

Estudo da reciclagem das Blendas PC+ABS e PC+ABS+EPÓXI provenientes de sucatas eletrônicas

RESUMO

A cada ano a telefonia móvel se torna acessível a uma parcela maior da população mundial, sendo considerada por alguns como algo imprescindível. A popularização dos telefones celulares, aliada a crescente evolução tecnológica com novos produtos e serviços cada vez mais sofisticados, faz com que consumidores troquem seus aparelhos antigos por modelos menores, mais leves e, mais modernos. Em consequência uma infinidade de sucatas e aparelhos obsoletos que são descartados a cada ano, ocasionam perdas econômicas e poluição ambiental. Em face disto, buscou-se neste trabalho avaliar a possibilidade de reciclagem mecânica dos polímeros que compõem estas sucatas. Conforme identificação dos fabricantes, a grande maioria dos aparelhos descartados tinha a sua carcaça constituída por uma mistura de PC + ABS (Policarbonato + Acrilonitrila Butadieno Estireno), tornando possível a sua reciclagem, o que pode ser comprovado através de ensaios físico-mecânicos realizados em corpos de prova obtidos do material reciclado. Ensaios de espectroscopia de infravermelho revelaram que na parte polimérica das Placas de Circuito Impresso (PCI's) estão presentes as resinas Epóxi e Poliéster, que são termofixas e que, portanto, não são passíveis de reciclagem mecânica. Uma alternativa para reciclar mecanicamente estas resinas foi a incorporação de percentuais (5 %) destas resinas termofixas como carga no material reciclável.

PALAVRAS-CHAVE: Telefone Celular, Reciclagem Mecânica, Polímeros.

ABSTRACT

Each year, mobile phones have become accessible to a larger share of world population and are considered as something necessary by some peoples. The popularization of mobile phones, combined with a technological evolution of new products and services that are increasingly sophisticated, make the consumers change their old devices for smaller, lighter and more modern ones. As a result, a big number of scrap and obsolete equipment is discarded each year, causing economic losses and environmental pollution. Thus, this work intends to study the possibility of mechanical recycling of polymers that are present in these scraps. As identification of the manufacturers, the majority of the equipment discarded consists of a mixture of PC + ABS (Polycarbonate + Acrylonitrile Butadiene Styrene - thermoplastics), making it possible to recycle, which can be proved through physical-mechanical tests performed on samples obtained from recycled material. Infrared spectroscopy revealed that in the polymeric fraction, of the printed circuit boards (PCB's), there is the presence of Epoxy and Polyester resins, which are thermoset and therefore the mechanical recycling is not possible. An alternative to recycling these resins was the incorporation of a percentage (5%) of these thermoset resins as charge in recyclable material (mixture of PC+ABS+5% of thermoset).

KEYWORDS: Mobile Phone, Mechanical Recycling, Polymers.

Angela Cristina Kasper

Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais - LACOR; PPGE3M; UFRGS

Guilherme Batista Tartaro Berselli

Graduando em Engenharia de Materiais, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais - LACOR; DEMAT; UFRGS

Bruno Dias Freitas

Graduando em Engenharia de Materiais, Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais - LACOR; DEMAT; UFRGS

Andréa Moura Bernardes

Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais - LACOR; DEMAT; PPGE3M; UFRGS

Hugo Marcelo Veit

Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais - LACOR; DEMAT; PPGE3M; UFRGS

INTRODUÇÃO

De acordo com o CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem) as sucatas eletrônicas já correspondem a 5% dos detritos gerados pela população mundial (CEMPRE, 2009). Dados da UNEP (United Nations Environment Programme) apontam que a cada ano, são gerados de 20 - 50 milhões de toneladas de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) em todo o mundo. Somente no Brasil, são descartadas cerca de 500 mil toneladas de sucata eletrônica por ano (UNEP, 2005).

As sucatas eletrônicas são formadas por aparelhos eletrônicos como baterias recarregáveis ou não, celulares, placas de circuito impresso (placa mãe, de rede, de modem e de vídeo) presentes em computadores, além de monitores, impressoras, aparelhos de áudio e vídeo portáteis, etc., que chegaram ao final da sua vida útil por falhas no funcionamento ou por obsolescência tecnológica.

Segundo dados da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) somente em março de 2009 foram vendidos no Brasil 1,3 milhão de novos celulares, chegando a um total de mais de 154 milhões celulares em uso. No mundo o número de aparelhos celulares estaria em 4 bilhões (ANATEL, 2009).

Estima-se que o tempo médio para troca de um aparelho celular seja de menos de dois anos, o que significa dizer que dos celulares fabricados anualmente, entre 10 e 20% entram em inatividade a cada ano, ou seja, seriam cerca de 3 mil toneladas de celulares obsoletos a caminho dos lixões e aterros sanitários (MAWAKDIYE, 2007).

Em geral, entre 65% e 80% dos componentes dos aparelhos celulares podem ser reciclados. No entanto, segundo dados de uma pesquisa realizada pela empresa NOKIA, no Brasil apenas 2% dos aparelhos celulares são reciclados, enquanto que 32% dos aparelhos são simplesmente guardados em casa, 29% são repassados a familiares ou pessoas conhecidas, 27% são vendidos e 10% vão parar no lixo comum, o que pode trazer sérios riscos à saúde humana e o meio ambiente (NOKIA, 2009). O que torna urgente a adoção de uma

política que estimule a reciclagem, pois os ganhos serão tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Além da quantidade de resíduos gerados outros fatores que devem ser levados em conta e que tornam a reciclagem uma solução viável e eficaz são a possibilidade de inibir a contaminação do meio ambiente com substâncias perigosas contidas nos aparelhos (metais pesados) e a possibilidade de recuperação de metais de interesse econômico como cobre, estanho, prata e ouro (PETRANIKOVA, 2009).

Composição dos Telefones Celulares

Praticamente todos os produtos eletro-eletrônicos são compostos por materiais metálicos, poliméricos (plásticos) e cerâmicos (HOFFMANN, 1992). Nos telefones celulares a composição global e as percentagens dos materiais são mais ou menos semelhantes, sendo que a maior contribuição no peso total é dada pelos plásticos (não incluindo as bases epóxi), seguida pelos metais, cerâmicas, e epóxi.

Sem considerar as baterias, os plásticos são os principais materiais, sendo utilizados na carcaça, no teclado, alguns componentes e conectores, e geralmente, são fabricadas com polímeros termoplásticos, que por não sofrerem alterações químicas durante o seu processamento podem ser facilmente remodelados (WU et al, 2008).

Os metais são utilizados nas placas de circuito impresso (PCI's), componentes, molduras, chapas, parafusos, e outras peças, perfazendo entre 35% - 40% do total da massa. Os materiais cerâmicos são utilizados nos displays e como componentes nas PCI's, enquanto que as resinas epóxi, que são polímeros termofixos e que, após serem aquecidos uma vez não podem mais ser remodelados, são utilizadas como base das PCI's (WU et al, 2008).

As Placas de Circuito Impresso apresentam uma composição bastante variada, mas em geral são compostas por uma infinidade de metais e ligas metálicas, além de compostos orgânicos e inorgânicos cuja distribuição, em peso, é aproximadamente a seguinte: 30% de polímeros (principalmente Epóxi e Poliéster),

30% de óxidos refratários (principalmente Sílica, Alumínio, óxidos de terras raras), 40% de metais base (50% de cobre, 20% de ferro, 10% de estanho, 5% de níquel, 5% de chumbo, 5% de alumínio e 3% de zinco), além de metais preciosos (WU et al, 2008).

Meio Ambiente e Reciclagem de Telefones Celulares

Do ponto de vista toxicológico e ambiental os telefones celulares contêm um grande número de substâncias perigosas o que pode poluir o ar quando queimados e o solo e a água quando lixiviados e/ou dispostos em aterros. Estas substâncias tóxicas incluem arsênio, chumbo, cádmio, cobre, níquel, entre outras presentes nas placas de circuito impresso (MOST, 2003) e (IPIM, 2003). Tanto o plástico das carcaças, quanto das PCI's são susceptíveis de conter compostos orgânicos de bromo, utilizados como retardadores de chama, além de outros componentes que podem representar ameaça devido a formação de dioxinas e furanos gerados durante a queima sem controle de gases (WU et al, 2008).

Em países desenvolvidos, a maior parte das indústrias de reciclagem utiliza métodos pirometalúrgicos, onde apenas os metais dos aparelhos e baterias são recuperados, enquanto que os plásticos são queimados, gerando energia para o próprio processo, mas neste caso os gases são neutralizados quimicamente e por filtros (MOREIRA, 2007).

O processo utilizado pela empresa de reciclagem UMICORE, por exemplo, é constituído por uma trituração e homogeneização, seguida por uma análise de amostras do material para determinação da composição química do lote. Após esse passo, os materiais são enviados a um forno de alta temperatura, onde a parte orgânica é queimada e os metais se concentram em uma fase líquida. Depois de retirados do forno, os metais concentrados em lingotes seguem para separação e refino. As escórias, já sem metais, são utilizadas como agregado para concreto (UMICORE, 2009).

No entanto, segundo Guo et al (2009) a incineração não é o melhor método para o tratamento de materiais não metálicos, como os presentes nas placas de

circuito impresso, devido a presença de cargas inorgânicas, tais como a fibra de vidro, que reduzem significativamente a eficiência como combustível. Eliminação da escória em aterro sanitário é o principal método para o tratamento de materiais não metálicos de PCI's, mas pode causar poluição secundária e desperdício de recursos

Desta forma os processamentos mecânicos surgem como uma alternativa para concentrar os metais em uma fração e os polímeros e cerâmicos em outra. Fazem parte desse processamento mecânico a cominuição, classificação e separação (por

diferença de densidade, peso, granulometria, propriedades magnéticas, elétricas, etc.) dos diferentes componentes do rejeito (VEIT et al, 2002) e (VEIT, 2006).

No Brasil, atualmente não existe nenhuma empresa que realize a reciclagem de telefones celulares, o que se tem são empresas que recebem os aparelhos e os enviam para empresas na Europa que fazem a reciclagem. Por isso este trabalho tem por finalidade caracterizar os materiais presentes nos aparelhos de celular, identificando os materiais passíveis de serem reciclados ou reaproveitados e sugerindo alternativas de

reciclagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os aparelhos de telefones celulares utilizados neste trabalho foram coletados em lojas de assistência técnica e, previamente, separados por marcas e modelos. Depois foram desmontados manualmente e separados em unidades básicas, que posteriormente foram caracterizadas e estudadas a fim de verificar a melhor maneira de serem recuperadas, conforme figura 1.

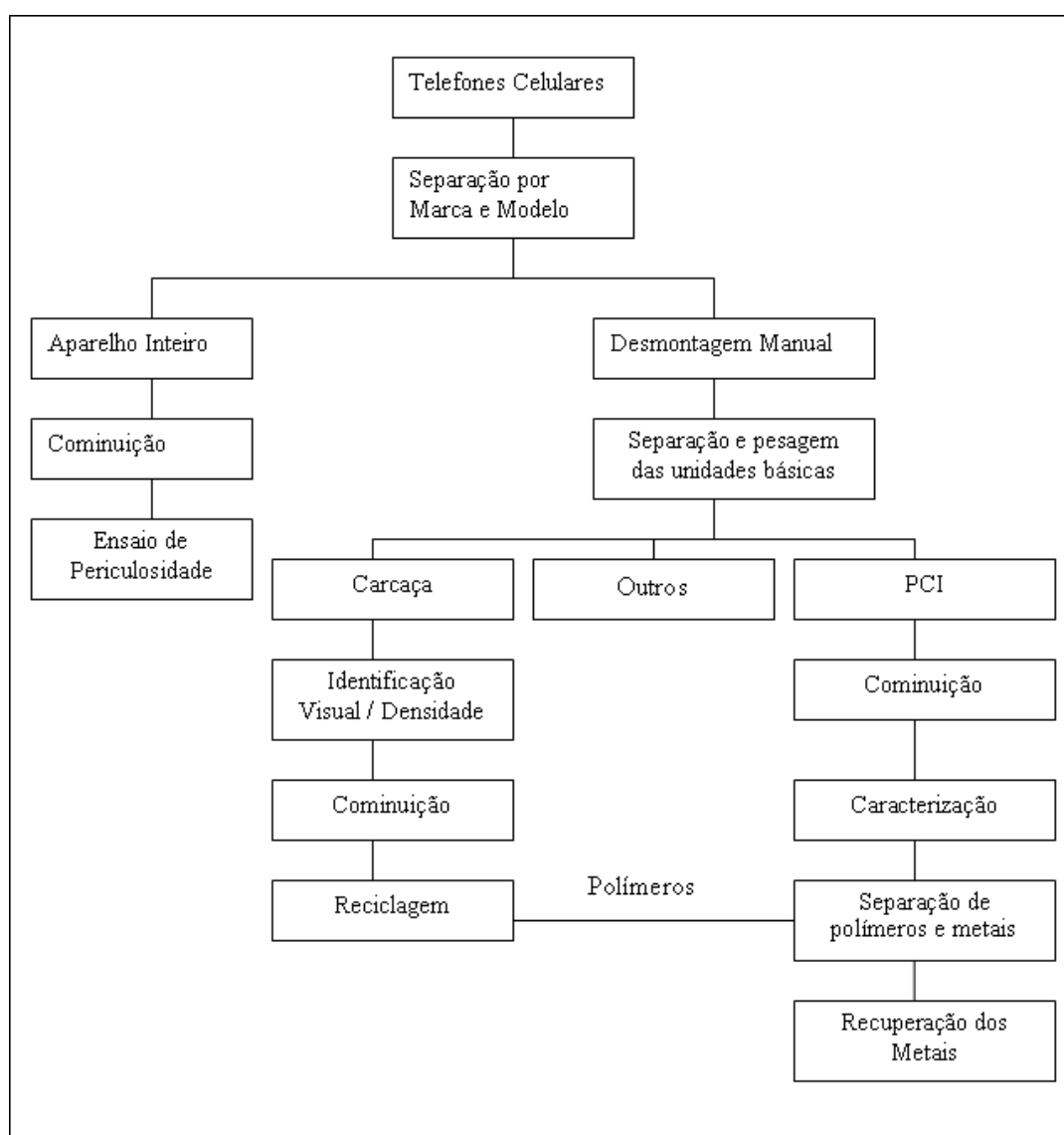


Figura 1 - Fluxograma resumido do processo de reciclagem

Separação por Unidades Básicas

Depois da desmontagem as unidades básicas foram pesadas para que se

pudesse calcular os percentuais de cada unidade. Como unidades básicas foram consideradas a carcaça polimérica, a Placa de Circuito Impresso e outros acessórios

(parafusos, antenas, etc.), conforme figura 2. Neste trabalho foram estudados apenas os aparelhos celulares, não incluindo as baterias.



Figura 2 - Celular Desmontado

Carcaças Poliméricas

No trabalho com as carcaças poliméricas o primeiro passo foi separar os aparelhos que traziam de fabrica a

identificação do tipo de material (Figura 3), conforme os símbolos padronizados (NBR 13230), dos que não possuíam identificação alguma.

Nos casos em que o tipo de polímero não

vinha especificado, depois de trituradas as amostras foram separadas por diferença de densidade utilizando etanol e cloreto de cálcio (CaCl_2).



Figura 3 - Métodos de Identificação e separação das carcaças

Após a separação e identificação das carcaças, o material (Blenda PC/ABS) passou por um processo de cominuição para que as partículas ficassem com tamanhos inferiores a 1mm.

O processo de redução do tamanho (cominuição) foi realizado em duas etapas, na primeira foi utilizado um moinho de martelo, marca Tigre A4R modelo, para fazer uma redução de tamanho preliminar e

depois foi utilizado um moinho de facas, marca modelo SM2000 Retsch, capaz de trituração do material até que tamanho de partículas menores que 1 milímetro.

Posteriormente, o material moído foi processado por injeção, obtendo-se corpos de prova padrões para a realização dos ensaios mecânicos de Impacto, Tração, Dureza e Flexão (Figura 4).

Para a injeção dos corpos-de-prova

foi utilizada a máquina de injeção horizontal marca Battenfeld modelo BA 350/75 Plus. As temperaturas utilizadas para a injeção de amostras contendo somente PC/ABS (somente carcaças) variaram entre 230, 215 e 200°C. Nas amostras contendo PC/ABS e 5% da fração de polímero de placas de circuito impresso, a temperaturas entre 210 e 200°C foram utilizados.

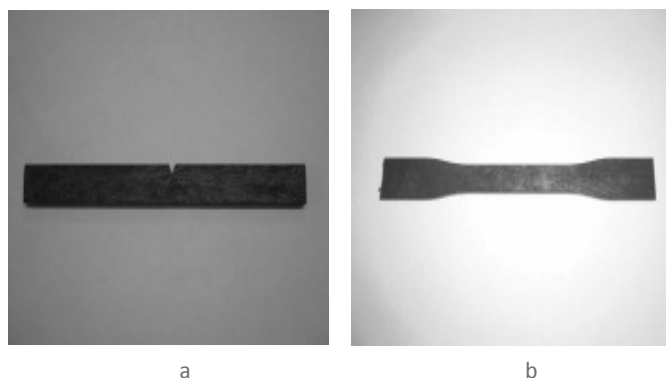


Figura 4: Corpo de prova (a) testes de flexão e impacto e (b) testes de tração e dureza.

A injeção de materiais poliméricos deve ser realizada uma faixa de temperatura característica de cada tipo de polímero. Para descobrir esta faixa de temperatura foi realizado um ensaio de DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial), que também serviu para analisar a homogeneidade da blenda. Além dos ensaios mecânicos e do DSC foi realizado ainda um ensaio de TGA (Análise Termogravimétrica), para verificar a perda de massa do material a partir do aumento da temperatura e desta forma obter a temperatura de degradação do material.

Para o ensaio de DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) foi utilizado o equipamento TA Instruments modelo DSC P20, para o TGA (análise termogravimétrica) foi utilizado o equipamento TA Instruments modelo TGA 2050.

Nos ensaios mecânicos foram utilizados os seguintes equipamentos: Impacto (ASTM D256) - equipamento marca CEAST modelo Impactor II; Tração (ASTM D638) - Máquina Universal de Ensaio Emic DL 2000; e Dureza (ASTM D2240) - Durômetro analógico Bareiss.

Placas de Circuito Impresso (PCI's)

De modo análogo ao que foi realizado com as carcaças, as PCI's também foram cominuídas em moinho de martelos e de facas até atingir granulometrias inferiores a 1mm. As frações das amostras foram levadas a um separador eletrostático, a fim de separar os materiais condutores (metais) dos não condutores (fração polimérica).

O Equipamento utilizado para separar a fração condutora, da não condutora foi separador eletrostático (Equimag marca, modelo ES1010). A identificação da fração polimérica foi realizada por espectroscopia no infravermelho (FTIR), utilizando o espectrômetro marca Perkin Elmer modelo Spectrom 1000.

Após a separação dos materiais e do ensaio de infravermelho, utilizado para a identificação do material presente na fração não condutora (polímeros), percentuais desta fração não condutora (5%) foram adicionados como carga a fração polimérica

(carcaça) e novos corpos de prova foram injetados. Foram realizados os ensaios mecânicos de Impacto, Tração, Dureza e Flexão, para verificar a viabilidade da utilização deste material como carga.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Separação por Unidade Básica

Conforme pode ser observado na tabela 1, a pesagem dos materiais demonstrou que a carcaça polimérica corresponde a um percentual entre 20 - 50% do material dependendo do modelo. Este percentual varia, pois, alguns modelos têm sua carcaça composta por partes metálicas.

Verifica-se também que a PCI corresponde a 20 - 40% da composição. Enquanto que o percentual de "outros" varia de 13 - 50% da composição do telefone, também variando conforme marca ou modelo.

Tabela 1 - Exemplos de percentuais de unidades básicas de celulares, sem bateria

Marca	Modelo	Carcapa (%)	PCI (%)	Outros (%)
Nokia	1220	44,0	20,0	36,0
Nokia	5125	43,0	39,0	18,0
Nokia	5120i	41,0	37,0	22,0
Nokia	3320	46,0	20,0	34,0
Nokia	2100	48,0	23,0	29,0
Nokia	2112	43,0	22,0	35,0
Nokia	7160	27,0	27,0	46,0
Nokia	8260	34,0	28,0	38,0
Nokia	6120	37,0	39,0	23,0
Nokia	7160	27,0	27,0	46,0
Nokia	6560	36,0	34,0	30,0
Nokia	2112	29,0	26,0	45,0
Nokia	6120i	36,0	40,0	24,0
Gradiente	TD-1000	46,0	21,0	32,0
Gradiente	TD-700	34,0	35,0	31,0
Gradiente	TD-600	37,0	39,0	24,0
LG	MG220C	47,0	21,0	32,0
LG	BD2030	39,0	28,0	33,0
LG	MD180	50,0	23,0	28,0
Motorola	120t	42,0	32,0	25,0
Motorola	W180	23,0	32,0	46,0
Motorola	ST 7890	32,0	37,0	31,0
Motorola	V60i	47,0	28,0	25,0
Motorola	W175	27,0	23,0	51,0
Motorola	C350i	41,0	28,0	31,0
Motorola	V60i	47,0	28,0	25,0
Motorola	C357	40,0	30,0	30,0
Motorola	V810	37,0	20,0	43,0
Motorola	C331	44,0	35,0	21,0
Siemens	A52	40,0	28,0	32,0
Siemens	A50	49,0	24,0	27,0
Samsung	STH-A255	38,0	28,0	33,0
Samsung	STH-N275	35,0	30,0	35,0
Samsung	STH-N275	35,0	30,0	35,0

Caracterização dos Materiais

Carcaças Poliméricas

Através da inspeção visual das carcaças poliméricas foi possível verificar que a grande maioria das mesmas eram constituídas por um mistura de PC + ABS (Policarbonato + Acrilonitrila Butadieno

Estireno), que são materiais facilmente recicláveis. Enquanto que algumas não possuíam símbolo de identificação do material e que foram identificadas e separadas por diferença de densidade, eram constituídas por PA (Poliamida) ou PA+ fibra de vidro.

Conforme observado no ensaio de DSC (Figura 5) a Tg (temperatura de

transição vítrea) da Blenda de >PC+ABS< ficou em torno de 135°C, portanto, uma temperatura intermediária entre a Tg do PC (Policarbonato) que é de 149°C, e a do ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) que é de 100°C. A observação de uma única Tg demonstra alto grau de homogeneidade da mistura.

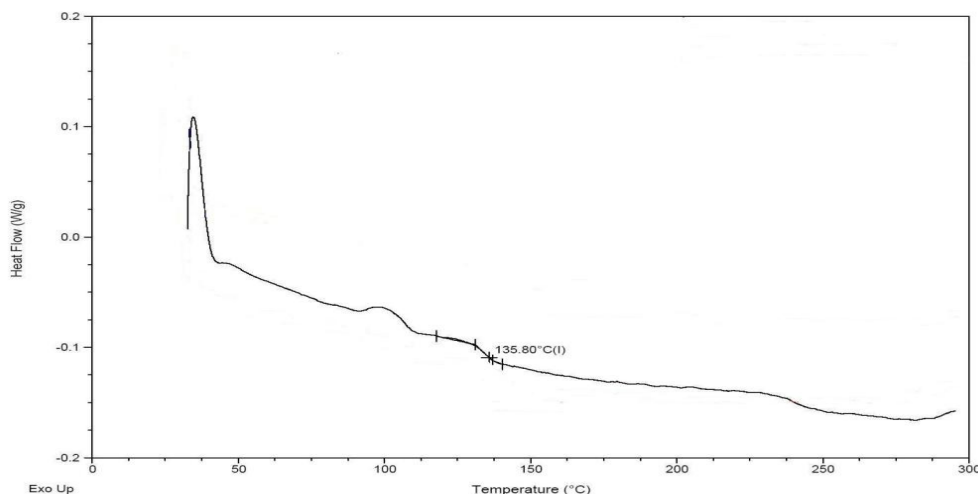


Figura 5 - Curvas de DSC

Analisando a curva obtida no ensaio de TGA (Figura 6) foi possível observar que na temperatura de 250°C começa a degradação do polímero e que na temperatura de 435°C ocorre uma perda elevada de massa. Pode-se observar ainda um residual de aproximadamente 7%, que deve estar relacionado à adição de carga

mineral ao polímero.

A partir dos ensaios de DSC e TGA foi possível obter a faixa de temperatura na qual é possível a extrusão e/ou injeção das carcaças poliméricas (PC/ABS), permitindo a reciclagem destes materiais, uma vez que a temperatura de processamento do PC puro é de 250-300°C, enquanto que o ABS

puro fica entre 167-260°C.

Desta forma, o reprocessamento deve ocorrer em um intervalo de temperatura em que o Policarbonato pode ser processado, sem que haja degradação do ABS. Assim, foi determinado que a temperatura de processamento do material deve ficar em torno de 200-230°C.

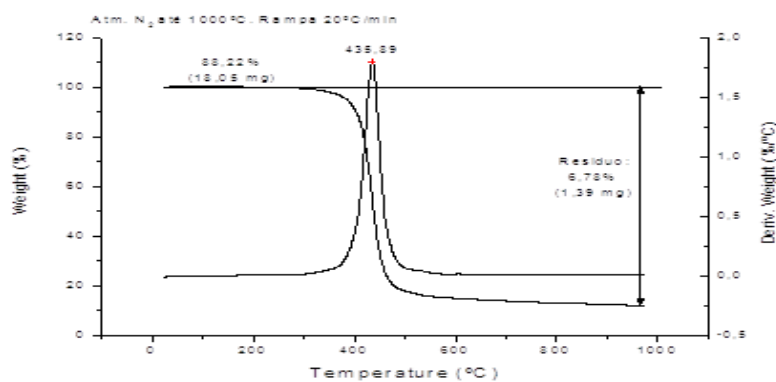


Figura 6 - Curvas de TGA

Caracterização da Fração Polimérica das PCI's

A caracterização do material polimérico presente nas Placas de Circuito Impresso foi realizada através de ensaios de espectroscopia de infravermelho.

Pelos resultados destes ensaios foi possível verificar, através da observação dos picos característicos em 870, 950 e 1250 cm^{-1} (Figura 7) que a base das PCI's é constituída por Epóxi. Já os componentes que envolvem os circuitos eletrônicos são de Poliéster, conforme evidenciado pela observação dos

picos característicos em 1101, 1245 e 1715 cm^{-1} (Figura 8).

Como as resinas Epóxi e Poliéster são materiais termofixos e, portanto não podem ser recicladas, a alternativa seria utilizar este material como carga na reciclagem das carcaças.

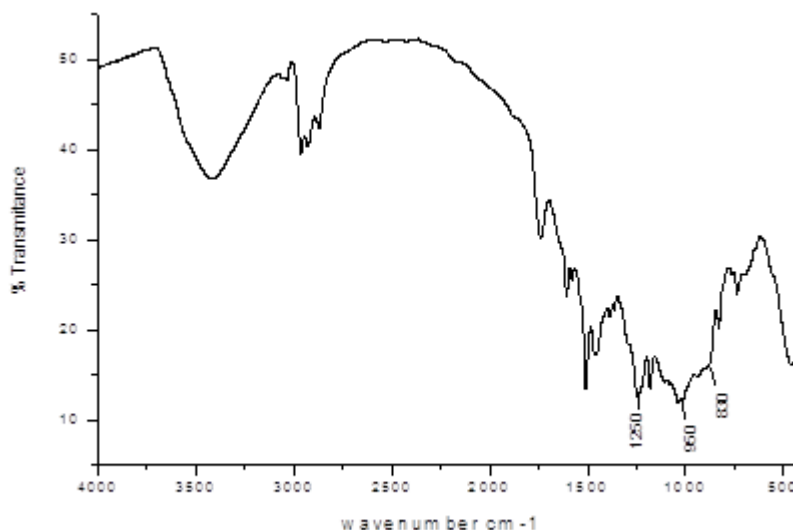


Figura 7- Espectro de infravermelho da base das PCI's

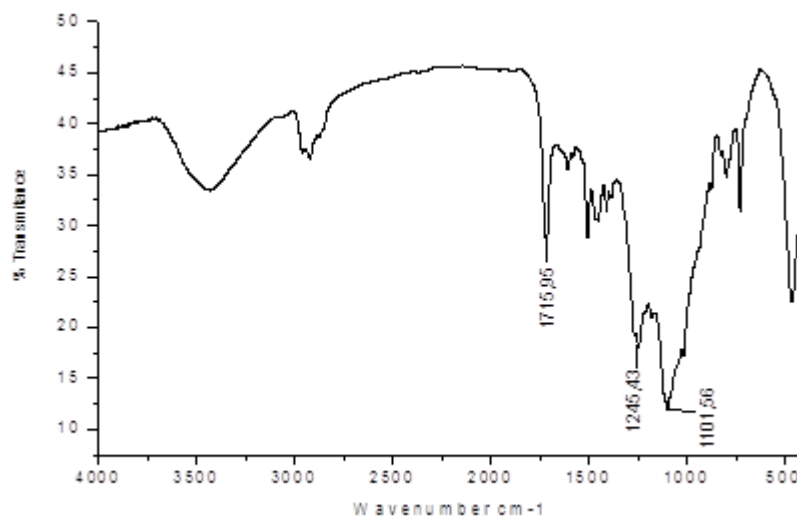


Figura 8 - Espectro de infravermelho dos componentes das PCI's

Resultados dos Ensaio Físico-Mecânicos

Reciclagem das Carcaças

Os resultados dos ensaios mecânicos (Tabela 2) demonstram que os

valores obtidos quando se utilizou o material reciclado estão muito próximos dos obtidos quando se utiliza um material virgem.

Pelos valores obtidos no ensaio de impacto pode-se afirmar que o material apresenta um alto teor de ABS, o que foi comprovado

pela densidade do material ($1,08 \text{ g/cm}^3$) mais próxima do ABS do que do PC. Enquanto que os valores mais elevados de dureza (mais próximos dos valores para PC) podem ser explicados pela presença de cargas no material.

Tabela 2 - Resultados Comparativos dos Ensaio Mecânicos

Tipo de Ensaio	Material Virgem	Material Reciclado (100% de Carcaças)
Impacto - Charpy c/ entalhe ($J.m^{-1}$)	50-800*	156
Dureza (Shore D)	ABS = 68,3 PC = 74,5	75
Tração - Tensão de Ruptura (N/mm^2)	40	40
Densidade (g/cm^3)	ABS = 1,05 PC = 1,20	1,08

* Dependente da proporção ABS/PC

Reciclagem das carcaças com 5% de material polimérico das PCI's

Os resultados mostram que a adição de 5% da fração polimérica das placas de circuito impresso ao material das carcaças ocasionou um ligeiro aumento na resistência à tração, tornando o material mais resistente.

A resistência ao impacto diminuiu ligeiramente em comparação com as amostras contendo 100% de material reciclado das carcaças. Observou-se também, um aumento da densidade de 1,08 $g.cm^{-3}$ para 1,18 $g.cm^{-3}$, o que pode ser prejudicial, dependendo do uso a ser feito do material reciclado.

Portanto, pode-se considerar que

a adição de 5% da fração polimérica das placas de circuito impresso ao material das carcaças (PC/ABS) não altera significativamente as propriedades mecânicas de materiais reciclados e pode ser considerada como uma grande alternativa para a reciclagem destas sucatas poliméricas.

Tabela 3 - Resultados Comparativos dos ensaios mecânicos

Tipo de Ensaio	Material Virgem	Material Reciclado (95% Carcaças + 5% PCI's)
Impacto - Charpy c/ entalhe ($J.m^{-1}$)	50-800*	133
Dureza (Shore D)	ABS = 68,3 PC = 74,5	69
Tração - Tensão de Ruptura (N/mm^2)	40	42,8
Densidade (g/cm^3)	ABS = 1,05 PC = 1,20	1,18

CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas nas carcaças foi possível verificar que todas eram compostas por polímeros termoplásticos, sendo a maioria composta por blendas de PC/ABS, ou, seja passíveis de serem recicladas.

Os valores obtidos na caracterização do material reciclado

demonstram um comportamento mecânico similar ao verificado em blendas virgens de PC+ABS com alto teor de ABS, o que comprova a possibilidade do uso do material reciclado na produção de novas carcaças de celulares ou então de qualquer outra peça/componente que exija características mecânicas similares.

Da mesma forma, os resultados indicam que a adição de 5% da fração não-

condutora de placas de circuito impresso ao material reciclado das carcaças, não altera significativamente as características do material, o que nos leva a concluir que a reciclagem mecânica de tais materiais podem ser considerados uma alternativa válida.

Portanto, os resultados deste estudo indicam que a reciclagem de blendas de PC/ABS das carcaças de telefones

celulares e da fração polimérica das placas de circuito impresso dos mesmos dispositivos, têm um tratamento viável, com aceitáveis propriedades mecânicas e de baixo custo, fornecendo uma abordagem interessante para a gestão de polímero de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, CNPq e FAPERGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal>. Acesso em: Abril de 2009.
- CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/>. Acesso em: setembro de 2009.
- ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK - Engineering Plastics Handbook: ASM Publication, 1983, Vol 2.
- GUO, J.; GUO, J.; CAO, B.; TANG, Y.; XU, Z. Manufacturing process of reproduction plate by nonmetallic materials reclaimed from pulverized printed circuit boards. *Journal of hazardous Materials*. 163. 1019 - 1025. 2009.
- HOFFMANN J. E. (1992) Recovering precious metals from electronic scrap. *JOM*, 44(7), p.43-48, jul. 1992.
- IPIM, Environmentally sound management: used mobile phones. International Precious Metals Institute, IPMI, July 14, 2003.
- MAWAKDIYE, Alberto (2007) Meio Ambiente - Poluição eletrônica. *Revista da Indústria*, 129 (7), p. 50-53, jun. 2007.
- MOREIRA, Daniela (2007). Citação de referências e documentos eletrônicos. Brasil tem problema de estrutura e legislação para enfrentar lixo eletrônico. Disponível em: <http://idgnow.uol.com.br/> Acesso em: março 2009.
- MOST, E., Calling all cell phones: Collection, reuse and recycling programs in de US, Inform inc., 2003.
- ABNT. NBR 13230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Rio de Janeiro, 2008.
- NOKIA Brasil (2008). Citação de referências e documentos eletrônicos. Reciclagem de telefones celulares. Disponível em: <http://www.nokia.com.br/a-nokia/meio-ambiente/we-recicle/por-que-reciclar>. Acesso em: março 2009.
- UNEP, Citação de referências e documentos eletrônicos. E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use, Environment Alert Bulletin, <http://www.grid.unep.ch/product/publication/EABs.php>, 2005
- PETRANIKOVA, M.; ORAC, D.; MISKUFOVA, A.; HAVLIK, T.. Hidrometallurgical Treatment of Printed Circuit Boards from used Computers after Pyrolytic Treatment. *Anais: European metallurgical Conference*, 2009.
- UMICORE, Citação de referências e documentos eletrônicos. Manual de Reciclagem. Disponível em <http://www.umicore.com.br>. Acesso em: setembro de 2009.
- VEIT, H. M., PEREIRA, C. C., BERNARDES, A. M.. Using mechanical processing in recycling printed wiring boards. *JOM*, p. 45- 47, June 2002.
- VEIT, H. M., PEREIRA, C. C., HÖRLE, L. F., BERNARDES, A. M.. Recycling of metals from PCB by dense medium separation processes. In: *Recycling and Waste Treatment in Mineral and Metal Processing: Technical and Economic Aspects*, Lulea, Suécia, 16-20 de Junho, 2002.
- VEIT, H.M., et al. Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit board scrap. *Waste Management*. 25 ed. 1 p. 67-74, 2005.
- VEIT, Hugo Marcelo et al (2006) Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy. *J. Hazard. Mater. B137* 1704-1709, 2006.
- WU, B. Y.; CHAN, Y. C.; MIDDENDORF, A.; GU, X.; ZHONG, H.W. Assesment of toxicity potential of metallic elements in discarded electronics: A case study of mobile phones en China. *Journal of Environmental Science*. 1403 -1408. 2008.