pequenos fragmentos usando-se moinhos de faca. A redução do tamanho do material facilita sua fusão e dá ao produto acabado maior homogeneidade.

Após trituração, o material é disposto em formas, para formatação das chapas. Essas formas repletas de polietileno/alumínio são introduzidas em prensas utilizadas para a produção de placas de compensado. Neste processo as prensas são modificadas diminuindo-se de 8 para 4 bandejas, visando permitir a entrada do material, já que possui densidade aparente menor que a madeira. Essas prensas normalmente são projetadas para trabalhar com temperaturas menores que 160°C. No processo de fabricação das placas e telhas com plástico / alumínio das embalagens longa vida, a temperatura de trabalho é de aproximadamente 180°C, fazendo-se necessário que o sistema de

aquecimento seja alterado, para que atinja temperaturas entre 160 e 200°C [4].

Os sistemas de aquecimento das prensas existentes no mercado basicamente são três: através de resistências elétricas, vapor e óleo térmico. As prensas elétricas são recomendadas para fábricas com pequena produção, devido a maior flexibilidade proporcionada. Já as prensas à vapor ou com óleo térmico são recomendadas para produção em larga escala, visando otimização de energia no processo.

Após fusão do polietileno, as placas passam por processo de resfriamento, para cura e endurecimento das camadas plásticas. As espessuras das placas podem variar de 4 a 50 mm, dependendo da quantidade de material alimentado e da pressão aplicada. Espessuras maiores podem ser obtidas fazendo-se a reprensagem de diversas placas pré-formadas, colocando-as umas sobre as outras.

A produção de telhas segue o mesmo processo da fabricação de placas, no entanto, as placas, ainda quentes, são introduzidas em um processo de prensagem a frio com formas onduladas, em que o material adquire a geometria de telhas ao resfriar. O tempo de resfriamento é da ordem de 5 a 10 minutos, dependendo-se da espessura do insumo produzido.

## 1.2. Telha ecológica

A telha ondulada feita de material reciclado é durável e muito resistente ao tempo, quando comparada a outras telhas. Por ser aluminizada, além da durabilidade e resistência, ela atua na reflexão da luz solar, deixando o ambiente mais fresco e agradável, evitando dessa forma o efeito estufa gerado pelas altas temperaturas. Elas podem ser empregadas tanto para cobertura quanto para fechamentos laterais, e trata-se de material atóxico, sem restrições ao seu uso. A chapa lisa é uma excelente opção para a utilização em ambientes internos, conferindo um aspecto único em painéis comerciais, divisórias, forros, peças moldadas, proteção de máquinas, fundos de armários, gavetas, pisos de barcos, entre outros. Além da praticidade e originalidade, essas placas e telhas dão um novo destino a um tipo de lixo

abundante e pouco aproveitado para reciclagem.

Em relação à leveza, a telha reciclada chega a pesar a metade (12 kg) do modelo convencional de fibrocimento. Isso acaba gerando mais uma série de facilidades, principalmente em relação ao transporte. No canteiro de obras, essa mistura também é um ponto a favor: se alguma telha cair durante sua colocação no telhado, ela não vai quebrar [5].

Essa telha também pode representar uma sensível redução no gasto com mantas isolantes térmicas. O motivo está num dos elementos que formam a embalagem. Isolante térmico natural, o alumínio da telha chega a isolar a temperatura de 25 a 30%.

Os produtos reciclados estão cada vez mais presentes no setor da construção civil. Além dos benefícios ecológicos, a reutilização de materiais traz novas alternativas para engenheiros e decoradores. Objetos inusitados estão indo parar nos canteiros de obras, sendo reaproveitados também na composição do mobiliário e na decoração de ambientes. Um exemplo bem sucedido de reciclagem ocorre com as embalagens de cremes dentais. A partir do polietileno (um tipo de plástico resistente) contido nas bisnagas, pode-se produzir matéria-prima para móveis, objetos decorativos e, até mesmo, placas para serem utilizadas como tapumes na construção civil.

A Figura 1 apresenta duas amostras das telhas que serão usadas nos ensaios para serem feita a caracterização das mesmas.



Figura 1: Amostra das telhas Ecológica e da de fibrocimento.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Materiais

Para realização da pesquisa utilizaram-se os seguintes materiais:

Telhas ecológicas: telhas fabricadas com resíduos sólidos (embalagem longa vida), possuindo em sua composição predominante papel, plástico e metal, foram provenientes de indústrias do Recife/Pe.

Telhas convencionais: telhas de fibrocimento que envolve o uso de cimento Portland e fibras de amianto na sua composição, estas ultimas facilmente encontradas no comercio local de Campina Grande/PB.

Para os ensaios de tração e de flexão foram confeccionadas vinte corpos de prova, sendo dez deles da telha ecológica e dez da telha de fibrocimento. Os corpos de provas

### 2.2. Métodos

Foram realizados diversos ensaios para caracterização das telhas produzidas com resíduos sólidos e das telhas convencionais, estas análises foram realizadas na Universidade Federal de Campina Grande e na Universidade Federal da Paraíba .

#### 2.2.1. Caracterização mecânica

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LaMMEA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Campina Grande.

##### Resistência à tração

Neste ensaio os corpos de prova dos materiais foram submetidos a tensões de tração, conforme a norma ASTM D 698/98.

A Figura 3 mostra o corpo de prova sendo rompido no ensaio de tração pelo equipamento de Ensaio mecânicos da marca LLOYDK intruments LR10K.

Para o cálculo da tensão de tração foi utilizada a Equação 1, determinando que a força por unidade de área ou intensidade das forças distribuídas numa certa secção transversal é chamada de tensão atuante, nessa secção transversal, e é indicada pela letra grega  $\sigma$ (sigma).

com dimensões aproximadamente de, 15 cm de altura e 2 cm de largura, (Figura 2).



Figura 2. Corpos de prova confeccionados para a realização dos ensaios mecânicos.

A tensão em uma barra de secção transversal A, sujeita a uma força axial P, é obtida dividindo-se o módulo de P da força pela área A[6].

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$



Figura 3. Corpos de prova preparados para o ensaio de tração.

##### Resistência à flexão

Neste ensaio os corpos de prova dos materiais foram submetidos a tensões de flexão, conforme a norma ASTM D 790 / 98.

A Figura 4 mostra o corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão em três pontos

pelo o equipamento de Ensaio mecânicos da marca LLOYDK intruments LR10K.

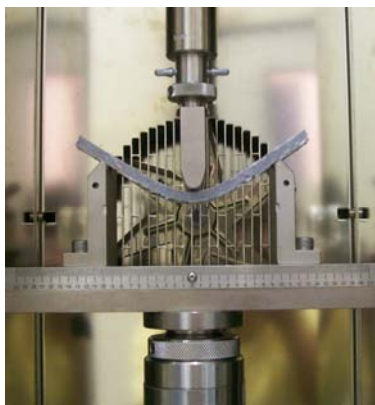


Figura 4. Corpo de prova sendo rompida no ensaio de flexão .

Foram realizados os testes de resistência à flexão (máquina universal de ensaios; 10mm/min), segundo a norma NBR 13818 (1997). De acordo com esta norma, foram calculados os valores de Carga de ruptura e Módulo de resistência à flexão, conforme as Equações (2) e (3):

#### Determinação da densidade

Na determinação da densidade foi utilizada a seguinte norma ASTM D792, o método descreve a determinação da gravidade específica (densidade relativa) e da densidade de plásticos contínuos.

Foram confeccionados cinco corpos de prova para cada amostra de telha para a determinação da densidade. Para o cálculo da densidade absoluta foi utilizada a Equação 6.

$$d = \frac{m}{V} \quad (6)$$

A densidade aparente foi calculada de acordo com a Equação 7.

$$d_{apa} = \frac{P_{seco}}{P_{umido} - P_{submerso}} \quad (7)$$

#### Determinação da absorção de água

Na determinação da absorção de água foram utilizadas as seguintes normas ASTM E96 e ASTM D-570, o método descreve

$$CR = \frac{FL}{b} \quad (2)$$

Onde: CR é a carga de ruptura (N);

F é força de ruptura (N);

L é a distância entre as barras de apoio (mm) e;

b a largura do corpo de prova (mm).

Com a Equação (3), calculou-se o módulo de resistência à flexão.

$$MRF = \frac{3FL}{2be^2} \quad (3)$$

Onde: MRF é o módulo de resistência à flexão (MPa), e b a espessura do corpo-de prova (mm).

### 2.2.2. Caracterização físico-química

A caracterização físico-química foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, na Universidade Federal de Campina Grande.

como determinar a taxa relativa da absorção da água quando imersos.

Foram confeccionados cinco corpos de prova para cada amostra de telha para a determinação da absorção de água. Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a Equação 8.

$$\text{Absorção}(\%) = \frac{P_{umido} - P_{seco}}{P_{seco}} * 100 \quad (8)$$

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Caracterização mecânica

#### 3.1.1. Resistência à tração

As Figuras 5 e 6 apresentam o comportamento sob tração dos corpos de prova das telhas ecológicas e de fibrocimento, respectivamente. Pode-se observar nas curvas do ensaio de tração que a telha ecológica foi rompida com uma força superior e obteve-se um alongamento de ruptura maior, em comparação com a telha de fibrocimento. A Tabela 1 apresenta os valores médios da força de ruptura, da área

da secção transversal e a tensão na ruptura dos corpos de prova das telhas. Para o cálculo da tensão de ruptura na tração foi utilizada a Equação 1.

Tabela 1. Resistência à tração da telha ecológica e da fibrocimento.

| Propriedades           | Telha Ecológica       | Telha Fibrocimento    |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Área (m <sup>2</sup> ) | $1,27 \times 10^{-4}$ | $9,34 \times 10^{-5}$ |
| Força(N)               | 1724,25               | 480,43                |
| Tensão na ruptura(MPa) | 14,39                 | 5,16                  |

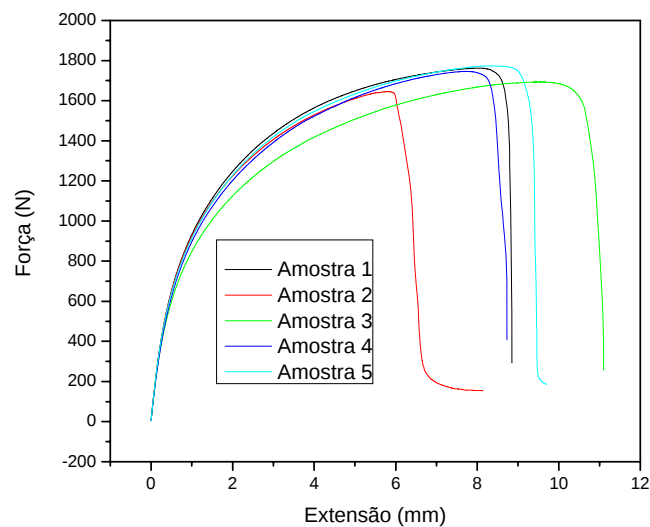


Figura 5. Curvas do ensaio de tração da telha ecológica.

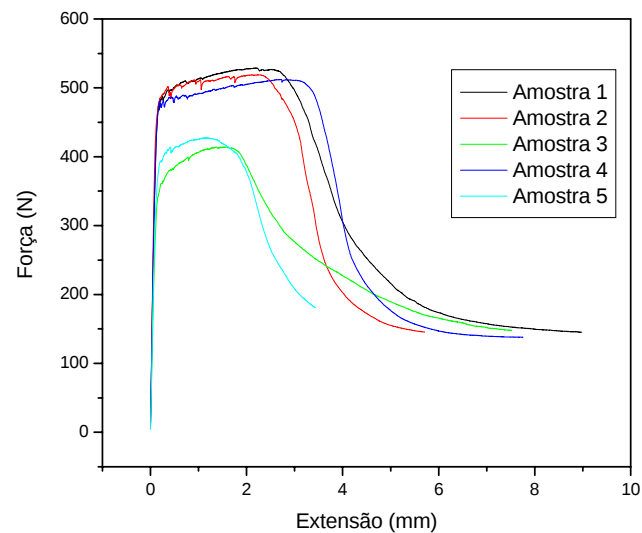


Figura 6. Curvas do ensaio de tração da telha de Fibrocimento

Pode-se observar na figuras 5 e 6 que a força para a telha ecológica se romper foi aproximadamente a 1724,25 N, enquanto que na

telha de fibrocimento a força na ruptura foi aproximadamente 480,43 N

Com relação a tensão de ruptura a telha ecológica e a telha de fibrocimento apresentaram

valores de,  $14,39 \pm 1,27$  MPa, e  $5,16 \pm 0,64$  Mpa, respectivamente.

### 3.1.2. Resistência à flexão

A Tabela 2 faz um comparativo carga de ruptura e do módulo de flexão das duas telhas.

Tabela 2. Resistência à flexão da telha ecológica e da fibrocimento.

| Propriedades           | Telha Ecológica       | Telha Fibro-cimento   |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Área (m <sup>2</sup> ) | $1,35 \times 10^{-4}$ | $9,34 \times 10^{-5}$ |
| Força(N)               | 88,46                 | 24,27                 |
| Carga de Ruptura(N)    | 4,27                  | 1,28                  |
| Módulo da flexão(MPa)  | 1,50                  | 0,83                  |

Através dos valores encontrados na tabela 2, é possível observar a telha de ecológica em comparação com a telha de fibrocimento se mostrou com o ensaio de flexão, com carga de ruptura e um módulo de flexão maior que as convencionais, esse fato está claramente ligado ao tipo de rotor utilizado no processo, que mantém as características da fibra mais próximas das originais, evitando o corte excessivo. O maior atrito fibra-fibra, em alta consistência, promove provavelmente, uma maior fibrilação resultando em maiores valores de grau de refino para tempos de desagregação semelhantes.

### 3.1.3. Caracterização físico-química

#### Determinação da densidade

A densidade absoluta da telha ecológica foi  $0,95 \text{ g/cm}^3$  e da telha de fibrocimento foi de  $1,38 \text{ g/cm}^3$  e a densidade aparente da telha ecológica foi  $1,02$  e da telha de fibrocimento foi de  $1,49$ .

As telhas convencionais se demonstraram mais densas devido a peso específico dos materiais constituintes: fibras de amianto e cimento, enquanto que a telha ecológica possui uma densidade menor devido a sua origem de papel e plástico.

#### Determinação da absorção de água

Foram confeccionados cinco corpos de prova para cada amostra de telha, no ensaio de

absorção de água para posteriormente obter a média do valor da absorção de água. A absorção de água da telha foi  $0,53 \%$  e a absorção de água da telha de fibrocimento foi de  $23,43 \%$ .

As telhas ecológicas apresentaram uma baixa absorção de água devido principalmente a sua origem plástica.

## 4. Conclusões

## Referências

- [1] Casagrande, A. G.; Barros M. S.; Freire, J. T. Condições de Equilíbrio para resíduos de embalagem cartonadas, 2005.
- [2] Neves, F. L. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. O Papel, p.38-45, n. 2, 1999.
- [3] Zuben, F. von; Neves, F. L. Reciclagem do alumínio e do polietileno presentes nas Embalagens Cartonadas Tetra Pak. Seminário Internacional de Reciclagem do Alumínio, pág. 96-109, 1999.
- [4] Cerqueira, M. H. Placas e telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presente nas embalagens tetra pak, 2005.
- [5] Beer, F. P. Resistência dos Materiais. São Paulo: Pearson Educativos do Brasil LTDA, 1995.