

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

ENGENHARIA DE MATERIAIS

ENG 02298 – TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

RECICLAGEM MECÂNICA DE DISQUETES DE 3 1/2 POLEGADAS PÓS-
CONSUMO

Aluno: Alexandre Ghidini Chrestani

Matrícula: 00149881

Professor Orientador: Ruth Marlene Campomanes
Santana

Dezembro de 2010

ALEXANDRE GHIDINI CHRESTANI

RECICLAGEM MECÂNICA DE DISQUETES DE 3 1/2 POLEGADAS PÓS-
CONSUMO

Trabalho apresentado à banca dos
Trabalhos de Diplomação da Engenharia
de Materiais da UFRGS, para obtenção
do título de Engenheiro de Materiais.

Orientação: Prof^a. Dra. Ruth
Marlene Campomanes Santana.

PORTO ALEGRE

2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Adenor e Maria Cristina, não só pelo apoio dado para a busca da conquista profissional, mas principalmente ao suporte para a realização pessoal. À minha irmã Júlia, por todo aprendizado durante todos os anos.

Muito obrigado à Prof^a Ruth, que forneceu toda a orientação necessária para realizar esse projeto, sendo sempre disponível e disposta a ajudar. Aos professores e responsáveis pelos laboratórios do curso de Engenharia de Materiais, que nunca colocaram barreiras para a realização do trabalho; em especial ao LAPOL, onde esse projeto foi em maior parte realizado, e ao LACOR, que me acolheu, ensinou e me fez amadurecer profissionalmente durante os três anos em que trabalhei lá.

Agradeço ainda aos amigos, familiares, colegas e todos aqueles que, de alguma forma, fizeram-me crescer.

PUBLICAÇÕES

- CHRESTANI, A. G.; SANTANA, R. M. C. *Beneficiamento da reciclagem mecânica de disquetes*; 19º Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais (CBECIMAT), 2010, Anais.
- CHRESTANI, A. G.; SANTANA, R. M. C. *Compósitos termoplásticos a partir da reciclagem de disquetes*; XVIII Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM, 2010, Libro de resúmenes.
- CHRESTANI, A. G., BUBICZ, E. N., SANTANA, R. M. C. *Metodologia de identificação e separação dos componentes de disquetes pós-consumo para facilitar sua reciclagem*. VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2010.

RESUMO

A substituição dos disquetes de 3 1/2 polegadas por mídias e dispositivos com maior capacidade de armazenamento de dados, como CDs e pen drives, gerou um grande descarte desse produto. Em função disso e do fato dos disquetes ainda estarem sendo produzidos, mesmo que em menor escala, faz com que um método de reciclagem para esses disquetes seja necessário e atraente. Esse trabalho se preocupa com a separação e identificação de cada um dos componentes presentes em disquetes de diversas marcas e modelos, e no desenvolvimento de uma rota de reciclagem para esse produto.

A primeira etapa desse trabalho foi uma separação manual e pesagem dos componentes internos e externos dos disquetes. Foram identificados sete tipos de componentes: a carcaça polimérica, uma proteção metálica, uma pequena mola, um disco de tecido, um disco polimérico (o disquete em si) com um componente metálico no centro e um pequeno pedaço de filme polimérico colado na carcaça. A etapa seguinte foi a identificação dos materiais que compõem cada um dos componentes. Essa identificação foi feita através de análises de propriedades físicas, químicas e, em alguns casos, calorimetria exploratória diferencial.

Em seguida, disquetes de diversas marcas foram submetidos a uma moagem em moinhos de martelos, seguida de uma moagem em moinhos de facas. Depois da moagem foi feita uma separação por diferença de densidade, na qual o produto moído foi imerso em uma solução de água com cloreto de sódio (com densidade aproximada de $1,15 \text{ g/cm}^3$). Possuindo densidade superior à solução, o disco polimérico e o material metálico não-magnético foram separadas da carcaça polimérica e do disco de tecido, estes com densidade inferior à solução.

A mistura de carcaça polimérica com disco de tecido foi então moldada por compressão térmica e o material resultante desse processamento teve a absorção de água, resistência ao impacto, dureza, teor de vazios e resistência mecânica analisados. Os resultados dessas análises foram comparados com outros valores dessas mesmas propriedades, porém referentes a uma amostra composta apenas por carcaça polimérica e a uma amostra reforçada com tecido, tendo esta o reforço

adicionado isoladamente, ou seja, não houve etapa de moagem, o tecido foi adicionado manualmente ao polímero no molde de processamento. Ainda, foram estudadas duas outras possibilidades, adicionou-se SEBS (copolímero em bloco de estireno – etileno/butileno – estireno) à fração reforçada moída e àquela reforçada manualmente.

As amostras reforçadas com o tecido apresentaram propriedades mecânicas mais atraentes em relação às amostras compostas puramente pela carcaça. Com a adição de SEBS, os compostos perderam a fragilidade anteriormente apresentada, fazendo com que se tornassem mais resistentes e aumentando sua aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Disquetes, reciclagem mecânica, resíduo plástico.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Histórico dos disquetes.....	4
3.2 Reciclagem de plásticos.....	6
3.2.1 Reciclagem química.....	6
3.2.2 Reciclagem energética.....	8
3.2.3 Reciclagem mecânica.....	9
3.2.3.1 Seleção de resíduos.....	10
3.2.3.2 Moagem.....	10
3.2.3.3 Lavagem.....	11
3.2.3.4 Secagem.....	11
3.2.3.5 Reprocessamento.....	12
3.3 Características do Poliestireno de Alto Impacto.....	12
3.3.1 Mecanismos de tenacificação do HIPS.....	13
3.3.2 Propriedades do HIPS.....	13
3.4 Alguns conceitos de reforço de polímeros.....	15
3.4.1 Reforço por fibras.....	15
3.4.2 Agentes de acoplamento.....	16
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	17
4.1 Separação e identificação de componentes.....	17
4.2 Processamento.....	20

4.2.1 Dureza.....	20
4.2.2 Ensaio de tração.....	20
4.2.3 Resistência ao impacto.....	21
4.2.4 Absorção de água.....	22
4.2.5 Teor de vazios.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1 Separação e identificação de componentes.....	23
5.2 Propriedades das peças recicladas.....	27
5.2.1 Dureza.....	27
5.2.2 Absorção de água e teor de vazios.....	28
5.2.3 Ensaio de tração.....	29
5.2.4 Resistência ao impacto.....	31
5.2.5 Resumo das propriedades.....	33
6 CONCLUSÕES.....	33
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	35
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Disquetes de 8, 5 1/4 e 3 1/2 polegadas.....	5
Figura 2 Fluxograma esquemático da reciclagem química.[25].....	7
Figura 3 Fluxograma esquemático da reciclagem energética.[25].....	8
Figura 4 Fluxograma esquemático de um tipo de reciclagem mecânica, no caso, reciclagem secundária com o polímero reprocessado por extrusão [25].....	9
Figura 5 Mecanismo de absorção de impacto do HIPS devido ao microfissuramento.....	13
Figura 6 Resumo de algumas propriedades de HIPS em função de algumas características.....	14
Figura 7 Variação do módulo elástico e da resistência ao impacto Izod de HIPS em função do teor de PB.....	15
Figura 8 Alguns dos disquetes utilizados nos experimentos.....	17
Figura 9 Fluxograma esquemático do procedimento de reciclagem empregado.....	18
Figura 10 Disquetes após a primeira etapa de moagem.....	19
Figura 11 Corpo de prova do tipo 'gravata' usado na medição das propriedades mecânicas sob tração das amostras.....	21
Figura 12 Corpos de prova utilizados nos ensaios de impacto.....	21
Figura 13 Disquete antes da desmontagem (1); tecido não tecido, TNT (2); carcaça polimérica (3); filme polimérico interno (4); haste metálica (5); proteção metálica (6); componente polimérico do disco (7) e componente metálico do disco (8).....	21
Figura 14 Densidade dos componentes do disquete.....	25
Figura 15 Curva de DSC da carcaça polimérica.....	26
Figura 16 Curva de DSC do tecido não tecido.....	27

Figura 17 Representação esquemática das cadeias de SEBS [32].....	27
Figura 18 Medidas de dureza Shore D de diversas amostras processadas a partir dos métodos avaliados para a reciclagem dos disquetes.....	28
Figura 19 Resultados do ensaio de tração das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.....	30
Figura 20 Curva tensão x deformação de uma das amostras processadas a partir da fração moída, sem a adição de SEBS.....	30
Figura 21 Curva da tensão x deformação de uma das amostras processadas a partir da fração moída, sem a adição de SEBS.....	31
Figura 22 Resultados do módulo elástico obtido através do ensaio de tração das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.....	32
Figura 23 Resultados da máxima deformação das amostras com e sem a adição de SEBS.....	32
Figura 24: Resultados do ensaio de impacto das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Proporção em massa dos componentes internos e externos dos disquetes.....	24
Tabela 2 Absorção de água e teor de vazios das amostras.....	29
Tabela 3 Resumo das propriedades estudadas das amostras processadas neste trabalho.....	33

1. INTRODUÇÃO

Foi sentindo de forma cada vez mais intensa as conseqüências das alterações climáticas, causadas principalmente pelo desenvolvimento não sustentável que vem ocorrendo desde a revolução industrial, e encarando de forma cada vez espantada as toneladas de lixo, resíduo e sucatas geradas por esse crescimento irresponsável, que os temas reciclagem e tratamento de resíduos passou a ser encarado com mais seriedade, tomando as atenções não só de pesquisadores, empresários e líderes mundiais, mas também da população e da sociedade humana em geral.

O método clássico de apenas tratar o lixo, que ignora o fato da Natureza não ser fonte inesgotável de recursos energéticos e naturais, vem sendo gradualmente substituído por modelos de gestão e tratamento de resíduos. O grande diferencial desses modelos modernos é não focar apenas na disposição adequada dos produtos e subprodutos, tanto os convencionais quanto os perigosos, mas criar uma intrincada rede de ações, que reavaliam comportamentos de diversos setores da sociedade, desde aquele que produz até aquele que consome. Sob esse ponto de vista, as prioridades em relação aos resíduos devem ser: [1].

- Evitar ou diminuir a produção;
- Reciclar ou reutilizar;
- Inertizar e dispor.

Dessa forma, a quantidade de resíduos a serem reaproveitados e consumidos será cada vez maior, enquanto que a quantidade de resíduos dispostos e novos produtos manufaturados será menor.

Sob a ótica dessas ações, muito se tem discutido sobre o que deve ser feito em relação às tecnologias obsoletas, principalmente as placas de circuito impresso [2,3], porém pouco se tem falado em relação aos disquetes de computadores, muito utilizados décadas atrás, porém substituídos e praticamente esquecidos.

Por se tratar de uma tecnologia antiga e já substituída, o primeiro passo para o tratamento dessa sucata, i.e. evitar ou diminuir a produção, já foi tomado, mesmo que de forma indireta.

A reutilização têm se mostrado até agora a alternativa mais popular para os disquetes. A empresa americana GreenDisk® se preocupa em coletar disquetes não vendidos de empresas de software, os discos têm seu conteúdo apagado magneticamente, são formatados, etiquetados, embalados e vendidos a preços razoavelmente competitivos [4]. Além disso, diversas formas criativas de reutilizar o produto foram criadas por pessoas ao redor do mundo, a partir de disquetes, podem ser feitas desde bolsas até bloco de notas [5].

No entanto, a reciclagem tem se mostrado um tanto obscura, sendo pobremente abordada, e quando de fato o assunto entra em pauta, os disquetes são simplesmente considerados mais um exemplo de resíduo eletrônico urbano.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem como finalidade o desenvolvimento de uma rota de reciclagem específica para os disquetes de 3½ polegadas pós-consumo. Métodos de reciclagem mecânica usados tradicionalmente na reciclagem de resíduos plásticos foram empregados. De forma a avaliar o material reciclado, fez-se um estudo comparativo das propriedades desse produto com diferentes variações de composição e forma de preparação de amostras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Histórico dos Disquetes*

Aproximadamente no início da década de 70 os primeiros disquetes entraram no mercado, eles eram compostos por um fino e flexível (“floppy”, por isso os disquetes são chamados em inglês de *floppy disks*) disco de armazenamento magnético protegido por uma casca retangular polimérica de 8 polegadas, que eram utilizados nos primeiros computadores por pequenas empresas. No entanto esses disquetes eram caros, muitas vezes custando mais que o próprio computador. Apesar desse revés, os disquetes encontraram seu lugar no mercado, sendo lançados diversos modelos, alguns com capacidade de armazenamento superior. [6]

Já na metade da mesma década, os disquetes de 8 polegadas começaram a entrar em declínio, pois o seu formato começou a ser considerado grande demais para os computadores então produzidos. A solução encontrada pelos fabricantes para esse problema foi a criação dos disquetes de 5¹/₄ polegadas que, além de possuir tamanho reduzido (eles possuíam cerca de 70% do tamanho dos seus predecessores), eram mais baratos e possuíam uma maior capacidade de armazenamento. Da mesma forma que os disquetes de 8 polegadas foram evoluindo, o mesmo ocorreu com os de 5¹/₄ com o surgimento de modelos melhores e mais eficientes. É importante salientar que os leitores de disquetes dessa época só eram capazes de ler um dos lados do disco. [7]

Esses dois formatos de discos fizeram sucesso na sua época principalmente pelo fato dos primeiros computadores não possuírem disco rígido, obrigando o sistema operacional ser iniciado por um disquete, que era removido e substituído por outros contendo aplicativos.

No início dos anos 80, as limitações do formato 5¹/₄ começaram a aparecer. Originalmente produzidos para serem menores que o formato de 8 polegadas, os próprios discos de 5¹/₄ polegadas já eram considerados grandes demais, e como a qualidade das mídias de gravação aumentava, a mesma quantidade de dados

poderia ser armazenada em superfícies menores. Diversas alternativas para esse problema foram idealizadas, disquetes de 2,21/2, 3, 31/2 polegadas, todos eles contendo vantagens sobre os modelos de 51/4 polegadas, além do tamanho reduzido eles possuíam uma capa protetora mais rígida e uma guia metálica que protegia a gravação. Embora os discos de 3 polegadas conseguirem encontrar um nicho de mercado, como alguns videogames, o modelo de 31/2 (com 60% do volume dos disquetes de 51/4 polegadas) foi o que obteve mais sucesso por ter uma construção mais simples. [6,7]

O final da década de 80 marcou o fim dos discos de 51/4 polegadas, apesar dos modelos antigos ainda estarem disponíveis para aqueles que possuíam computadores antigos, o surgimento de computadores pessoais com Windows 95 e com apenas leitores de discos de 31/2 polegadas fez com que esses novos modelos começassem a dominar o mercado.



Figura 1: Disquetes de 8, 51/4 e 31/2 polegadas.

A maior vantagem desses novos modelos foi a cobertura metálica móvel que protegia o disco de danos físicos enquanto estivesse sendo manejado fora de seu leitor. Quando o disco era inserido no leitor, um mecanismo movia a proteção metálica e permitindo o acesso aos dados. A adição desse mecanismo resultou em uma leve alteração da antiga forma quadrangular dos disquetes, e o formato irregular agora utilizado impedia que o disco fosse inserido acidentalmente de forma errada no leitor. No entanto esse mecanismo não era livre de problemas, a proteção

metálica podia ser facilmente dobrada e retirada do disquete, o que eliminaria toda a proteção. [8]

O auge dos disquetes de 3 1/2 ocorreu no final da década de 80 e na década de 90. Em poucos anos após sua inserção no mercado, eles se tornam um produto quase onipresente. Pouquíssimos escritórios e empresas não utilizavam essa mídia, e a proliferação dos computadores pessoais ampliaram ainda mais o consumo. Em 1991 a produção mundial de disquetes atingiu 3 bilhões de unidades. [9]

O declínio do disco de 3 1/2 polegadas começou com a popularização dos CDs, que possuíam uma capacidade de armazenamento, já no fim da década de 90 e com o advento dos pen drives, alguns anos mais tarde. Mesmo tornando-se obsoleto, os disquetes continuam sendo produzidos, a demanda pelo produto atingiu 12 milhões de unidades no Japão e apenas em julho de 2009 a Sony anunciou o fim da produção de leitores de disquetes. Recentemente a própria Sony anunciou o fim da produção de disquetes no Japão em março de 2011[10,11].

3.2 Reciclagem de Plásticos

A reciclagem de materiais poliméricos não se atém a apenas uma modalidade, muito pelo contrário, são tão variadas e distintas que um mesmo polímero pode ser reciclado de diferentes formas, dependendo do que se deseja obter com sua reciclagem e de outros fatores relacionados, como custo, disponibilidade e limpeza do resíduo [1,12,13].

Abaixo, descreve-se de forma resumida e simplificada os principais tipos de reciclagem de polímeros.

3.2.1 Reciclagem Química

A reciclagem química envolve a despolimerização controlada do polímero, com o objetivo de obter um produto de valor agregado maior que a energia contida

no polímero (obtida via reciclagem energética), e possibilitando o retorno às matérias-primas originais.

Para que esse processo seja rentável, é imprescindível a separação dos polímeros dos outros resíduos. Existem casos ainda que seja necessária a separação dos plásticos entre si (por exemplo, a solvólise, que é abordada posteriormente). Outros fatores relevantes para a rentabilidade do processo são a limpeza e a umidade do resíduo.[1]

A reciclagem química se divide em duas: *termólise* e *solvólise*. Na *termólise*, também conhecida como Reciclagem Termoquímica, a estrutura química dos polímeros é destruída por meio de calor. Em alguns casos, são adicionados O_2 e H_2 ao processo. São três os processos básicos de termólise: [1,12]

- *Pirólise*: Ocorre a degradação do polímero em fornos à vácuo sob temperaturas controladas (entre $400^\circ C$ e $800^\circ C$) e sem catalisadores.
- *Gaseificação*: Feita normalmente com o líquido da pirólise, com temperatura controlada de $900^\circ C$ e com adição de O_2 . Transforma o líquido em um gás sintético à base de CO e H_2 , utilizados em processos químicos e combustíveis.
- *Hidrogenação*: A partir do resíduo plástico liquefeito, faz-se o craqueamento das cadeias poliméricas pela adição de H_2 . O resultado disso é um produto líquido, como a gasolina e o óleo diesel.

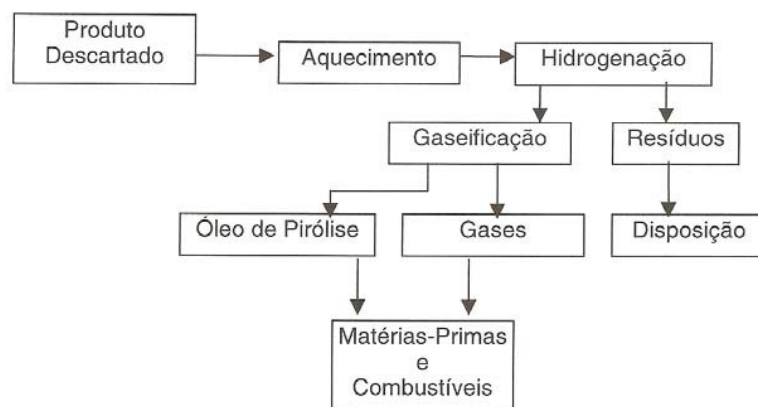


Figura 2: Fluxograma esquemático da reciclagem química.[14]

Na *solvólise*, a despolimerização é feita através do uso de um solvente. Também é empregado calor, porém a níveis apenas um pouco acima da temperatura de fusão do polímero. Esse processo é viável em polímeros advindos da polimerização em etapas ou de condensação, pois estes são sensíveis a clivagem da cadeia principal. A solvólise ainda pode receber o nome do solvente que está sendo empregado: metanólise para metanol, hidrólise para água, glicólise para glicóis, entre outros. [1,13]

3.2.2 Reciclagem Energética

Nesse tipo de reciclagem, busca-se a combustão completa do plástico a ser incinerado e com isso, recuperar a energia contida nesse material. Ela se distingue da simples incineração por utilizar os resíduos como combustíveis na geração de energia elétrica, enquanto que a incineração não aproveita a energia dos materiais.

A combustão é feita com excesso de oxigênio, de forma a levar a reação para uma combustão completa, produzindo dióxido de carbono, água e energia. Tal energia produzida normalmente é utilizada para alimentar o próprio processo, e o excedente é armazenado, distribuído e vendido. [1,13]

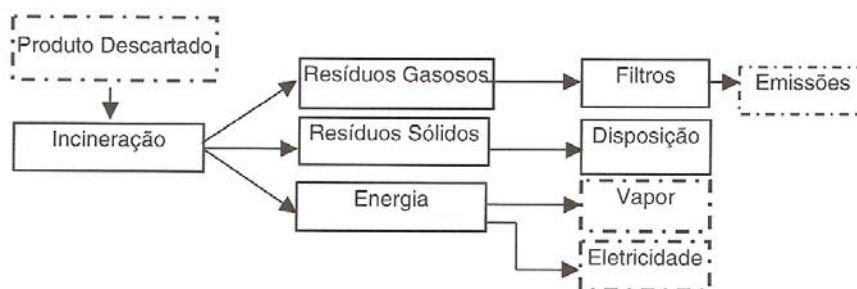


Figura 3: Fluxograma esquemático da reciclagem energética.[14]

A grande vantagem desse processo é o fato de que todos os polímeros poderiam estar misturados, não necessitando uma etapa de separação. Ainda, a

capacidade calorífica dos plásticos derivados de petróleo é relativamente alta, um quilo de polietileno pode gerar 12 kWh, semelhante ao óleo diesel.[1]

No entanto, a combustão não seria 100% completa, o que acarretaria na produção de subprodutos gasosos poluentes e particulados. O tratamento desses subprodutos representa um custo adicional e outro obstáculo para a reciclagem energética. Filtros de mangas e/ou precipitadores eletrostáticos serão suficientes para a questão dos particulados, porém as emissões gasosas necessitariam de uma abordagem mais refinada, pois diferentes tipos gases (NO_x, SO₂, ácidos, CO, hidrocarbonetos, dioxinas e furanos, entre outros) requerem diferentes tipos de tratamento. [1,12,13]

3.2.3 Reciclagem Mecânica

Esse é o método no qual o polímero passa por etapas onde o produto ou o resíduo é reduzido à forma de grânulos ou flocos, que podem então ser reprocessados, havendo ou não aditivação. [12]

Tal método é o mais empregado e o que mais se desenvolveu nos últimos tempos, devido à capacidade de produzir grandes quantidades de polímero reciclado e à semelhança com os processos de produção empregados na indústria de plásticos.

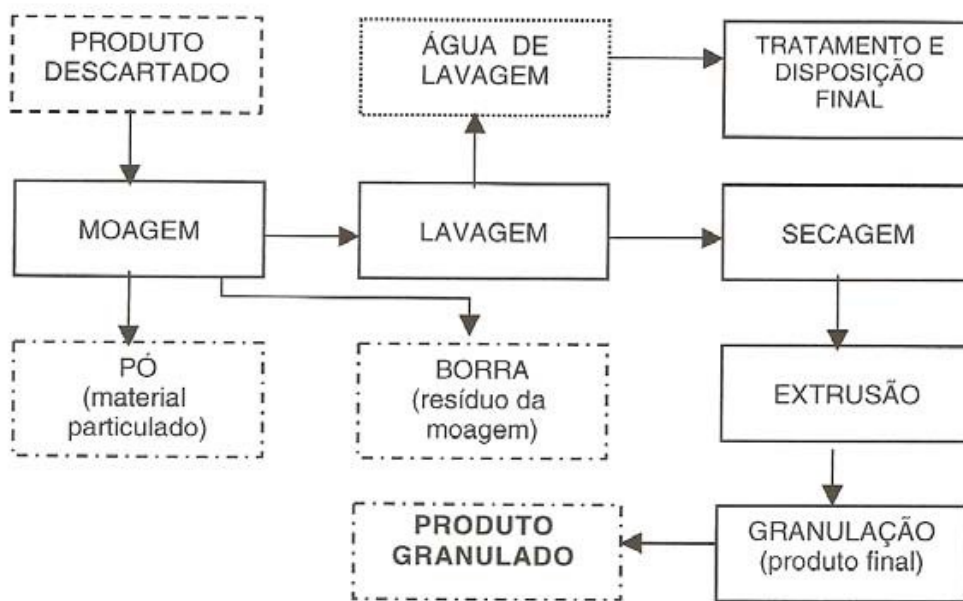


Figura 4: Fluxograma esquemático de um tipo de reciclagem mecânica (reciclagem secundária).[14]

A reciclagem mecânica pode ser subdividida em duas: *reciclagem primária* e *secundária*. Na primeira, a matéria-prima é obtida através de uma fonte confiável e limpa, como no caso de resíduos da indústria plástica. Por outro lado, quando a matéria-prima é composta por resíduos sólidos urbanos, o processo é denominado reciclagem secundária. Em ambos os casos, a reciclagem se dá através de uma seqüência de etapas semelhantes: seleção dos resíduos, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento. [1]

3.2.3.1 Seleção de resíduos

Para que a reciclagem mecânica tenha um bom resultado, a etapa de separação é imprescindível. A presença de macro-contaminantes, como vidro, papel, metal e até mesmo outros tipos de polímeros, pode alterar as propriedades do produto.

Por possuir uma mão-de-obra barata e em função da maioria das empresas de reciclagem do Brasil ser de pequeno porte, a separação é feita principalmente de

forma manual, seja ela pela identificação dos códigos contidos no produto acabado (ABNT 13233) ou por testes simples, como densidade, flexibilidade, temperatura de fusão, características de queima, entre outros.[1]

No entanto, existem também métodos de reciclagem automatizados, especialmente interessante para países onde a mão-de-obra não é farta. Nesses casos, podem ser empregados métodos de fluorescência de raios x ou ainda espectroscopia Raman.[12]

Atualmente, muitas outras formas de separação de resíduos poliméricos têm sido estudadas, como a separação por leito fluidizado [15] flotação [16-19] e a separação eletroestática.[20-23]

3.2.3.2 Moagem

Após a seleção, o material a ser reciclado deve passar por uma etapa de redução de tamanho, em que normalmente se empregam moinhos. O material moído deve ter tamanho e formato adequado para as etapas subseqüentes do processo. Na indústria de reciclagem de plásticos, esse tamanho adequado é de cerca de 1cm. [1]

Há vários modelos de moinhos, de bolas, de martelos, de facas, entre outros, mas na indústria de reciclagem, esse último é o mais usado. O equipamento consiste de um compartimento de facas fixas e outras móveis-giratórias. Abaixo desse sistema, há uma tela metálica, que serve de peneira, os flocos menores a atravessam, enquanto que os maiores são retidos e novamente moídos. [12]

Essa etapa é fundamental, porém de elevado consumo de energia. Além disso, são necessárias paradas no processo, de forma a trocar as facas, que gastam o gume com o tempo de uso.

3.2.3.3 Lavagem

O objetivo da lavagem é separar os polímeros de outras impurezas que tenham se aderido a ele, como areia, papel, terra e matéria orgânica. Alguns são solúveis em água, outros mais pesados e alguns são ainda mais leves, neste caso, a lavagem serve como uma etapa de separação por densidade. No fim dessa etapa, o material a ser reciclado deve estar livre de impurezas.

Na reciclagem de resíduos industriais (*reciclagem primária*), a lavagem é dispensável. Já na reciclagem de resíduos sólidos urbanos (*reciclagem secundária*), a realidade é outra. Neste caso, utilizam-se diversas técnicas de lavagem, como agitação, produtos químicos e temperatura maior que a ambiente. [1,12]

O uso de agentes químicos, como detergentes ou soluções aquosas de hidróxido de sódio, são normalmente empregadas quando há excesso de matéria orgânica, onde somente água não é suficiente para atingir um grau de limpeza satisfatório. A água atua mais como meio de arraste de impurezas, sendo assim é pouco afetada pela temperatura, que é empregada em processos com o uso de agentes químicos, pois acelera as reações químicas e físico-químicas. [1,12]

3.2.3.4 Secagem

A secagem do material é importante por vários motivos. O primeiro deles é que a água que ficou aderida ao polímero após a etapa de lavagem deve ser retirada, pois caso contrário pode ser responsável pelo ataque corrosivo aos equipamentos metálicos e pode acarretar na formação de bolhas no produto após o processamento. [12]

O segundo motivo é que polímeros como poliésteres e poliamidas podem sofrer degradação hidrolítica (quebra das cadeias poliméricas por ação da água), e neste caso, um resíduo de detergente pode atuar como catalisador da hidrólise.

A temperatura de secagem varia conforme o polímero. Devido à possibilidade de degradação hidrolítica e ao alto ponto de fusão, a temperatura de secagem para poliésteres e poliamidas são superiores a 100°C. Outros resíduos plásticos urbanos (PE, PP, PS e PVC, por exemplo) necessitam de temperaturas de secagem bem menores, algo em torno de 45°C. [1]

3.2.3.5 Reprocessamento

De modo geral, todos os métodos convencionais de processamento de polímeros podem ser adaptados para a indústria de reciclagem. No entanto, existem alguns pontos a serem considerados. [12]

A extrusão pode ser considerada como a forma de processamento mais importante para a reciclagem, pois a partir dela é possível manufaturar novos produtos, bem como grânulos de material reciclado.

Injeção e termoformagem não são convenientes, pois os produtos finais não apresentam homogeneidade adequada.

Rotomoldagem, calandragem e moldagem por compressão térmica também são processos utilizados na indústria de reciclagem de polímeros. [1]

3.3 *Características do Poliestireno de Alto Impacto*

O incremento de uma segunda fase elastomérica em uma matriz vítrea de um polímero tem como objetivo o aumento de sua resistência ao impacto. O poliestireno (PS) à temperatura ambiente é um polímero vítreo e apresenta baixa absorção de energia sob impacto devido à falta de mobilidade de suas cadeias, visto que a sua T_g ocorre entre 90 e 100°C, quando ocorrerem movimentos de segmentos de cadeia responsáveis pela dissipação de energia. A adição de borracha ao estireno leva à obtenção de uma mistura polimérica com domínios de fase borrachosa dispersos em uma matriz contínua de PS, que é um material com propriedades mecânicas sob impacto superiores ao PS, o Poliestireno de Alto Impacto (HIPS). [24,25]

3.3.1 Mecanismos de tenacificação do HIPS

O microfissuramento é o principal responsável pela absorção e dissipação de energia de impacto no HIPS. A figura 5 mostra esquematicamente o que acontece quando o HIPS é submetido a uma energia de impacto. [25]

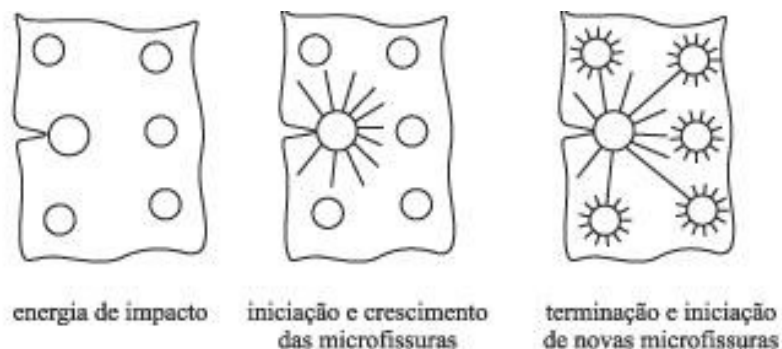


Figura 5: Mecanismo de absorção de impacto do HIPS devido ao microfissuramento.[25]

As partículas de borracha absorvem a energia de impacto porque podem ser iniciadores ou nucleadores de microfissuras e por agirem como terminadores de microfissuras, evitando a transformação rápida das microfissuras em fratura.[25,26]

Quando o HIPS é submetido a uma energia de impacto, parte dessa energia é dissipada pela borracha sob a forma de calor, pela vibração térmica de seus átomos e pelos movimentos de relaxação de segmentos da macromolécula. A energia restante é dissipada na formação de diversas microfissuras na interface da matriz de PS com a borracha. Essas microfissuras irão propagar-se até encontrar uma nova partícula de borracha na qual a energia irá novamente ser dissipada sob forma de calor e novas microfissuras poderão ser nucleadas, num processo de redistribuição da energia de impacto. [24-26]

3.3.2 Propriedades do HIPS

Certas aplicações do HIPS requerem propriedades superiores às aquelas apresentadas pelo PS convencional, como maior resistência ao impacto e melhor ductilidade. Um balanço da resistência ao escoamento e da resistência térmica é necessário, sem que haja a perda do brilho do material. A figura 6 mostra um quadro com a variação de diversas propriedades e função de algumas características do HIPS.[24, 25]

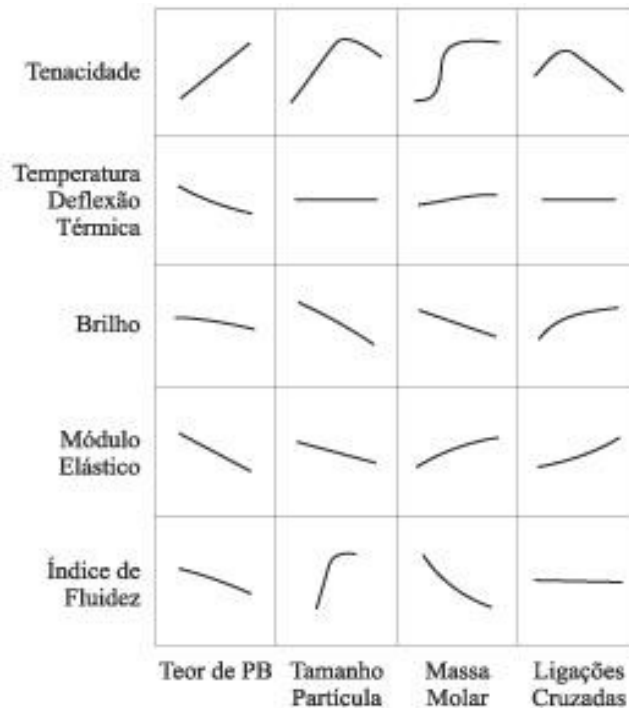


Figura 6: Resumo de algumas propriedades de HIPS em função de algumas características.

[25]

As propriedades requeridas para o HIPS, principalmente a resistência ao impacto, são dependentes de fatores como teor e tipo de borracha, tamanho e morfologia das partículas de borracha, volume da fase tenacificadora, grau de ligações cruzadas, massa molecular e distribuição de massas molares da fase PS, comportamento viscoelástico da borracha e grau de adesão entre borracha e matriz. Como as variáveis que afetam as propriedades não são independentes, a otimização de uma propriedade pode ser obtida em detrimento de outra. Um exemplo disso está mostrado na Figura 7, em que a variação da resistência ao impacto aumenta com o aumento do teor de polibutadieno, enquanto que o módulo elástico diminui. [24,25]

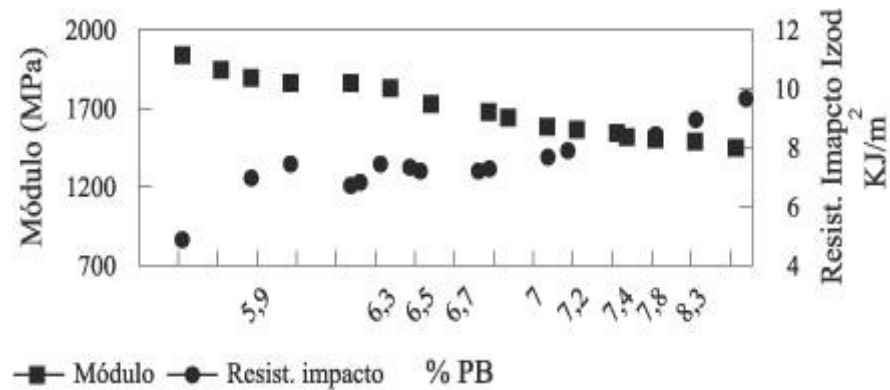


Figura 7: Variação do módulo elástico e da resistência ao impacto Izod de HIPS em função do teor de PB.[25]

3.4 Alguns conceitos de reforço de polímeros

Muitos polímeros, para muitos casos e aplicações, não seriam capazes por si só de suportar os esforços de serviço, resistir ao ambiente exposto ou simplesmente não apresentariam características adequadas para que pudessem ser processados. De modo a solucionar esse tipo de problema, acrescentam-se aditivos e/ou reforços ao material polimérico. [27-29]

3.4.1 Reforço por fibras

O reforço mais utilizado para polímeros, tanto termorrígidos quanto termoplásticos, são fibras ou filamentos, sendo usadas de apenas um tipo ou misturas.

Materiais fibrosos atuam como reforço à matriz através da transferência da tensão, esta devido a uma carga aplicada, de uma matriz fraca até a fibra. Apesar de existirem materiais metálicos e cerâmicos reforçados por fibras, os polímeros são os materiais mais versáteis para o uso como matrizes. [27]

A transferência de tensão através da interface fibra/matriz pode ser melhorada através do uso de ligantes ou agentes de acoplamento. O diâmetro das fibras também tem um importante papel na maximização da transferência de tensão.

Diâmetros menores fornecem uma maior área de interface por unidade de massa de reforço, por isso fibras mais finas tendem a apresentar uma melhor transferência de tensão.[29]

Os conceitos de dispersão, distribuição e orientação tridimensional das fibras têm um papel de extrema importância na resposta mecânica do polímero reforçado. Um reforço bem disperso (ou seja, as fibras não estão aglomeradas), bem distribuído (qualquer ponto do material possuirá a mesma quantidade de reforço) e com adequada orientação espacial (o reforço não está apenas sob a forma de mantas, reforçado apenas duas dimensões, mas bem disperso e distribuído nas três regiões do espaço) apresentará propriedades isotrópicas e terá uma maior confiabilidade. [27,29]

3.4.2 Agentes de acoplamento

De modo a otimizar a adesão entre matriz e reforço e dessa forma melhorar a transferência de tensão, fazendo com que o material tenha uma melhor resposta mecânica, utilizam-se os agentes de acoplamento. Tais compostos nada mais são do que moléculas que possuem duas funções, uma apta a reagir com as cadeias do reforço, e outro capaz de reagir com as cadeias da matriz.[29,30]

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente, foram coletados cerca de 3 quilogramas de disquetes de 3 1/2 polegadas de diversas marcas (dentre as quais se destacam Maxell, EMTEC, Multilaser, Helios Carbex, Nipponic e StarLife) e cores (preto, cinza, creme, azul, laranja e verde).



Figura 8: Alguns dos disquetes utilizados nos experimentos.

Do total coletado, oriundos de doações, alguns foram selecionados para a etapa de identificação e caracterização dos componentes, enquanto o restante foi utilizado no desenvolvimento da rota de reciclagem. Vale salientar que essa separação seguiu o método de quarteamento, de modo a se obter uma amostra representativa.

4.1 *Separação e identificação dos componentes*

Com o auxílio de ferramentas, os disquetes foram abertos manualmente e cada um dos seus componentes externos e internos foram devidamente identificados, suas massas quantificadas em uma balança analítica (Precisa XT 220A) e suas densidades determinadas.

A densidade foi analisada de acordo com a norma ABNT NBR 11936:1977 – Determinação do peso específico de plásticos com o uso de um picnômetro.

Os resultados das análises anteriores mostraram que a carcaça polimérica, que protege os disquetes contra choques externos, é o componente mais interessante a ser reciclado. Em função disso, de modo a separá-lo dos outros componentes, estudou-se duas alternativas: separação manual e separação por densidade.

O método de separação por densidades é mostrado na Figura 9.

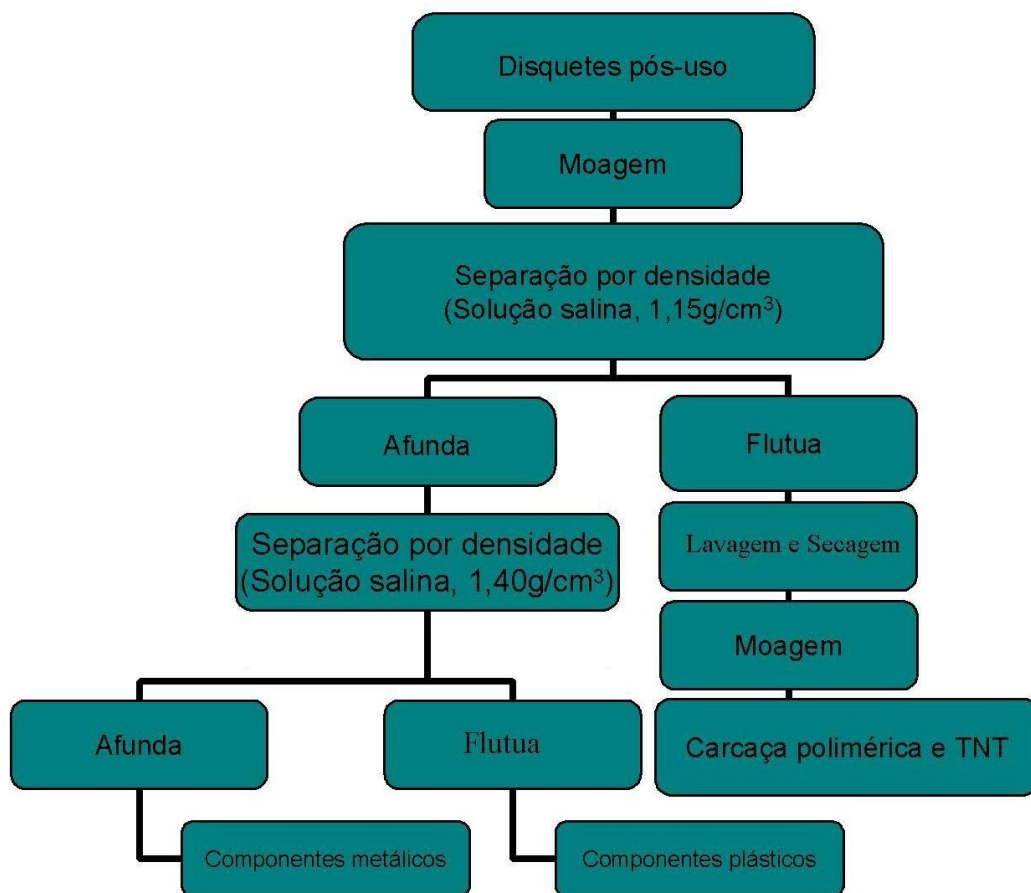


Figura 9: Fluxograma esquemático do procedimento da separação dos componentes por diferença de densidades.

A moagem foi feita em um moinho de martelos (Moinhos Tigre 4R). O produto resultante dessa moagem (que é mostrado na figura 10).



Figura 10: Imagem dos disquetes após a moagem.

Em seguida, esse material moído foi submetido a uma solução com densidade $1,15\text{g/cm}^3$, preparada com água e cloreto de sódio (Nuclear – 0995). A fração que afundou nessa solução foi então lavada em água, de modo a retirar poeiras e sujidades, e posteriormente seca em uma estufa a 45°C . O material seco, composto por carcaça polimérica e tecido-não-tecido (TNT) foi moído em um moinho de facas (Retsch SM2000) e então processado, o que será melhor explicado abaixo.

A fração com densidade superior a $1,15\text{g/cm}^3$ foi submetida a uma segunda separação por densidade, mas desta vez a solução possuía uma densidade de $1,40\text{g/cm}^3$ e era composta por água e cloreto de cálcio (Synth – C1060.01.AH). A fração que afundou era composta completamente por materiais metálicos, enquanto a que flutuou, por materiais poliméricos.

Paralelamente a todo esse método, estudou-se a separação manual, na qual os disquetes foram abertos da mesma forma empregada na etapa de identificação. Neste método se conseguiu separar cada um dos componentes individualmente, o que levou ao reprocessamento de apenas a carcaça polimérica. No entanto, como caráter comparativo à separação por densidade, processou-se também a carcaça polimérica em conjunto com o TNT, este último adicionado manualmente.

Os componentes poliméricos da carcaça polimérica e do tecido, por se mostrarem os componentes mais relevantes para a reciclagem, foram analisados por calorimetria exploratória diferencial (DSC) em atmosfera inerte com uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

Por fim, avaliou-se ainda a influência de um agente de acoplamento nas propriedades do material reciclado. O composto escolhido foi o SEBS (copolímero de estireno-etileno/butileno-estireno).

4.2 Processamento

O processamento foi feito através de moldagem por compressão térmica (prensa hidráulica Carver 3912) em uma temperatura de 200°C com tempo de residência de 4 minutos, seguidos por uma pressão aplicada de 3 toneladas durante 1 minuto. As placas produzidas tiveram a dureza, resistência mecânica sob tração, resistência ao impacto, absorção de água e teor de vazios analisados.

4.2.1 Dureza

As medidas de dureza foram feitas usando o método Shore D, com um equipamento Marca Woltest Sd 300, shore “D” – Mainard “D” G58093. As medidas foram realizadas em dez pontos equidistantes em um corpo de prova de dimensões 6cm x 1,5cm x 0,3cm.

4.2.2 Ensaio de tração

Os ensaios foram realizados a uma taxa de deslocamento de 10mm/min em corpos de prova (Figura 11) com dimensões 6cm x 0,4cm x 0,2cm utilizando uma máquina de ensaio Shimadzu AG 50, de acordo com a norma ASTM D 638-01.



Figura 11: Corpo de prova do tipo 'gravata' usado para ensaio de tração.

4.2.3 Resistência ao impacto

Os ensaios de impacto Izod foram realizados de acordo com a ASTM D 256-04 em corpos de prova entalhados (Figura 12) com dimensões 6,4cm x 1,3cm x 0,2cm em um equipamento Marca Ceast, modelo Impactor II com pêndulo de 2,5J.



Figura 12: Amostras dos corpos de prova de algumas formulações testadas no ensaio de impacto.

4.2.4 Absorção de água

De modo a fazer a medição de absorção de água, corpos de prova retangulares com dimensões 7,5cm x 2,5 cm x 0,3 cm foram secos em uma estufa à temperatura de 60°C durante 24h, etapa seguida por uma medição da massa das amostras (massa seca) em uma balança analítica. As amostras foram então imersas em água destilada durante 24h. Após esse período de imersão, as amostras tiveram o excesso de água retirado com o auxílio de panos e papéis absorventes e tiveram novamente sua massa quantificada (massa úmida).

A medida de absorção de água é dada pela equação 1:

$$ABS \text{ ÁGUA } (\%) = \frac{(Massa \text{ úmida} - Massa \text{ Seca})}{Massa \text{ Seca}} \quad (Eq. 1)$$

4.2.5 Teor de vazios

A determinação do teor de vazios dos polímeros reforçados foi determinada de acordo com a ASTM D 2734 - 94. As amostras tiveram suas densidades

determinadas e em seguida, comparada com a densidade teórica do polímero, que considera um material sem vazios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Separação e identificação de componentes

A abertura dos disquetes revelou a existência de 7 componentes distintos (Figura 13):

- Carcaça polimérica;
- Tecido não tecido (TNT);
- Componente metálico do disco;
- Componente polimérica do disco;
- Haste metálica;
- Proteção metálica;
- Filme polimérico interno.



Figura 13: Disquete antes da desmontagem (1); tecido-não-tecido, TNT; (2); carcaça polimérica (3); filme polimérico interno (4); haste metálica (5); proteção metálica (6); componente polimérico do disco (7) e componente metálico do disco (8).

A carcaça polimérica tem como principal função a proteção do disco durante o manuseio e o transporte. Essa carcaça apresenta uma região de abertura, onde o disco não é envolto por ela, pois é nessa região que é feita a leitura do disco. A proteção dessa região é feita pela proteção metálica. Ao ser inserido no leitor, este move a proteção metálica, o que expõe ao disco e torna possível a leitura dos dados. A haste metálica, sob a forma de uma pequena mola, é responsável pelo retorno da proteção metálica à posição original.

O disco em si é composto por duas partes, uma polimérica e uma metálica. A primeira é onde estão armazenadas as informações. A transferência desses dados é feita através da rotação do disco e da leitura das diversas 'faixas', que na verdade são círculos concêntricos imperceptíveis a olho nu. A parte metálica é responsável por fixar o disquete enquanto ocorre o giro.

Tecido-não-tecido, (TNT) e filme polimérico interno têm como função evitar que o disco seja arranhado pela carcaça durante a rotação.

Na tabela 1 estão presentes as médias das proporções mássicas de cada uma das partes dos disquetes em relação à massa total desse equipamento.

Tabela 1: Proporção em massa dos componentes internos e externos dos disquetes.

Componente	% massa
Tecido-não-tecido, TNT	2,02
Carcaça polimérica	78,67
Filme polimérico	0,48
Haste Metálica	0,19
Proteção Metálica	6,77
Disco polimérico	3,18
Disco metálico	8,67

Analisando os resultados, nota-se que a fração mais representativa em massa é a carcaça polimérica, portanto em uma rota de reciclagem dos disquetes, esse componente deveria preferencialmente ter prioridade.

Uma vez definido que a carcaça polimérica teria sua reciclagem priorizada, buscaram-se alternativas para separá-la dos outros componentes. Dois métodos de separação foram avaliados: a separação manual e a separação por densidade.

Para que a separação por densidades pudesse ser realizada, foi necessário determinar o valor dessa propriedade de cada componente. Os resultados se encontram na Figura 14.

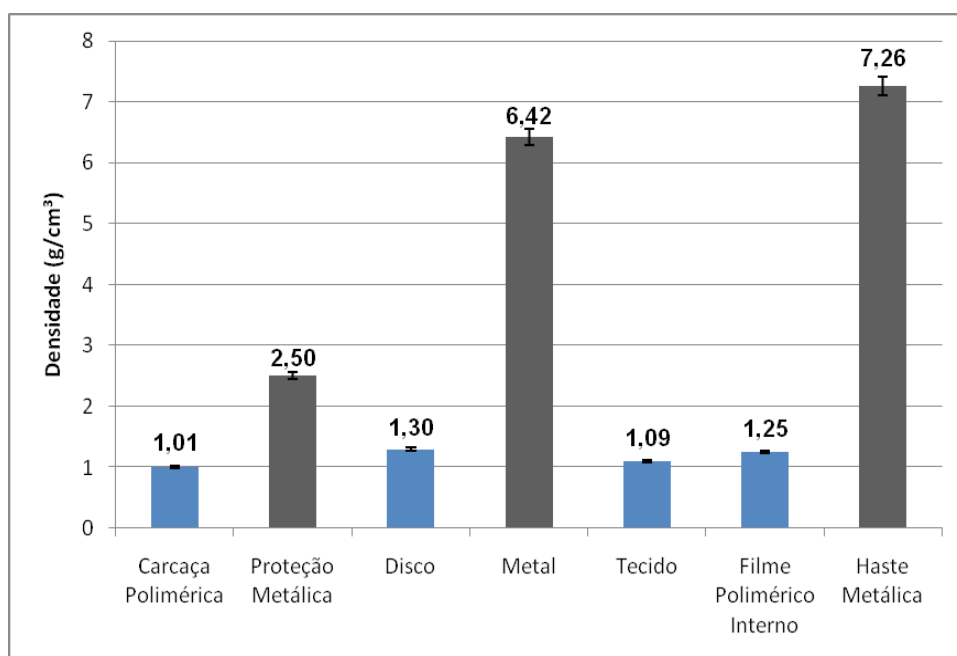


Figura 14: Densidade dos componentes do disquete.

Devido à proximidade de densidade entre a carcaça polimérica e o TNT, sua separação se mostrou extremamente difícil pelo método de densidade, em função disso, decidiu-se processar esses dois componentes conjuntamente, sendo as fibras do TNT um reforço à carcaça.

De forma contrária, a separação manual se mostrou bastante simples, sendo muito fácil separar cada um dos componentes. O processamento de placas compostas puramente pela carcaça polimérica ocorreu sem nenhuma

particularidade, porém algumas ressalvas devem ser feitas em relação ao processamento da carcaça reforçada manualmente pelo tecido. Enquanto que no processamento da fração moída, o tecido estava na forma de fibras (como pode ser visto na Figura 10), na adição manual o tecido estava sob a forma de mantas, e não de fibras. A proporção mássica de carcaça/TNT foi mantida em 98/2.

A análise por DSC da carcaça polimérica (Figura 15) apresentou uma transição de segunda ordem em torno de 100°C, o que corresponde ao estado de transição vítrea do polímero. Associando esse resultado ao valor de densidade encontrado, pode-se chegar à conclusão que a carcaça polimérica seja composta por HIPS.

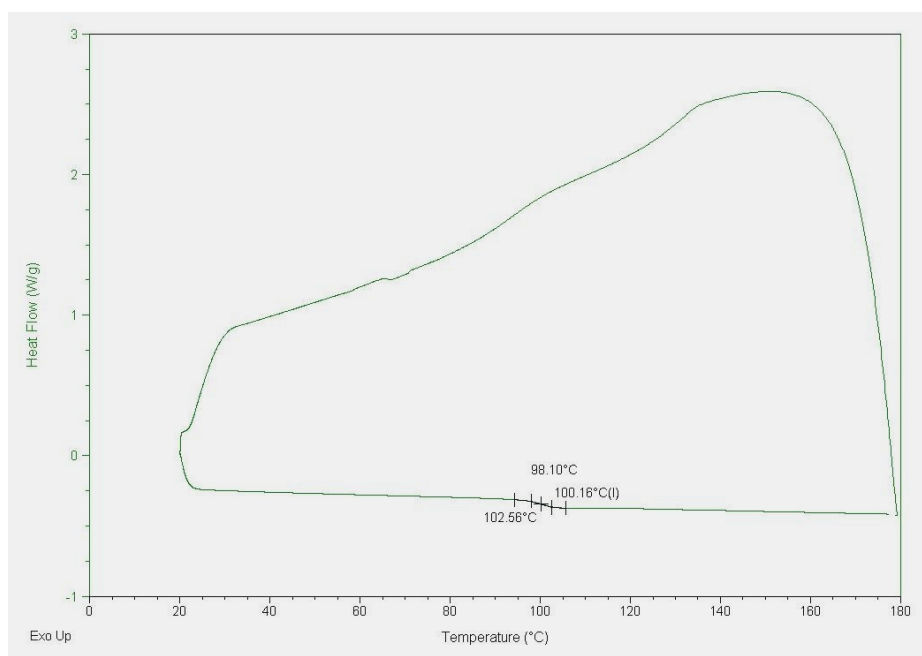


Figura 15: Curva de DSC da carcaça polimérica.

Por outro lado, o DSC do TNT não se mostrou tão conclusivo assim. Na Figura 16 podemos ver uma transição de segunda ordem em cerca de 70°C, juntamente com duas transições de primeira ordem, uma em 122°C e outra em 248°C. A transição de segunda ordem e a transição de primeira ordem em 248°C podem ser características da transição vítrea e fusão do PET, respectivamente. Mas se o tecido fosse composto por apenas fibras de PET, não observaríamos a presença de um pico endotérmico em 122°C. Muito provavelmente esse pico seja relativo a uma fusão de polietileno de baixa densidade linear, PEBDL, o que faria,

portanto, que o TNT seja composto por uma blenda polimérica de PET e PEBDL. [31]

Tendo em mãos as possíveis composições tanto da matriz como do reforço, escolheu-se um agente compatibilizante adequado. O aditivo escolhido foi o SEBS (copolímero de estireno-etileno/butileno- estireno). Na Figura 17 é possível visualizar a estrutura esquemática desse polímero. As regiões discretas de poliestireno são representadas como esferas dentro de uma fase contínua formada pelo entrelaçamento das porções etileno/butileno [31].

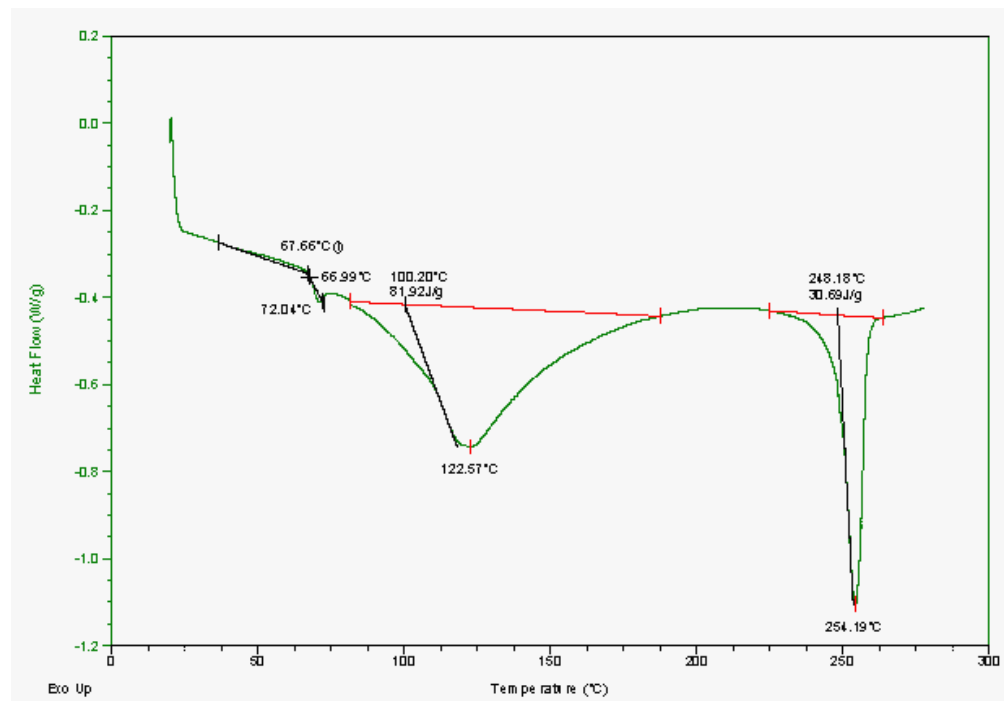


Figura 16: Curva de DSC do TNT.

Considerando o uso do SEBS como agente de acoplamento para a carcaça polimérica e TNT, as regiões de estireno/butileno teriam maior afinidade com a matriz de HIPS, enquanto quanto que as regiões etileno teriam maior afinidade com o reforço, o que aperfeiçoaria a adesão entre reforço e matriz.

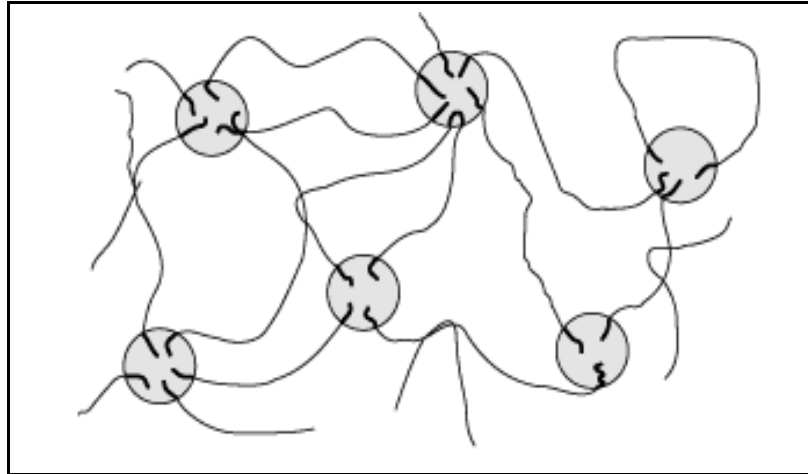


Figura 17: Representação esquemática das cadeias de SEBS. [32]

5.2 Propriedades das peças recicladas

5.2.1 Dureza

As medidas de dureza mostradas na Figura 18, não sofreram grandes alterações devido à adição de reforço e nem devido à adição do agente de acoplamento. Tal comportamento se deve principalmente ao fato da dureza ser uma característica medida superficialmente, e como tanto o reforço quanto agente de acoplamento não migraram para a superfície, não é de se esperar que influenciem essa propriedade.

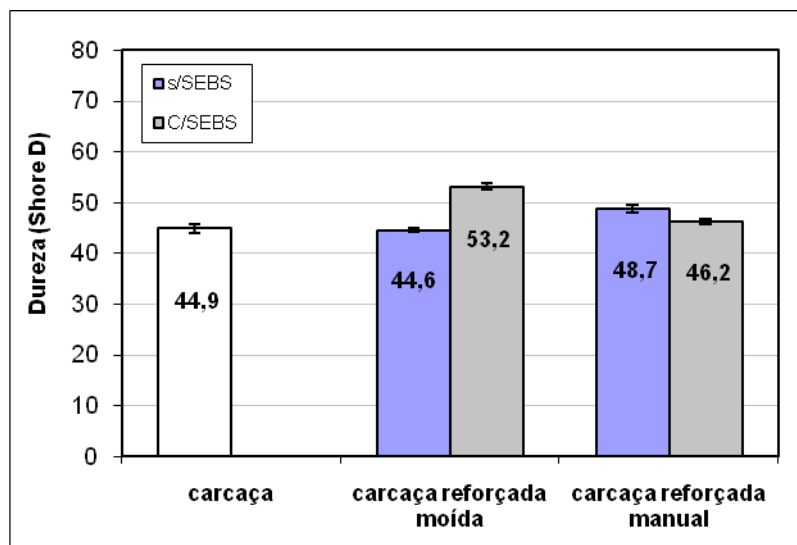


Figura 18: Medidas de dureza na escala Shore D de diversas formulações processadas a partir dos métodos avaliados para a reciclagem dos disquetes.

5.2.2 Teor de vazios e absorção de água

Essas propriedades estão relacionadas, uma vez que estão relacionadas com a quantidade de regiões não preenchidas dentro do material. O teor de vazios está relacionado com a adesão do reforço com a matriz. Um reforço com uma aderência pobre com a matriz fará com que existam vazios dentro do material, o que pode resultar em propriedades mecânicas insatisfatórias e que comprometem a performance do material no longo prazo.

Outros fatores que também influenciam no teor de vazios são a umidade, tamanho e forma do reforço e o tipo de processamento [33, 34], neste último, alguns processos possuem maior eficiência de mistura e homogeneização e alta pressão obrigando a um melhor encapsulamento da carga pela matriz polimérica, neste caso, o tipo de processamento usado foi moldagem por compressão térmica que embora possa ser regulada a pressão de prensagem, a mistura não é eficiente.

Tabela 2: Absorção de água e teor de vazios das amostras.

	Absorção de água (%)	Teor de vazios (%)

Carcaça Reforçada Moída	4,41 ± 0,04	1,78 ± 0,28
Carcaça Reforçada Moída c/ SEBS	2,9 ± 0,97	2,47 ± 0,57
Carcaça Reforçada Manual	1,03 ± 0,27	3,90 ± 0,42
Carcaça Reforçada Manual c/ SEBS	1,13 ± 0,02	2,89 ± 0,93

Tanto a absorção de água quanto o teor de vazios apresentaram valor relativamente baixos, mas se observou comportamentos diferentes nos sistemas avaliados. O reforço sob forma de mantas de fibras nas amostras preparadas manualmente possuíam uma menor área de contato entre reforço e matriz, o que impediu que, no seio do material, algumas regiões do reforço se aderissem à matriz. Em contra partida e pela mesma razão que diminuiu a exposição do reforço para a matriz, a forma de mantas fez com que menos área do reforço estivesse exposta à água, ocasionando uma menor absorção da mesma.

Um fenômeno análogo foi observado nas amostras processadas a partir da fração moída. Como o reforço estava sob a forma de fibras, existia uma maior área de contato entre reforço e matriz, o que causou um menor teor de vazios no seio do material, mas ocasionou uma maior absorção de água.

5.2.3 Ensaios de tração

Tanto o reforço quanto o agente compatibilizante tiveram efeitos bastante visíveis nas propriedades mecânicas sob tração do material.

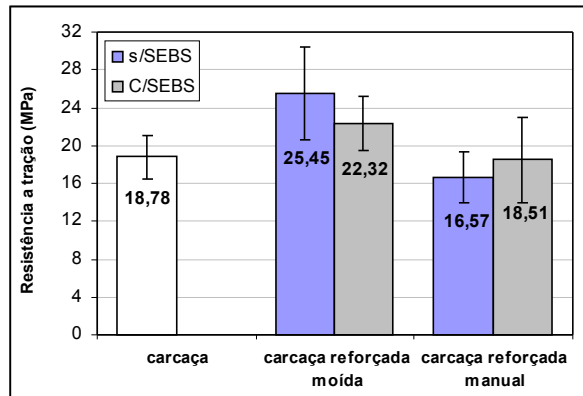


Figura 19: Resultados do ensaio de tração das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.

A adição do TNT como reforço, tanto nas amostras preparadas manualmente como nas amostras moídas, apresentaram um aumento na tensão de ruptura (Figura 19). Os valores de tensão de ruptura da carcaça reforçada manualmente apresentaram valores inferiores aos da carcaça e da carcaça reforçada pelo método de separação que empregava moagem em função de um maior teor de vazios desses compostos (Tabela 2).

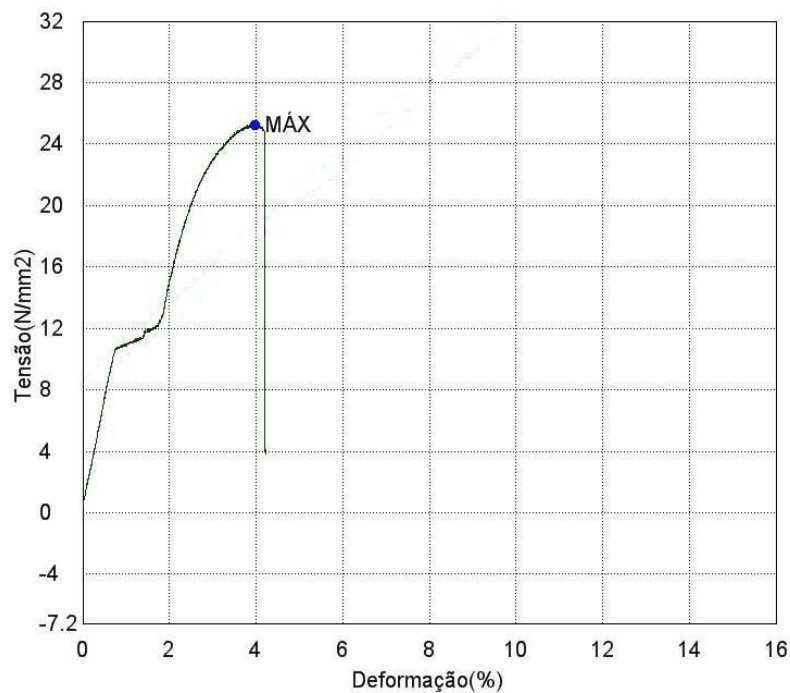


Figura 20: Curva da tensão x deformação de uma das amostras processadas a partir da fração moída, com a adição de SEBS.

O agente de acoplamento não teve uma influência significativa nos valores de tensão de ruptura. Porém, teve uma influência significativa no comportamento elástico-plástico do material, o que acabou se refletindo nos valores de deformação máxima, que mantiveram valores semelhantes àqueles obtidos em amostras compostas apenas pela carcaça, e que havia sido reduzido em função da adição do reforço.

As Figuras 20 e 21 mostram claramente a influência da adição do agente de acoplamento no comportamento elástico-plástico. As amostras com a adição de SEBS apresentaram uma pequena região de escoamento em valores de tensão cerca de metade da tensão de ruptura.

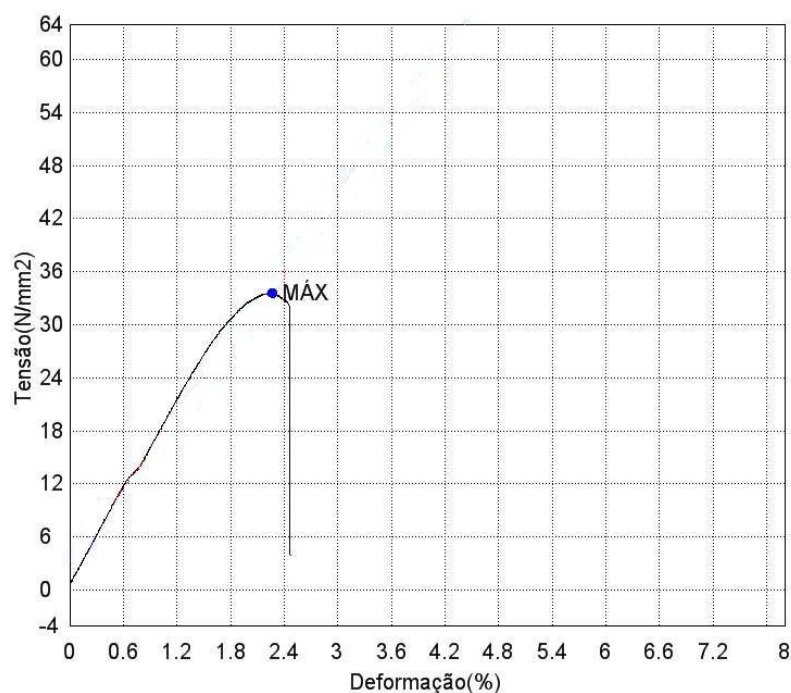


Figura 21: Curva da tensão x deformação de uma das amostras processadas a partir da fração moída, sem a adição de SEBS.

Por outro lado, a curva de tensão x deformação da amostra sem SEBS, mostrada na Figura 21, apresentam um comportamento rígido e de fratura frágil, sem regiões de escoamento.

O módulo elástico não apresentou grandes variações nem em função da presença ou não do reforço nem com a adição do agente de acoplamento (Figura 22).

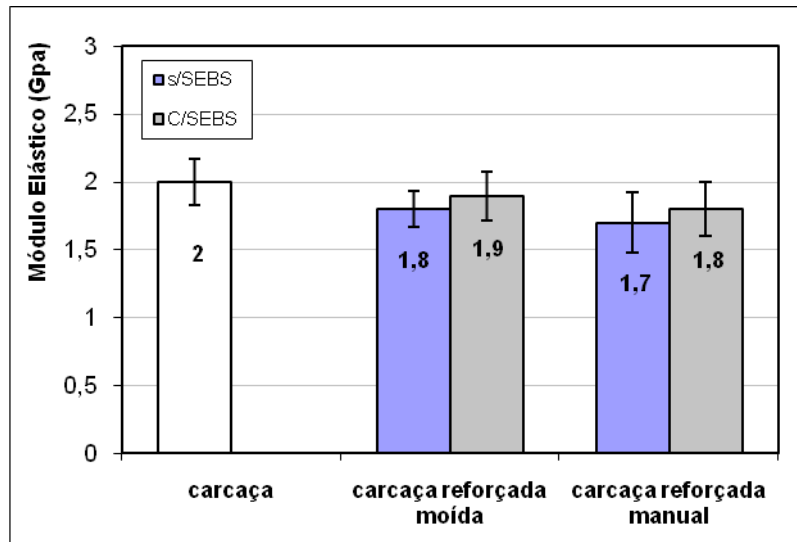


Figura 22: Resultados do módulo elástico obtido através do ensaio de tração das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.

Na Figura 23 é possível visualizar as alterações nas máximas deformações das amostras. A adição do reforço fez com que se observasse um expressivo decréscimo na deformação do material, no entanto, ao se adicionar o agente de acoplamento, a máxima deformação voltou a apresentar medidas semelhantes à da carcaça sem reforço.

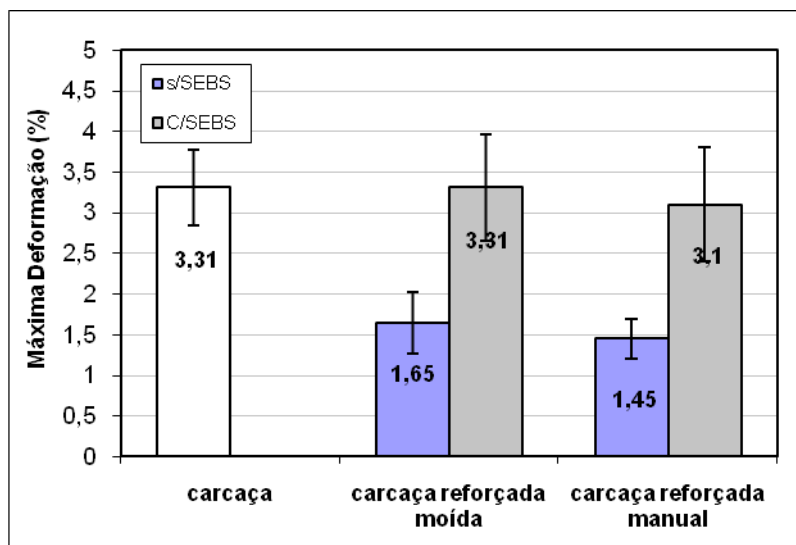


Figura 23: Resultados da máxima deformação das amostras com e sem a adição de SEBS.

5.2.4 Resistência ao impacto

A alteração no comportamento elástico nas amostras devido à adição de SEBS também refletiu na propriedade de resistência ao impacto.

As amostras com agente de acoplamento apresentaram um aumento de absorção de energia ao impacto significativamente maior (em aproximadamente 220%) em relação a àquelas sem tal composto, como mostrado na Figura 24.

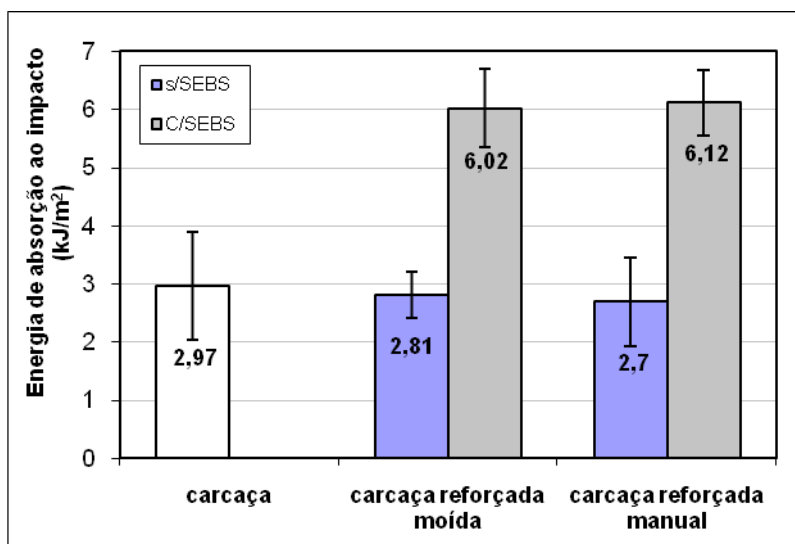


Figura 24: Resultados do ensaio de impacto das amostras avaliadas sem e com a adição de SEBS.

A perda de certo caráter frágil em função da adição do copolímero é o principal responsável por essa alteração de comportamento.

5.2.5 Resumo das propriedades

A Tabela 3 contém um resumo das propriedades mais relevantes acima estudadas.

Nessa tabela, podemos ver com mais clareza a influência do reforço e do agente de acoplamento nas propriedades mecânicas e, em especial, a influência do teor de vazios na resistência à tração.

Tabela 3: Resumo das propriedades estudadas das amostras processadas neste trabalho.

	Teor de Vazios (%)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)	Tensão Ruptura (MPa)	Máxima deformação (%)
Carcaça	-	2,97 ± 0,92	18,78 ± 2,39	3,31 ± 0,47
Carcaça Reforçada Moída	1,78 ± 0,28	2,81 ± 0,39	25,45 ± 4,98	1,65 ± 0,38
Carcaça Reforçada Moída c/ SEBS	2,47 ± 0,57	6,02 ± 0,68	22,32 ± 2,86	3,31 ± 0,65
Carcaça Reforçada Manual	3,90 ± 0,42	2,7 ± 0,76	16,57 ± 2,70	1,45 ± 0,25
Carcaça Reforçada Manual c/ SEBS	2,89 ± 0,93	6,12 ± 0,56	18,51 ± 4,56	3,10 ± 0,70

6. CONCLUSÕES

A reciclagem dos materiais presentes nos disquetes não se mostrou um processo simples, pois devido à semelhança de propriedades físicas entre esses componentes, a separação de cada uma dessas partes individualmente em um processo unificado de reciclagem requer diversas etapas e o controle de diversos parâmetros.

Duas formas de separação foram estudadas, uma manual e a outra por densidade. A primeira apresentou a vantagem de ser possível obter cada componente sem a contaminação por outro, porém é de difícil automação, fazendo com que seja necessário o emprego de uma grande quantidade de mão-de-obra humana, o que inviabilizaria essa rota de reciclagem, supondo uma aplicação industrial e de larga escala.

A separação por densidade depende menos do fator humano, pois seguindo processos básicos já empregados em reciclagem industrial de plásticos foi possível separar boa parte dos componentes. O principal revés desse método é o fato de não ser possível separar a carcaça polimérica do TNT, obrigando o processamento conjunto desses dois materiais.

Processar a carcaça polimérica com reforço resultou em grandes alterações nas propriedades do material. Diversas possibilidades de reforço/aditivação da carcaça polimérica foram estudadas, com e sem reforço de tecido e, dentro dessas duas possibilidades, adição ou não do agente de acoplamento SEBS.

A adição de reforço proporcionou uma maior tensão de ruptura e uma fragilização do material, enquanto que a adição do agente de acoplamento recuperou a resposta elástica perdida devido ao reforço e aumentou a resistência ao impacto das amostras.

A forma do reforço também teve influência nas propriedades. A forma de fibras favoreceu a absorção de água e diminuiu a quantidade de vazios dentro do material. O reforço sob a forma de mantas de fibras aumentou o teor de vazios e diminuiu a absorção de água.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar a possibilidade de se empregar a técnica de separação eletrostática na separação dos componentes;
- Avaliar a estabilidade térmica, ao ozônio, a raios UV, à oxidação e a agentes químicos dos materiais obtidos pelos métodos de reciclagem desse trabalho;
- Estudar métodos de reciclagem e propriedades dos materiais presentes nos disquetes e não discutidos neste trabalho, i. e. partes metálicas e os outros componentes poliméricos;
- Avaliar o uso de outro agente compatibilizante e comparar propriedades.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zanin, M., Mancini, S.D.; Resíduos Plásticos e Reciclagem – Aspectos Gerais e Tecnologia; Eduscar, 2004;
2. Lee, J., Song, H. T., Yoo, J.; Resources, Conservation and Recycling, Volume 50, p.380-397, 2007;
3. Zhou, Y., Qiu, K.; Journal of Hazardous Materials, Volume 175, p.823-828, 2010;
4. Empresa GreenDisk®, material disponível em www.greendisk.com em 17/11/2010 às 16h;
5. Disponível em <http://planetgreen.discovery.com/> em 17/11/2010 às 16h;
6. Disponível em Floppy Disk Drive Primer. <http://www accurite.com/FloppyPrimer.html>. Acessado em 06/11/09 às 22h;
7. PORTER, J; Oral History Panel on 5.25 and 3.5 inch Floppy Drives, Gravado em 03/01/2005. Computer History Museum, 2006;
8. BROWN, G; How Floppy Disk Drives Work, disponível em <http://computer.howstuffworks.com> em 06/11/09 às 23h;
9. KADER, Vicky; New frontiers for floppy disks - includes list of computer distributors in Czechoslovakia, Hungary and Poland. Bussiness America. 1 Junho, 1992;
10. Disponível em <http://tecnologia.terra.com.br> em 26/04/2010 às 10h58;
11. Disponível em <http://info.abril.com.br> em 26/04/2010 às 09h06;
12. Brandrup, J, Bittner, M., Michaeli, W., Menges, G; Recycling and Recovery of Plastics, Hanser, 1995,
13. Al-Salem, S.M., Lettieri, P., Baeyens, J. Wast; Management 29, p2625-2643, 2009;

14. Cervone, B; Status e Perspectivas da Reciclagem Energética no Brasil, in: Anais do Seminário Internacional de Reciclagem Energética, promovido pela PLASTIVIDA, junho 1996;
15. Kinodhita, T., Okamoto, K., Yamaguchi, K., Akita, S.; Chemosphere 63, p893-902, 2006;
16. Takoungsakdakun, T., Pongstabodee, S.; Separation and Purification Technology 54, p248-252, 2007;
17. Fraunholz, N.; Minerals Engineering 17, p261-268, 2004;
18. Alter, H.; Resources, Conservation and Recycling 43, p119-132, 2005;
19. Shent, H., Pugh, R.J., Forssberg, E.; Resources, Conservation and Recycling 25, p85-109, 1999;
20. Lungu, M.; Minerals Engineering 17, p69-75, 2004;
21. Park, C. H., Park, J. K., Jeon, H. S., Chun, B. C.; Journal Electrostatics 66, p578-583, 2008;
22. Iuga, A., Calin, L., Neamtu, V., Mihalcioiu, A., Dascalescu, L.; Journal of Electrostatics 63, p937-942, 2005;
23. Tilmatine, A., Medles, K., Bendimerad, S.E., Boukholda, F., Dascalescu, L.; Waste Management 29, p228-232, 2009;
24. Coutinho, F. M. B., Costa, M. P. M., Guimarães, M. J. O. C., Soares, B. G.; Polímeros 17, número 4, 2007;
25. Grassi, V. G., Forte, M. M. C.; Polímeros 11, número 3, 2001;
26. Donald, A. M., Kramer, E. J.; Journal of Applied Polymer Science, 27, p.3729, 1982;
27. Murphy, J.; Reinforced Plastics Handbook; Elsevier Advanced Technology, Second Edition, 1998;
28. Callister, Jr., W. D.; Material Science and Technology: An Introduction, Seventh Edition, 2007;
29. Santos, E. F.; Dissertação de Mestrado: Efeito de Agentes de Acoplamento em Compósitos de Polipropileno com Fibras de Coco, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007;

30. Li, X., Tabil, L. G., Panigrahi, S.; Journal of Polymer and the Environment 15, p25-33, 2007;
31. Hunt, B. J., James, M. I.; Polymer Characterisation, Blackie Academic and Professional, 1995;
32. Carvalho, A. J. F.; Polímeros 10, número 1, 2000;
33. Bento, L.S.; Santana, R.M.C. In: 7th International Symposium on Natural Polymer and component-Isnapol, Gramado-RS, p. 1553-1556, 2010.
34. Silveira, M.S.; Bento, L.S.; Santana, R.M.C. In: 10^o Congresso Brasileiro de Polímeros-CBPol, Foz de Iguaçu, PR, 2009.