

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

MARCELO VICENTE FORESTIERI FERNANDES

PRODUÇÃO DE COMPOSTO POLIMÉRICO A PARTIR DE POLÍMEROS
RECICLADOS: RESÍDUOS DE ESPUMA FLEXÍVEL DE POLIURETANO, E
POLIPROPILENO RECICLADO

São Paulo

2013

MARCELO VICENTE FORESTIERI FERNANDES

PRODUÇÃO DE COMPOSTO POLIMÉRICO A PARTIR DE POLÍMEROS
RECICLADOS: RESÍDUOS DE ESPUMA FLEXÍVEL DE POLIURETANO, E
POLIPROPILENO RECICLADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: PROF. DR. NILSON CASIMIRO PEREIRA

São Paulo

2013

F363p

Fernandes, Marcelo Vicente Forestieri

Produção de composto polimérico a partir de polímeros reciclados: resíduos de espuma flexível de poliuretano, e polipropileno reciclado. / Marcelo Vicente Forestieri Fernandes - São Paulo, 2013.

56 f.: il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie - São Paulo, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira

Bibliografia: f. 51-56

MARCELO VICENTE FORESTIERI FERNANDES

PRODUÇÃO DE COMPOSTO POLIMÉRICO A PARTIR DE POLÍMEROS
RECICLADOS: RESÍDUOS DE ESPUMA FLEXÍVEL DE POLIURETANO, E
POLIPROPILENO RECICLADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
programa de Mestrado Profissional em
Engenharia de Materiais da Universidade
Presbiteriana Mackenzie, como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre
Profissional em Engenharia de Materiais

Aprovado em _____ de _____ de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira

Prof. Dr. Mauro César Terence

Prof. Dr. Fábio José Esper

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Milton Fernandes e Edda Forestieri Fernandes pelo suporte sempre essencial.

Ao Prof. Dr. Juan Alfredo Carrió pela oportunidade e pelo incentivo em todos os momentos de dúvidas e dificuldades.

Ao meu orientador Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira pelo entusiasmo, paciência e parceria no desenvolvimento do trabalho.

A todos os professores do curso de Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais que forneceram a base de conhecimentos para a realização dos estudos.

Aos colegas de classe que suportaram minhas dúvidas e me auxiliaram com suas experiências e conhecimento, em especial a Leandro Cardoso da Silva e Thiago Negretti pelos momentos de estudo e compartilhamento de conhecimentos e experiência, a Thiago Malagrino, pelo incentivo, e a Isac Almeida, pelos momentos de descontração.

Aos técnicos do laboratório Luiz, Cabral e Liuba que estiveram sempre a disposição e auxiliaram na realização de todos os ensaios necessários.

Às empresas Neuplast e Center Espumas, Jorge Magero e Roberto Matteelli pelo suporte técnico prestado no decorrer deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho abordou um estudo de elaboração de um composto de polipropileno reciclado com reciclado de poliuretano, proveniente de retalhos de fabricação de espuma flexível, utilizada para a confecção de colchões e estofados. Foram realizadas pesquisas sobre a utilização desses materiais na confecção de cadeiras de escritório, a reciclagem de materiais e a utilização desses materiais no design de produtos. Foram realizados ensaios mecânicos, térmicos e reológicos, de polipropileno virgem, de polipropileno reciclado, e do composto de polipropileno reciclado com poliuretano e polipropileno virgem com poliuretano, nas proporções 10% e 20%, 40% e 50% a fim de caracterizar e comparar os materiais compostos obtidos. Os resultados indicaram a influência da carga de PU em ambos compostos, porém com maior influência nos de matriz de polipropileno reciclado. A carga aumentou a viscosidade dos compostos em relação às matrizes originais e também diminuíram a deformação plástica antes da ruptura. Apesar de não contar com um estudo detalhado de viabilidade econômica, o estudo aponta a possibilidade técnica de desenvolver um composto polimérico de polipropileno com carga de PU proveniente de retalhos de espuma flexível.

Palavra-chave: Materiais reciclados, polímeros, poliuretano, espuma flexível, polipropileno reciclado.

ABSTRACT

This paper discusses a study to prepare a composite of recycled polypropylene with recycled polyurethane, from manufacturing flexible foam waste, used for making mattresses and upholstery. Searches about using these materials on office chairs design, recycling and about applying these materials on product design. Are done mechanical, thermal and rheologic tests of pure polypropylene, recycled polypropylene and the new compound with addition of recycled polyurethane in proportions 10%, 20%, 40% and 50% to characterize and compare materials. The results presents PU influences on both compounds, but with higher influence on recycled polypropylene base. PU filler increased composite viscosity related to original polymers and decreased plastic deformation before break. Besides not to contain a detailed economic viability study, this work showed technical possibility to develop a polymer composite using PU from flexible foam waste.

Keyword: Recycled materials, polymers, polyurethane flexible foam, recycled polypropylene.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Simbologia dos materiais plásticos (Adaptado de www.embalagensustentavel.com.br)	21
Figura 2 - Separação de Resinas por diferença de densidade adaptado de PIVA, 2004.	21
Figura 3 - Polimerização do Diisocianato e Polioli para obtenção do Poliuretano. (CANGEMI, 2009).....	27
Figura 4 - Exemplo de reações secundárias durante a polimerização de PU (CANGEMI, 2009).	28
Figura 5 - Amostras de espumas de poliuretano utilizadas em assentos de cadeiras de escritório, fabricadas pela empresa HOGAR (Catálogo: HOGAR).	29
Figura 6 - Amostras de espumas de poliuretano utilizadas em encostos de cadeiras de escritório, fabricadas pela empresa HOGAR (Catálogo: HOGAR).	29
Figura 7 - As três estruturas básicas de polipropileno: atático, isotático e sindiotático (DOĞAN, 2012).....	31
Figura 8 - Apoio de braço confeccionado em polipropileno pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES)	31
Figura 9 - Braço para cadeiras de escritório em polipropileno fabricado pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES).	32
Figura 10 - Sapata utilizada em cadeiras de escritório confeccionada em polipropileno fabricado pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES).	32
Figura 11 – Sequência de trituração da espuma de PU em aglutinador.....	35
Figura 12 - Misturador DRAISS com pó de retalhos de espuma de PU e PP	35
Figura 13 - Imagem MEV x500 da amostra de concentração 100 % PP Puro	44
Figura 14 - Imagem MEV x500 da amostra de concentração 100 % PP Reciclado.	44
Figura 15 - Imagem MEV x2500 da amostra de concentração 100 % PP Puro	45
Figura 16 - Imagem MEV x2500 da amostra de concentração 100 % PP Reciclado.....	45
Figura 17 - Gráfico EDS de concentração 100 % PP Puro.....	45
Figura 18 - Gráfico EDS da amostra de concentração 100 % PP Reciclado.....	45
Figura 19 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 10% de carga de PU	46
Figura 20 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 10% de carga de PU	46
Figura 21 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 20% de carga de PU	47

Figura 22 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 20% de carga de PU	47
Figura 23 - Imagem MEV x2000 da amostra de PPP com 20% de carga de PU	47
Figura 24 - Imagem MEV x2000 da amostra de PPR com 20% de carga de PU	47
Figura 25 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 40% de carga de PU	48
Figura 26 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 40% de carga de PU	48
Figura 27 - Imagem MEV x150 da amostra de PPP com 50% de carga de PU	48
Figura 28 - Imagem MEV x150 da amostra de PPR com 50% de carga de PU	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Denominação das amostras	38
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de Índice de Fluidéz (230°C / 2,16Kg)	39
Tabela 4 - Resultados dos ensaios de dureza	41
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistência a tração	42
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de HDT/VICAT	43
Tabela 7 - Elementos químicos encontrados na análise EDS da amostra de 100% de PP Reciclado.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACC	American Chemistry Council
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
ISO	International Standards Organization
MDF	Medium Density Fireboard
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NR	Normas Regulamentadora
OSB	Oriented Strand Board
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila
TC	Technical Commitment

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO	15
1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
1.3. JUSTIFICATIVA.....	15
1.4. METODOLOGIA	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1. RECICLAGEM	19
2.2. DESIGN E SUSTENTABILIDADE.....	23
2.3. POLÍMEROS.....	25
2.4. POLIURETANO (PU).....	27
2.5. ESPUMAS DE POLIURETANO	28
2.5.1. <i>APLICAÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO EM ASSENTOS</i>	28
2.6. O POLIPROPILENO (PP)	30
2.6.1. <i>APLICAÇÃO DE POLIPROPILENO EM CADEIRAS DE ESCRITÓRIO</i>	31
2.7. MATERIAIS COMPÓSITOS	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1. MATERIAIS.....	33
3.2. MÉTODOS.....	34
3.2.1. <i>PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS</i>	34
3.2.2. <i>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E COMPÓSITOS</i>	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. PROPRIEDADES REOLÓGICAS	38
4.1.1. <i>RESULTADO DO ÍNDICE DE FLUIDEZ</i>	39
4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS	40
4.2.1. <i>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO;</i>	40
4.2.2. <i>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA;</i>	41
4.2.3. <i>RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO</i>	42
4.3. EFEITO DA TEMPERATURA	43
4.4. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA.....	44
4.4.1. <i>RESULTADO DA ANÁLISE NO MEV</i>	44
5. CONCLUSÕES	48
6. BIBLIOGRAFIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a utilização de recursos naturais e o comprometimento social deixou de ser um diferencial ideológico de poucos e passou a ser item obrigatório de sobrevivência na busca por um sociedade sustentável, ou seja, que possibilite o equilíbrio dos impactos sociais, econômicos e ambientais.

Se não pela real consciência global do que a grande utilização de recursos não renováveis, o esgotamento físico e mental da população trabalhadora e a má gestão econômico-financeira de empresas e países, pela normatização que certos países vem impondo para proteção de seu território, sua economia e seus cidadãos.

Essa corrente cresceu a partir da reunião das Nações Unidas em Estocolmo, no ano de 1979, quando foi utilizado pela primeira vez o termo “desenvolvimento sustentável” e foi tomando corpo em diversos encontros e documentos ao longo do tempo, principalmente por conta de normas industriais internacionais (CAJAZEIRA, 2004).

O grande marco das discussões ocorreu em 1992 com a realização da Rio92 onde as questões passaram a incluir também o cenário político com a real preocupação dos países sobre a utilização de recursos.

Por conta da Rio 92, em 1993, a ISO (International Standards Organization) criou o Comitê Técnico ISO TC 207 – Gestão Ambiental, responsável pela implementação dos padrões ISO 14000, lançadas para dar suporte às ações direcionadas para o desenvolvimento sustentável (CAJAZEIRA, 2004).

Entre essa família de normas, devemos citar as ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 – Avaliação do ciclo de vida do produto, que identificam e avaliam os impactos ambientais de produtos desde a sua origem até o seu descarte.

Para permanecer no mercado competitivo, todas as empresas precisam se adaptar, e o desafio passa não mais ser desenvolver produtos com materiais reciclados ou biodegradáveis, mas também, o que fazer com eles quando não tiverem mais utilidade ou tornarem-se obsoletos.

Em novembro de 2010 foi publicada a norma ISO 26000 - Diretrizes sobre Responsabilidade Social com o propósito das organizações incorporarem considerações socioambientais em suas decisões e responsabilizarem-se pelos impactos e atividades na sociedade e no meio ambiente (ETHOS, 2012).

A norma ISO 26000:2010 aborda sete temas centrais, dos quais devemos destacar (INMETRO, 2013):

- Práticas trabalhistas: inclui emprego direto e terceirizado e aborda relações do trabalho, condições de trabalho, saúde e segurança do trabalho.
- Meio ambiente: inclui prevenção da poluição e o uso sustentável dos recursos;
- Questões dos consumidores: refere-se ao envolvimento da comunidade.

Pode-se visualizar uma enorme gama de produtos, serviços e processos que devem se adequar a esses padrões normativos. No entanto, para este trabalho, foi estudado o material a ser utilizado em cadeiras de escritório e estofado, especificamente a reutilização da espuma de poliuretano (PU).

Em um ambiente administrativo, cuja tarefa demanda a necessidade da pessoa trabalhar sentada, a jornada de trabalho normal dura cerca de 8 horas, sendo que aproximadamente 70% desse tempo, permanecem sentadas.

As cadeiras devem atender a todos os requisitos presentes na norma NBR 13962/2006, com altura de assentos e encosto reguláveis, apoios de braços e rodízios. Essas características devem permanecer por todo o tempo de utilização, e caso percam suas capacidades de ajustes e conforto, devem ser substituídas ou reparadas. (ABNT, 2006)

Nesse sentido um dos problemas visualizados é a manutenção da densidade do assento e do encosto afim de manter o conforto, a postura adequada e a mínima compressão da coluna vertebral, que podem causar dorsalgia.

As espuma devem ser substituídos frequentemente em estofados, devido a perda de densidade que afeta o conforto proporcionado pelo assento, gerando um grande acúmulo de resíduos.

Em sua maioria, os assentos das cadeiras, são fabricados em espuma de poliuretano (PU), cujo desenvolvimento tem sua data atribuída em 1849, porém seu uso comercial iniciou-se em 1937 com o Dr. Otto Bayer, porém sua utilização ganhou força na época da Segunda Guerra Mundial quando começou a ser utilizado em substituição à borracha (Villar, 2003).

Hoje o PU é utilizado em uma vasta gama de aplicações, entre elas, a indústria automobilística, eletrônicos, equipamentos médicos, embalagens e mobiliário.

Na indústria moveleira o PU faz-se presente na forma de espuma flexível, amplamente utilizada na confecção de camas, sofás e cadeiras, devido às características de leveza, durabilidade e facilidade de conformação.

Segundo Vilar (2004), na América Latina, as aplicações das espumas flexíveis de PU em colchões e estofados são de 57% da demanda total.

A aplicação de espuma flexível de PU iniciou-se em meados de 1951 porém, no Brasil a confecção de blocos de espumas em 1960, e em 1970 iniciou-se a confecção de espumas moldadas, ou seja, curadas a quente.

Não é possível fazer o reparo na espuma quando ela perde a densidade, sendo descartada e substituída por outra. O mesmo ocorre com os retalhos provenientes da fabricação de blocos de espuma para estofados, que são reutilizados na fabricação de almofadas, travesseiros ou utilizados como carga na fabricação de outros compósitos.

Visando atender aos requisitos das normas ISO para a fabricação de mobiliário de escritório, o intuito desse trabalho é estudar a reutilização da espuma de PU na obtenção de um compósito, que pudesse ser reutilizado na indústria moveleira na confecção de partes de cadeira de escritório, possibilitando que as empresas, no momento da recuperação do descarte de seus produtos, tivessem alternativas para sua utilização.

Com exceção da espuma flexível de PU, os demais componentes de uma cadeira são de fácil reciclagem como o ferro utilizado nas partes estruturais e o Polipropileno (PP) utilizado na fabricação de componentes como manípulos, apoios de braço, alavancas de acionamento e capas de encostos e assento.

Nesse sentido foi estudado a criação de um compósito que utilizasse um material já empregado na indústria moveleira, o PP, com resíduos de espuma flexível.

Materiais compósitos são obtidos através da combinação de dois materiais que, na maioria das vezes, diferem em composição química e/ou física, com o objetivo de obter propriedades específicas, diferentes daquelas que cada constituinte apresenta separadamente (REZENDE, 2011).

Esse estudo propôs combinar o PP, reciclado dos próprios componentes de uma cadeira de escritório, com a espuma de PU proveniente do estofado desse tipo mobiliário, e verificar a possibilidade deste novo material ser utilizado na fabricação destes componentes.

1.1. OBJETIVO

Obter e caracterizar compostos de polímeros reciclados, a partir de resíduos de espuma flexível.

1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Estudar as propriedades de compostos de poliuretano reciclado proveniente de retalhos de fabricação de espuma flexível de poliuretano, com polipropileno puro e reciclado, e sua possível aplicação na fabricação de mobiliário.

1.3. JUSTIFICATIVA

Durante o processo de transformação de PU em artefatos, pode existir um grande desperdício de matéria prima, como explica Vilmar (2004):

“Existe um determinado teor de rejeitos em todo o processo de produção, que pode ser tão alto quanto 40% em certos processos de fabricação de blocos de espuma rígida ou flexível, que são cortados, sobrando pedaços não utilizáveis. Na produção contínua de painéis para isolamento, o desperdício é da ordem de 5%, resultante das aparas das extremidades. Nos processos de moldagem, peças moldadas são descartadas, especialmente no de espumas com pele integral, onde a qualidade da pele

é muito importante. Em todos os processos ocorrem perdas, na partida da produção, quando ocorre mudança de produto, etc.”

Dessa maneira a utilização de PU, apesar de ser coerente em aspectos econômicos, passa a ser emblemática nas questões de reciclagem e na busca por processo sustentáveis.

No momento existe uma alternativa para a reutilização da espuma PU; ainda segundo Vilar (2004):

“Nos processos de fabricação de espumas flexíveis em bloco, as espumas resultantes de perdas podem ser retalhadas e vendidas para enchimento de travesseiros e almofadas; ou misturadas com um adesivo (...) e a seguir prensadas para a obtenção de blocos de espuma regenerada, que retornam ao processo para serem cortados e reutilizados, ou usados como base de carpetes.”

Segundo a American Chemistry Council (2013) os tipos de reciclagem mecânica de poliuretano podem ser:

a) Aglomerado de Espuma Flexível: é feita com pedaços de espuma de poliuretano e um adesivo, que criam uma nova espuma utilizada como suporte de carpetes e colchões, sendo utilizado a décadas no mercado americano e representa 90% do mercado de camadas inferiores de carpetes nos Estados Unidos;

b) Moagem ou pulverização: O poliuretano proveniente de espumas pós consumo ou retalhos industriais é moído até formar pequenos grãos ou um pó fino, que é misturado com o material virgem para a criação de novas espumas ou materiais moldados por injeção.

c) Aglomerado de partículas: O poliuretano proveniente de diversas fontes de produtos de pós consumo é triturado até obter finas partículas, adicionado à um material adesivo e moldado sob pressão, muitas vezes utilizados em substituição aos materiais que utilizam a madeira triturada, como as painéis estruturados de fibra de madeira, popularmente conhecidas como OSB (Oriented Strand Board).

d) Moldados: É o processo similar ao aglomerado, porém o material triturado e adicionado de um adesivo, é moldado e prensado a quente criando materiais 100% reciclados.

Apesar de existirem outros processos de reciclagem para o PU, a reciclagem mecânica é a que mais se aplica, por conta da sua facilidade de produção. Esse tópico será melhor abordado na revisão bibliográfica.

O Polipropileno (PP) é largamente utilizado na indústria automobilística, recipientes em geral, brinquedos, mobiliário, entre outros, pelo baixo custo e facilidade de moldagem, compondo cerca de 10% do volume total de resíduos descartados. Além disso, seu processo de reciclagem é mais simples, tanto em caso de resíduos industriais ou pós-consumo (PIVA, 2004).

O uso do polipropileno vem crescendo devido às suas características de fácil moldagem, como o Poliestireno (PS) e Polietileno (PE), mas principalmente sua resistência a altas temperaturas (MOORE, 1996).

Outras características devem ser levadas em consideração como seu peso, rigidez, facilidade de reciclagem e, principalmente, baixo custo. Além disso pode ser processado utilizando-se processos termoplásticos típicos como injeção e extrusão. (DOĞAN, 2012).

Na indústria de mobiliário, o polipropileno é utilizado na confecção de componentes de cadeiras como, por exemplo, apoios de braço, sapatas e rodízios.

A preocupação com o descarte de produtos e a reciclagem de materiais vem sendo abordado pelo setor empresarial como vantagem competitiva ante aos requisitos de normatização, que buscam padronizar a gestão ambiental, como observam BIZAIN e GODOY (1999) “de um lado, é o imperativo econômico (objetivando lucro) que comanda as decisões, enquanto que em outras, a questão social, incluindo a de ordem ambiental, passa a ter maior peso nas decisões organizacionais. Diante da globalização e da abertura econômica dos mercados, contudo, a variável ambiental passa a ser uma das condições de “se estar” inserido na aldeia global dos negócios.”

A pesquisa de novos materiais que auxiliem a indústria moveleira a atingir as exigências ambientais internacionais também é citada por PINHEIRO (2004):

“A indústria moveleira compreende um dos principais setores do Brasil. Entretanto, deficiências em design e tecnologia, conferem exportações modestas se comparadas com o volume comercializado mundialmente. Da mesma forma, a crescente conscientização social acerca do uso sustentado dos recursos naturais, coloca este setor como alvo para desenvolvimento de materiais.”

O interesse público e privado em desenvolver produtos sustentáveis gerou a necessidade de padronizar esses requisitos, o que culminou na criação da ISO 14000, desenvolvida pelo Comitê Técnico 207 – Gestão Ambiental, uma norma para a gestão ambiental dentro das empresas, que cita, entre outras coisas, a análise do ciclo de vida do produto, levando-se em consideração os aspectos ambientais de produtos da sua concepção até seu descarte.

Essa normatização forçou com que as empresas investissem cada vez mais em processos e produtos que fossem integrados ao meio ambiente, mas também a uma extensão para os fornecedores de empresas.

O que ficou conhecido como “Compras Verdes” onde as empresas incentivaram seus fornecedores a adotarem as mesmas medidas como cita CHENG (2005) “ Mais e mais empresas começaram a adotar voluntariamente a ISO 14001 como uma ferramenta para melhoria continua na busca pelas metas de sustentabilidade. E ao mesmo tempo estas empresas encorajaram seus fornecedores a aplicar para a certificação da ISO 14001 e regularem-se como requisitos mínimos para fornecedores.”

Com base em dados desta pesquisa, as indústrias de mobiliário para escritório, em atendimento às Normas ISO 14000, no final do ciclo de vida de seus produtos poderiam utilizar de espuma de PU na confecção de partes estruturais de novos produtos ou até outras aplicações, reciclando assim todos os componentes de uma cadeira de escritório.

1.4. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho compreendeu as seguintes etapas:

- Pesquisa de normas referentes à caracterização de polímeros.
- Estudo das características do Polipropileno (PP) através de bibliografia especializada.
- Revisão bibliográfica sobre reciclagem de polímeros.
- Revisão bibliográfica de desenvolvimento de compósitos poliméricos.
- Obtenção e caracterização de compósitos poliméricos a partir de polipropileno reciclado e retalhos de espuma de poliuretano.
- Estudar possíveis aplicações para os materiais obtidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Serão abordados nos subitens a seguir, uma revisão dos tópicos abordados neste trabalho.

2.1. RECICLAGEM

Segundo o CEMPRES – Compromisso Empresarial para Reciclagem em sua pesquisa Ciclossoft, após a promulgação da Lei nº 2305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, o número de municípios que operam coleta seletiva cresceu 73%, saltando de 443 para 766 (CEMPRES, 2012).

Esse número tende a aumentar, principalmente por conta das mudanças que a nova Lei traz referente aos compromissos exigido dos municípios e, à valorização dos catadores de lixo e cooperativas recicladoras. A nova lei visa além de estipular mecanismos de controle para o descarte de resíduos, promover a inclusão social de pessoas que trabalham nas ruas.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012), em seu site, a nova legislação “prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de

instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).”

Os resíduos sólidos são materiais descartados após consumo, utilização e produção e podem ser classificados da seguinte maneira (MANO, 2009):

- a) Origem: O resíduo pode ser proveniente de descarte domiciliar, comercial, público, hospitalar, agrícola, industrial e entulho;
- b) Composição Química: Orgânicos que incluem papéis, jornais, revistas, embalagens, plásticos e borrachas; Inorgânicos que são os vidros, metais, cerâmicas, areia e pedras;
- c) Toxicidade, ou seja, os riscos potenciais para o meio ambiente, podendo ser de Classe I (inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos), e Classe II (não perigosos, subdivididos em inertes e não inertes).

Entre os principais resíduos sólidos encontra-se diversos tipos de resinas plásticas, sendo as com maior participação são: o famoso poli(tereftalato de etileno) mais conhecido como PET das embalagens de refrigerante, o polietileno de baixa ou alta densidade (PEBD ou PEAD), encontrado em muitas embalagens, o poli(cloreto de vinila) o PVC, largamente utilizado em tubulações, o polipropileno (PP), dos potes de margarina, e por fim o poliestireno (PS), o primeiro plástico a ser fabricado industrialmente, dos copinhos de café (PIVA, 2004).

Para separar essa enorme quantidade de materiais existem diversas técnicas, entre elas, citamos duas:

- a) Informação visual: através dos códigos impressos nos rótulos ou estampados nos produtos. De acordo com a NBR 13230 – Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia, essa identificação se faz através de números inseridos dentro de um ícone da reciclagem sendo: 1 – PET, 2 – PEAD, 3 – PVC, 4 – PEBD, 5 – PP, 6 – PS e 7 – Outros. Os símbolos são apresentados na Figura 1



Figura 1 - Simbologia dos materiais plásticos (Adaptado de www.embalagensustentavel.com.br)

b) Separação por densidade: utilizada para resíduos que estão misturados, ou seja, com vários tipos de polímeros na amostra, onde são preparadas várias soluções aquosas com densidade abaixo 1 g/cm^3 , utilizando mistura de álcool etílico e água ou acima de 1 g/cm^3 , com cloreto de sódio ou cloreto de cálcio em água. A separação acontece quando um plástico flutua ou afunda na solução, em banhos sucessivos até a separação por completo, conforme esquema apresentado na Figura 2.

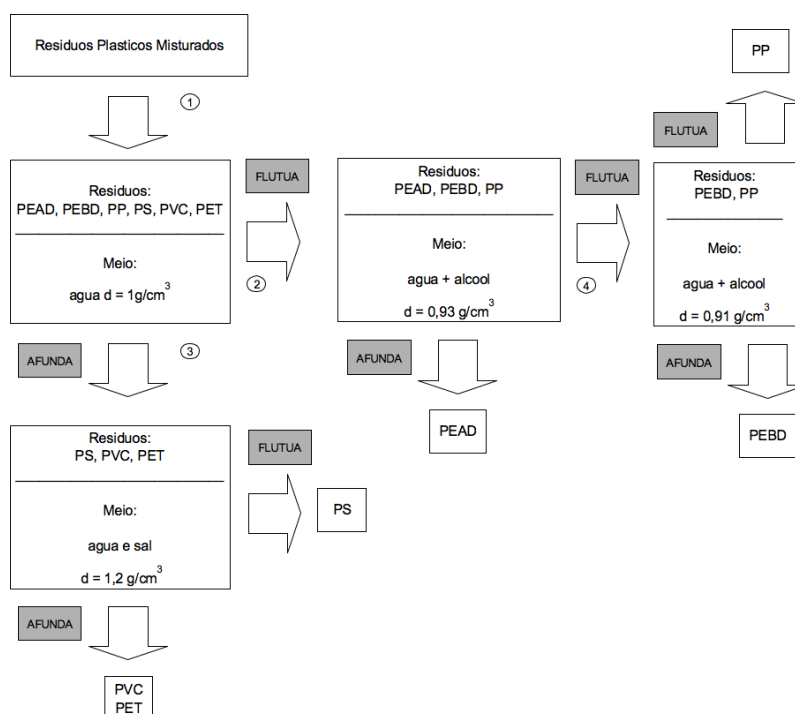


Figura 2 - Separação de Resinas por diferença de densidade adaptado de PIVA, 2004.

Existem três tipos de reciclagem de resíduos poliméricos a saber: mecânica, onde o material é granulado para a fabricação de outros produtos; química, que realiza a conversão do resíduo em matéria-prima; e a energética, para recuperação da energia contida através da queima dos resíduos em incineradores de alta temperatura. (PIVA, 2004).

Por conta dos custos e da relativa facilidade do processo, a reciclagem mecânica é a mais utilizada no Brasil, e incluem as seguintes etapas (MANO, 2009):

- 1) Triagem: os resíduos provenientes do descarte urbano ou industrial são separados e direcionados para o processo de prensagem;
- 2) Prensagem: Utilizada para facilitar o transporte de resíduos das cooperativas para as recicladoras;
- 3) Moagem: Os resíduos são triturados em moinhos de facas para fragmentação em partes menores;
- 4) Lavagem: Os resíduos são transferidos para tanques com água em que ocorre uma pré-lavagem, durante esse processo pode ser feita uma segregação parcial por tipo de plástico, de acordo com a diferença da densidade;
- 5) Secagem: após a segregação os resíduos são levados para uma secadora para a retirada da maior quantidade de água que for possível;
- 6) Aglutinação: os fragmentos são colocados em um cilindro que possui um hélice com facas que gira em alta rotação para retirar o resto de umidade que possa ter no material;
- 7) Reprocessamento: Após seco os materiais seguem para uma extrusora para serem homogeneizados. Esta etapa pode incluir a adição de aditivos como lubrificantes, estabilizantes, antioxidantes, cargas reforçadoras.
- 8) Peletização: Os filamentos provenientes da extrusora são granulados em forma de pellets para serem utilizados na indústria de transformação final.

Neste trabalho utilizou-se o PP proveniente da reciclagem mecânica, bem como a adição de retalhos de espuma de poliuretano proveniente da indústria e adicionado como carga.

O PP é um polímero que é considerado commodities pelo seu preço baixo e grande consumo (MANO,2009) e, conseqüentemente, um grande descarte deste material, e é proveniente geralmente de caixas, utilidades domésticas, tampas, potes, frascos, garrafas, galões, sacarias fita para embalagens, baldes e copos descartáveis.

Uma das vantagens de se utilizar o PP reciclado no processo de fabricação é o seu custo, geralmente 40% inferior ao preço da resina virgem (FERNANDES, 2007).

Além disso, dentro da análise de ciclo de vida do produto, o PP, é o polímero de menor impacto ambiental. É o material ideal na busca de redução da quantidade de material para sua composição, e amplamente reciclável (MOORE, 1996).

Já a espuma flexível de PU, objeto de estudo desse trabalho, é proveniente da indústria moveleira e de colchões, tanto produto de descarte, como resíduos industriais.

O objetivo é que todos os componentes de uma cadeira de escritório possam ser reciclados ao final de seu ciclo de vida, e principalmente, utilizados na confecção de novas cadeiras.

2.2. DESIGN E SUSTENTABILIDADE

Por muito tempo o termo *design* no Brasil esteve ligado com conceitos de estética e produtos para públicos de alto poder aquisitivo, no entanto a missão do designer sempre esteve ligada á questão de desenvolvimento de soluções focadas nas reais necessidades das pessoas, em outras palavras, melhorar a qualidade de vida das pessoas, onde “o foco do design é em grande parte em serviços e sistemas, não em coisas” (THACKARA, 2008).

Já em 1984 Victor Papanek atentava para o que ele chamava de “design criminoso” com a criação de novas espécies de lixo permanente, escolhendo materiais e processos que poluem nosso ar (PAPANEK, 2000).

O desenvolvimento de produtos com apelo estético ante as reais necessidades das pessoas culminou no uso inescrupuloso de produtos e materiais afim de atender os desejos de consumidores ávidos por ostentação e status de ser evolutivo. Realmente, como diz Thackara (2008) “Oitenta por cento do impacto ambiental dos produtos, serviços e infraestruturas ao nosso redor são determinados pelo designer. As decisões de design moldam os processos por trás dos produtos que utilizamos, os materiais e a energia necessária para produzi-los, o modo como os operamos no dia-a-dia e o que acontece com eles quando perde a utilidade.”

Definido que o objetivo principal do designer é desenvolver soluções que atendam às necessidades das pessoas, com a capacidade de criar produtos e serviços com funções detalhadamente definidas e um apelo visual confortável, e,

uma das necessidades é a redução ou reutilização de recursos naturais, a preocupação com seu impacto ambiental é imprescindível.

Fica claro que uma das ações dos designers no desenvolvimento de produtos é buscar materiais que condizem com essa necessidade, e além de fomentar o uso de tecnologias que não prejudiquem o meio ambiente, também sustentar a criação de novos materiais que produzam os efeitos necessários para a sustentabilidade.

Nesse sentido faz-se necessário alterar a maneira como os produtos são concebidos, prevendo-se o futuro do produto para reduzir o impacto ambiental por todo o ciclo de vida, e o impacto do sistema constituído por ele como consumidores e consumíveis, por exemplo, logística, vendas e utilização (KAZAZIAN, 2005).

O projeto de produto deve destacar-se com o conceito dos 4Rs, Recuperar, Reduzir, Reutilizar e Reciclar, onde reduzir concentra-se na capacidade de utilizarmos menos material na concepção de produtos, reutilizar materiais existentes para novos fins, e reciclar os matérias existentes.

O designer como co-responsável pelo desenvolvimento deve prever que os materiais utilizados sejam passíveis de, no mínimo, um dos componentes desse conceito.

Como sugere MANZINI (2005) “o design para a sustentabilidade deve aprofundar suas propostas na constante avaliação comparada das implicações ambientais, nas diferentes soluções técnica, econômica e socialmente aceitáveis e deve considerar, ainda durante a concepção de produtos e serviços, todas as condicionantes que os determinem por todo o seu ciclo de vida.”

Existem diversas pesquisa em andamento sobre novos materiais que impactem menos o meio ambiente, porém faz-se necessário estudar a enorme quantidade de material existente e ainda pouco explorado em termos de reciclagem.

E é essa abordagem que este trabalho busca se aprofundar, junto com um produto amplamente reciclado como o PP, a composição com outro produto de difícil reciclagem como a espuma de Poliuretano.

Muitas pesquisas são realizadas, diversos materiais são catalogados como compósitos através de reciclagem porém, suas aplicações, não são estudadas.

Um dos intuitos deste trabalho é, além de apresentar um novo material, também sua possível aplicação em componentes de cadeiras de escritório como apoios de braço, peças de manuseio e sapatas.

2.3. POLÍMEROS

A palavra polímero é proveniente do grego onde “*poli*” significa muitas e “*mero*” partes, e foi criada em 1832 para designar compostos de massas moleculares múltiplos. São macromoléculas que se caracterizam pelo tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares, onde as unidades químicas são ligadas por covalências, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominadas *meros*. (MANO, 2001)

Quando o polímero é composto por apenas um tipo de mero, chama-se homopolímero e quando há mais de um tipo de mero, é designado copolímero, e os monômeros que dão origem de comonômeros.

Existem três maneiras de classificação de polímeros (MANO, 2001):

- a) Origem do polímero: com o nome dos monômeros que foram empregados em sua preparação. Coloca-se o prefixo *poli* ou *copoli* (quando copolímeros) seguido do nome do monômero. Ex.: Copoli (ácido teriftálico / glicol etilênico);
- b) Estrutura do polímero; baseado na unidade química que se repete ao longo da cadeia macromolecular. Ex.: Poli(tereftalato de etileno);
- c) Siglas: utiliza a abreviação dos monômeros escritos em inglês, e é a mais comumente utilizada pela indústria. Ex.: PET

Os polímeros também podem ser classificados segundo critérios diversos, descritos a seguir (MANO, 2001):

- a) Origem do polímero: *natural* ou *sintético*;
- b) Número de monômeros envolvidos: *homopolímeros* ou *copolímeros*;
- c) Método de preparação: *polímeros de adição*, onde ocorre a reação de adição que não gera subprodutos, *polímeros de condensação*, reação onde há a subtração de pequenos produtos, e a modificação de outro polímero quando as características iniciais são modificadas por reações químicas;

- d) Estrutura química: de acordo com os grupos funcionais presentes nas macromoléculas, por exemplo, poli-hidrocarbonetos, poliamidas, poliésteres, poliuretanos, etc.;
- e) Encadeamento da cadeia polimérica: os meros são incorporados às cadeias em crescimento do tipo *cabeça-cauda*, ou *cabeça-cabeça*, *cauda-cauda*.
- f) Configuração dos átomos da cadeia polimérica: na poli adição podem surgir sequências com configuração *cis* ou *trans*.;
- g) Taticidade: podem ser apresentados como *isotáticos*, *sindiotáticos* ou *atáticos*;
- h) Fusibilidade e/ou Solubilidade: *termoplásticos* onde fundem por aquecimento e solidificam após resfriamento, e o processo é reversível, e, *termorrígidos*, após aquecimento são infusíveis, ou seja, degradam em um processo irreversível;
- i) Comportamento mecânicos: podem ser *borrachas*, *plásticos* ou *fibras*, diferenciados principalmente em função do seu módulo elástico.

A utilização dos polímeros na indústria cresceu desde sua primeira introdução em 1930 através do PVC (Policloreto de Vinila), poliestireno e alguns nylons (nome genérico de algumas poliamidas). Sua facilidade de conformação e possibilidade de utilização de cores inspirou diversos designers (ASHBY, 2010).

Os polímeros são obtidos através de parte do petróleo refinado, menos de 10% é convertido em materiais petroquímicos, onde apenas cerca de 5% são monômeros, material inicial para os polímeros sintéticos (TEEGARDEN, 2004).

Podemos ter uma variada gama de polímeros: plásticos, fibras, elastômeros e adesivos, cada um com suas características, para as mais diversas aplicações como garrafas, roupas, embalagens, luvas e cola (TEEGARDEN, 2004).

As características dos polímeros dependem dos monômeros originais e também do método de obtenção envolvidos. Existem três técnicas de preparação (MANO, 2010):

1. Adição: monômeros quase sempre com duplas ligações entre átomos de carbono e sem a formação de subprodutos. Entre os produtos obtidos podemos citar o Polietileno (PE), o Poli(Cloreto de Vinila) (PVC) e o Polipropileno (PP).

2. Condensação: Existe a formação de subprodutos que devem ser extraídos do processo final. No grupo dos polímeros obtidos podemos encontrar o Poli(Tereftalato de Etileno) (PET) e o Poliuretano (PU).

3. Modificação de polímeros: Reações químicas de polímeros já existentes, sintéticos ou naturais, como o Nitrato de Celulose (CN) e Polietileno Clorado (CPE).

Após sua obtenção, os polímeros podem ser aditivados com ingredientes específicos, melhorando suas características como cor e flexibilidades, formando os chamados sistemas poliméricos simples, e ainda, os sistemas poliméricos mistos, que podem ser misturas miscíveis de diferentes polímeros, denominados ligas poliméricas ou compostos por misturas imiscíveis chamadas de blendas poliméricas (MANO, 2010).

2.4. POLIURETANO (PU)

Os poliuretanos (PU) foram descobertos em 1937 por Otto Bayer e são normalmente produzidos pela reação de um isocianato (di ou polifuncional) com um poliol ou outros reagentes contendo dois ou mais grupos reativos (VILAR, 1999).

A origem da utilização do poliuretano deu-se durante a Segunda Guerra Mundial onde foi desenvolvido para substituir a borracha natural em algumas vestimentas de guerra, porém apenas no final da década de 1950 é que começou a ser utilizada a espuma de poliuretano flexível, por conta do desenvolvimento de poliéster-poliol de baixo custo (American Chemistry Council).

A polimerização dos uretanos ocorre quando se reage uma substância – com dois ou mais isocianatos – com um álcool polifuncional, ou seja, um poliol, representado na Figura 3 (CANGEMI, 2009).

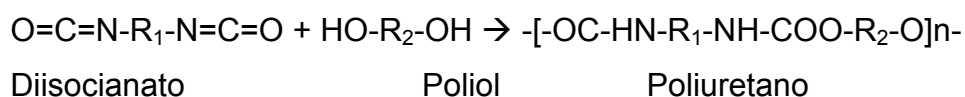


Figura 3 - Polimerização do Diisocianato e Polioliol para obtenção do Poliuretano. (CANGEMI, 2009)

Além da reação principal entre a substância contendo o isocianato com a substância contendo a hidroxila, durante a polimerização dos PUs, também podem ocorrer reações paralelas ou secundárias, envolvendo os grupos isocianatos. Uma das mais comuns é a formação de ácido carbâmico (Figura 4) que ao decompor-se forma amina primária e o dióxido de carbono (CO₂) que pode provocar a expansão do material polimérico (CANGEMI, 2009).

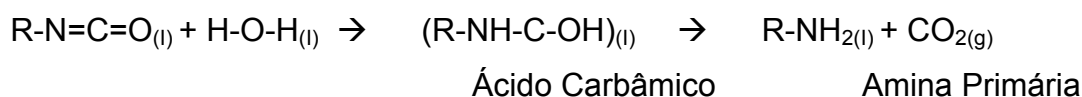


Figura 4 - Exemplo de reações secundárias durante a polimerização de PU (CANGEMI, 2009).

2.5. ESPUMAS DE POLIURETANO

As espumas são materiais que apresentam pequenos poros e bolhas de gás aprisionados e podem ser obtidos através da incorporação de um agente de expansão em um material e que, quando aquecido, se decompõe com a liberação de um gás. As bolhas espalham-se por todo o material e permanecem no sólido após o resfriamento (VILAR, 1999).

Para a obtenção de espumas de poliuretano são utilizados agentes de expansão, para espumas flexíveis o mais utilizado é a água que reage com os isocianatos liberando gás carbônico, e outros agentes de expansão para controlar a densidade da espuma, como o dióxido de carbono líquido.

2.5.1. APLICAÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO EM ASSENTOS

Os assentos e encostos de cadeiras são fabricados em espuma de poliuretano (PU) e com o tempo e utilização frequente, cerca de 44 horas semanais,

e dependendo do utilizador, as características de conforto do assento vão diminuindo, sendo necessária a sua troca.

Segundo Vilar (2004) as aplicações de espumas flexíveis de PU em estofados correspondem a 69% da demanda total da América Latina.

Os poliuretanos são normalmente produzidos pela reação de um isocianato com um poliol ou outros reagentes contendo dois grupos ou mais de reativos. Para produzir espumas flexíveis, utilizadas na indústria moveleira, é necessário a utilização de gás carbônico como agentes de expansão, que formarão bolhas de ar na mistura reagente.

As espumas de PU apresentam várias características mecânicas interessantes, entre elas, a possibilidade de ajustar a densidade. No caso das cadeiras, a densidade é entre 14 e 50 Kg/m³. Geralmente elas já são moldadas no formato de acordo com as dimensões indicadas na norma ABNT 13962, conforme visto nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 - Amostras de espumas de poliuretano utilizadas em assentos de cadeiras de escritório, fabricadas pela empresa HOGAR (Catálogo: HOGAR).



Figura 6 - Amostras de espumas de poliuretano utilizadas em encostos de cadeiras de escritório, fabricadas pela empresa HOGAR (Catálogo: HOGAR).

Outra característica pertinente a este trabalho é a sua dificuldade de reciclagem. O PU é um termofixo, ou seja, uma vez conformados não se consegue mais reprocessá-los, “amolecerem” ou fundirem como os termoplásticos, impedindo uma nova moldagem.

Não é impossível a reutilização de PU, segundo Piva e Wiebeck (2004) espumas de PU recicladas foram aplicadas com sucesso para assentos de carros. Porém o custo de reciclagem ainda é alto e não compensa para a indústria.

Nesse sentido esse trabalho volta-se para a necessidade de utilizar a espuma flexível de PU em um composto de PP, também reciclado, a fim de minimizar os impactos ambientais, ou desenvolver um composto polimérico com uma baixa carga de PU reforçado com outro elastômero e fibras naturais.

2.6. O POLIPROPILENO (PP)

O polipropileno (PP) é um termoplástico que vem sendo usado em uma ampla gama de produtos devido sua durabilidade, facilidade de conformação e baixo custo.

A primeira resina de polipropileno foi desenvolvida na Espanha pelo Professor Giulio Natta em 1954, quando ele utilizou catalisadores, antes utilizados para a obtenção de Polietileno (PE) com gás de propileno ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$). Apesar das propriedades do PP serem parecidas com o PE, as principais diferenças são alta densidade, ponto de amolecimento alto (190°C), maior rigidez e dureza (DOĞAN, 2012).

De acordo com o tipo de catalisador utilizado e método de polimerização, o PP pode ser apresentado em três estruturas diferentes, onde suas características podem variar de acordo com o arranjo do grupo metil (CH_3) ligados ao átomo de carbono (C) na cadeia (Figura 7):

- a) Atático: Aparece de forma aleatória na cadeia;
- b) Isotático: Todos os grupos de um mesmo lado da cadeia;
- c) Sindiotático: Alternando de um lado a outro da cadeia;

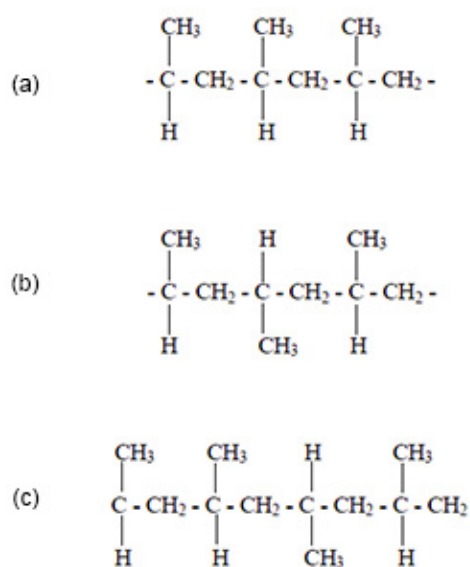


Figura 7 - As três estruturas básicas de polipropileno: atático, isotático e sindiotático (DOĞAN, 2012)

2.6.1. APLICAÇÃO DE POLIPROPILENO EM CADEIRAS DE ESCRITÓRIO

As cadeiras de escritório costumam utilizar PP em diversos componentes da cadeira como apoio para braços (Figura 7), braços (Figura 8), e sapatas (Figura 9).



Figura 8 - Apoio de braço confeccionado em polipropileno pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES)



Figura 9 - Braço para cadeiras de escritório em polipropileno fabricado pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES).



Figura 10 - Sapata utilizada em cadeiras de escritório confeccionada em polipropileno fabricado pela empresa RHODES (CATÁLOGO RHODES).

2.7. MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos são materiais produzidos artificialmente e são compostos por duas fases, a matriz e a fase dispersa, e sua classificação é feita através de três divisões principais: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e compósitos estruturais.

Segundo REZENDE (2011) “os compósitos são considerados materiais de engenharia heterogêneos e multifásicos, em que pelo menos um dos componentes fornece a resistência ao esforço. Por este motivo, ele é denominado componente estrutural ou reforço, enquanto o outro é o meio de transferência do esforço, sendo chamado de componente matricial ou matriz.”

Apesar da grande variedade de materiais existentes, as atuais tecnologias exigem a necessidade de novos materiais, resultado da combinação de elementos existentes para melhorar as características originais dos materiais puros.

Entre as diversas necessidades, Callister (2011) cita a busca da indústria aeronáutica de materiais estruturais que possuam baixa massa específica, sejam resistentes, rígidos, com resistência a abrasão, ao impacto e não sejam corroídos com facilidade.

Os materiais compósitos, por serem fruto da combinação de materiais diferentes, podem agregar qualidades e características específicas para fins, como o exemplo da indústria aeronáutica citado acima. A maioria dos materiais compósitos é criada para melhorar características mecânicas (CALLISTER, 2011).

As propriedades dos compósitos são influenciadas pelas características da fase dispersa, dependendo da concentração, tamanho, forma, distribuição e orientação.

No presente trabalho, a adição do poliuretano proveniente de retalhos de espuma é utilizado como carga na matriz do polipropileno e portanto pode ser classificado como compósito reforçado por partículas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se o material utilizado e os procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa. Os materiais são listados abaixo e os procedimentos são descritos nos itens seguintes.

3.1. MATERIAIS

No presente trabalho foram utilizadas amostras de polipropileno reciclado e retalhos de espuma flexível de poliuretano proveniente da fabricação de blocos de espuma utilizados na confecção de colchões e estofados.

3.2. MÉTODOS

Para a produção dos compostos realizaram-se as seguintes etapas:

- a) Coleta de amostras a partir de indústrias recicladoras e fabricantes de espuma flexível de PU;
- b) Coleta de amostras a partir de indústrias recicladoras e fabricantes de PP Reciclável;
- c) Preparação dos compósitos nas proporções em peso de espuma de PU, de 10%, 20%, 40% e 50% com polipropileno puro e reciclado;
- d) Utilização do misturador de alta velocidade (DRAISS) para misturar 1 Kg de cada composição;
- e) Processamento em moldagem por injeção para elaboração de corpos de prova, para a caracterização dos compósitos obtidos;
- f) Caracterização mecânica por ensaios de resistência ao impacto, dureza e resistência à tração;
- g) Caracterização térmica através dos ensaios HDT e VICAT;
- h) Caracterização Reológica - Índice de Fluides (IF);
- i) Caracterização Morfológica através de MEV.
- j) Comparação dos resultados obtidos entre as amostras.

3.2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A escolha das amostras levou em conta 2 fatores:

1. A possibilidade de maior utilização de resíduos de poliuretano que poderia resultar em boa viabilidade econômica e de processo, por conta do custo zero na aquisição da espuma de PU e do tempo de processamento das misturas. Assim foram preparadas amostras com 10%, 20%, 40% e 50% de PU.

2. Avaliar as propriedades do PP utilizando o PU como carga para que o novo material pudesse manter características do PP como alternativa para a confecção do mesmo tipo de produtos.

Outro ponto importante foi definir as propriedades do PP puro para saber quais características estaríamos ganhando ou perdendo em cada composição, e quais seriam suas possíveis aplicações.

Para facilitar o manuseio da espuma de poliuretano, 10 kg de retalhos de espuma de PU provenientes da indústria de colchões foram colocados em um aglutinador, obtendo-se um pó fino (Figura 11). Este processo durou 4 horas.

Para a confecção das amostras foi utilizado o PP Puro para injeção, da empresa Borealis com índice de fluidez 18-22 g/10 min, e o PP Reciclado da empresa Neuplast com índice de fluidez 8 -12 g/10 min.



Figura 11 – Sequência de trituração da espuma de PU em aglutinador.

Para a produção dos compósitos foi utilizado um misturador de alta velocidade (DRAISS) com capacidade de 1 Kg (Figura 12). O tempo de processamento foi de cerca de 17 minutos para cada amostra contando o tempo de pesagem.



Figura 12 - Misturador DRAISS com pó de retalhos de espuma de PU e PP

Após o resfriamento, as misturas foram fragmentadas em moinho de facas durante 15 minutos e Em seguida, os compósitos foram processados em moldagem por injeção material foi processado em uma injetora , para a obtenção de corpos de prova, em um processo que durou 75 minutos.

O tempo médio total de processamento para cada amostra foi de 1 hora e 47 minutos.

Para determinar o tempo de processamento em uma indústria de polímeros, foi feita uma amostra de 5Kg em um misturador de alta velocidade com maior capacidade e o tempo de processamento foi de aproximadamente 6 minutos minutos. É importante ressaltar que com a máquina quente em produção contínua, esse tempo tende a cair em 20%.

Outra possibilidade de obtenção dos materiais compósitos é a utilização de uma extrusora com rosca dupla onde o polipropileno seria inserido juntamente com o PU reciclado. Esse teste não foi realizado neste trabalho.

Todas as amostras foram separadas e pesadas, processadas em misturador de alta velocidade (DRAISS), triturados em moinho de facas e processados em injetora para obtenção de corpos de prova. Nesse sentido optou-se por trabalhar com as seguintes amostras:

- a) 100 % PP Puro (100 PPP);

Uma quantidade de 1,5 kg de PP Puro peletizado foi processado em uma injetora para a obtenção de corpos de prova.

- b) 100% de PP Reciclado (100 PPR)

Uma quantidade de 1,5 kg de PP Reciclado peletizado foi processado em uma injetora para obtenção de corpos de prova.

- c) 90% de PP Puro e 10% PU (90 PPP);

Uma quantidade de 150g de pó de retalhos de espuma de PU foi misturado com 1350g de PP puro.

- d) 90% de PP Reciclado e 10% de PU (90 PPR);

Uma quantidade de 150g de pó de retalhos de espuma de PU foi misturado com 1350g de PP reciclado.

- e) 80 % de PP Puro e 20% de PU (80 PPP);

Uma quantidade de 300g de pó de retalhos de PU foi misturado com 1200g de PP puro.

- f) 80% de PP Reciclado e 20% de PU (80 PPR);

Uma quantidade de 300g de pó de retalhos de PU foi misturado com 1200g de PP Reciclado.

- g) 60% de PP Puro e 40% de PU (60 PPP);

Uma quantidade de 600g de pó de retalhos de PU foi misturado com 900g de PP Reciclado.

- h) 60% de PP Reciclado e 40% de PU (60 PPR);

Uma quantidade de 600g de pó de retalhos de PU foi misturado com 900g de PP Reciclado.

- i) 50% de PP Puro e 50% de PU (50 PPP);

Uma quantidade de 750g de pó de retalhos de espuma de PU foi misturado com 750g de PP puro.

- j) 50 % PP Reciclado e 50 % de PU (50 PPR);

Uma quantidade de 750g de pó de retalhos de espuma de PU foi misturado com 750g de PP reciclado.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS E COMPÓSITOS

A seguir apresentamos os resultados dos ensaios realizados para as amostras de Polipropileno Puro (PPP) e Polipropileno Reciclado (PPR), e dos compósitos com adição de retalhos de espuma de Poliuretano, triturada, denominada PU, nas proporções de 10%, 20%, 40% e 50% denominadas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Denominação das amostras

Nome da Amostra	Polipropileno (PP)	Polipropileno Reciclado (PPR)	Espuma de Poliuretano (PU)
100 PPP	100%	-	-
90 PPP	90%	-	10%
80 PPP	80%	-	20%
60 PPP	60%	-	40%
50 PPP	50%	-	50%
100 PPR	-	100%	-
90 PPR	-	90%	10%
80 PPR	-	80%	20%
60 PPR	-	60%	40%
50 PPR	-	50%	50%

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se a discussão dos resultados obtidos nos ensaios para caracterização dos materiais compostos processados.

4.1. PROPRIEDADES REOLÓGICAS

As propriedades reológicas possibilitam determinar o comportamento do material quando expostos à forças externas oscilantes. O comportamento dos polímeros sob fluxo é determinante para a seleção deste para uma aplicação ou processo.

4.1.1. RESULTADO DO INDICE DE FLUIDEZ

Ensaio que permite o controle de qualidade da resina termoplástica, além de servir como referência para classificação de resinas quanto ao processamento e aplicação (MANRICH, 2005). Determina-se a vazão da resina termoplástica, em gramas por 10 minutos, de acordo com a norma ASTM D 1238, utilizando-se um equipamento chamado Plastômetro.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de Índice de Fluidez (230°C / 2,16Kg)

Amostra	Índice de Fluidez g/10min
100 PPP	23,52 ± 2,88
90 PPP	13,09 ± 0,12
80 PPP	9,34 ± 0,76
60 PPP	9,07 ± 0,50
50 PPP	9,46 ± 0,62
100 PPR	11,7 ± 0,25
90 PPR	11,54 ± 0,30
80 PPR	9,36 ± 0,82
60 PPR	6,47 ± 0,58
50 PPR	4,30 ± 0,42

O resultado dos ensaios de fluidez (Tabela 2) mostram a influência da adição de PU nas características originais das resinas virgem e reciclada. O aumento de carga aumenta a viscosidade do produto e, conseqüentemente, diminui a fluidez.

Para a aplicação dos novos compósitos em questão podem ser necessários ajustes diferentes para as máquinas de injeção, caso seja possível aplicá-los, como aumento da quantidade de material a ser injetado, pressão, ou até mesmo a confecção de um molde específico para o material.

Enquanto a adição de 10% de PU no PP Puro resultou em uma diminuição de 50% no índice de fluidez, no PP Reciclado a variação foi menos significativa para a mesma concentração. Porém o aumento das concentrações no PP reciclado são mais impactantes nas maiores concentrações, ao contrário de PP Puro onde o aumento de carga oferece pouca influência.

4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas possibilitam determinar o comportamento do material quando expostos a esforços de deformação, sendo reversíveis ou irreversíveis, e resistirem à fratura (MANO, 2003).

4.2.1. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO;

Nos ensaios de impacto são verificados a habilidade do material resistir a choques, e como se comportam de acordo com as fraturas. (JUNIOR, 2003).

Nos resultados dos ensaios de impacto (Tabela 3) pode-se notar o comportamento das amostras com e sem adição de carga de PU.

Apesar da maioria das amostras apresentarem ruptura parcial, a amostra 100 PPP apresentou uma área maior de resistência na quebra, indicando uma maior resistência ao impacto do que todas as outras composições.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios de resistência ao Impacto

Amostra	Energia de Impacto (J)	Energia		Resistência ao Impacto (kJ/m)
		Absorvida J/m	Fratura	
100 PPP	1,87 ± 0,22	578,99 ± 71,75	Parcial	56,87 ± 6,84
90 PPP	0,37 ± 0,04	114,47 ± 11,06	Parcial	11,31 ± 1,10
80 PPP	0,24 ± 0,02	73,63 ± 5,31	Parcial	7,39 ± 0,56
60 PPP	0,13 ± 0,01	39,395 ± 4,43	Parcial	3,97 ± 0,42
50 PPP	0,04 ± 0,01	12,26 ± 2,22	Parcial	1,14 ± 0,46
100 PPR	0,13 ± 0,01	40,28 ± 3,82	Completa	3,97 ± 0,37
90 PPR	0,11 ± 0,01	35,45 ± 1,58	Parcial	3,50 ± 0,16
80 PPR	0,08 ± 0,01	25,12 ± 2,15	Parcial	2,49 ± 0,22
60 PPR	0,06 ± 0,01	18,56 ± 0,14	Completa	1,86 ± 0,14
50 PPR	0,02 ± 0,03	3,57 ± 2,17	Complete	0,35 ± 0,21

Verificou-se que a adição de PU diminui consideravelmente a resistência nas amostras com PP Virgem e razoavelmente nas amostras com PP Reciclado. Entretanto a comparação entre as amostras de PP puro e reciclado já indica uma perda natural de resistência.

O PP Reciclado é uma material sem procedência definida, podendo ter sido processado diversas vezes, além das realizadas no ensaio. Essa defasagem para o PP puro já era esperada. Nota-se que a amostra 100 PPR tem características de resistência ao impacto próximas a amostra 60 PPP, o que supõe-se que, essa concentração, poderia ser utilizada em substituição do PP reciclado.

4.2.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DUREZA;

Nos ensaios de dureza apresentados na Tabela 4 foram verificados a capacidade do material de resistir à penetração de um indentador. O durômetro utilizado para esse ensaio foi o Shore D, de acordo com a norma ASTM D 2240.

Apesar das amostras de polipropileno reciclado apresentarem uma dureza superior, o aumento da concentração de PU, em ambos os casos, acarreta uma diminuição na resistência à deformação plástica do material.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de dureza

Amostra	Dureza (ShoreD)
100 PPP	48,7 ± 2,14
90 PPP	44,8 ± 0,45
80 PPP	43,7 ± 0,45
60 PPP	38,6 ± 1,34
50 PPP	37,1 ± 1,29
100 PPR	62,6 ± 1,02
90 PPR	62,9 ± 0,65
80 PPR	60,2 ± 0,91
60 PPR	40,8 ± 1,79
50 PPR	42,3 ± 0,84

Comparando-se às amostras quanto à matriz de polipropileno percebe-se uma maior perda de resistência na aplicação de carga de PU nas maiores concentrações PPR. Entretanto com baixa concentração de PU, as amostras de PPR não apresentam variação significativa.

4.2.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Os ensaios de resistência à tração verificam a tensão máxima que um material pode sofrer quando recebe carga uniaxial e qual o grau de deformação sofrido. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638.

A tensão máxima (MPa) representa a resistência a tração na ruptura e a deformação final (%) representa o aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura (MANO, 2003).

A razão entre a tensão aplicada e a deformação ocorrida define a resistência a deformação, conhecido como módulo de elasticidade. Assim quanto maior o módulo, maior a resistência a deformação (GARCIA, 2000).

De acordo com os ensaios realizados pode-se verificar (Tabela 5) que a carga de PU oferece grande influência na resistência a tração e deformação. As amostras de 100% Polipropileno Puro apresentaram uma deformação de 268,21% até o momento do teste ser interrompido, pois não houve quebra do material.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de resistência a tração

Amostra	Carga Máxima kgf	Tensão Máxima MPa	Deformação Final* %	Módulo MPa
100 PPP	87,00 ± 1,80*	19,90 ± 0,46*	268,21 ± 69,70*	946,23 ± 154,81*
90 PPP	48,00 ± 0,63	10,80 ± 0,20	20,36 ± 1,20	725,33 ± 72,19
80 PPP	36,29 ± 0,35	8,20 ± 0,10	13,15 ± 4,52	571,65 ± 32,92
60 PPP	24,16 ± 0,71	5,50 ± 0,20	12,14 ± 2,34	431,39 ± 55,23
50 PPP	22,81 ± 1,46	5,18 ± 0,30	2,48 ± 0,71	489,08 ± 15,95
100 PPR	86,44 ± 0,55	19,82 ± 0,17	15,21 ± 6,80	849,51 ± 136,95
90 PPR	61,61 ± 1,40	14,38 ± 0,28	9,62 ± 0,78	783,67 ± 63,62
80 PPR	44,44 ± 1,04	10,34 ± 0,25	6,10 ± 0,60	659,65 ± 8,90
60 PPR	24,02 ± 0,52	5,52 ± 0,13	3,27 ± 0,25	498,69 ± 35,58
50 PPR	23,04 ± 0,22	5,26 ± 0,05	2,16 ± 0,10	595,88 ± 40,83

* As amostras de 100 PPP não sofreram ruptura.

A tensão máxima anterior a deformação, que mede a capacidade do material receber carga sem sofrer deformação, e a carga máxima que o material suporta antes da deformação, são praticamente as mesma nas amostras de 100 PPP e 100 PPR, porém a deformação final até a ruptura é bastante significativa, indicando a capacidade de um material suportar a mesma quantidade de carga, porém, por mais tempo.

Com a adição de carga de PU percebe-se uma perda de aproximadamente 50% na amostra 90 PPP ante os 26% da 90 PPR, indicando que o aumento da concentração de carga de PU aumenta a rigidez das amostras.

4.3. EFEITO DA TEMPERATURA

Testes que possibilitam determinar o comportamento do material quando expostos a altas temperaturas. Os ensaios realizados para a determinação de temperatura de deflexão ao calor (HDT), sob carga, de acordo com a norma ASTM D 648; e amolecimento VICAT, de acordo com a norma ASTM D 1525 conforme Tabela 6.

Nota-se que a temperatura de resistência térmica, obtida através do Método VICAT, tende a cair conforme aumenta-se a carga de PU nas amostras que utilizaram PP Puro, entretanto, a carga parece ter pouca influência nas amostras que utilizaram o PP Reciclado como matriz, exceto para a amostra 60 PPR.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de HDT/VICAT

Amostra	HDT °C	VICAT °C
100 PPP	110,5 ± 7,73	153,8 ± 0,46
90 PPP	97,8 ± 4,63	143,9 ± 1,15
80 PPP	96,2 ± 5,49	139,4 ± 7,14
60 PPP	83,9 ± 3,47	126,7 ± 5,24
50 PPP	79,7 ± 2,60	120,9 ± 1,35
100 PPR	91,7 ± 4,44	128,1 ± 1,24
90 PPR	93,7 ± 0,83	129,2 ± 0,41
80 PPR	90,8 ± 4,98	128,0 ± 0,34
60 PPR	88,1 ± 3,80	129,6 ± 0,58
50 PPR	77,0 ± 2,74	118,7 ± 0,55

O mesmo comportamento é identificado na obtenção da temperatura de deflexão térmica, com diminuição gradativa da temperatura com o aumento de carga de PU nas amostras de PP Puro, e um comportamento de pouca influência nos compósitos com base matricial de PP Reciclado, exceto pela concentração 60 PPR.

Os ensaios indicam ainda que a amostra com maior concentração de PU com PP Reciclado, 50 PPR, oferece uma resistência térmica aproximada da amostra 50 PPP e a amostra 60 PPR uma maior resistência do que a 60 PPP.

4.4. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA

As análises morfológicas permitem verificar a estrutura dos materiais e sua morfologia. O ensaio realizado neste estudo foi a Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV), que consiste em ampliar a imagem do material a fim de verificar a estrutura de distribuição polimérica (JUNIOR, 2003).

4.4.1. RESULTADO DA ANÁLISE NO MEV

As imagens a seguir apresentam um comparativo das amostras de 100% de PP Puro (Figura 13) e 100% de PP Reciclado (Figura 14) ampliadas 500x, assim pode-se comparar a morfologia de cada material antes de receberem a carga de PU.

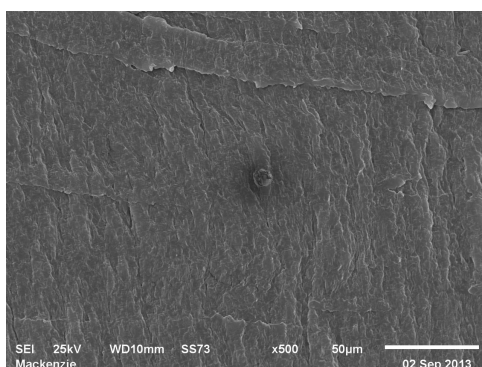


Figura 13 - Imagem MEV x500 da amostra de concentração 100 % PP Puro

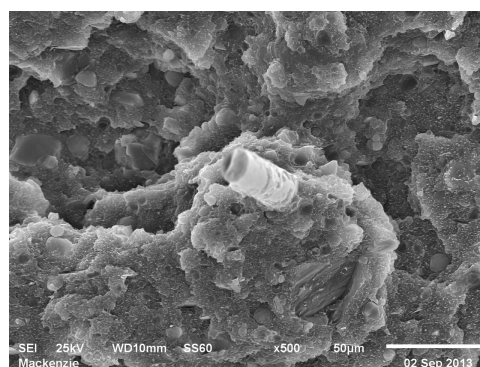


Figura 14 - Imagem MEV x500 da amostra de concentração 100 % PP Reciclado

Percebe-se que a amostra de PP Reciclado apresenta uma morfologia com uma granulação maior e não tão homogênea como a de PP Puro. Essa diferença é mais aparente nas imagens com ampliação maior (Figuras 15 e 16), sugerindo a presença de outros componentes na composição química do PP Reciclado.

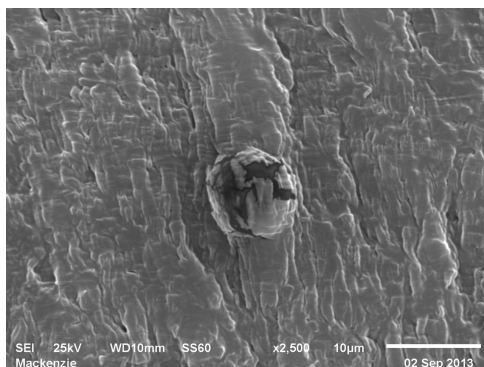


Figura 15 - Imagem MEV x2500 da amostra de concentração 100 % PP Puro

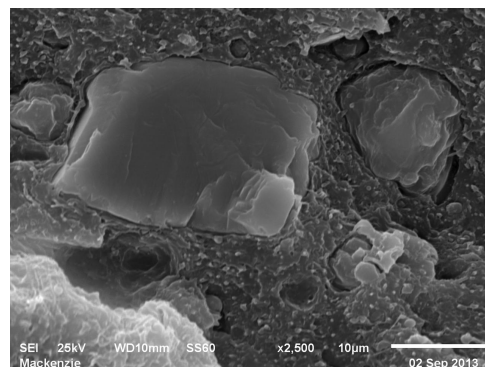


Figura 16 - Imagem MEV x2500 da amostra de concentração 100 % PP Reciclado

A presença de outros componentes químicos na composição do PP Reciclado confirmou-se após análise de espectrometria de energia dispersiva (EDS) de ambos os materiais (Figuras 16 e 17).

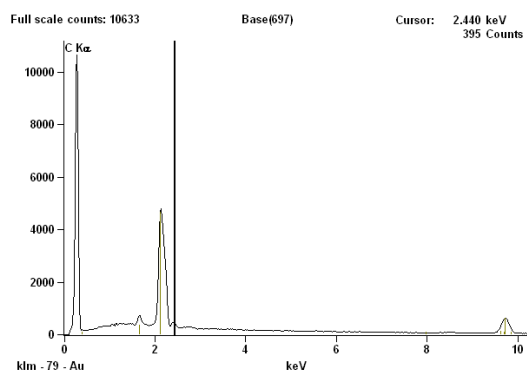


Figura 17 - Gráfico EDS de concentração 100 % PP Puro

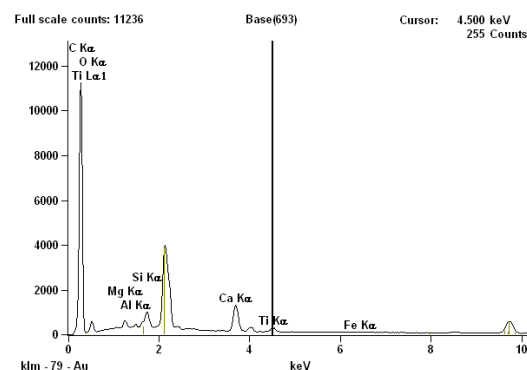


Figura 18 - Gráfico EDS da amostra de concentração 100 % PP Reciclado

A análise de espectrometria do PP Reciclado (Figura 17) indica a presença de outros componentes químicos na composição do material que tendem a justificar a estrutura granulada do material, bem como algumas propriedades mecânicas diferentes do PP Puro. A tabela 6 mostra os componentes encontrados na composição do PP Reciclado.

<i>Elementos</i>	<i>Peso %</i>	<i>Átomos %</i>
<i>C K</i>	87.83	93.18
<i>O K</i>	5.54	4.42
<i>Mg K</i>	0.52	0.27
<i>Al K</i>	0.09	0.04
<i>Si K</i>	1.73	0.79
<i>Ca K</i>	3.32	1.06
<i>Ti K</i>	0.75	0.20
<i>Fe K</i>	0.22	0.05
<i>Total</i>	100.00	100.00

Tabela 6 - Elementos químicos encontrados na análise EDS da amostra de 100% de PP Reciclado

A presença destes elementos químicos, apesar de ser em pequena proporção, podem estar relacionados com as diferenças encontradas nos ensaios mecânicos e térmicos das amostras quando em comparação do PP Puro com o PP Reciclado.

Buscando-se identificar o comportamento dos materiais nas concentrações e sua influência no aumento da rigidez dos compósitos e sua baixa resistência ao impacto e à tração, foram feitas análises de microscopia de varredura com todas as concentrações.

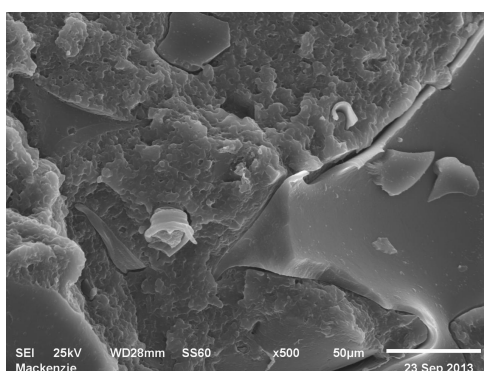


Figura 19 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 10% de carga de PU

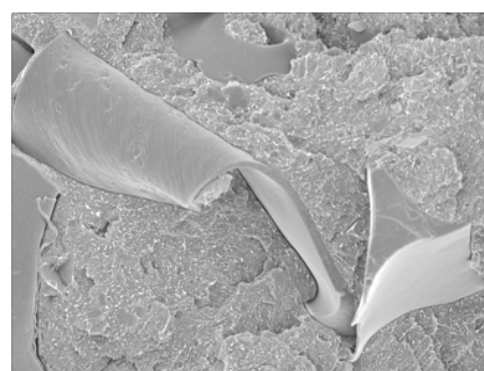


Figura 20 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 10% de carga de PU

Nas Figuras 19 e 20 nota-se a presença de duas fases diferentes, sendo que a maior concentração de material apresenta uma morfologia semelhante das verificadas nas análises das matrizes individualmente, porém com um nítido aumento da granulação da amostra de PP Puro.

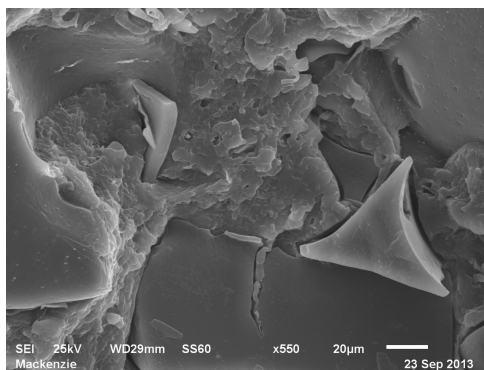


Figura 21 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 20% de carga de PU

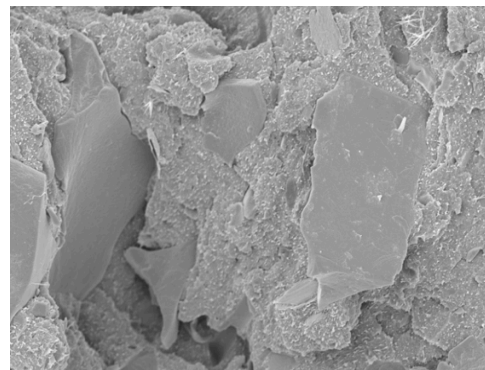


Figura 22 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 20% de carga de PU

As Figuras 21 e 22 a exemplo das imagens anteriores apresentam a boa distribuição da carga de PU nas matrizes de Polipropileno, entretanto começa a verificar-se uma tendência às amostras de PPR apresentarem uma melhor interação mecânica com o PU do que o PP Puro, sugerindo que os elementos encontrados agem como aditivos no fortalecimento das ligações mecânicas.

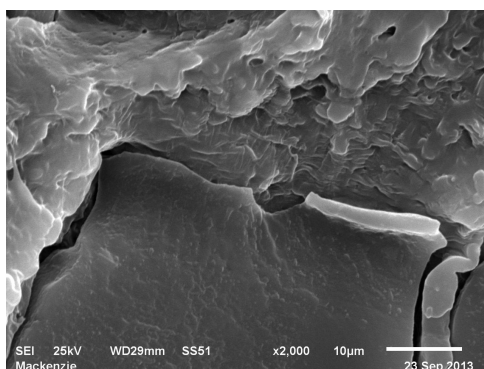


Figura 23 - Imagem MEV x2000 da amostra de PPP com 20% de carga de PU

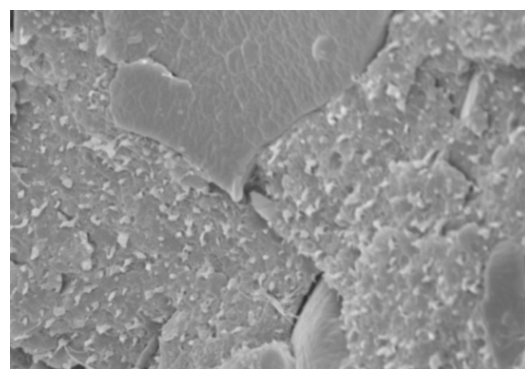


Figura 24 - Imagem MEV x2000 da amostra de PPR com 20% de carga de PU

Essa diferença na interação mecânica é ainda melhor observada com a ampliação das imagens, onde percebe-se a proximidade maior da matriz de PP Reciclado com PU (Figura 24), ante o PP Puro e o PU (Figura 23), o que tende a explicar a diminuição proporcional de resistência mecânica visualizada nos ensaios de tração e impacto.

O mesmo comportamento é encontrado nas demais concentrações com o aumento de carga de PU.

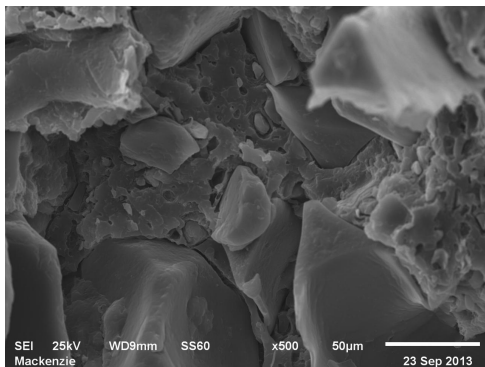


Figura 25 - Imagem MEV x500 da amostra de PPP com 40% de carga de PU

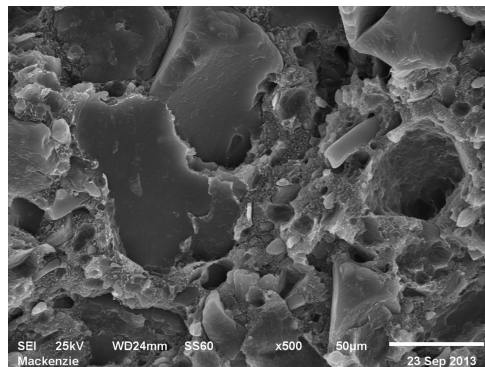


Figura 26 - Imagem MEV x500 da amostra de PPR com 40% de carga de PU

Na amostra 60 PPR a ligação mecânica aparenta ocorrer de forma mais robusta (Figura 26) do que na amostra que utiliza o PP Puro como matriz (Figura 25).

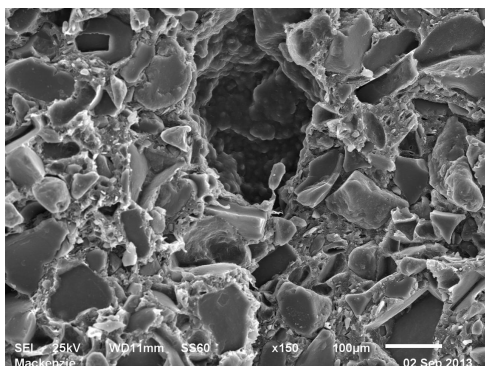


Figura 27 - Imagem MEV x150 da amostra de PPP com 50% de carga de PU

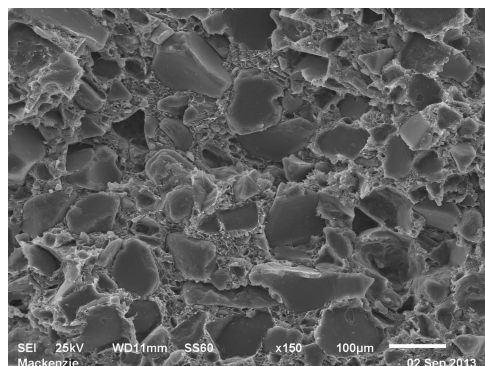


Figura 28 - Imagem MEV x150 da amostra de PPR com 50% de carga de PU

Apesar da aparente diferença na ligação mecânica das fases, existe uma boa dispersão de ambos os materiais poliméricos no composto como mostram a Figura 27 para a amostra 50 PPP e a Figura 28 para a amostra com 50% de PP Reciclado e 50% de PU.

5. CONCLUSÕES

De acordo com Junior (2003) poucas propriedades são necessárias para definir as principais características para a fabricação de produtos que utilizam o

polipropileno como material, entre elas, o índice de fluidez, resistência ao impacto, temperatura de deflexão ao calor e dureza.

Os ensaios realizados confirmam as expectativas de se obter um material com propriedades mecânicas de valores inferiores aos comumente encontrados no PP, devido a carga de PU, porém surpreendem ao mostrarem comportamentos diferentes nas concentrações que utilizaram o PP Reciclado como matriz.

Um dos componentes intimamente ligados à qualidade de processamento de material, o índice de fluidez (IF), indica que a presença de PU aumenta a viscosidade do material em todas as amostras. Verificou-se, entretanto, que as amostras com 20% de carga de PU apresentam o mesmo IF em ambas as amostras com PP Reciclado e PP Puro, e que as demais concentrações no PP Puro sofrem pouca interferência, ao contrário do PP Reciclado.

A influência do IF no processamento termoplástico é evidenciado na confecção dos corpos de prova, onde ajustes com maior pressão e quantidade de material foram utilizados para a confecção das amostras com maior adição de carga e PP Reciclado.

Os ensaio de tração e impacto demonstraram respectivamente que a adição de carga de PU aumenta a rigidez dos compostos, porém nas amostras com PPR a deformação final é menor comparada com as de PPP. A resistência ao impacto da amostra 60 PPP, com 40% de carga de PU no PP Puro, é praticamente o mesmo da amostra de 100% PP Reciclado.

Outra característica importante, o ensaio de dureza, demonstra a característica do material reciclado ser mais duro, possivelmente por conta dos diversos processos de transformação e de outros componentes encontrados na sua composição, mesmo sofrendo grande influência nas maiores concentrações, a amostra 50 PPR é mais dura que a 80 PPP.

Os ensaios de tração mostram que as duas matrizes, PP Puro e PP Reciclado suportam a mesma carga antes do início de deformação, porém o material não reciclado apresenta uma maior resistência a quebra. Já as amostras 90 PPR e 80 PPR apresentam uma maior resistência a carga e uma menor deformação final em comparação com as mesmas concentrações na matriz de PP Puro.

Não foram realizadas estimativas de processo de homogeneização, porém pode-se afirmar que não seriam necessários equipamentos adicionais a uma empresa de reciclagem mecânica para seu processamento.

A concentração de PU influencia diretamente no preço do produto, apesar de não ter sido feito um estudo do custo de homogeneização dos compósitos, pode-se fazer uma comparação com o custo nominal do Polipropileno Puro, R\$ 6,60/kg, do PP Reciclado, R\$ 5,50/kg, e do retalho de PU cerca de R\$ 3,80/kg.

Considerando a possibilidade de substituição de Polipropileno puro na confecção de componentes de cadeira de escritório, pode-se sugerir a utilização dos compósitos 60 PPP e 80 PPR na confecção de apoios de braço de cadeira com a manutenção de propriedades mecânicas próximas ao atualmente aplicado, porém faz-se necessário a realização de ensaios em peças de produção para um melhor resultado. Para as amostras propostas teríamos o custos do material de R\$ 5,48 para 60 PPR e R\$ 5,16 para 80 PPP, sem contar os custos de homogeneização.

Este estudo buscou avaliar a possibilidade de desenvolvimento de um composto utilizando carga de poliuretano proveniente de espuma flexível, em atendimentos às normas de ciclo de vida do produto, em específico descarte e reciclagem. Os ensaios indicam a possibilidade de utilizar os resíduos de espuma de poliuretano em novos compostos, porém, sua possível aplicação em componentes de cadeiras de escritório requerem estudos de aplicação prática.

6. BIBLIOGRAFIAS

ACC – AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. História do Poliuretano. Disponível em: <http://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/History>.

Acessado em 28 de março de 2013.

ACC – AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. Polyurethane Recycling. Disponível em: <http://polyurethane.americanchemistry.com/Sustainability/Recycling>. Acessado em

12 de abril de 2013.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. Materials and Design: The Art and Science of material selection in product design. 2ª. Ed. Elsevier, Burlington, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13962: Móveis para escritório: Cadeiras: Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

AZEVEDO, W. Os signos do Design. 2ª Ed. Global Editora, São Paulo, 1996.

BIAZIN, C. C.; GODOY, A. M. G. Gestão ambiental: a rotulagem ambiental nas pequenas empresas do setor moveleiro. Rio de Janeiro: RACE-UFRJ, 1999. 13 p.

BIAZIN, C.C. e GODOY, A M.G. O selo verde; uma nova exigência internacional para as organizações. Anais do XX Encontro Nacional de Engenharia da Produção e VI International Conference on Industrial Engineering and Operation management. São Paulo, p.1-8, 30 de outubro a 01 de novembro de 2000.

CAJAZEIRA, J.; BARBIERI, J. A Nova Norma ISO 14.001: Atendendo à demanda das partes interessadas (2004). Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de empresas de São Paulo. Disponível em <http://www.cempre.org.br/download/clipping/ANPAD-%20Barbieri%20e%20Cajazeira.doc>.

CALLISTER, Jr., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. 7ª . LTC, Rio de Janeiro. 2011.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, Antonia Maril dos; NETO, Salvador Claro. Poliuretano: De Travesseiros a preservativos, um polímero versátil. Revista Química Nova na Escola. Vol. 31, N°3, Agosto de 2009. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/quimica/poliuretano_polimero_versatil.pdf. Acessado em 29 mar. 2013.

CHENG, C. Incorporating green purchasing into the frame of ISO 14000. Journal of Cleaner Production [0959-6526]. Vol. 13. Fasc. 9. Pags. 927-933. 2005

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. <http://www.cempre.org.br>. Acessado em agosto de 2012.

CONCEIÇÃO, R. D. P; PACHECO, E. B. A.V. Aplicação da Logística reversa para colchões de espuma de poliuretano: Um estudo de caso de uma fábrica de colchões do Rio de Janeiro. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Foz do Iguaçu, PR.2009. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/600.pdf>. Acessado em 28 mar. 2013.

DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G. Microscopia Eletrônica de Varredura - Aplicações e preparações de amostras - Materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. EDIPUCRS. Porto Alegre, 207. Disponível em: <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>.

DOĞAN, F. Polypropylene. Intech. Rijeka. 2012

FERNANDES, B., DOMINGUES, A.J. Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva. Revista Polímeros. Vol. 7. N°2. São Carlos, 2007.

GARCIA, A.; SPIM, J.A.;SANTOS, C.A. Ensaios dos Materiais. LTC. Rio de Janeiro, 2000.

HOGAS ESPUMAS INJETADAS. Catálogo de Produtos – Linha de Produção 2009. Disponível em <http://www.hogase.com.br/folders/Hogase-Folder-Cadeiras-Escritorio.pdf>. Acessado em 02 abr. 2013.

INMETRO. ISO 26000 – Conheça a norma na íntegra. Disponível em : http://www.inmetro.gov.br/qualidade/responsabilidade_social/iso26000.asp. Acessado em: 04 de abril de 2013.

INSTITUTO ETHOS. ISO 26000: Norma Internacional de Responsabilidade Social. Disponível em <http://www.ethos.org.br/iso26000/>. Acessado em 10 de dezembro de 2012.

International Organization for Standardization. Environmental management - The ISO 14000 family of International Standards. 2005. Disponível em: http://www.iso.org/iso/theiso14000family_2009.pdf.

ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.

ISO 14044:2006. Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.

KARGER-KOCSIS, J. Polypropylene: Structures, Blends and Composites. Vol 1. Chapman & Hall. Cambridge.1995

JUNIOR, S.V.C. Técnicas de Caracterização de polímeros. Artliber, São Paulo, 2003.

KAZAZIAN, T. Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentáveis. Editora Senac, São Paulo, 2005.

LUCAS, E. F., SOARES, B. G., MONTEIRO, E. Caracterização de Polímeros: Determinação de peso molecular e análise térmica. E-papers: Rio de Janeiro, 2001.

MANO, E. B., MENDES, L. C. Introdução a polímeros. Edgar Blücher: São Paulo, 2001.

MANO, E. B., PACHECO, E. B. A. V., BONELLI, C. M. C. Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem. Edgard Blücher. São Paulo. 2009.

MANO, E. B. Polímeros como materiais de engenharia. Edgard Blücher: São Paulo, 2003.

MANRICH, S. Processamento de Termoplásticos – Rosca Única, Extrusão & Matrizes e Injeção e Moldes. Artliber. São Paulo. 2005.

MANZINI, E. Design para a inovação social e sustentabilidade – Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. COPPE: Rio de Janeiro, 2008.

MANZINI, E., VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis – Os requisitos ambientais dos produtos industriais. Edusp. São Paulo. 2005.

MÁSCULO, F. S. In Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente. Cap. 8. Campus. Rio de Janeiro, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. <http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>. Acessado em 27/09/2012.

MOORE, E.P. Polypropylene Handbook. Hanser. New York. 1996.

ABNT NBR 13230:2008 – Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia.

THACKARA, J. Lado B – O design e as alternativas em um mundo complexo. Saraiva: São Paulo, 2008.

PACHIONE, R. Materiais Compósitos - Demanda aquecida põe setor na rota da sustentabilidade. Revista Plástico Moderno. Edição 430. Agosto de 2010. Disponível em <http://www.plastico.com.br/reportagem.php?rrid=18>. Acessado em 20 de abril de 2013.

PAPANEK, V. Design for the real world – Human Ecology and social change. 3 Ed., Van Nostrand Reinhold: New York, 2000.

PELTIER, F., SAPORTA, H. Design Sustentável – caminhos virtuosos. SENAC. São Paulo. 2009.

PETRY, A. Mercado Brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico. Monografia. (Escola de Engenharia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PINHEIRO, M. B. A Indústria de móveis de plástico, do material polimérico ao design. Uma abordagem sobre a interação entre o setor moveleiro e as resinas termoplásticas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

PIVA, A. M., WIEBECK, H. Reciclagem do Plástico. Artliber, São Paulo, 2004.

REGIS, T.M., Desenvolvimento e caracterização de compósitos híbridos a partir de polipropileno reciclado, resíduos de borracha de pneu e carbonato de cálcio. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

REZENDE, M. C., COSTA, M. L., BOTELHO, E. C. Compósitos Estruturais – tecnologia e prática. Artliber. São Paulo. 2011.

RHODES. Componentes para cadeiras de escritório. Disponível em <http://www.rhodes.ind.br/principal>. Acessado em 20 mar. 2013.

TEEGARDEN, D.M. Polymer chemistry: introduction to an indispensable Science. NSTApress, Virginia, 2004.

VILAR, W. D. Química e Tecnologia de Poliuretanos, 3a Ed., Vilar Consultoria, Rio de Janeiro, Dez/2004.

WIEBECK, H., HARADA, J. Plásticos de Engenharia. Artliber, São Paulo, 2005.