

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS E TECNOLOGIAS**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EMISSÃO DE
RUÍDO DE ROLDANAS POLIMÉRICAS DE POM/TPU UTILIZADAS
NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Celso Roman Júnior

Caxias do Sul – 2014

Celso Roman Júnior

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EMISSÃO DE
RUÍDO DE ROLDANAS POLIMÉRICAS DE POM/TPU UTILIZADAS
NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Dissertação apresentada no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientado por Dra. Mára Zeni Andrade e co-orientado por Dra. Ana Maria Coulon Grisa.

Caxias do Sul – Dezembro de 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
UCS - BICE - Processamento Técnico

R758a Roman Júnior, Celso, 1988-
Avaliação das propriedades mecânicas e emissão de ruído de roldanas poliméricas de POM/TPU utilizadas na indústria moveleira / Celso Roman Júnior. – 2014.
74 f. : il. ; 30 cm

Apresenta bibliografia.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologia, 2014.

Orientadora: Profa. Dra. Mára Zeni Andrade ; Coorientadora: Profa. Dra. Ana Maria Coulon Grisa.

1. Polímeros - Propriedades mecânicas. 2. Controle de ruídos. 3. Indústria de móveis. I. Título.

CDU 2.ed.: 678.7

Índice para o catálogo sistemático:

1. Polímeros - Propriedades mecânicas	678.7
2. Controle de ruídos	628.517.2
3. Indústria de móveis	684

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária
Roberta da Silva Freitas – CRB 10/1730

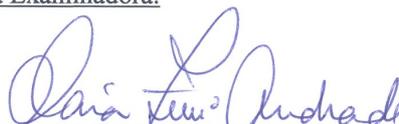
“AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EMISSÃO DE RUÍDO
DE ROLDANAS POLIMÉRICAS DE POM/TPU UTILIZADAS NA INDÚSTRIA
MOVELEIRA.”

Celso Roman Júnior

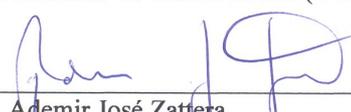
Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos e Tecnologias, Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos e Produtos Industriais.

Caxias do Sul, 19 de dezembro de 2014.

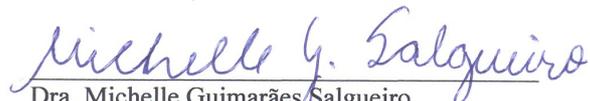
Banca Examinadora:


Dra. Mára Zeni Andrade (Orientadora)
Universidade de Caxias do Sul (UCS)


Dra. Ana Maria Coulon Grisa (Coorientadora)
Universidade de Caxias do Sul (UCS)


Dr. Ademir José Zattera
Universidade de Caxias do Sul (UCS)


Dra. Maria Fernanda de Oliveira Nunes
Universidade de Caxias do Sul (UCS)


Dra. Michelle Guimarães Salgueiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)

Celso Roman Júnior

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E EMISSÃO DE RUÍDO DE
ROLDANAS POLIMÉRICAS DE POM/TPU UTILIZADAS NA INDÚSTRIA
MOVELEIRA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos e Tecnologias, no curso de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, pela comissão formada pelos professores:

Caxias do Sul, 19 de dezembro de 2014

Banca Examinadora:

Dr^a. Mára Zeni Andrade (Orientadora)

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dr^a. Ana Maria Coulon Grisa (Co-orientadora)

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dr^a. Michelle Guimarães Salgueiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul
Campus Caxias do Sul (IFRS).

Dr^a. Maria Fernanda de Oliveira Nunes

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dr. Ademir José Zattera

Universidade de Caxias do Sul – UCS

"Noventa por cento do sucesso se baseia simplesmente em insistir."

Woody Allen

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial ao meu pai e minha mãe.

A minha namorada Fernanda pelo apoio e compreensão neste período.

A Prof^a Mára pela orientação e pelos auxílios.

A Prof^a Ana pela na co-orientação.

A Prof^a Maria Fernanda pelo apoio e contribuição nos ensaios de emissão de ruído.

A Empresa SAS Plastic LTDA, pelo apoio, e pelo convênio.

Ao Prof Ademir, coordenador do PGEPROTEC pelo apoio e por me apresentar a Prof^a Mára no momento da concessão da bolsa de estudos.

Aos meus colegas de mestrado e de laboratório, pelas longas horas de estudo.

Aos colegas do LPOL pela companhia e parceria nos intervalos.

Ao meu amigo Eng. Ivan pelo apoio técnico na área de automação.

A todos os bolsistas do LPQM que sempre me ajudaram e proporcionaram momentos de diversão, em especial aos meus IC's Gabriela e Jéssica.

Aos colegas e professores do programa de pós-graduação PGEPROTEC que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	Indústria moveleira.....	20
3.2	Polímeros na Indústria.....	21
3.3	Polímeros.....	23
3.3.1	Poliacetal (POM).....	23
3.3.2	Elastomeros termoplásticos (TPE).....	24
3.3.3	Poliuretano termoplástico (TPU).....	26
3.3.3.1	Obtenção do Poliuretano Termoplástico.....	26
3.4	Misturas poliméricas.....	29
3.4.1	Morfologia.....	30
3.4.2	Comportamento reológico de misturas poliméricas.....	31
3.5	Emissão de ruído em sistemas de movimentação.....	32
3.5.1	Transmissão do ruído.....	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	Materiais.....	37
4.2	Métodos.....	37
4.2.1	Obtenção das roldanas.....	37
4.2.2	Caracterização de roldanas de TPU, POM e Misturas TPU/POM.....	38
4.2.2.1	Microscopia eletrônica de Varredura (MEV).....	38
4.2.2.2	Análise termogravimétrica (TGA).....	38
4.2.2.3	Calorimetria diferencial exploratória (DSC).....	39

4.2.2.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	39
4.2.2.5 Temperatura de deflexão térmica	39
4.2.2.6 Ensaio de resistência à tração	39
4.2.2.7 Ensaio de alongamento na ruptura.....	39
4.2.2.8 Determinação do módulo de elasticidade	40
4.2.2.9 Ensaio de dureza	40
4.2.2.10 Ensaio de impacto	40
4.2.2.11 Ensaio de resistência a abrasão	40
4.2.2.12 Análise da viscosidade por reometria	40
4.2.2.13 Determinação de ruído em situação real	41
4.2.2.14 Determinação do ruído em sistema de bancada simulado	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Preparação das amostras.....	45
5.2 Preparação das misturas	45
5.3 Caracterização	45
5.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	45
5.3.2 Análise termogravimétrica (TGA)	47
5.3.3 Análise Térmica por calorimetria diferencial exploratória (DSC).....	49
5.3.4 Análise de espectrofotometria de infravermelho (FTIR)	49
5.3.5 Análise de temperatura de deflexão térmica (HDT)	51
5.3.6 Análise de propriedades mecânicas.....	52
5.3.7 Análise de viscosidade (reometria)	54
5.4 Ensaio de determinação de ruído.....	55
5.4.1 Determinação de ruído em situação real	55
5.4.2 Ensaio de ruído realizado no sistema de bancada	59
6 CONCLUSÕES	62

7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
9	ANEXOS	71
9.1	Foha de dados do Poliacetal	71
9.2	Folha de dados do Poliuretano Termoplástico	72
9.3	Folha de dados do Elastômero Termoplástico.....	73
9.4	Trabalhos submetidos	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição geográfica das empresas do setor moveleiro no Brasil.	20
Figura 2: Estrutura do poliacetal (POM)	24
Figura 3: Estrutura química do MDI puro	27
Figura 4: Reação de obtenção e estrutura química do poliálcool poliéster	27
Figura 5: Estrutura química do TPU, identificando segmento rígido e segmento flexível	28
Figura 6: Estrutura esquemática dos TPUs: (a) segmento flexível e (b) segmento rígido	29
Figura 7: Micrografia de MEV de misturas POM/TPU nas proporções de: (a) 90/10, (b) 80/20, (c) 70/30 e (d) 60/40.	31
Figura 8: Reometria para POM, TPU e misturas POM/TPU nas proporções 80/20, 70/30 e 60/40 a 190°C	32
Figura 9: Mecanismo de movimento de portas (a) guarda roupas, (b) sistema de movimentação da porta com trilho e roldanas (b) e (c) roldanas.	41
Figura 10: Sala utilizada para medição de ruído, com móvel e valores das medidas em centímetros (cm), e posições dos microfones 01, 02, 03 e 04.	42
Figura 11: Representação do sistema utilizado para medição da emissão de ruído das roldanas em sistema de bancada.	43
Figura 12: Sistema de bancada para medição de ruído, (a) vista superior, (b) vista da roldana em contato com o trilho	44
Figura 13: Posição do microfone (a) e imagem do sistema (b).	44
Figura 14: Micrografias de MEV (a)POM e das misturas: (b)P80, (c)P70, (d)P60, (e)P50 e (f) P40 (2000x).	46
Figura 15: Termogramas por TGA de POM, TPU e misturas.....	48
Figura 16: Termograma de DSC das amostras de POM, TPU e das misturas analisadas.	49
Figura 17: Espectros no infravermelho de POM, TPU e suas misturas.	50
Figura 18: Análise de HDT das misturas de POM/TPU preparadas para roldanas.....	51

Figura 19: Viscosidade de POM, TPU e misturas POM/TPU a 190°C.....	55
Figura 20: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU em diferentes posições do microfone conforme Figura 10.	56
Figura 21: Emissão de ruído das roldanas por frequências, com quatro posições de microfone para cada amostra.	57
Figura 22: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU por frequências e posição do microfone (a) posição 01, (b) posição 02, (c) posição 03 e (d) posição 04.....	58
Figura 23: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU e ruído residual avaliadas por frequência de 100Hz a 5000Hz em sistema de bancada.	60
Figura 24: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU, avaliadas por frequência de 100Hz a 5000Hz em sistema de bancada.....	60
Figura 25: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU, avaliadas por frequência de 1250 Hz a 5000 Hz em sistema de bancada.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais polímeros termoplásticos utilizados na indústria moveleira e suas aplicações.....	22
--	----

LISTAS DE SIGLAS, TERMOS E ABREVIACOES

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Bel
dB	Decibel
DSC	Calorimetria diferencial exploratória
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EPDM	Monomero de etileno-propileno-dieno
FTIR	Espesctroscopia por transformada de Fourier
HDT	Temperatura de deflexão térmica
HIPS	Poliestireno de alto impacto
Hz	Hertz
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma brasileira regulamentadora
PA	Poliamida
PBT	Poli (tereftalato de butileno)
PC	Poli(carbonato)
PE	Polietileno
PEEK	Poli(ter ter cetona)
PMMA	Poli (metacrilato de metila)
POM	Poliacetal ou poli(oxymethylene)
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTFE	Poli(tetra fluor etileno)
PU	Poli(uretano)

PVC	Poli(cloreto de vinila)
TGA	Análise termogravimétrica
TPE	Elastômero termoplástico
TPU	Poliuretano termoplástico

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais segmentos consumidores de polímeros termoplásticos.....	21
Tabela 2: Codificação e descrição das amostras de POM/TPU para preparação das roldanas.	38
Tabela 3: Temperaturas de degradação do POM, TPU e das misturas POM/TPU.....	48
Tabela 4: Absorbâncias nos espectros no FTIR do POM, TPU e misturas POM/TPU	50
Tabela 5: Resultado dos ensaios de tração e alongamento na ruptura do POM, TPU e das misturas TPU/POM.	52
Tabela 6: Resultado dos ensaios de abrasão, impacto e dureza para os polímeros POM/TPU e suas misturas.....	54

RESUMO

Misturas de poliacetal (POM), polímero de engenharia com boas propriedades mecânicas, com poliuretano termoplástico (TPU), um polímero composto por uma fase rígida e outra flexível visam buscar alternativa de materiais a serem utilizadas em bandas externas de roldanas, visando a diminuição da emissão de ruído das roldanas quando utilizadas em sistema de movimentação de portas de armários, em contato com um trilho metálico. Neste trabalho foram avaliadas as propriedades mecânicas, físicas, térmicas e morfológica de misturas de POM/TPU nas proporções 100/0, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 e 0/100 (m/m). As misturas foram preparadas em extrusora dupla rosca corrotante e após os corpos de prova foram injetados em injetora convencional. O aumento dos teores de TPU nas misturas promoveu o aumento da resistência ao impacto, à abrasão e diminuição na dureza do material. Houveram aumentos da temperatura de deflexão térmica das misturas com o aumento do teor de POM. Através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) pode ser analisada uma mistura homogênea com partículas dispersas de TPU em formato de gotículas.

A avaliação de emissão de ruído mostrou que com a diminuição do módulo de elasticidade, com o aumento da quantidade TPU na mistura, ocorre a redução da emissão de ruído do mesmo, esta redução fica evidente em frequências acima de 1kHz, ocorrendo uma redução da emissão de ruído de 2-5dB.

Palavras-chave: poliacetal, poliuretano termoplástico, mistura polimérica, roldanas, emissão de ruído.

ABSTRACT

Polyoxymethylene (POM), an engineering polymer with good mechanical properties, blended with thermoplastic polyurethane (TPU), a polymer composed by a flexible and a rigid phase, are an alternative of materials to be used in external bands of pulleys, aiming to reduce the noise emission of pulleys when used in system drive cabinets doors, occurring pulleys contact with a metallic rail. In this work, the mechanical, physical, thermal and morphological properties of POM/TPU blends were evaluated in the proportions of 100/0, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 and 0/100 (w/w). The blends were prepared in a twin screw extruder and after the samples were injected in a conventional injector. The increase in the levels of TPU on the blends promoted a rise in the impact resistance, abrasion and a decrease in the material hardness. There was an increase in the deflection heat temperature of the blends with enhanced content of POM. Through scanning electron microscopy (SEM) was observed a blend with the presence of dispersed TPU particles.

The noise emission showed that with the decrease in the modulus of elasticity of the polymer occurs a reduction of noise emission. This reduction is evident in frequencies above 1 kHz, causing 2-5dB reduction of noise emission.

Keywords: poly(oxymethylene), thermoplastic polyurethane, polymeric blends, mechanical properties, pulleys, noise emission.

1 INTRODUÇÃO

A indústria moveleira movimentou cerca de 5,6 bilhões de reais no Estado do RS e 35,1 bilhões de reais no País, no último ano. A indústria moveleira pode ser segmentada tanto em função dos materiais que os móveis são confeccionados, como também de acordo com os usos a que se destinam. Quanto aos usos, existem os móveis de madeira para residência e os móveis para escritório. Os móveis para dormitórios representaram, 55,2% da produção do estado em número de peças, os móveis para salas de jantar representaram 21,5%, enquanto os móveis para escritório representaram 14,8% (MORAES, 2002; MOVERGS, 2014).

Os polímeros são matérias-primas utilizada na produção dos móveis e acessórios, tendo a indústria moveleira consumido de 2 a 4 % do total dos polímeros termoplásticos mundialmente produzidos. Os sistemas de movimentação das portas de armários e móveis utilizam roldanas com banda externa em material polimérico. Os polímeros comumente utilizados em bandas de roldanas, por exemplo, são: poliacetal (POM) poliamida (PA); elastômero termoplástico (TPE) e poliuretano termoplástico (TPU) (BIRON, 2007; MOVERGS, 2014).

O desenvolvimento industrial desempenha um importante papel no crescimento do setor moveleiro que por um lado gera benefícios, por outro, é responsável pelo aumento de vários tipos de ruídos, fatores estes que afetam o meio ambiente e a saúde humana. Com relação ao conforto humano e atenuação dos níveis de ruídos, atualmente há uma grande busca pelo desenvolvimento de materiais compósitos, misturas poliméricas e novas tecnologias que sejam capazes de apresentar melhores propriedades a não propagação de som (ZHAO, 2010).

As roldanas, utilizadas para movimentação de portas de armários, produzidas geralmente em poliacetal (POM), geram ruídos desagradáveis ao ouvido humano. O objetivo deste estudo é obter roldanas com baixa emissão de ruído e avaliar as propriedades mecânicas e de emissão de ruído de roldanas confeccionadas com POM, TPU e suas misturas.

A reunião de diversos processos de produção, envolvendo diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais, na indústria de móveis pode ser segmentada em função dos materiais com que os móveis são confeccionados pelos fabricantes e assim como aos usos a que são destinados, com design específico (TRENTIN, 2009).

Além da tecnologia, os fatores de competitividade da indústria de móveis relacionam-se com novas matérias-primas e design. A dinâmica das inovações baseia-se, principalmente, no que se refere ao produto, através do aprimoramento do design e da utilização de novos materiais.

O desenvolvimento de componentes para móveis do setor moveleiro, como roldanas que produzam menor ruído aéreo, a base de misturas poliméricas, em setor carente de pesquisa no desenvolvimento de componentes e de normas técnicas de caracterização, para este fim contribui com os aspectos de sustentabilidade e inovação.

A proposta deste trabalho está baseada em estudos e desenvolvimento de roldanas, com a utilização de misturas poliméricas com boas propriedades mecânicas, baixa emissão de ruído e desgaste quando submetido a esforço de fadiga para utilização em móveis.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo Geral*

Avaliar as propriedades acústicas e mecânicas de roldanas de poliacetal, poliuretano termoplástico e suas misturas com vistas à diminuição do ruído e desgaste, decorrente da movimentação das portas de armário.

2.2 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- avaliar as propriedades mecânicas, morfológicas e acústicas das roldanas obtidas com diferentes proporções dos materiais poliméricos e ou misturas poliméricas;
- padronizar os ensaios e quantificar a emissão de ruído de roldanas para móveis, para os materiais ou misturas a serem testados;
- desenvolvimento do aparato para determinação da emissão de ruído do sistema em movimentação;
- determinar as melhores condições de processamento dos materiais poliméricos e misturas na injeção das roldanas;
- propor a(s) melhor(es) misturas POM/TPU para a produção de roldanas para móveis, com baixa emissão de ruído.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria moveleira

O setor moveleiro no Brasil possui 17,5 mil indústrias (Figura 1). Este setor gera 322,8 mil empregos com faturamento anual de 38,6 bilhões de reais, sendo 708,7 milhões de dólares em exportações. O setor moveleiro no Estado do Rio Grande do Sul possui 2,47 mil empresas, gerando 43.475 mil empregos e um faturamento anual de aproximadamente 6,3 bilhões de reais, sendo 205,4 milhões de dólares destinados a exportação (MOVERGS, 2014).

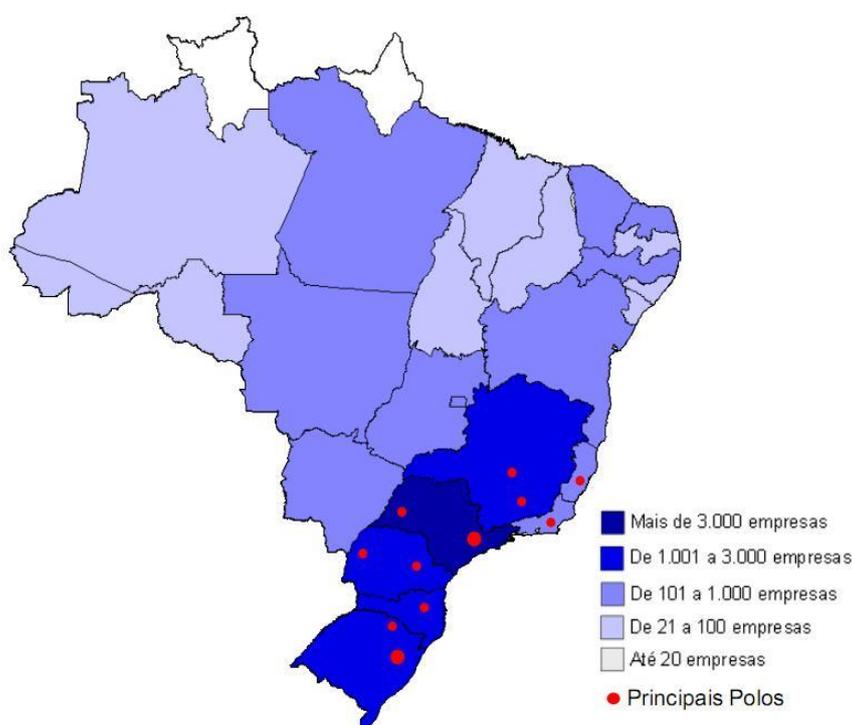


Figura 1: Distribuição geográfica das empresas do setor moveleiro no Brasil.
(MOVERGS, 2014)

Presente no mobiliário contemporâneo desde o final da década de 30, os materiais poliméricos proporcionaram grandes avanços na década de 60 com os produtos alemães influenciado pelo design italiano.

A partir da década de 70 houve uma resistência ao uso dos materiais poliméricos na indústria moveleira, por ser considerado um material pouco nobre.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente o material polimérico é considerado material básico e são utilizados praticamente em todos os ramos industriais. Devido as características de baixo custo, peso reduzido, elevada resistência, e variação de formas e cores ocorre a expansão do uso do material polimérico como compósitos e blendas (AMATO, 2012).

Os materiais poliméricos são utilizados na indústria moveleira na forma natural ou podendo estar combinado com peças metálicas (BIRON, 2007). O Tabela 1 apresenta os principais segmentos de consumo de polímeros termoplásticos.

Tabela 1: Principais segmentos consumidores de polímeros termoplásticos.

Setor/Mercado	%
Embalagens	37-39
Construção civil	18-24
Automotivo e transportes	8-13
Elétrico e eletrônico	7-9
Esporte e lazer	2-5
Moveleiro	2-4
Agricultura	2
Médica	1
Outros	7-11
Total	100

Fonte: (BIRON, 2007)

3.2 *Polímeros na Indústria*

A partir de 1930 alguns materiais poliméricos começaram a ser utilizados em escala industrial, como poliéster e poliamida, passando a compor roupas, partes de máquinas e equipamentos industriais (CANEVAROLO, 2006). Os principais materiais poliméricos utilizados na indústria moveleira são apresentados no Quadro 1.

Com as alternativas de preparação de acessórios e peças para móveis, as rodas, roldanas e rodízios são utilizados em quase todos os sistemas de movimentação de portas e gavetas, podendo ser metálicas, poliméricas, de madeira ou compostas de dois ou mais materiais. As partes móveis, que são peças mecânicas utilizadas para transferir força e movimento constituído por uma roda e eixo são chamadas de rodízios e roldanas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme Semprebone *et al* (2006), em estudos realizados em sistemas de trilhos ferroviários, o contato da roldana com trilho causa desgaste em ambos os elementos pelas tensões de atrito, que ocorrem na superfície de contato. Entre a roldana e o trilho é adicionada uma camada de polímero (banda externa polimérica), que minimiza o ruído provocado no rolamento da roldana (CONSOLE, 2007).

Quadro 1: Principais polímeros termoplásticos utilizados na indústria moveleira e suas aplicações.

Polímero	Aplicações
Polietileno (PE)	Acessórios: pinos, buchas, porcas, separadores, insertos, rodízios e rolamentos
Polipropileno (PP)	Mobília para jardim, carpetes para interiores e exteriores Acessórios: pés de mesas, dobradiças, suportes de iluminação
Poli(cloreto de vinila) (PVC)	Estofados, revestimentos, prateleiras, mobílias infláveis, madeira sintética (compostos de madeira-plástico feitos de PVC rígido altamente carregado com serragem).
Espuma de PVC	Painéis para showrooms, cenários, acessórios para lojas.
Polímeros Estirênicos, Poliestireno (PS), Poliestireno de alto impacto (HIPS)	Mesas de centro, traveling tables, elementos modulares de armazenamento, unidades pequenas de armazenamento, caixas para medicamentos Clips, barras para guarda-roupas, gavetas Barras, fitas e perfis decorativos
Poliamida (PA)	Rolamentos, barras, dobradiças, corrediças.
Poli(metacrilato de metila)(PMMA)	Mobílias transparentes Botões
Policarbonato (PC)	Equipamentos de jardinagem, móveis de escritório e mobílias
Poliacetal (POM)	Rolamentos, buchas, dobradiças, cabeças de chuveiros.
Elastômeros Termoplásticos	Pés, tampas, pastilhas, puxadores, roldanas, rodas.

Fonte: (BIRON, 2007)

3.3 *Polímeros*

Os materiais poliméricos comumente utilizados em roldanas e rodízios para móveis são: poliacetal, elastômeros termoplásticos, poliuretanos e outros (BIRON, 2007).

3.3.1 *Poliacetal (POM)*

O poliacetal (POM) é um termoplástico de engenharia, com resistência mecânica e rigidez elevada, aproximando-se de metais não-ferroso.

O POM é produzido a partir de resina acetálica que é caracterizada pela presença de ligações $-O-C-O-C-$ originadas da adição de unidades monoméricas com abertura das duplas ligações $C=O$ do tipo carbonílico (CHEN, 2012).

As resinas acetálicas comerciais, sejam homopolímeros ou copolímeros, são altamente cristalinas, possuem excelentes propriedades, tais como elevado módulo de elasticidade, alta tenacidade, resiliência e alta temperatura de distorção. O homopolímero se diferencia do copolímero nas propriedades mecânicas que dependem do grau de cristalinidade como, por exemplo, dureza, tenacidade e tensão de ruptura (CHEN, 2006).

A resina acetálica apresenta coloração branca translúcida e podem ser pigmentadas, apresentam resistência à tração e compressão notavelmente altas, comparável aos termoplásticos de alto desempenho. Diferentemente da maioria dos termoplásticos, os poliacetais apresentam valores elevados de propriedades mecânicas a altas temperaturas. Além disso, a absorção de água é relativamente baixa (0,3% por 24 horas a 23°C) e as características físico-mecânicas independem do conteúdo de umidade na resina. Por isso, os poliacetais são materiais utilizados na construção de bombas ou outros componentes que funcionam imersos em água (MAXWELL, 1994; BRAECKEL, 2000).

A elevada rigidez favorece a aplicação destas resinas onde é requerida a capacidade de suportar esforços com mínimas deformações, como engrenagens dentadas e suportes. Além disso, uma característica marcante é a resistência a abrasão, consequência da dureza e tenacidade, além do baixo coeficiente de atrito. Os polímeros acetálicos apresentam elevada resistência à fluência, mesmo a temperaturas entre 60 e 70°C. A temperatura de distorção é particularmente elevada, alcançando 127°C para os homopolímeros e 117°C para os copolímeros. Em função do exposto, amplia o campo de aplicação com a construção de peças

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

sujeitas a condições de exercício que suportam altas temperaturas. A resistência a solventes é alta a temperatura ambiente, porém a altas temperaturas é possível obter soluções em derivados fenólicos. Esta característica permite às resinas acetálicas o contato com numerosos produtos alimentares ou de emprego industrial. Por outro lado, não é aconselhável o contato com ácidos e bases fortes (CHANDA, 1998).

A estrutura molecular (Figura 2) do homopolímero do POM é $(\text{CH}_2\text{O})_n$ e o copolímero contém algumas unidades de $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})$ (CHEN, 2012). Possui grau de cristalinidade elevado, de 60–80%, que lhe confere boas propriedades mecânicas, elétricas, químicas e térmicas, com temperatura de transição vítrea (T_g) de 82 °C e temperatura de fusão (T_m) 180 °C. O POM possui boa resistência ao desgaste, boa resistência ao escoamento e à fadiga por vibrações, possui baixo coeficiente de atrito e elevada resistência a abrasão com características auto-lubrificantes sendo assim muito utilizado em bandas de roldanas, engrenagens, anéis de vedação, peças de rotação eletroeletrônicas, automotivas e instrumentos de precisão (WIESLAW, 2001; CHEN, 2006; KAWAGUCHI, 2006).

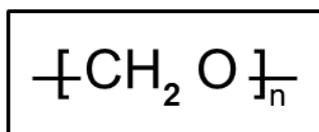


Figura 2: Estrutura do poliacetal (POM) (STEVENS, 1990).

3.3.2 *Elastômeros termoplásticos (TPE)*

Segundo a norma ASTM D 6338 – 09, os elastômeros termoplásticos são materiais borrachosos que, com borracha vulcanizada em forma convencional, podem ser reprocessados e reciclados como materiais termoplásticos. O desenvolvimento desse tipo de material é de grande interesse industrial e levou muitos pesquisadores industriais a buscarem novas maneiras de produzir materiais por meio desta estratégia. Em termoplásticos modificados com elastômeros, a função do elastômero é melhorar a resistência ao impacto e ductilidade do termoplástico. Por outro lado, a incorporação de termoplástico na matriz elastomérica acarreta em um aumento na dureza do elastômero. Geralmente os elastômeros termoplásticos e os termoplásticos modificados com borracha são sistemas poliméricos multifásicos compostos por domínios rígidos e flexíveis os quais podem ser tanto copolímeros como blendas mecânicas (ELLUL, 1995).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os elastômeros termoplásticos (TPE), são materiais poliméricos que geralmente possuem processabilidade dos termoplásticos e a elasticidade dos elastômeros vulcanizado. Os TPE são materiais bifásicos que apresentam a combinação de propriedades de um termoplástico amorfo ou semicristalino e de um elastômero flexível, e possibilitam que materiais elastoméricos sejam processados da mesma forma que os materiais termoplásticos. Vários dos TPEs olefínicos são produzidos por mistura de elastômeros de etileno – propileno (EPR) ou elastômeros de etileno – propileno – dieno (EPDM) com polipropileno (PP). A fase elastomérica é parcialmente vulcanizada, produzindo uma morfologia que envolve separação de microfases responsável pelas propriedades únicas desse material (ELLUL, 1995; AKIBA, 1997). Geralmente as solubilidades dos polímeros determinam as propriedades dinâmico mecânicas, enquanto que o tamanho de fase e a adesão entre fases influenciam principalmente nas propriedades de impacto. As propriedades físicas de um termoplástico elastomérico dependem principalmente de três parâmetros principais: composição da blenda, condições de processamento e formação de ligações cruzadas ou agente de cura adicionados (CHAMDA, 1998).

Os elastômeros termoplásticos podem ser classificados em dois grupos principais: copolímeros em bloco e blendas poliméricas. O primeiro grupo é composto por copolímeros que consistem em copolímeros em blocos. Os copolímeros em bloco de estireno (TPE-S) exibem uma ampla gama de aplicações, que é resultado das propriedades como a dureza, aderência e recuperação elástica. Os copolímeros em bloco de poliésteres (TPE-E) exibem boas propriedades mecânicas até 160 °C, resistência a óleos e gorduras assim como alta polaridade, que proporciona a utilização em colas e vernizes. Os copolímeros em bloco de poliuretano (TPE-U) é um sistema clássico que apresenta boas propriedades mecânicas e elevada resistência à abrasão. Os copolímeros em bloco de poliamida (TPE-A) também apresentam excelentes propriedades mecânicas. Os copolímeros em bloco de polietileno/poli(α -olefinas) exibem um amplo intervalo de temperaturas de uso (CHANDA, 1998; AKIBA, 1997).

As blendas poliméricas podem ser divididas em TPE-O com uma fase elastomérica não vulcanizada e TPE-V com uma fase elastomérica vulcanizada. Uma vez que TPE-Os não possuem ligações cruzadas, são usados preferencialmente em temperaturas mais baixas e com baixa solicitação de tensões. TPE-Os são transparentes, possuem baixa densidade e preço atraente. TPE-Vs com grande número de ligações cruzadas são amplamente usadas na

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

indústria automotiva, e exibem baixa dureza e elevada temperatura de aplicação (acima de 100°C). Os vulcanizados dinâmicos (TPE-V) pertencem a este tipo de elastômeros termoplásticos (AKIBA, 1997).

3.3.3 Poliuretano termoplástico (TPU)

O poliuretano termoplástico (TPU) foi um dos primeiros materiais elastoméricos processados pelas técnicas convencionais de termoplásticos, como extrusão, sopro e injeção. O TPU possui cadeias lineares de alta massa molar, ligadas entre si por forças intermoleculares secundárias, sem ligações cruzadas. Com a ação da temperatura ocorre um afastamento entre as moléculas, o que torna o material viscoso no estado fundido, promovendo o seu escoamento durante o processamento. São utilizados na fabricação de produtos de alto desempenho nas indústrias. O TPU é um polímero possui propriedades de elastômero de alto desempenho a um termoplástico rígido, assim sua utilização é elevada devido as suas propriedades físicas e químicas, como alta resistência a tração, abrasão e resistência ao rasgamento, ao óleo e resistência a solventes e flexibilidade a baixas temperaturas. A temperatura de transição vítrea (T_g) está entre -50°C e -10°C e temperatura de fusão (T_m) entre 160 e 200°C. São utilizados em peças automotivas, rodas, cobertura de cabos elétricos, mangueiras e outros (PALANIVELU, 2000; SURESHA, 2010; EL-SHEKEIL, 2012).

Podem ser descritos como copolímero em bloco, composto por uma fase rígida e uma fase flexível, sendo possível sua fase flexível ser poliéster ou poliéter. Em função destas características uma ampla variedade de formulações necessidade ou propriedades do copolímero a ser utilizado. (VILAR, 2002; LU, 2004). Estes blocos são cadeias lineares com massas molares na ordem de 15.000 a 40.000 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. O segundo bloco, chamado de segmento rígido, é formado pela reação de um di-isocianato com um diol de baixa massa molar, chamado de extensor de cadeia. O segmento rígido se comporta como uma reticulação dispersa na fase flexível e pode ser fundido sem degradação das ligações uretânicas dando a característica de termoplástico (PIZATTO, 2009).

3.3.3.1 Obtenção do Poliuretano Termoplástico

Na década de 40 após a primeira síntese do di-isocianato de 4,4 difenil metano (MDI), pôde-se obter poliuretanos (PUs) com cadeias lineares com a utilização do isômero

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

bifuncional, combinado com polióis e extensores de cadeia bifuncionais. Os segmentos flexíveis, formados pelo poliól, controlam as propriedades de flexibilidade em temperaturas baixas e a resistência química a solventes e intempéries, enquanto os segmentos rígidos determinam o comportamento nas temperaturas elevadas, os flexíveis são os responsáveis pelas propriedades nas temperaturas baixas (VILAR, 2002).

Para a obtenção do TPU, o di-isocianato mais utilizado é o MDI combinado com um poliól poliéster e um extensor de cadeia. O MDI puro (Figura 3) é um sólido branco-amarelado com ponto de fusão em torno de 38°C.

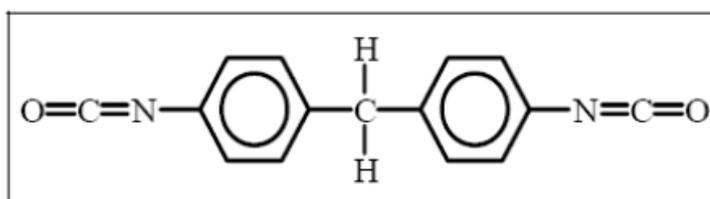


Figura 3: Estrutura química do MDI puro (PIZATTO, 2009).

Os polióis poliésteres são fabricados pela reação de policondensação de um diácido com excesso de um diol. Foram os primeiros polióis utilizados no início do desenvolvimento dos PUs e sua reação de obtenção e estrutura química estão representadas na Figura 4 (VILAR, 2002).

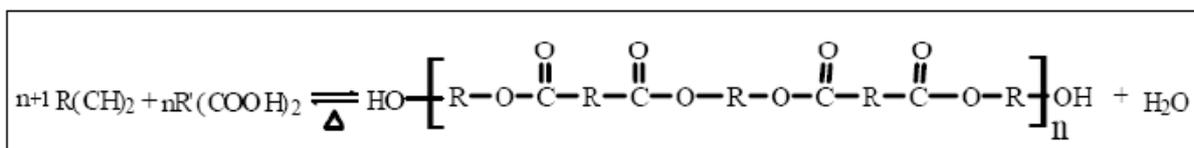


Figura 4: Reação de obtenção e estrutura química do poliól poliéster (PIZATTO, 2009)

Os PUs baseados em polióis poliésteres apresentam como vantagens sobre os polióis poliéteres, certas propriedades como resistência estrutural a óleos, solventes e à oxidação. Apresentam melhores propriedades como resistência à tração, resistência ao rasgamento, resistência ao corte, resistência à abrasão, adesão e estabilidade dimensional. Por outro lado, o grupo éster é mais sensível à hidrólise e à atividade microbiana. Geralmente, a resistência à hidrólise dos polióis poliésteres aumenta com o aumento do comprimento da cadeia flexível. A resistência à hidrólise e ao intumescimento em solventes e óleos também é melhorada pelo aumento das ramificações das cadeias de poliéster (PIZATTO, 2009).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As melhores propriedades mecânicas dos PUs à base de polióis poliéster podem ser explicadas pela maior compatibilidade dos segmentos flexíveis polares do poliálcool poliéster com os segmentos rígidos também polares do isocianato, ocasionando uma separação de fases mais lenta e resultando na formação de blocos rígidos cristalinos pequenos, porém melhores distribuídos na matriz polimérica. Os extensores de cadeia mais utilizados são os glicóis lineares como o etilenoglicol, 1,4-butanodiol, 1,6-hexanodiol e hidroquinona bis-(2-hidroxi) éter. Por serem bifuncionais, estes extensores de cadeia conferem à estrutura molecular, maior linearidade, característica essa, importante para a propriedade elastomérica e também a não formação de ligações cruzadas. Esses extensores formam TPUs bem cristalizados e que fundem sem decomposição, durante o processamento. A Figura 5 mostra a equação química base de obtenção destes materiais (VILAR, 2002; ECCO, 2011).

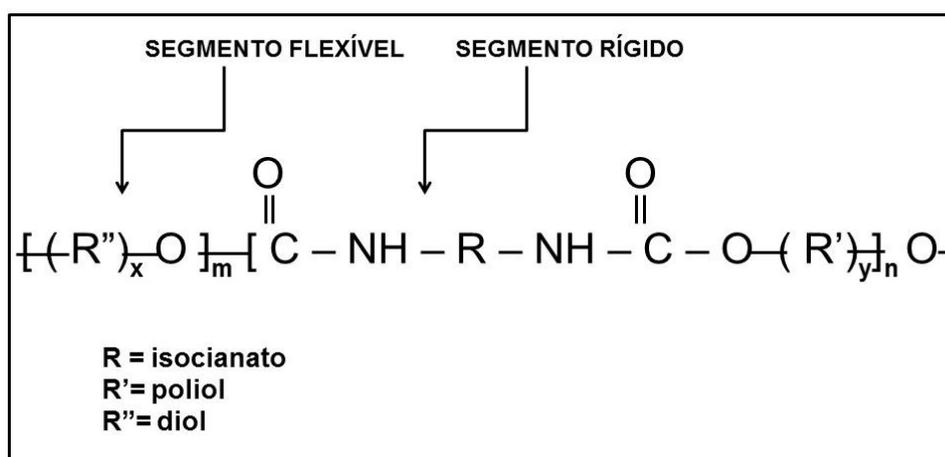


Figura 5: Estrutura química do TPU, identificando segmento rígido e segmento flexível (ECCO, 2011).

Na Figura 6 encontra-se a estrutura molecular típica de um TPU, formado por macromoléculas segmentadas, compostas por segmentos rígidos e flexíveis, oriundos da estrutura química dos monômeros constituintes (poliol, di-isocianato e extensor de cadeia).

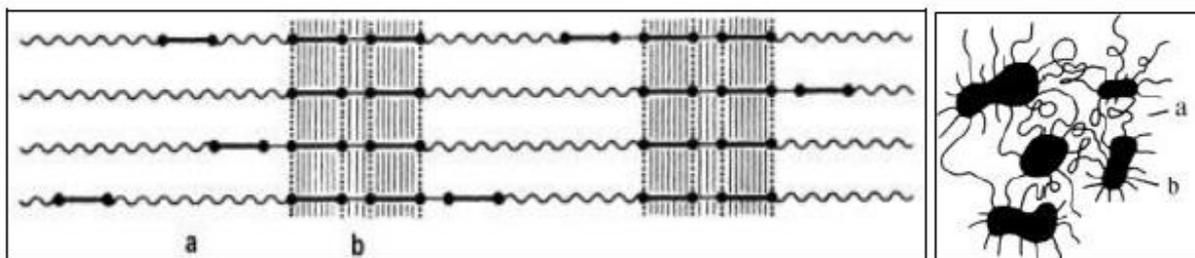


Figura 6: Estrutura esquemática dos TPUs: (a) segmento flexível e (b) segmento rígido (VILAR, 2002).

Nos copolímeros termoplásticos modificados com elastômeros, a função do elastômero é melhorar a resistência ao impacto e ductilidade do material enquanto a incorporação de material termoplástico na matriz elastomérica provoca um aumento na dureza do elastômero (UTHAMAN, 2007; TANG, 2013).

3.4 Misturas poliméricas

O processo de misturas de materiais poliméricos permite melhorar determinada(s) propriedade(s) do uso de polímero, com o mínimo de ou nenhuma perda das suas propriedades. A estratégia para o desenvolvimento de materiais com propriedades diferentes dos polímeros utilizados nas misturas é um processo que apresenta baixo custo, em comparação com a síntese de um polímero novo, (OLIVEIRA, 2013).

As misturas poliméricas destacam-se pela ampla faixa de razão custo/benefício. São materiais importantes, devido suas propriedades físicas e químicas, que podem ser alteradas para uma vasta gama de aplicações. O desenvolvimento de misturas poliméricas é uma ótima alternativa para os setores de seleção de materiais a serem utilizados nos produtos (ITO, 2004). As principais propriedades que, geralmente, se desejam melhorar com o processo de mistura são: resistência ao impacto, resistência térmica, resistência química e resistência ao envelhecimento.

As propriedades das misturas, de um modo geral, dependem da composição, da microestrutura e da interação entre os componentes poliméricos, comportamento reológico e das condições de processamento.

As misturas podem ser formadas por polímeros parcialmente miscíveis ou imiscíveis e geralmente nas misturas poliméricas imiscíveis são utilizados compatibilizantes para uma

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

maior interação entre os polímeros. As misturas de poliuretano termoplástico (TPU) com poliacetal (POM) são investigadas visando às propriedades mecânicas, resistência ao impacto, e a dureza. A dureza das misturas de POM/TPU depende da concentração do TPU, da distancia das partículas da fase de TPU dispersa no POM, e a compatibilidade entre a mistura de TPU/POM (KAWAGUCHI, 2006).

Palanivelu *et al* (2000), estudaram o comportamento de misturas poliméricas de POM/TPU. Nas proporções de 90/10, 80/20, 70/30 e 60/40 e o aumento de TPU nas misturas promoveu aumento na resistência ao impacto, resistência ao desgaste e diminuição na resistência tração e módulo elástico.

Outros pesquisadores estudaram as misturas de POM/TPU, variando de 10 a 50% o teor de TPU com adição de agentes compatibilizantes e observaram que as propriedades de resistência a tração, modulo de elasticidade e dureza diminuíram com o aumento de TPU, e as propriedades de alongamento na ruptura e resistência ao impacto aumentaram nas mesmas proporções (GAO, 2004; CHENG, 2006; WANG, 2011; TANG, 2013).

3.4.1 Morfologia

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é muito utilizada para avaliar a morfologia de misturas poliméricas. Geralmente são utilizados feixe de elétrons de intensidade de 10 - 15 kV. As misturas são avaliadas em sua superfície e sessão transversal visualizando a interação e homogeneidade da mistura (CANEVAROLO, 2004).

Em estudos realizados por Palanivelu *et al* (2000), foram encontrados partículas de TPU em formato de gotículas na matriz de POM, com o aumento da quantidade de TPU ocorre o aumento do tamanho e quantidade das partículas, conforme mostrado na Figura 7.

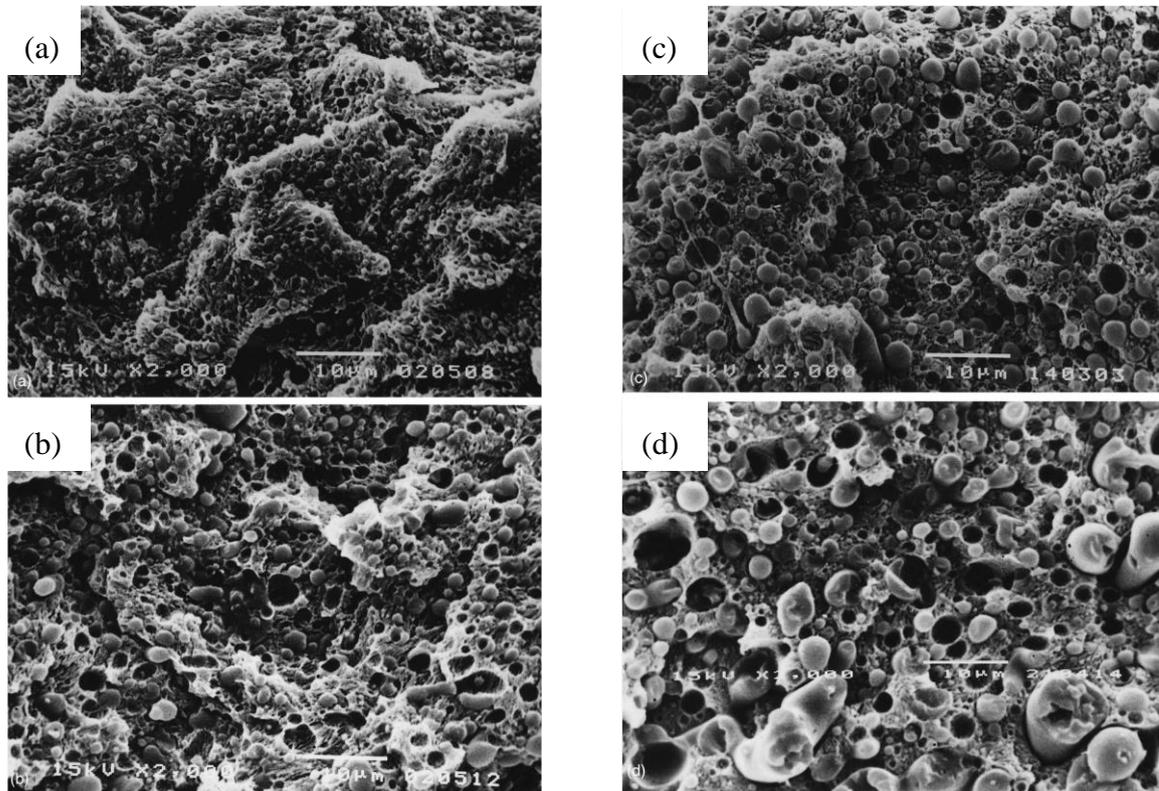


Figura 7: Micrografia de MEV de misturas POM/TPU nas proporções de: (a) 90/10, (b) 80/20, (c) 70/30 e (d) 60/40.

3.4.2 *Comportamento reológico de misturas poliméricas*

A reologia estuda o fluxo e a deformação da matéria, analisando as respostas de um material provocadas pela aplicação de uma tensão ou deformação. Os materiais poliméricos, sólidos, fundidos, ou em solução, podem ser considerados um tipo especial de material, já que apresentam ao mesmo tempo característica tanto de materiais sólidos como de materiais líquidos, sendo esta propriedade conhecida como viscoelasticidade (BRETAS, 2000). A reologia esclarece alguns problemas encontrados no processamento de materiais poliméricos permitindo conhecer e prescrever as condições de processamento, assim como mecanismo de escoamento, morfologia e propriedades mecânicas.

No processamento de materiais poliméricos as propriedades reológicas dependem de parâmetros operacionais, como temperatura, vazão, pressão e estruturais como massa molar e distribuição de massa molar. Em baixas taxas de cisalhamento, a viscosidade é mais afetada

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

pela massa molar, enquanto que em elevadas taxas de cisalhamento é a distribuição de massa molar e a quantidade de ramificações (BRETAS, 2000).

As misturas de POM e TPU (Figura 8) apresentaram comportamentos similares de viscosidade em altas taxas de cisalhamento em proporções de POM/TPU de 90/10 até 60/40 (PALANIVELU, 2000). Em misturas de PBT com TPU, o aumento do índice de fluidez das misturas ocorre com o aumento da quantidade de TPU, tanto em baixas, como altas taxas de cisalhamento (PALANIVELU, 2002).

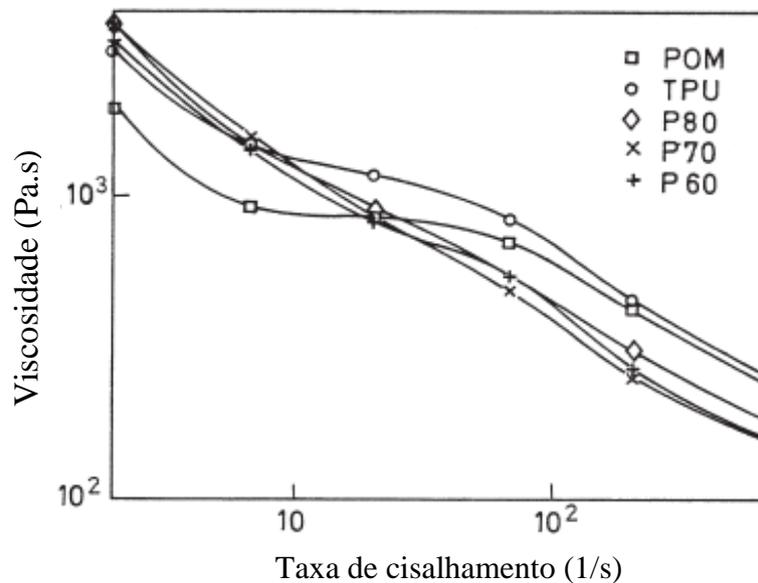


Figura 8: Reometria para POM, TPU e misturas POM/TPU nas proporções 80/20, 70/30 e 60/40 a 190°C (PALANIVELU, 2000).

3.5 Emissão de ruído em sistemas de movimentação

O ruído, aquecimento, mudanças geométricas e fragmentos podem ser provenientes da fricção e do desgaste de um material, que podem resultar na perda da função pretendida no produto (GAHR, 1987).

O desenvolvimento da indústria contemporânea proporcionou um aumento de vários tipos de ruídos, fatores que afetam o meio ambiente e a saúde humana. Muitos estudos e

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

campos de pesquisas estão em desenvolvimento visando o controle e redução de ruídos gerados pelo homem no di-a-dia (ZHAO, 2010).

O ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa ou simplesmente como todo som indesejável (CARVALHO, 2010).

Todos os sons têm o potencial de serem descritos como ruído. Além de prejudicar diretamente o aparelho auditivo e o cérebro, o ruído pode agir sobre outros órgãos, às vezes, por ação reflexa, perturbando as funções neurovegetativas com implicações no funcionamento do organismo. Durante o sono o habitante das grandes cidades vive imerso numa atmosfera de ruídos com a qual parece estar acostumado: tráfego, buzinas, alarmes contra roubos, escapamentos, motores envenenados, algazarras, etc. E que, por mais estranho que possa parecer, este não o abandona nem quando procura se distrair em festas, cinemas, teatros, espetáculos musicais, uma vez que a sociedade moderna esqueceu-se do controle de volume dos sistemas de amplificação tanto individuais quanto coletivos. Diante disso, o ruído passou a ser um dos agentes nocivos à saúde, mais presente nos ambientes urbanos e sociais, principalmente nos locais de trabalho e nas atividades de lazer (PUJOL, 2012)

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1987), o ruído é a mistura de tons cujas frequências diferem entre si, por valores inferiores à discriminação (em frequência) do ouvido. Pode ser todo som inútil ou indesejável que traz vários danos à saúde de qualquer pessoa e principalmente aquelas que estão ligadas diretamente no seu dia a dia com esse indesejável som, levando com isso ao desconforto ou até mesmo a perda da audição.

A medição do ruído ocorre através do bel (B), que é a unidade de intensidade física relativa ao som, para medições de níveis de ruídos utiliza-se o Decibel (dB), unidade que equivale a décima parte de um bel. Sendo uma grandeza logarítmica, o decibel não pode ser somado linearmente, portanto $60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} \neq 120 \text{ dB}$. A soma de dois níveis de ruído de igual intensidade acrescenta ao sistema 3dB, ou seja, $60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB}$ (CARVALHO, 2010).

3.5.1 Transmissão do ruído

O ruído aéreo, decorrente da produção de uma pressão sonora, propaga-se no ar em forma de ondas esféricas a partir de sua origem. Ao atingir a estrutura de uma edificação o ruído aéreo será transmitido pela vibração das paredes, cujo movimento gerará outra onda

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

sonora no recinto adjacente. O ruído aéreo é transmitido através do ar, como exemplo são vozes, buzinas. O ruído de impacto (som transmitido num meio sólido) é o de um som gerado por uma excitação mecânica de curta duração que dá origem a um movimento ondulatório e causa grande desconforto porque a natureza de sua geração excita a estrutura em todas as frequências, inclusive a crítica, ainda que, os níveis de pressão gerados não sejam elevados. Os ruídos produzidos por impacto transmitem-se através de meios sólidos, líquidos e parcialmente pelo ar. Este ruído é gerado na queda de objetos, marteladas, passos, e outros (DO VALLE, 2006; CARVALHO, 2010).

Uma grande variedade de frequências compõe o som, porém a audição humana é sensível apenas a uma parte destas frequências (20-20000Hz) (SPECHT, 2009).

Conforme a NBR 10152/1987 os níveis aceitáveis de ruído para dormitórios é de 35-45dB, para salas de estar é 40-50dB. Os níveis de ruído abaixo desta faixa representam o nível sonoro de conforto, enquanto níveis superiores a esta faixa significam nível sonoro máximo para tal finalidade (NBR 10152, 1987).

Poucos estudos e metodologias são discutidas na literatura especificamente para a indústria de móveis assim, as metodologias de ensaio para avaliação de emissão de ruído em roldanas para aplicação em móveis são propostas por este trabalho baseadas em estudos realizados em rolamentos e engrenagens e sistema de movimentação de trens para a obtenção e avaliação de suas propriedades

Em estudos realizados no sistema de rolamento de trens, no contato roda/trilho, problema do ruído gerado vem ganhando destaque nos últimos anos, embora a tecnologia e evolução do conhecimento permitam alcançar alguns resultados significativos no controle de ruído. Para os diversos tipos de rodas os mecanismos mais importantes de emissão acústica são o ruído de rolamento e o ruído de impacto, este último ocasionado por algum possível defeito na roda ou no trilho. O estado atual da arte fornece técnicas que podem ser utilizadas para reduzir o ruído gerado por rodas e trilhos, devido a uma forte ligação entre os dois. A modificação da geometria da roda, o uso de diferentes materiais com boas propriedades de amortecimento, ou, a utilização de dispositivos especiais de amortecimento, estratégias diferentes podem ser adotadas (VINCENT, 2000; CIGADA, 2008).

O contato roda/trilho tem sido bastante estudado a fim de reduzir a emissão de ruído. As rodas resilientes e materiais com baixo módulo de elasticidade são apresentadas como uma

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

solução considerando suas melhorias em relação a emissão de som. O elemento resiliente tem efeito significativo sobre a emissão de ruído têm mostrado bons desempenhos na redução de ruído (BOUVET, 2000).

Rodas de baixo ruído são caracterizadas pela inserção de uma camada de material elastomérico entre o trilho e a roda. Eles foram inicialmente projetados para evitar ou reduzir a emissão de ruído de rolamento (BOUVET, 2000; CIGADA, 2008).

Rodas de baixa emissão de ruído são utilizadas em muitos veículos de transporte ferroviário para reduzir ruído agudo (altas frequências, geralmente acima de 1kHz) em curvas. Rodas de baixo ruído tem um elemento resiliente, em geral segmento de borracha (uma camada de elastomero) no interior da roda ou o anel de borracha entre o centro da roda e do pneu. A roda de baixa emissão de ruído é significativamente eficaz na redução de ruídos agudos. Os efeitos de redução de ruído deste tipo de roda são: a redução de 4-5 dB para o ruído do corpo do carro; redução do ruído interior de um carro motorizado 1-2 dB e redução do ruído interior de um carro de reboque de 3-4 dB. A roda de baixo ruído é eficiente na redução do ruído de rolamento em curva. Embora seja útil na redução do ruído de rolamento, é necessário um estudo mais aprofundado em outras áreas, como o desgaste da roda, vida útil e custo de manutenção no futuro (KOO, 2002).

Segundo Hoskins *et al* (2011), engrenagens poliméricas são consideradas componentes de baixa emissão de ruído porque possuem módulo de elasticidade baixo, o que os torna resilientes quando os dentes da engrenagem entram em contato um contra o outro. O aumento ruído gerado entre engrenagens de metal, poliacetal (POM), poli(éterétercetona) (PEEK) e poliamida (PA), está diretamente correlacionado com o aumento de carga sobre as engrenagens e foi quantificado em relação à intensidade avaliada em dB e a frequência avaliada em Hz.

Sreenilayam-Raveendran *et al* (2013) avaliaram vibração, emissão de ruído e desgaste dos rolamentos após diversos ciclos com esferas de metal e testaram o uso de polímeros como o PEEK e o poli(tetrafluoretileno) (PTFE). Os rolamentos feitos de PEEK apresentaram menor quantidade de fricção e emissão de ruído.

Nozawa *et al* (2009) avaliaram a redução de emissão de ruído de engrenagens de aço e engrenagens de aço revestidas com um filme polimérico de Noryl. Avaliaram a frequência e

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

intensidade de ruído emitido, na faixa de 3000 a 5000Hz e evidenciaram que houve uma redução de 5dB nas engrenagens revestidas com filme polimérico.

Briscoe *et al* (2001) estudaram o comportamento quanto a emissão de ruído, no atrito entre uma chapa plana de poli(metilmetacrilato) (PMMA) e uma esfera de aço, utilizando diferentes valores de velocidade de rotação da esfera e a carga de contato. A emissão de ruído foi medido na faixa de 95Hz a 24kHz e a maior redução no nível de emissão de ruído ocorreu na frequência de 4.3kHz, chegando a reduzir 3 a 4 dB.

Neste estudo são avaliadas roldanas, obtidas com mistura de diferentes teores de TPU e POM, com boas propriedades mecânicas e acústica para utilização em bandas externas de roldanas utilizadas em móveis para dormitórios.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho para a fabricação das roldanas foram:

Poliacetil (POM) R-3000 fornecido pela Radiccigroup Co.

Poliuretano termoplástico (TPU) FORTIPRENE 5126A90 fornecido pela FCC Ltda.

Elastômero termoplástico (TPE) FORTIPRENE 7140A90 fornecido pela FCC Ltda.

As fichas técnicas dos materiais deste estudo se encontram nos Anexos 01, 02 e 03.

4.2 Métodos

Esta etapa do estudo descreve o procedimento de obtenção das roldanas e corpos de prova bem como as técnicas de caracterização.

4.2.1 Obtenção das roldanas

As roldanas de POM, TPU e misturas de TPU/POM, foram injetadas, em uma injetora convencional marca HIMACO 150/80, com perfil de temperatura 160 - 190°C.

As misturas poliméricas de POM/TPU nas diferentes composições do estudo foram preparadas utilizando uma extrusora dupla rosca corrotante, com velocidade de rotação da rosca de 350 rpm, relação comprimento/diâmetro (L/D) = 34. O perfil de temperatura utilizado foi de 170,190,190,195,185,195,195,195,200°C, no Laboratório de Polímeros da UCS (LPOL). Posteriormente as roldanas feitas com as misturas POM/TPU foram injetadas com os mesmos parâmetros das roldanas de POM e TPU. Após a injeção as mesmas passam por um processo de usinagem, visando formato cilíndrico.

A Tabela 2 apresenta a codificação e composição das amostras neste estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 2: Codificação e descrição das amostras de POM/TPU para preparação das roldanas.

Codificação	POM (% em massa)	TPU (% em massa)
POM	100	0
P80	80	20
P70	70	30
P60	60	40
P50	50	50
P40	40	60
TPU	0	100

4.2.2 Caracterização de roldanas de TPU, POM e Misturas TPU/POM

As roldanas de TPU, POM e misturas de POM/TPU foram caracterizadas pelas suas propriedades morfológicas, térmicas, mecânicas e emissão de ruído. As técnicas de caracterização das roldanas foram realizadas no Laboratório de Polímeros da UCS (LPOL), Laboratório em Pesquisa de Química de Materiais (LPQM) e no Laboratório de Tecnologia Construtiva (LBTEC), do Campus 8 da UCS.

4.2.2.1 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização morfológica das amostras de POM e misturas POM/TPU foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) SS – 500, da Shimadzu, operando com tensão de aceleração de 15 kV. As amostras foram submetidas a metalização com ouro por sputtering. As micrografias das amostras foram obtidas da seção transversal dos corpos de prova, após ensaio de impacto.

4.2.2.2 Análise termogravimétrica (TGA)

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas em um equipamento da marca Shimadzu, modelo TA-50. As amostras foram aquecidas de 25°C até 800°C, com taxa de aquecimento 10 °C.m⁻¹, com fluxo de 50 mL.m⁻¹ de N₂.

4.2.2.3 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

As propriedades térmicas das amostras poliméricas foram avaliadas por ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC) em um equipamento DSC-60 da SHIMADZU, com uma taxa de aquecimento e resfriamento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ com um fluxo de $50\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ de nitrogênio (N_2). Foram realizadas duas corridas de aquecimento e uma de resfriamento realizada de -50°C a 200°C . Aproximadamente 10 mg de amostra foi utilizada na realização do ensaio.

4.2.2.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram analisadas por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando um espectrofotômetro da marca NICOLET, modelo iS10, da Thermo Scientific. As amostras foram avaliadas pelo método de refletância atenuada (ATR), e os espectros foram obtidos na faixa de número de onda de 4000 a 400 cm^{-1} com 32 varreduras.

4.2.2.5 Temperatura de deflexão térmica

As análises de temperatura de deflexão térmica (HDT) das amostras foram obtidas, conforme a norma ASTM D 648-07, em um equipamento CEAST, modelo VICAT, com uma tensão de 1,82 Mpa, realizando o aquecimento da amostra até deformação de 0,25mm.

4.2.2.6 Ensaio de resistência à tração

O ensaio mecânico de resistência à tensão sob tração dos corpos de prova preparados das amostras POM/TPU foram realizados no equipamento universal de ensaios EMIC DL3000, com capacidade de 2000 kgf, segundo a norma ASTM D638-10, em sala climatizada à temperatura de $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 5\%$. A velocidade do ensaio foi de $500\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, com célula de carga de 2000 kgf.

4.2.2.7 Ensaio de alongamento na ruptura

O alongamento na ruptura dos corpos de prova avaliados em equipamento universal de ensaios EMIC, modelo DL3000, segundo a norma ASTM D638-10. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada amostra, utilizando-se célula de carga de 2000 kgf, em sala climatizada à temperatura de $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $50 \pm 5\%$.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.2.8 Determinação do módulo de elasticidade

Os módulos de elasticidade em equipamento universal de ensaios EMIC, modelo DL3000, segundo a norma ASTM D638-10. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada amostra, utilizando-se célula de carga de 2000 kgf, em sala climatizada à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $50 \pm 5\%$.

4.2.2.9 Ensaio de dureza

A dureza Shore D das amostras foram medidas por um durômetro, da marca MAINARD, modelo M-702 conforme a norma ASTM D 2240-05, que mede a resistência à penetração oferecida pelas amostras. Os corpos de prova foram estabilizados em ambiente climatizado à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $50 \pm 5\%$. A leitura de dureza Shore D das amostras foram realizados em 7 pontos diferentes dos corpos de prova.

4.2.2.10 Ensaio de impacto

A análise das propriedades de resistência ao impacto foram realizados conforme norma ASTM D 256-10, num equipamento CEAST modelo 25, utilizando um martelo de 2J. Os testes foram realizados em ambiente climatizado à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $50 \pm 5\%$ em 10 diferentes corpos de prova.

4.2.2.11 Ensaio de resistência a abrasão

A resistência à abrasão realizada conforme ASTM D 5963-04, utilizando o aparelho abrasímetro Martec – Maqtest onde uma amostra em formato de disco é forçada contra um cilindro rotacional com material abrasivo na superfície. Os corpos de prova foram pesados e submetidos ao ataque da lixa de desgaste, fixada sobre o cilindro rotativo, com comprimento total de percurso no ensaio de 40 metros. No início e fim de cada ensaio, as amostras foram pesadas em uma balança analítica (precisão de 0,1 mg) permitindo o cálculo da perda de massa de material.

4.2.2.12 Análise da viscosidade por reometria

A análise reométrica foi realizada no laboratório de polímeros (LPOL), utilizando um reômetro oscilatório, do tipo placa-placa, marca Anton Paar, modelo MCR-301. A análise foi realizada a 190°C, com taxa de cisalhamento de 0.1-300 rad.s⁻¹, e distancia de 1mm entre as placas paralelas.

4.2.2.13 Determinação de ruído em situação real

A partir da instalação de um protótipo do móvel, com duas portas de correr de vidro em suporte de alumínio, com peso aproximado de 7 kg cada porta, onde ocorre a fixação das roldanas para movimentação. No LBTEC da UCS (Campus 8) foram estudadas as variáveis para o ensaio de movimentação das portas. Os ensaios foram realizados em 03 corpo de prova de roldanas para cada amostra. A movimentação das portas foi realizada manualmente. A Figura 9a apresenta móvel padrão para o ensaio e sistema de movimentação da porta, Figura 9b a roldana montada no respectivo trilho e a Figura 9c apresentada pode ser observada a estrutura das roldanas em estudo com o rolamento de metal envolvido pelo material polimérico externamente.

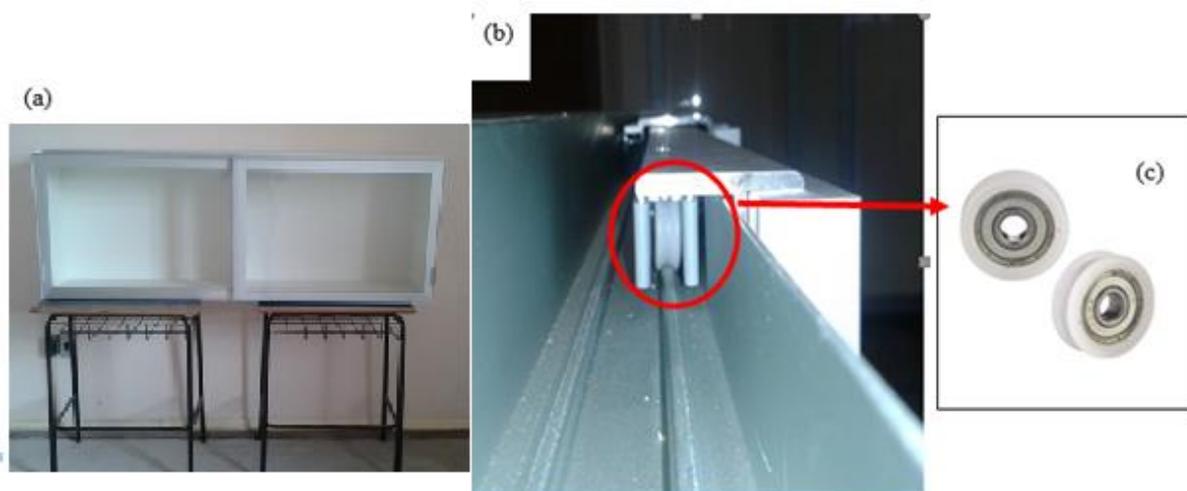


Figura 9: Mecanismo de movimento de portas (a) guarda roupas, (b) sistema de movimentação da porta com trilho e roldanas (b) e (c) roldanas.

O ruído é avaliado em decibéis (dB) conforme norma ECMA-74 adaptada. As medições de ruído são realizadas com o auxílio de analisador sonoro Bruel&Kjaer 2270, em uma sala (Figura 10). O microfone é posicionado a 1,5 metros de altura do solo para medição do ruído aéreo gerado pelas roldanas. As análises do ensaio foram realizadas a partir da comparação da emissão de ruído entre as roldanas testadas.

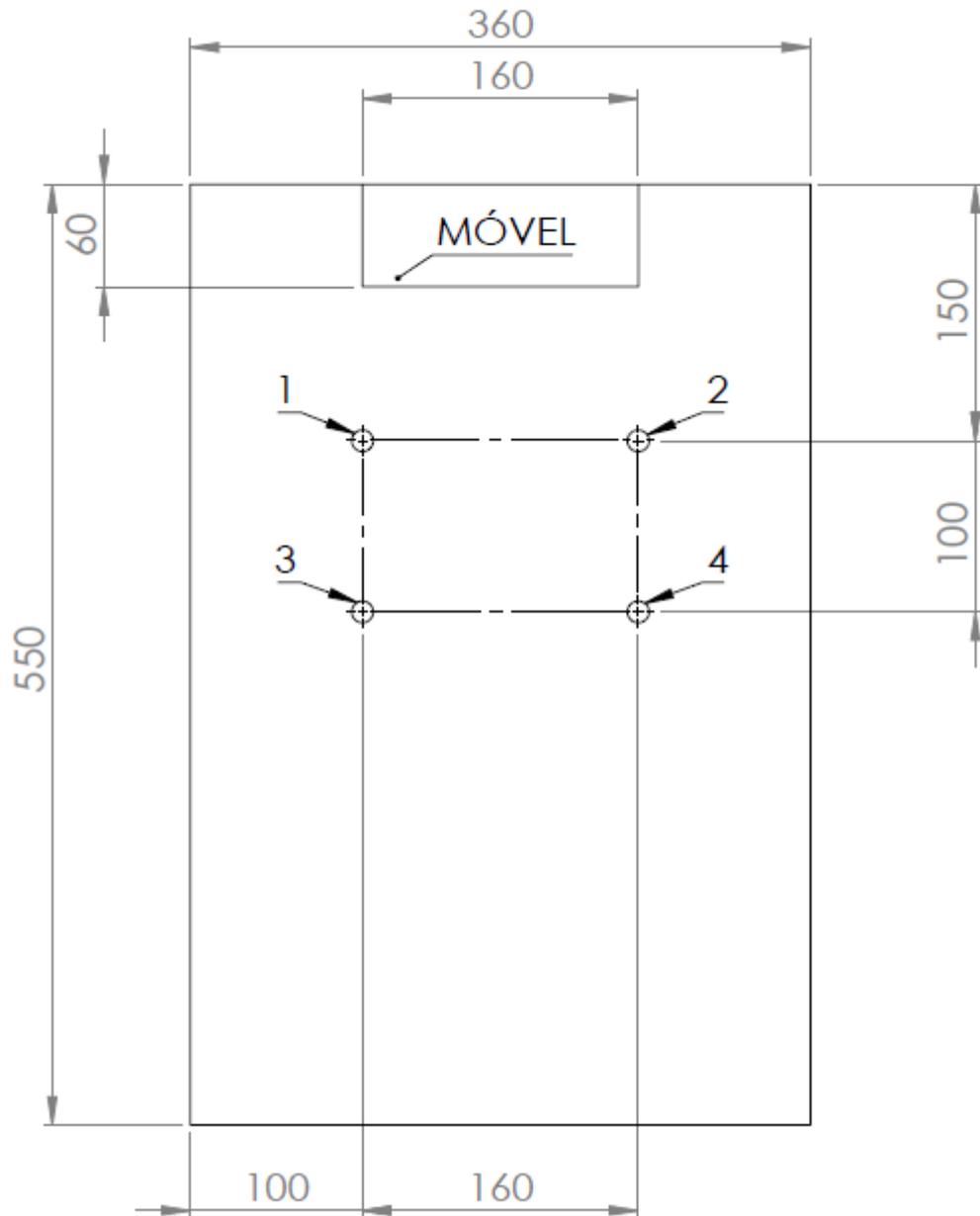


Figura 10: Sala utilizada para medição de ruído, com móvel e valores das medidas em centímetros (cm), e posições dos microfones 01, 02, 03 e 04.

Os ensaios de emissão de ruído foram realizados conforme norma ECMA 74/2012 adaptada, com abertura e fechamento da porta durante 10 segundos com tempo de 2 segundos para cada ciclo de abertura e fechamento, sendo realizado manualmente.

4.2.2.14 Determinação do ruído em sistema de bancada simulado

O ensaio de determinação do ruído realizado em ambiente simulado foi realizado em um sistema fechado. O ensaio de ruído foi realizado comparativamente entre as amostras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Hoskins *et al* 2011, estudaram a emissão de ruído de diferentes engrenagens poliméricas em um sistema fechado de bancada, a partir deste estudo o sistema proposto neste trabalho foi desenvolvido para avaliação da emissão de ruído de diferentes roldanas com banda externa em material polimérico. O sistema é isolado por uma caixa construída de MDF, com espessura de 18mm, a vedação da tampa feita com material de EVA. O ruído é avaliado em decibéis (dB), com o auxílio de um analisador sonoro Bruel&Kjaer 2270 para captação do ruído. O ruído é captado e medido durante um período de 10 segundos, totalizando 7 ciclos de avanço e recuo do sistema de movimentação das roldanas. O ruído residual foi determinado antes de iniciar as medições de emissão de ruído das roldanas. A Figura 11 ilustra a o sistema de determinação do ruído em sistema de bancada.

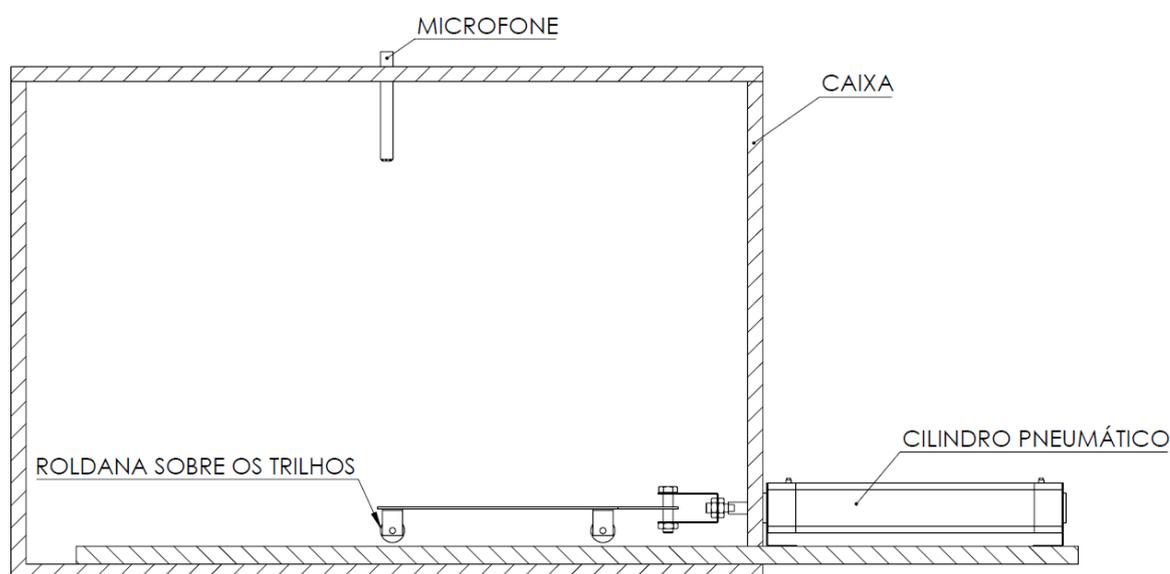


Figura 11: Representação do sistema utilizado para medição da emissão de ruído das roldanas em sistema de bancada.

A Figura 12(a) ilustra o sistema de bancada para medição de ruído mostrando a parte interna do sistema, onde está localizado o trilho e as roldanas durante o ensaio, a Figura 12(b) mostra o detalhe das roldanas em contato com trilho. A Figura 13(a) mostra o posicionamento do microfone no sistema de bancada para medição de ruído e a Figura 13(b) a caixa onde é realizado o ensaio e a caixa auxiliar aonde ficam os comandos de acionamento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

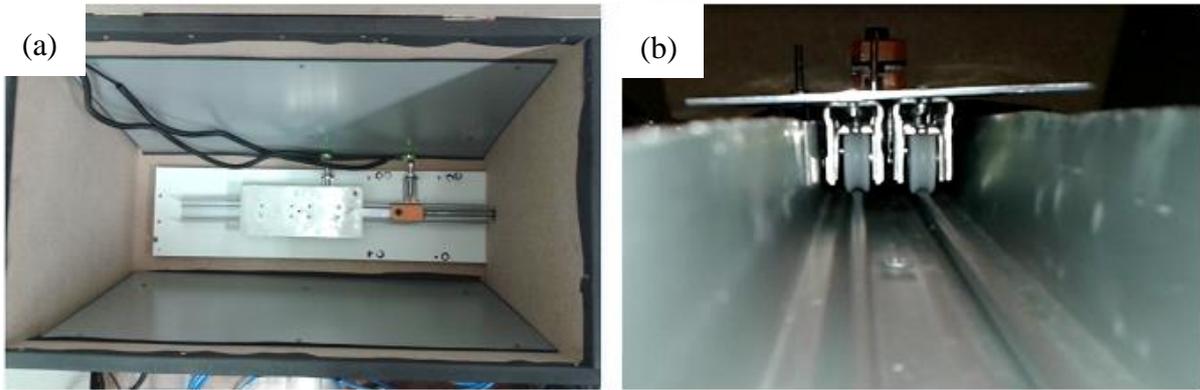


Figura 12: Sistema de bancada para medição de ruído, (a) vista superior, (b) vista da roldana em contato com o trilho (adaptado).

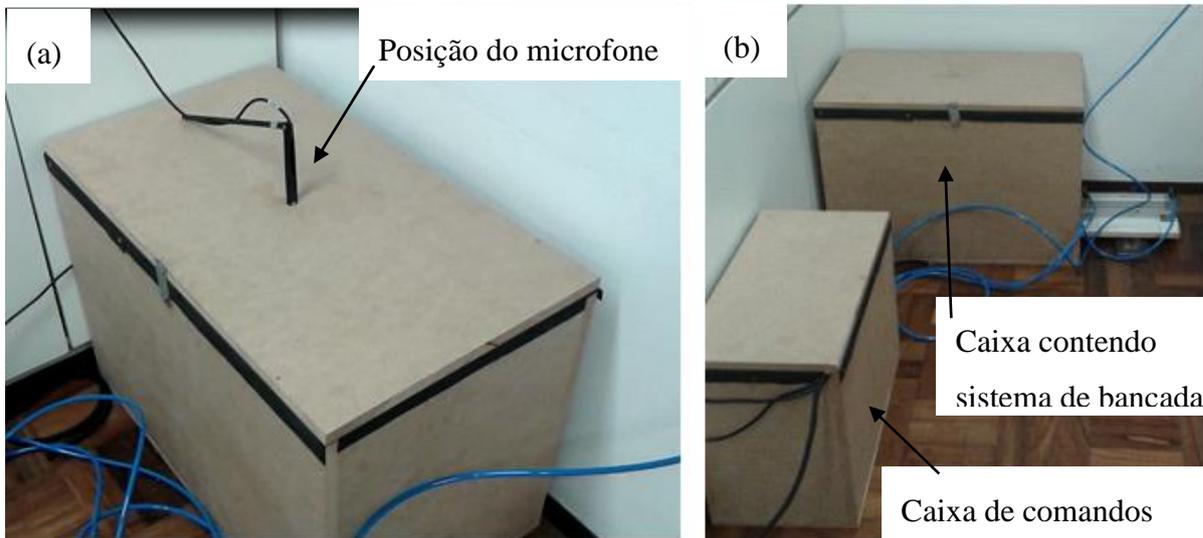


Figura 13: Posição do microfone (a) e imagem do sistema (b) (adaptado).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de caracterização do poliacetal, poliuretano termoplástico e suas misturas, assim como a avaliação das propriedades mecânicas, morfológicas, estruturais e químicas das amostras estudadas e a determinação da diminuição do ruído e do desgaste de roldanas com os polímeros e suas misturas.

5.1 *Preparação das amostras*

As roldanas são preparadas por injeção, após a injeção a empresa submete as roldanas a um processo de usinagem, buscando um formato perfeitamente cilíndrico. O TPE e TPU puros não foram possíveis de serem usinados na preparação de roldanas. A partir disto foram desenvolvidos misturas de POM e TPU, que são usináveis, para a obtenção de roldanas. Visando a possibilidade de preparação e utilização das roldanas foram preparadas misturas conforme Tabela 2.

5.2 *Preparação das misturas*

Misturas de POM/TPU preparadas com processamentos adequados (extrusão, injeção e usinagem), e estabilidade no processamento completo foram com 80, 70, 60, 50 e 40% de POM. Os materiais poliméricos foram secos em estufa com circulação de ar por 12 horas a 80°C, posteriormente foram extrusados em extrusora duplarrosca e picotadas, para obtenção de grânulos uniforme para a injeção. A injeção dos corpos de prova para ensaios mecânicos e das roldanas foi realizado em injetora convencional, as misturas foram secas em estufa com circulação de ar por 12 horas a 80°C antes do processo de injeção.

5.3 *Caracterização*

5.3.1 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foram utilizadas para analisar a morfologia do POM e das misturas P80, P70, P60, P50 e P40 (Figura 14).

Nas análises morfológicas das misturas foram observadas as dispersões do TPU no POM de mistura mecânica, conforme evidenciado por Palanivelu (2000) por MEV obtidas em misturas de POM com TPU com quantidade similares.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

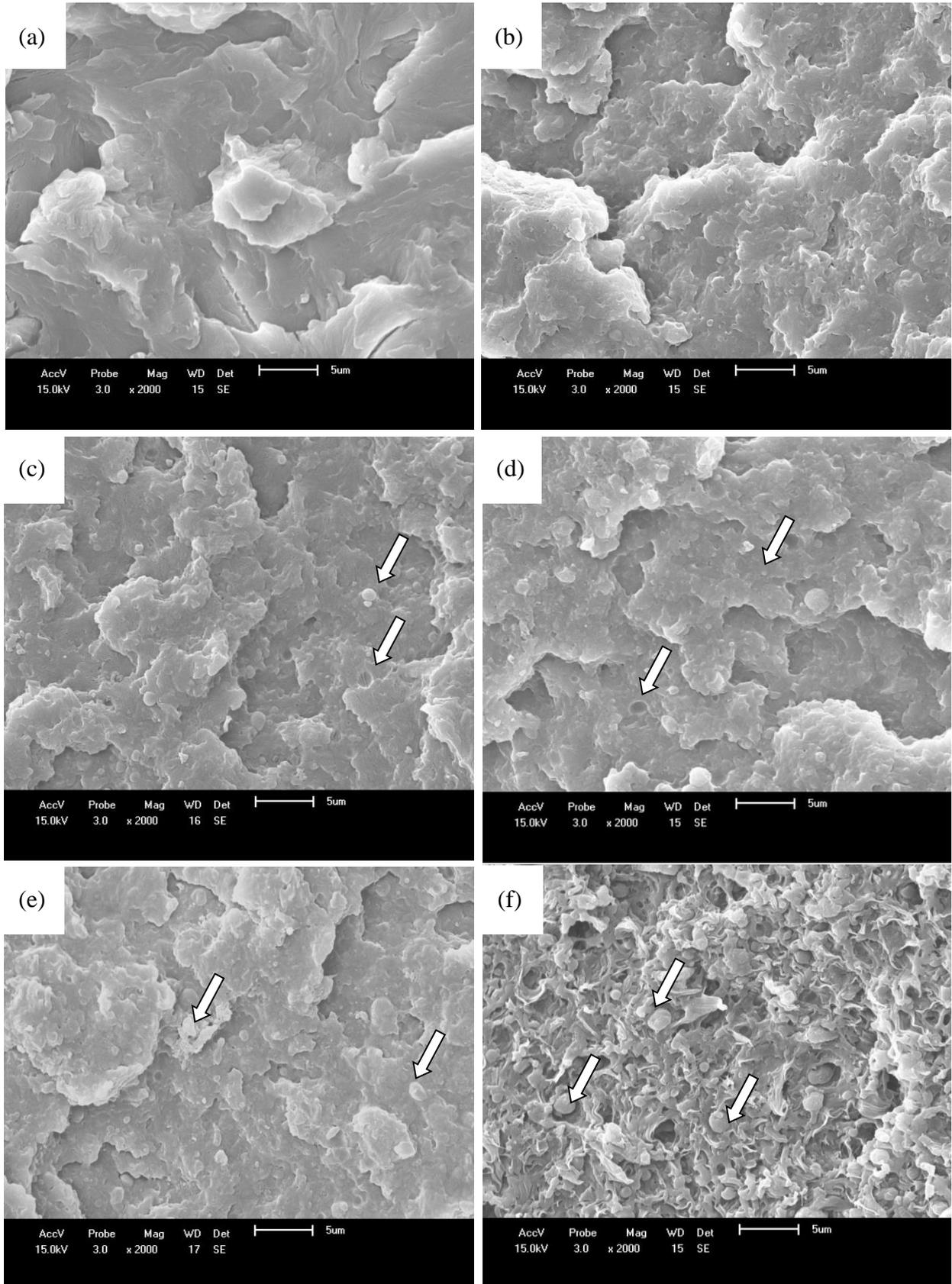


Figura 14: Micrografias de MEV (a)POM e das misturas: (b)P80, (c)P70, (d)P60, (e)P50 e (f) P40 (2000x).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nestas análises de MEV pode ser observado que a mistura de POM/TPU é uma dispersão de partículas de TPU na matriz de POM. Durante a fratura, algumas das partículas são arrancadas da matriz que deixam vazios e outras partículas ficam aderidas na matriz fraturadas, e a fase de TPU disperso pode atuar como um absorvedor de energia na fase contínua de POM.

O tamanho médio das partículas dispersas de TPU fica na faixa de 0,5-1,0 μm na mistura P80 e P70 (Figura 14b e Figura 14c) e de 2 μm na mistura P60 e P50 (Figura 14d e Figura 14e). Nas misturas existem deformações plásticas da fase dispersa, que são responsáveis pelo aumento da resistência ao impacto. Assim, uma melhora na resistência ao impacto com entalhe é observada com o aumento da quantidade de TPU na mistura. Na mistura P40, (Figura 14f), observa-se uma inversão de fase, onde o TPU é a matriz e o POM é a fase dispersa da mistura, provocando assim, enrijecimento do TPU, possibilitando sua fratura no ensaio de resistência ao impacto. Com isto a fratura fica com aspecto de material tenaz. O POM encontra-se disperso em formato de gotas, ou partículas cilíndricas na matriz de TPU.

5.3.2 *Análise termogravimétrica (TGA)*

Os resultados das propriedades térmicas (TGA) do POM, TPU e das misturas POM/TPU são apresentados na

Figura 15. Como pode ser analisado, a temperatura inicial da degradação das misturas conforme a quantidade de POM nas misturas permanece praticamente a mesma que para o poliuretano, reduzindo a estabilidade térmica com adição de TPU.

A degradação do POM ocorre em evento único de perda de massa nas temperaturas de 350-430°C, resultado similar encontrado por Archodoulaki (2004) e Archodoulaki (2007).

A degradação do TPU ocorre em dois estágios, no primeiro estágio ocorre a degradação da ligação uretânica, onde ocorre a dissociação para isocianato e álcool, amina primária, poliolefinas e dióxido de carbono. No segundo estágio ocorre a degradação da cadeia carbônica. Para todas as misturas a degradação ocorreu entre 270 – 450°C com perda de massa entre 85 – 90%. Resultados similares com relação a degradação térmica do TPUs foram encontrados por Herrera et al 2002. As temperaturas de degradação dos polímeros e das misturas encontradas na Tabela 3 confirmam os dados encontrados na literatura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

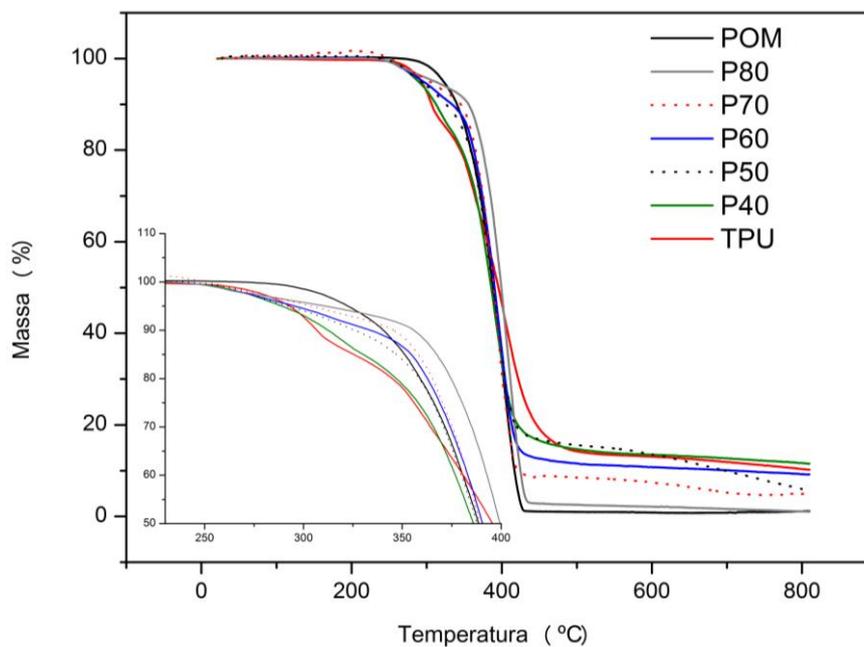


Figura 15: Termogramas por TGA de POM, TPU e misturas.

Tabela 3: Temperaturas de degradação do POM, TPU e das misturas POM/TPU.

Amostras	1º Estágio – Temperatura (°C)			2º Estágio – Temperatura (°C)		
	Ponto Inicial	Ponto Médio	Ponto Final	Ponto Inicial	Ponto Médio	Ponto Final
POM	356,28	388,25	421,69	-	-	-
P80	273,80	292,11	361,32	376,38	400,78	427,25
P70	267,70	290,21	352,30	373,89	390,12	420,74
P60	265,71	287,27	351,96	365,51	388,92	415,82
P50	272,34	290,68	334,61	366,58	385,26	414,09
P40	282,44	298,62	320,46	362,88	384,00	411,62
TPU	285,00	297,27	311,79	360,68	395,56	440,33

5.3.3 Análise Térmica por calorimetria diferencial exploratória (DSC)

O termograma no DSC do POM, TPU e das misturas POM/TPU apresentado na Figura 16, foi constatado deslocamento da temperatura de fusão (T_m) para temperaturas inferiores nas misturas com adição de diferentes concentrações de TPU em comparação a amostra de POM. A T_m do POM é $167,2^\circ\text{C}$ e devido a baixa cristalinidade do TPU (característica elastomérica) provavelmente favorecendo menores valores para a T_m das misturas (FRICK, 2004; HUANG, 2014).

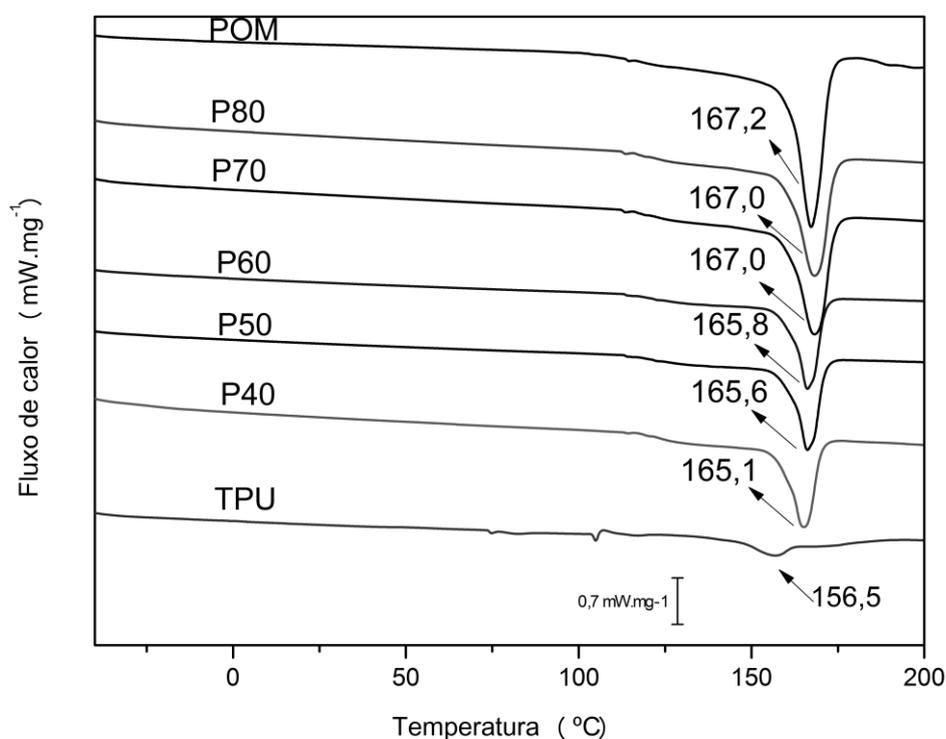


Figura 16: Termograma de DSC das amostras de POM, TPU e das misturas analisadas.

5.3.4 Análise de espectrofotometria de infravermelho (FTIR)

A Figura 17 apresenta os espectros no infravermelho das amostras de POM, TPU e suas misturas e a Tabela 4 relaciona o número de onda com as bandas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

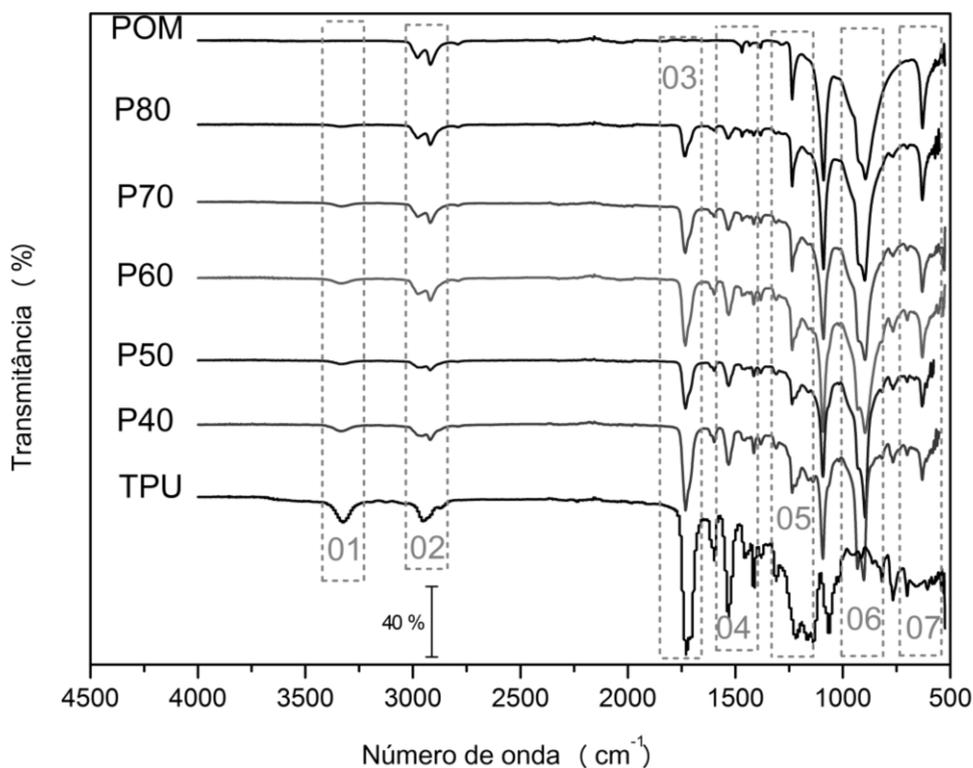


Figura 17: Espectros no infravermelho de POM, TPU e suas misturas.

Tabela 4: Absorbâncias nos espectros no FTIR do POM, TPU e misturas POM/TPU (LAMPMAN, 1979; CHEN, 2012).

Nº Figura 17.	Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuições
01	3370 - 3330	Estiramento N-H
02	2891 - 2800	Estiramento C-H
03	1730 - 1720	Estiramento C=O do éster
04	1595 - 1530	Deformação N-H
05	1230	Estiramento C-O do éster
06	910 – 890	Estiramento C-O-C
07	630	Deformação fora do plano O-C-O

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No espectro IR do TPU analisando a existência das bandas de absorção próximas a 3330 cm^{-1} que é atribuída ao grupamento N-H do segmento rígido da cadeia polimérica. As bandas de absorção em $1730\text{-}1720$, e $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ podem ser atribuídas aos grupos C=O e C-H, respectivamente, presentes nos segmentos rígidos e flexíveis da cadeia do poliuretano termoplástico. No espectro do POM nas faixas de $2900\text{-}2800$ e 1230 cm^{-1} atribuídas ao estiramento C-O, e $910\text{-}890\text{ cm}^{-1}$ atribuídas às ligações C-O-C, e 630 cm^{-1} atribuídas às ligações O-C-O (HERRERA, 2002; CHEN, 2012).

As misturas POM/TPU apresentaram bandas características do TPU e do POM para todas as misturas, que aumentam a intensidade com o aumento do teor de POM ou TPU na mistura, referentes aos grupos funcionais de cada polímero da mistura, evidenciando a mistura física, não ocorrendo reação química.

5.3.5 Análise de temperatura de deflexão térmica (HDT)

A Figura 18 ilustra os resultados das análises de HDT do POM e das misturas de POM/TPU. No ensaio de HDT das misturas de POM/TPU observou-se uma diminuição da temperatura de deflexão térmica com relação à amostra de POM. O aumento da quantidade de TPU provoca uma diminuição na temperatura de deflexão térmica das misturas sob carga. Este comportamento está associado ao TPU ser um elastômero e possuir flexibilidade a baixas temperaturas (KAWAGUCHI, 2006).

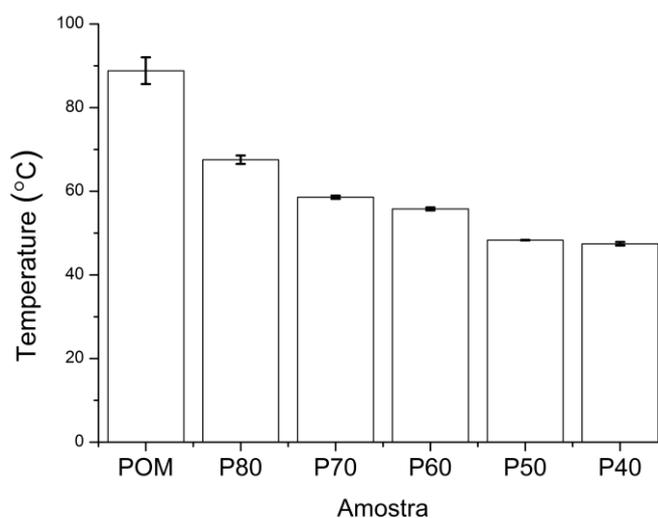


Figura 18: Análise de HDT das misturas de POM/TPU preparadas para roldanas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.6 Análise de propriedades mecânicas

Os resultados de resistência à tensão e módulo de elasticidade para o POM, TPU e suas misturas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultado dos ensaios de tração e alongamento na ruptura do POM, TPU e das misturas TPU/POM.

Amostra	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência a tração (MPa)	Along. na ruptura (%)
POM	971,6 ± 16,4	60,02±0,73	25,44±1,83
P80	603,6 ±25,6	39,56±1,16	46,31±4,07
P70	497,6±12,4	32,57±0,53	107,3±10,1
P60	382,5±9,0	27,79±0,67	116,3±8,4
P50	337,5±13,9	27,13±0,14	264,9±3,6
P40	211,6±3,6	23,71±0,27	368,1±25,2
TPU	34,6±2,7	22,99±0,13	833,9±48,0

Com base nos resultados de resistência a tração a amostra de POM apresentou a maior resistência a tração, característica de um material semicristalino, que pode chegar a um índice de 70% de cristalinidade (TANG, 2013).

O módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material. É um parâmetro fundamental para a engenharia e aplicação de materiais, pois está associado com a descrição de várias outras propriedades mecânicas. Esta propriedade dependente da composição química, microestrutura e defeitos (poros e trincas), que pode ser obtida da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material (CANEVAROLO, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao módulo de elasticidade (E) ocorre a diminuição do módulo de elasticidade com o aumento no teor de e TPU na mistura. O aumento de TPU na mistura promove a tenacificação deixando a mistura com comportamento elástico. (PALANIVELU, 2000). Uthaman (2007), encontraram resultados similares para mistura POM com o elastômero EPDM, ocorrendo a diminuição do módulo de elasticidade com o aumento de elastômero na mistura.

Materiais com menor módulo de elasticidade possuem uma emissão de ruído menor do que materiais com módulo de elasticidade maior, quando aplicados em engrenagens ou sistemas de rolamento com contato roda/trilho, podendo ser importante para os objetivos deste trabalho (KOO, 2002).

A amostra de TPU apresenta maior comportamento quanto ao alongamento (maior alongamento) e verificou-se que esta propriedade aumenta com o teor de TPU adicionado nas misturas, pois os módulos dos TPU puros são característicos de material elastomérico, isto é, apresentam maior facilidade de deformação (PINTO, 2005).

O poliacetal mostra resistência à tração elevada. O comportamento do TPU é de características elastoméricas e não rompe mesmo depois 500% de deformação. A adição de TPU no poliacetal mostra progressiva redução resistência a tração com o aumento dos níveis de TPU. O aumento do alongamento na ruptura para as misturas é uma evidência para a melhoria da tenacidade. Este fato sugere que há diminuição da rigidez de poliacetal como o aumento de TPU. Huang (2014), encontraram resultados similares onde ocorre a diminuição da resistência a tração com a adição de TPU no termoplástico semi-cristalino poli(butileno-tereftalato) (PBT).

As propriedades de resistência a abrasão, ao impacto e ensaios de dureza são apresentadas na Tabela 6. A resistência à abrasão tem um aumento considerável com o aumento de TPU na mistura. A resistência à abrasão é maior na mistura que contém 60% em massa de TPU, quando comparada com as outras misturas. Em geral os TPU possuem alta resistência à abrasão, que pode estar diretamente relacionado com sua estrutura química. A dureza diminuiu de 77 Shore D do POM para 63 Shore D para a mistura P40. Este fator está ligado a baixa dureza do TPU, que é 44 Shore D, quanto maior a quantidade de TPU na mistura mais próxima da dureza do TPU puro será a dureza da mistura (UTHAMAN, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento da resistência ao impacto e a diminuição da rigidez e dureza são propriedades características de misturas poliméricas com TPU e termoplásticos semicristalinos (KAWAGUCHI, 2006).

A resistência ao impacto da mistura P40, que contém 60% em massa de TPU, é cerca de 6 vezes maior, para o POM é 35,44 J/m e para a mistura P40 é 561,95 J/m. A fase flexível do TPU contribui com esta característica de aumento da resistência ao impacto para as misturas estudadas (PALANIVELU, 2000).

Tabela 6: Resultado dos ensaios de abrasão, impacto e dureza para os polímeros POM/TPU e suas misturas.

Amostras	Abrasão (%)	Dureza (Shore D)	Impacto (J/m)
POM	37,91±0,63%	77±0,2	35,44±1,41
P80	34,47±0,08%	74±0,5	85,08±9,78
P70	29,69±0,95%	72±0,6	144,65±12,62
P60	24,30±0,31%	69±0,6	205,35±13,19
P50	17,83±0,45%	66±0,8	301,76±11,97
P40	15,44±1,23%	63±0,5	561,95±1,42
TPU	12,55±0,63%	44±0,7	Nr*

Nr* amostra não rompeu no ensaio de impacto.

5.3.7 *Análise de viscosidade (reometria)*

Conforme análise de viscosidade realizada por reometro oscilatório, demonstrado na Figura 19, o TPU apresenta viscosidade maior que o poliacetal em todas faixas de cisalhamento analisadas. A viscosidade das misturas em baixas frequências é elevada, possuindo viscosidade similar ao TPU puro, já em altas taxas de cisalhamento, a viscosidade das misturas fica próxima à do poliacetal puro e misturas apresentam um comportamento pseudoplástico, ou seja, todos são de cisalhamento sensível. Com o aumento da concentração de TPU, a viscosidade no estado fundido das misturas aumenta, assim como a viscosidade de

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

fusão das misturas também seguem o mesmo comportamento do TPU puro. A adição de TPU aumenta a viscosidade da mistura necessitando uma temperatura maior no processamento. A viscosidade das matérias-primas são próximas umas das outras em altas taxas de cisalhamento. A alta massa molecular do TPU contribui para maiores viscosidades a baixas taxas de cisalhamento, já em altas taxas de cisalhamento esta diferença é menor, favorecendo assim o processamento destas misturas em equipamentos com altas taxas de cisalhamento. Por isso, a preparação destas misturas em altas taxas de cisalhamento, ou seja, de mistura em extrusora de rosca dupla pode render uma melhor compatibilidade da mistura (PALANIVELU, 2000).

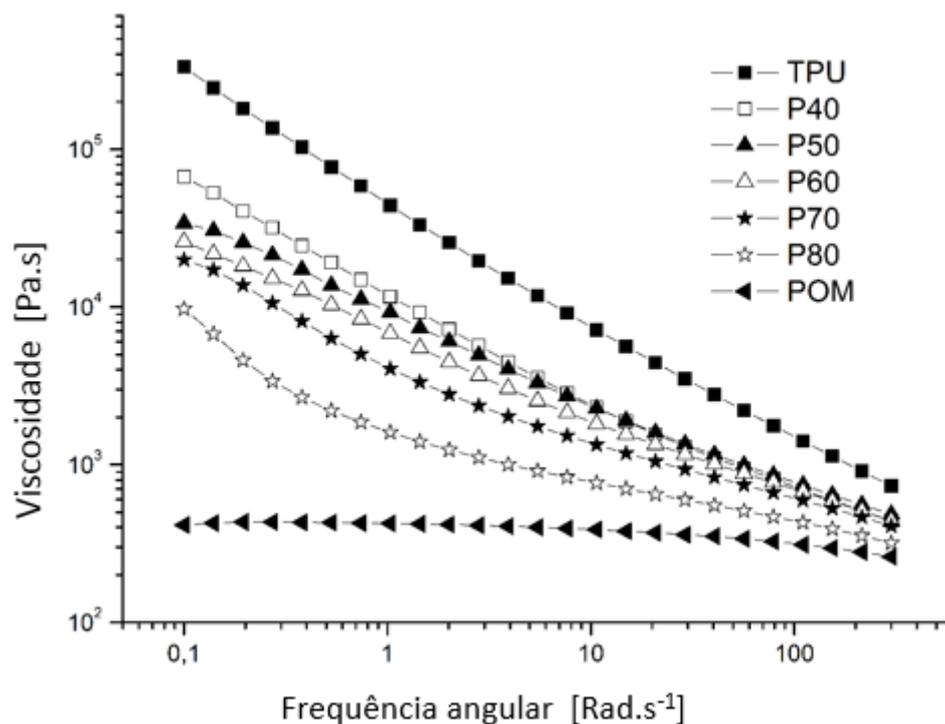


Figura 19: Viscosidade de POM, TPU e misturas POM/TPU a 190°C.

Neste caso considerando as análises de viscosidade pode ser dito que as misturas P60 e P40 possuem os melhores desempenhos para a aplicação.

5.4 Ensaio de determinação de ruído

5.4.1 Determinação de ruído em situação real

O ensaio de emissão de ruído foi analisado conforme norma ECMA 74 – 2012, adaptada conforme Figura 10. Foram avaliadas as amostras POM, P60 e P40, amostras estas

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

que apresentaram as melhores combinações de propriedades mecânicas. Os resultados foram obtidos em decibéis, e avaliam o nível de ruído determinado pela norma brasileira ABNT NBR 10152/1987.

A Figura 20 apresenta a emissão de ruído das roldanas de POM e misturas de POM/TPU, produzido a partir do movimento das portas.

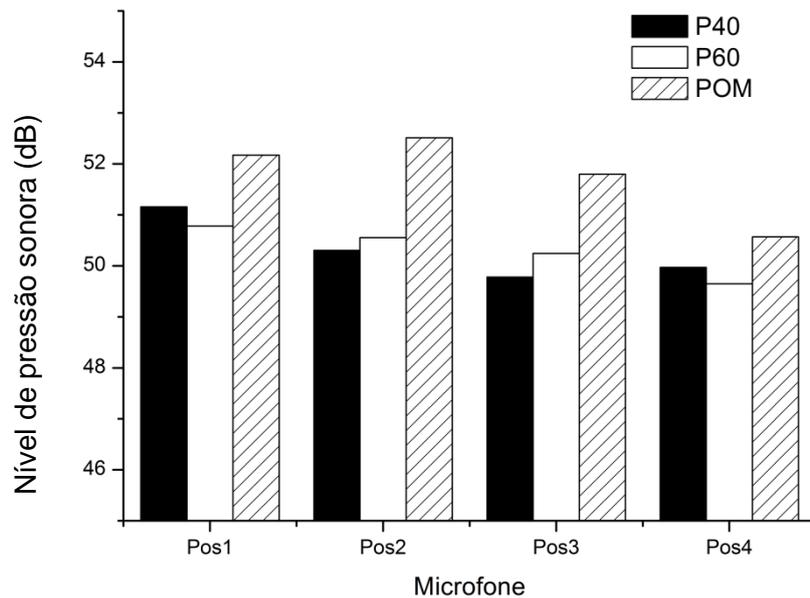


Figura 20: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU em diferentes posições do microfone conforme Figura 10.

A mistura de POM e TPU, com 40 e 60% de TPU (m/m) (P40 e P60) apresentaram uma redução significativa na emissão de ruído, em comparação com as de POM puro. A utilização de material com menor módulo de elasticidade auxiliou na redução da emissão de ruído, conforme estudo realizado em engrenagens. (DEARN, 2013).

A Figura 21 ilustra os resultados de emissão das roldanas por frequências (Hz). Observou-se que nos pontos com frequência entre 100 Hz e 3150 Hz a emissão de ruído é menor em roldanas injetadas com as misturas de poliacetal com TPU (mistura POM/TPU). As quatro posições do microfone foram identificadas como posição 01, 02, 03 e 04, conforme Figura 10 descrita na metodologia (item 4.2.2.13).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

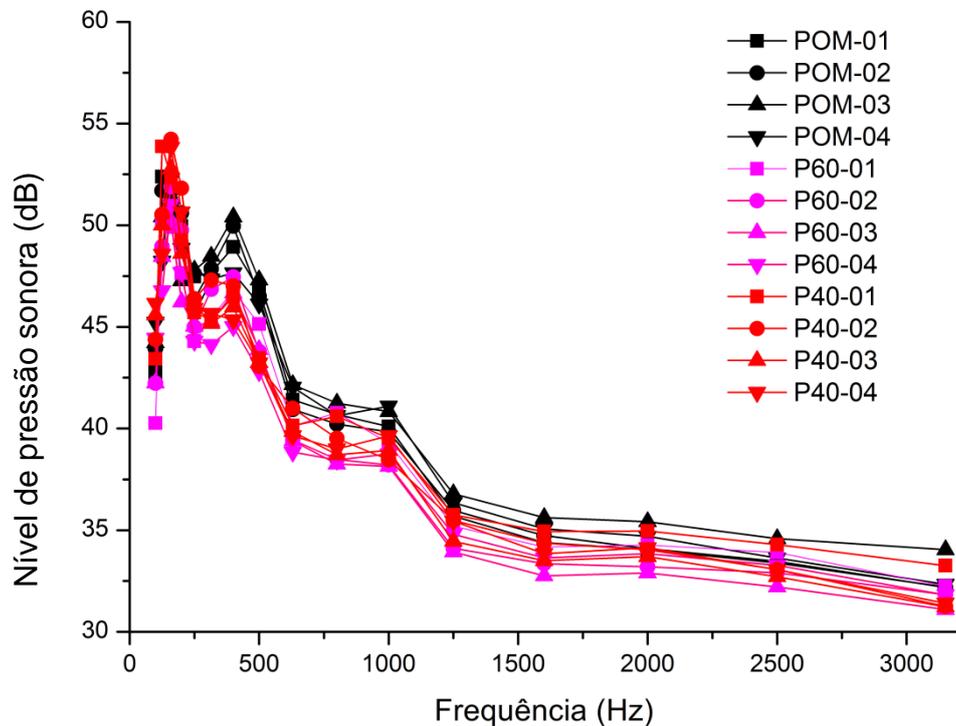


Figura 21: Emissão de ruído das roldanas por frequências, com quatro posições de microfone para cada amostra.

A diminuição do ruído de 3 a 5 dB é visualizada com maior nitidez nas frequências entre 250 e 500 Hz, onde são registrados sons de graves e médias frequências.

Avaliando os resultados das posições individuais do microfone observa-se que há uma redução de ruído na faixa entre 200-1500 Hz. Aproximadamente de 03 dB que é um valor significativo já que a medida é feita em escala logarítmica (NOZAWA, 2009).

Com a avaliação individual de cada ponto pode-se concluir que em todos os pontos de medição de ruído ocorre uma tendência de roldanas injetadas com as misturas poliméricas que emitem menor ruído em relação aos injetados em poliacetal puro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

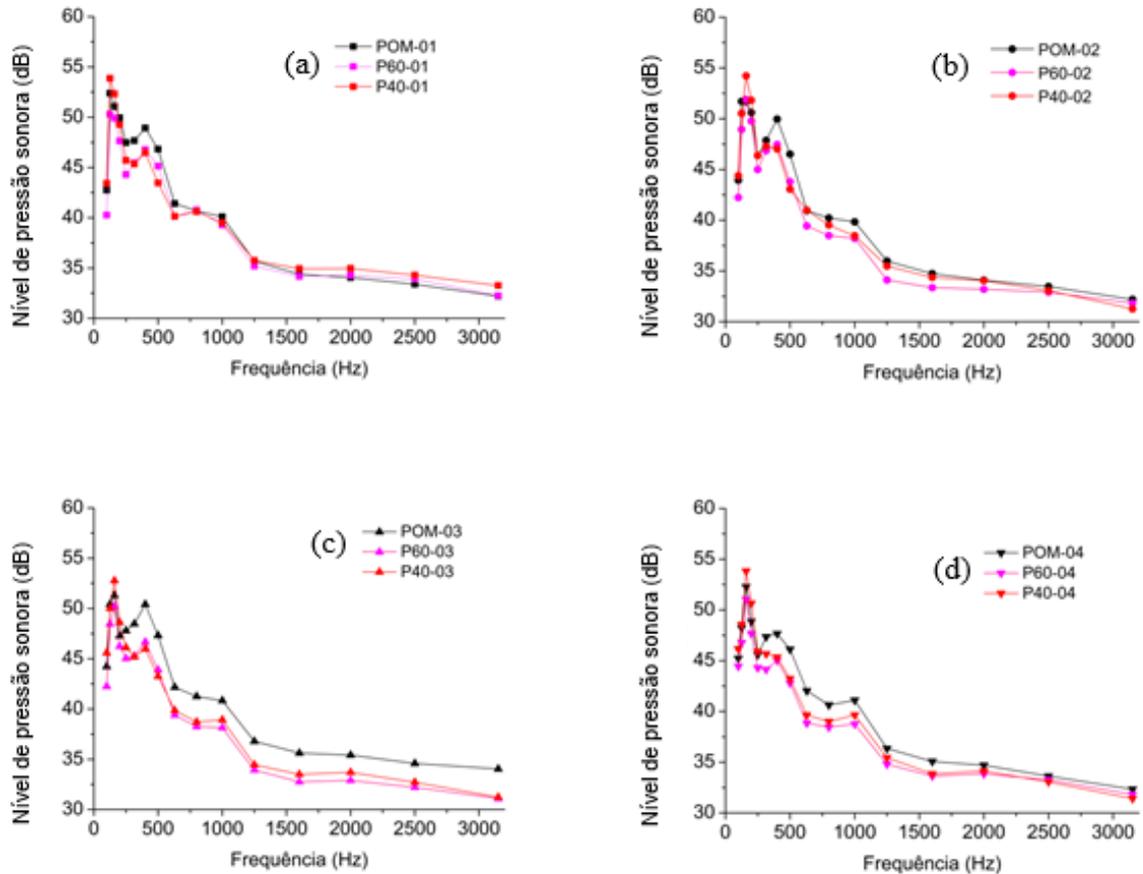


Figura 22: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU por frequências e posição do microfone (a) posição 01, (b) posição 02, (c) posição 03 e (d) posição 04.

A Figura 22 evidencia que há redução de emissão de ruído para as amostras P60 e P40 nas mesmas frequências e nas mesmas proporções em diferentes posicionamentos dos microfones no momento da captação do ruído. A posição do microfone não influenciou na captação do ruído emitido.

5.4.2 Ensaio de ruído realizado no sistema de bancada

O ruído residual medido ao iniciar os ensaios apresentado na Figura 23, mostra que o nível de ruído residual é baixo. O ensaio de emissão de ruído das amostras POM, P60 e P40 no sistema de bancada (Figura 24) foram analisadas em sistema de bancada e os resultados foram obtidos em decibéis (dB).

Foram avaliadas as amostras POM, P60 e P40 comparativamente entre si. Os resultados são obtidos em decibéis, o ensaio de emissão de ruído analisado em sistema de bancada conforme descrito na Figura 24, confirmam os dados obtidos nos ensaios realizados diretamente no armário manualmente. As maiores diferenças são percebidas em médias e altas frequências, entre 1250Hz e 5000Hz, onde ocorre a diminuição de 2 a 5dB com a utilização de material polimérico com módulo de elasticidade menor na banda externa da roldana, amostras P60 e P40, conforme demonstrados na Figura 25.

A redução de emissão de ruído é perceptível em altas frequências, acima de 750Hz, devido ao comprimento da onda sonora. O sistema fechado de bancada possui dimensões de 75x50x45 cm. Devido a estas dimensões ondas sonoras maiores que 50 cm não conseguem se propagar de forma ideal, portanto somente o ruído emitido acima da frequência de 750 Hz conseguem propagar e ser captado de forma ideal pelo analisador sonoro. Já o sistema de medição realizado em uma sala, conforme analisado no item 5.4.1, pode se observar uma diferença maior nas baixas frequências, devido ao tamanho da sala permitir que ondas sonoras grandes se propaguem e sejam captadas pelo analisador sonoro (CARVALHO, 2010).

O comprimento de onda é a distância percorrida pela onda sonora em um ciclo completo de pressão/depressão, é obtida pela Equação 1.

$$\lambda = C/f \tag{1}$$

Sendo: λ =comprimento de onda

C=constante = 343

f=frequência

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

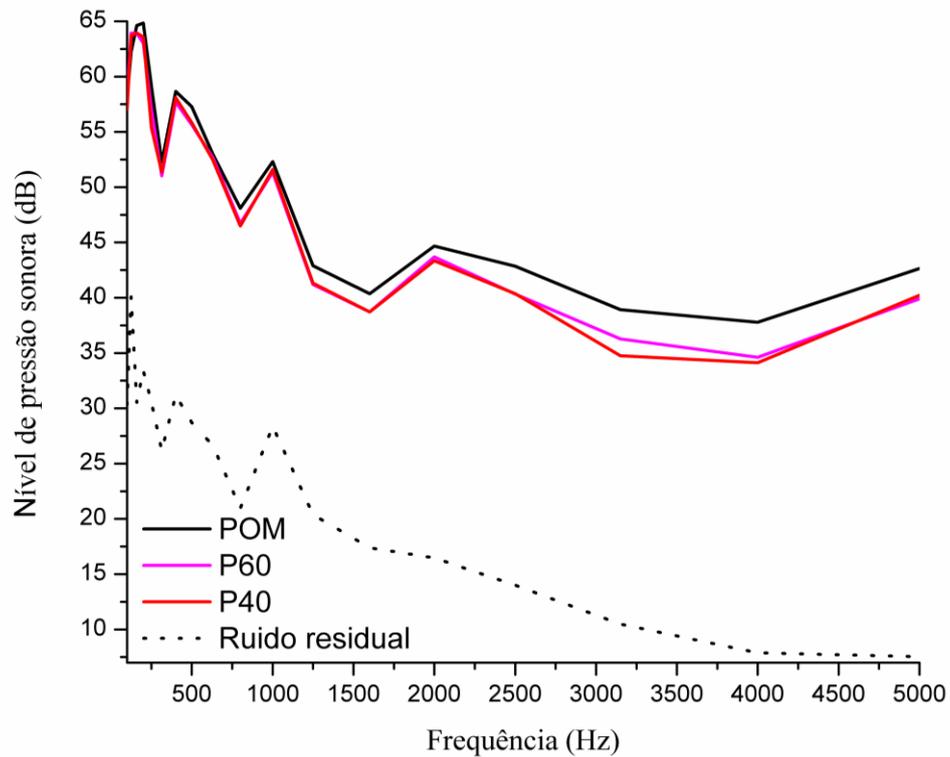


Figura 23: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU e ruído residual avaliadas por frequência de 100Hz a 5000Hz em sistema de bancada.

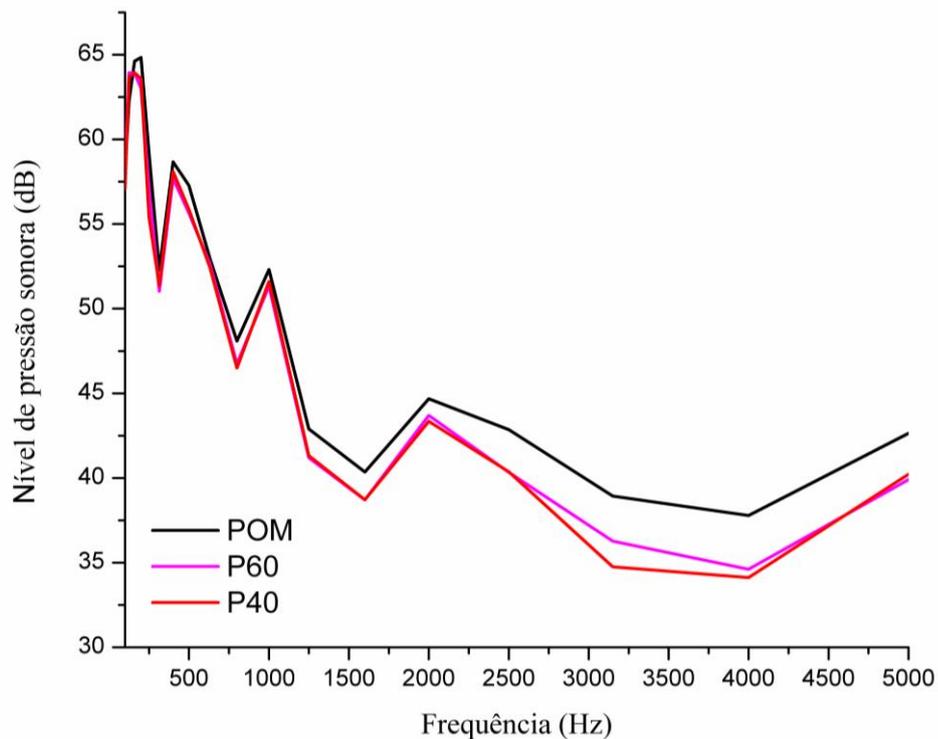


Figura 24: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU, avaliadas por frequência de 100Hz a 5000Hz em sistema de bancada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

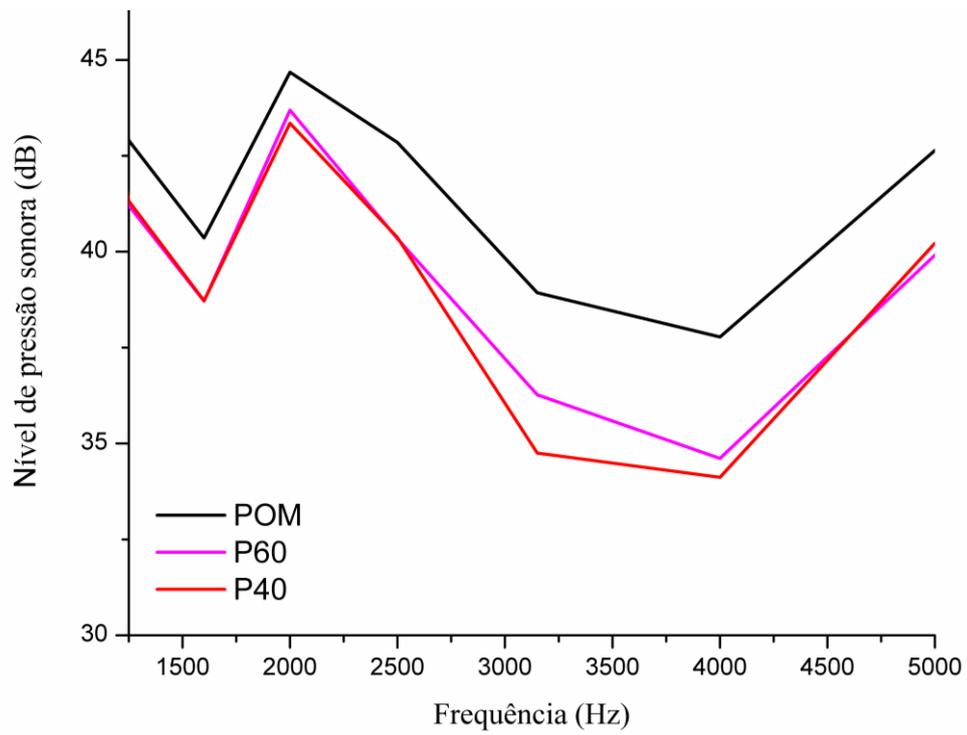


Figura 25: Emissão de ruído das roldanas de POM e misturas POM/TPU, avaliadas por frequência de 1250 Hz a 5000 Hz em sistema de bancada.

6 CONCLUSÕES

- As misturas POM/TPU contribuem para o aumento de propriedades mecânicas, como, resistência ao impacto, resistência a abrasão, que é uma importante propriedade na utilização em contato de rolamento roldana/trilho.
- Resistência a tração, módulo de elasticidade e dureza diminuem com o aumento da quantidade de TPU na mistura, devido ao TPU ser um material elastomérico e ocorrendo a tenacificação da mistura;
- As análises de MEV mostraram que para P80, P70, P60 e P50 as misturas apresentaram partículas de TPU dispersas no POM, o FTIR mostra que não ocorre o surgimento de novas bandas, possibilitando concluir que ocorre mistura física entre os polímeros;
- Na análise HDT ocorre a diminuição da temperatura de deflexão com o aumento do teor de TPU nas misturas, e no ensaio de DSC mostra menor temperatura de fusão para as misturas, devido ao TPU baixa cristalinidade;
- No ensaio de reologia para altas taxas de cisalhamento o comportamento dos materiais é muito similar, favorecendo assim o processamento destas roldanas pelo processo de injeção, sem que haja grande mudanças nos parâmetros necessários para injeção das roldanas em POM e suas misturas POM/TPU;
- O ensaio de bancada elimina a movimentação manual e vibração da porta, portanto a velocidade em que as roldanas se deslocam sobre os trilhos é constante para todas as amostras analisadas, confirmando que materiais com menores módulos elásticos emitem uma quantidade menor de ruído em sistemas de rolamento com contato roldana/trilho, validando assim os dados obtidos no ensaio realizado manualmente;
- Com a análise das propriedades mecânicas e emissão de ruído é possível determinar que a misturas P60 apresenta resistência ao desgaste e diminuição na emissão do ruído, podendo ser utilizada na banda externa das roldanas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver o estudo relacionando rugosidade da superfície polimérica das roldanas em contato com o trilho;
- Realizar estudos de aplicação de filme polimérico sobre o trilho visando assim a diminuição do ruído de rolamento;
- Planejar variáveis com diferentes rolamentos metálico e verificar qual a interferência na emissão do ruído;
- Avaliar a emissão de ruído de forma padronizada em armário com portas automatizadas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIBA M.; HASHIM A. S. **Vulcanization and crosslinking in elastomers**. Progress in Polymer Science, 22, p. 475-521, 1997.

AMATO, J.G. **Industria da transformação do plástico**. Sesi-Sp Editora, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/manual-plastico.pdf>. Acesso em 20 nov. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D2240**: Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness, EUA, 2005.

_____. **ASTM D256**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact, EUA, 2010.

_____. **ASTM D5963**: Standard Test Method for Rubber Property—Abrasion Resistance, EUA, 2004.

_____. **ASTM D638**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, EUA, 2010.

_____. **ASTM D648**: Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position, EUA, 2007.

ARCHODOULAKI V.M., LUFTL S., KOCH T., SEIDLER S. **Property changes in polyoxymethylene (POM) resulting from processing, ageing and recycling**. Polymer Degradation and Stability, 92, p.2181 – 2189, 2007.

ARCHODOULAKI V.M., LUFTL S., SEIDLER S. **Thermal degradation behavior of polyoxymethylene: Degradation and stabilizer consumption**. Polymer Degradation and Stability, 86, p.75 – 83, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (NBR). **NBR 10152/1987**: Níveis de ruído para conforto acústico, BR, 1987.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação das Indústrias de Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – MOVERGS **Panorama do setor moveleiro no RS**. Disponível em: <HTTP://www.movergs.com.br>. Acesso em 20 mai. 2014.

BIRON M., **Chapter 2 – The plastics industry: Economic overview**. Thermoplastics and Thermoplastics Composites, Oxford, p. 33 – 153, 2007.

BOUVET P.; VINCENT N., COBLENTZ A., FRANÇOIS D. **Optimization of resilient wheels for rolling noise control**. Journal of Sound and Vibration, 231, p. 765 – 767, 2000.

BRETAS, R. E. S; D’AVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 1ª ed. EdUFSCAR. São Carlos, 2000.

BRISCOE B.J., CHATEAUMINOIS A., CHIU J., VICKERY S. **Acoustic noise emission in a model PMMA/Steel fretting contact**. Tribology Research, 39, p. 673–681, 2001.

CANEVAROLO, S. V. Jr. **Técnicas de caracterização**. 1ª ed. Editora Artliber. São Paulo, 2004.

CANEVAROLO, S. V. Jr. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª ed. Editora Artliber. São Paulo, 2006.

CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. 2ª ed. Editora Thesaurus. Brasília, 2010.

CHANDA M., ROY S. K. **Plastics Technology Handbook**. 3ª ed. Marcel Dekker Editora. Nova Iorque, 1998.

CHEN J., CAO Y., LI H.; **An Investigation on Wear Mechanism of POM/LLDPE Blends**. Journal of Applied Polymer Science, 101, p. 48–53, 2006.

CHEN Z., ZHOU T., HUI J., LI L., LI Y., ZHANG A., YUAN T. **Tracing the crystallization process of polyoxymethylene/poly(ethylene oxide) crystalline/crystalline blends by two-dimensional infrared correlation spectroscopy**. Vibrational Spectroscopy, 62, p.299 – 309, 2012.

CHENG, Z., WANG, Qi. **Morphology control of polyoxymethylene/thermoplastic polyurethane blends by adjusting their viscosity ratio**. Polymer International, 55, p. 1075–1080, 2006.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIGADA A., MANZONI S., VANALI M.; **Vibro-acoustic characterization of railway wheels**. Applied acoustics, 69, p. 530 – 545, 2008.

CONSOLE, L.R.P. **Análise de comportamento dinâmico lateral de um veículo ferroviário**. 2007. 158f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DEARN K.D., HOSKINS T.J., PETROV D.G., REYNOLDS S.C., BANKS R. **Applications of dry film lubricants for polymer gears**. Wear, 299-299, p.99-108, 2013.

DO VALLE, Sólón. **Manual Prático de Acústica**. 1ª edição. Editora Música & Tecnologia. Rio de Janeiro, 2006.

ECCO L. G. **Efeito do surfactante nas propriedades físico-químicas de blendas TPU/PPy**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

EL-SHEKEIL Y.A., SAPUAN S.M., ABDAN K., ZAINUDIN. E.S. **Influence of fiber content on the mechanical and thermal properties of Kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites**. Materials and Design, 40, p. 299–303, 2012.

ELLUL, M. D.; PATEL, J.; TINKER, A. J. **Cross-link densities and phase morphologies in dynamically vulcanized TPES**. Rubber Chemistry and Technology, 68, p. 573-584, 1995.

EUROPEAN COMPUTER MANUFACTURERS ASSOCIATION (ECMA). **ECMA-74: Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment**, 2012.

EUROPEAN COMPUTER MANUFACTURERS ASSOCIATION (ECMA). **ECMA-74: Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment**, 2012.

FRICK A., ROCKMAN A. **Characterization of TPU elastomers by thermal analysis (DSC)**. Polymer Testing, 23, p. 413-417, 2004.

GAHR, Karl-Heinz Zum. **Microestruutura and wear of materials**. Tribology series, 10, p.560, 1987.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAO X., QU C., FU Q. **Toughening mechanism in polyoxymethylene/thermoplastic polyurethane blends.** *Polymer International*, 53, p. 1666–1671, 2004.

HERRERA M., MATUCHESK G., KETRUPP A. **Thermal degradation of thermoplastic polyurethane (TPU) based on MDI.** *Polymer Degradation and Stability*, 78, p.323-331, 2002.

HOSKINS T.J., DEARN K.D., KUKUREKA S.N., WALTON D. **Acoustic noise from polymer gears – A tribological investigation.** *Materials and Design*, 32, p. 3509-3515, 2011.

HUANG J., LU X., ZHANG G., QU J. **Study on the rheological, thermal and mechanical properties of thermoplastic polyurethane/poly (butylene terephthalate) blends.** *Polymer Testing*, 36, p.69 – 74, 2014.

ITO N.I., PESSAN L.A., HAGE E. Jr., COVAS J.A. **Análise do desenvolvimento morfológico da blenda polimérica PBT/ABS durante as etapas de mistura por extrusão e moldagem por injeção.** *Polímeros*, 14, p. 83-92, 2004.

KAWAGUCHI K., TAJIMA Y.; **Interfacial Reaction and Its Influence on Phase Morphology and Impact Properties of Modified-Polyacetal/Thermoplastic Polyurethane Blends.** *Journal of Applied Polymer Science*, 100, p. 4375–4382, 2006.

KOO D.H., KIM J.C., YOO W.H., PARK T.W. **An experimental study of the effect of low-noise wheels in reducing noise and vibration.** *Transportation Research part D*, 7, p. 429 – 439, 2002.

LAMPMAN G. M., PAVIA D. L., KRIZ G. S., ENGEL R. G. **Introduction to Spectroscopy: A Guide for Students of Organic Chemistry.** Philadelphia, 1979.

LU Q.-W.; MACOSKO W.C.; **Comparing the compatibility of various functionalized polypropylenes with thermoplastic polyurethane (TPU).** *Polymer*, 45, p. 1981–1991, 2004.

LUFTL S., ARCHODOULAKI V.M., SEIDLER S. **Thermal-oxidative induced degradation behavior of polyoxymethylene (POM) copolymer detected by TGA/MS.** *Polymer Degradation and Stability*, 91, p.464 – 471, 2006.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAXWELL J.. **Plastic in the Automotive Industry**. 1ª ed. Woodhead Editora. Inglaterra, 1994.

MORAES M. A. F. D. **Estudo da competitividade de cadeias integradas no brasil: impactos das zonas de livre comércio**. 2002. 216f. Nota Técnica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

NOZAWA J., KOMOTO T., KUMEHARA H. **Tribological properties of polymer-sheet-adhered metal hybrid gear**. *Wear*, 266, p. 893–897, 2009.

OLIVEIRA R.V.B., FERREIRA C.I., PEIXOTO L.J.F., BIANCHI O., SILVA P.A., DEMORI R., SILVA R.P., VERONESE V.B. . **Mistura polipropileno/poliestireno: um exemplo da relação processamento-estrutura-propriedade no ensino de polímeros**. *Polímeros*, 23, p.91-96, 2013.

PALANIVELU K., SIVARAMAN P., REDDY M. D.; **Studies on thermoplastic polyurethane toughened poly(butylene terephthalate) blends**. *Polymer Testing*, 21, p. 345–351, 2002.

PALANIVELU K., BALAKRISHNAN S., RENGASAMY P.; **Thermoplastic polyurethane toughened polyacetal blends**. *Polymer Testing*, 19, p. 75–83, 2000.

PINTO U. F., MONTEIRO E. E. C. **Efeito da Massa Molar e do Teor de Poliuretano nas propriedades Mecânicas de Misturas Poli(Metacrilato de Metila)/Poliuretano**. *Polimeros*, 15, p.156 – 162, 2005.

PIZATTO, L. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de elastômeros termoplásticos de poliuretano (TPU) com argila**. 2009. 51f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2009.

PUJOL S., BERTHILIER M., DEFRANCE J., LARDIES J., PETIT R., HOUOT H., LEVAIN JP., MASSELOT C., MAUNY F. **Urban ambient outdoor and indoor noise exposure at home: A population-based study on schoolchildren**. *Applied acoustics*, 73, p.714 – 750, 2012.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SEMPREBONE P. S. **Desgastes em trilhos ferroviários – um estudo teórico**. 2006. 153f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- SPECHT L. P., CALLAI S. C., KHATCHATOURIAN O. A., KOHLER R.; **Avaliação do ruído através do SPBI em diferentes pavimentos**. Escola de Minas, 62, p. 439 - 445, 2009.
- SPONTAK R.J., PATEL N.P. **Thermoplastics elastomers: fundamentals and applications**. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 5, p.334 – 341, 2000.
- SREENILAYAM-RAVEENDRAN R.K., AZARIAN M.H., MORILLO C., PECHT M.G., KIDA K., SANTOS E.C., HONDA T., KOIKE H. **Comparative evaluation of metal and polymer ball bearings**. Wear, 2013.
- STEVENS, Malcolm P. **Polymer Chemistry**. 2ª ed. New York. 1990.
- SURESHA, B; **Friction and Dry Slide Wear of Short Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Polyurethane Composites**. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29, p. 1055-1061, 2010.
- TANG W., WANG H., TANG J., YUAN H. **Polyoxymethylene/thermoplastic polyurethane blends compatibilized with multifunctional chain extender**. Journal of Applied Polymer Science, p. 3033–3039, 2013.
- TRENTIN M.G., ADAMCZUK G., LIMA J. D. **Análise de custos no setor moveleiro: um estudo de caso em uma empresa produtora de componentes para móveis**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador.
- UTHAMAN R.N., PANDURANGAN A., ABUDUL-MAJEED S.S.M. **Mechanical, thermal and morphological characteristics of compatibilized and dynamically vulcanized polyoxymethylene/ethylene propylene diene terpolymer blends**. Polymer Engineering and Science, p. 934-942, 2007.
- VILAR, Walter. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3ª edição. Rio de Janeiro. 2002.
- VINCENT N.; **Rolling noise control at source: state-of-the-art survey**. Journal of Sound and Vibration, 231, p. 865 – 876, 2000.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WANG, Quian. **Thermal stability of polyoxymethylene and its blends with poly(ethylene-methylacrylate) or poly(styrene-butadiene-styrene)**. Journal of Applied Polymer Science, 121, p. 376–388, 2011.

WIESLAW, Dziadur; **The effect of some elastomers on the structure and mechanical properties of polyoxymethylene**. Materials Characterization, 46, p.131-135, 2001.

ZHAO J., WANG X.M., CHANG J.M., YAO Y., CUI Q. **Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite**. Composites Science and Technology, 70, p. 2033–2038, 2010.

9 ANEXOS

9.1 Foha de dados do Poliacetal



Technical data sheet

HERAFORM R3000 NAT

Material code Colour code

PROPERTY		STANDARD	UNIT	VALUE
<i>Physical Properties</i>				
Density		ISO 1183	Kg/m ³	1410
Water absorption, immersion at 23°C	2mm thk	ISO 62	%	0.7
Melt Volume Rate	190°C / 2.16kg	ISO 1133	g/10'	24
<i>Mechanical Properties</i>				
Tensile Modulus	1mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	2900
Stress at Yield	50mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	85
Nominal Strain at Break	50mm/min	ISO 527-2/1A	%	>20
Charpy Notched Impact Strength	+23°C	ISO 179/1 eA	KJ/m ²	8
<i>Thermal Properties</i>				
Melting Temperature	10°C/min	ISO 11357-1-3	°C	183
Heat Deflection Temperature	1.8 MPa	ISO 75/2 A f	°C	108
Vicat Softening Temperature	50°C/h	ISO 308/B50 50N	°C	151
<i>Flammability Properties</i>				
Flammability	0.8mm	UL 94	class	HB
Automotive interior flammability	Burn rate	FMVSS302	mm/min	<50

9.2 Folha de dados do Poliuretano Termoplástico

FORTIPRENE TPU 5126/A90 TURBO

Fortiprene TPU 5126/A90 é um produto da linha de poliuretanos do Grupo FCC, que apresenta ciclos de injeção de 20 a 30% menores do que os TPUs convencionais, sem redução de suas propriedades mecânicas.

Propriedades típicas físicas:

PROPRIEDADE	RESULTADOS	UNIDADE	MÉTODO
Dureza	90	Shore A	NBR 14454
Densidade	1,25	g/cm ³	NBR 14737
Abrasão DIN	30	mm ³	NBR 15190
Tensão na ruptura	40	MPa	ASTM D412
Alongamento na ruptura	550	%	ASTM D412

Processamento: A fim de garantir as propriedades mecânicas do material, recomenda-se secar os grãos antes da injeção em estufa de ar circulante, de 2 a 3 horas, entre 100 e 110°C.

Condições de Processamento: Fortiprene TPU 5126/A90 pode ser processado em máquinas injetoras, cujas características podem exigir ajustes dos parâmetros de processamento. Consulte nossa Assistência Técnica para mais esclarecimentos.

A seguir, temperaturas típicas de processamento do Fortiprene TPU 5126/A90:

9.3 Folha de dados do Elastômero Termoplástico

FORTIPRENE TPE 7140 A90CO

FORTIPRENE TPE 7140 é um TPE a base de SEBS especialmente desenvolvido para aplicações onde alta capacidade de processabilidade seja exigida. Este material possui a melhor relação entre custo/benefício da linha de TPE da FCC.

O **FORTIPRENE TPE 7140/A90CO** é um material de cor natural com aditivação standard.

Propriedades típicas físicas:

PROPRIEDADE	RESULTADOS	UNIDADE	MÉTODO
Dureza (3s)	90	Shore A	ASTM D 2240
Densidade	1,15	g/cm ³	ASTM D 792
Umidade	<0,3	%	ASTM D 1238
Alongamento na Ruptura	>500	%	ASTM D 412C

9.4 Trabalhos submetidos

Trabalho apresentado em congresso

- XIV Simpósio Latino-americano de Polímeros 2014 (SLAP-2014)

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYOXYMETHYLENE AND THERMOPLASTIC POLYURETHANE BLENDS FOR PULLEYS

Trabalho publicado em congresso

- IX Congreso Iberoamericano de Acústica 2014

EMISSÃO ACÚSTICA DE SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE PORTAS DE ARMÁRIOS

Submetido em Revista

- Revista Polímeros – Ciência e Tecnologia

MECHANICAL AND MORFOLOGICAL PROPERTIES AVALIATION OF POM/TPU BLENDS USED IN INDUSTRIAL PULLEYS.