

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR *Simone Gonçalves*
de Oliveira E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM *29/09/2010*
Leah Abzuglia
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Simone Gonçalves de Oliveira

Avaliação Comparativa de Materiais
Poliméricos em Coletores de Admissão para
Aplicações de Motores Diesel

Campinas, 2010.

Simone Gonçalves de Oliveira

Avaliação Comparativa de Materiais Poliméricos em Coletores de Admissão para Aplicações de Motores Diesel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da
Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade
Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia Automobilística.

Área de Concentração: Materiais

Orientadora: Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia

Campinas

2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

OL4a Oliveira, Simone Gonçalves de
Avaliação comparativa de materiais poliméricos em
coletores de admissão para aplicações de motores
diesel/Simone Gonçalves de Oliveira - Campinas, SP:
[s.n.], 2010.

Orientador: Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia.
Dissertação de Mestrado (Profissional) - Universidade
Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia
Mecânica.

1. Compositos poliméricos. 2. Compostos poliméricos.
3. Indústria automobilística. 4. Poliamidas. 5.
Polímeros. I. Zavaglia, Cecília Amélia de Carvalho. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Comparative evaluation of polymeric materials on intake
manifold for diesel engines application

Palavras-chave em Inglês: Polymer composites, Polymeric compounds,
Automobile industry, Polyamides, Polymers

Área de concentração: Materiais

Titulação: Mestre em Engenharia Automobilística

Banca examinadora: André Luiz Jardini Munhoz, Maria Clara Filippini Ierardi

Data da defesa: 29/09/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

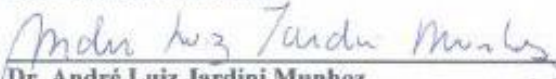
**Avaliação Comparativa de Materiais
Poliméricos em Coletores de Admissão para
Aplicações de Motores Diesel**

Autora: Simone Gonçalves de Oliveira
Orientadora: Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, aprovou esta Dissertação:



Prof. Dra. Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia
DEMA/FEM/UNICAMP



Dr. André Luiz Jardim Munhoz
DPQ/FEQ/UNICAMP



Prof. Dra. Maria Clara Filippini Ierardi
DEMA/FEM/UNICAMP

Campinas, 29 de setembro de 2010.

Dedico este trabalho ao meu
esposo Ricardo, a nossa filha Julia,
aos meus pais Roberto e Rita
e a minha irmã Monica.
Porque família é tudo.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Ao meu esposo Ricardo, pelo apoio, carinho e paciência nesta importante etapa da minha vida, ao companheirismo pelas idas e vindas para Campinas.

Aos meus pais Roberto e Rita por me ensinarem a ter garra, persistência e sabedoria para fazer de todas as situações da vida um momento especial.

A minha irmã, Monica, pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

À minha orientadora, Cecília Zavaglia, pelos preciosos conhecimentos a mim concedidos, pela paciência e confiança depositada.

Às professoras Carmen Gilda Barroso Tavares Dias e Maria Clara Filippini Ierardi pelo acompanhamento, apoio e dicas para a conclusão deste trabalho.

Ao Anderson Maróstica, Mauro Lopes, Talita Mosaner e Antonio César da Silva da Rhodia pelo envio do material para os estudos e pelo acompanhamento nos testes e conhecimentos a mim concedidos.

Ao André Carvalho, da Solvay pelo envio do material para os testes.

À Cristiane Ulbrich pela ajuda na confecção da peça em prototipagem rápida.

Aos amigos Alexandre Augusto Riginik Ferreira e Daniel Carvalho Fonseca pela ajuda com os arquivos de desenho.

A todos os colegas da MWM International, que ajudaram de forma direta e indireta, na conclusão deste trabalho, em especial aos meus amigos da Engenharia de Custos que sempre me incentivaram para cursar esse Mestrado.

"Não devemos permitir que alguém
saia da nossa presença
sem se sentir melhor e mais feliz"
Madre Tereza de Calcutá.

Resumo

No mundo moderno em que vivemos, devido à acirrada competição no mercado automotivo, surge a necessidade de um motor cada vez mais econômico, necessidade esta agravada pela competição internacional com os mercados asiáticos. Assim, acelera-se não apenas a corrida pelo aumento de qualidade e redução de custo dos produtos, mas também para as questões ambientais, como a redução das emissões de gás carbônico e de consumo de combustível. Sabe-se que, quanto maior o veículo, maior é o seu impacto sobre o consumo de combustível. O peso, por exemplo, é o fator mais importante nas emissões de CO₂. Considerando que os metais são mais pesados que os plásticos, existe um grande interesse na substituição de peças metálicas por poliméricas. O objetivo geral deste trabalho foi selecionar plásticos de engenharia ou compósitos de matriz polimérica para aplicação em coletores de admissão de gases de motores a diesel. Para tanto, foi elaborada uma matriz de decisão, onde foram avaliadas as principais características necessárias para essa peça específica, que atualmente é constituída pela liga de alumínio fundida. As seguintes características foram consideradas importantes na montagem da matriz de decisão: resistência mecânica à tração e ao impacto; densidade; resistência ao calor; resistência química aos combustíveis; processabilidade por injeção; custo e disponibilidade. Como substitutos ao alumínio fundido foram escolhidos os seguintes materiais: Poliamida 66 sem reforço (PA 66); Poliamida 66 com reforço de 30% fibras de vidro e sem termoestabilizante (PA 66 30 FV – ST); Poliamida 66 com reforço de 30% fibras de vidro com termoestabilizante (PA 66 30 FV – CT); Poliftalamida com 33% de fibras de vidro (PPA 33 FV) e Acetal (PPO). Uma primeira seleção foi feita com dados obtidos na literatura, restando como candidatos mais promissores o PA 66 30FV ST, PA 66 30 FV com CT e o PPA 33 FV. Para esses três plásticos de engenharia foram realizados ensaios de caracterização como: avaliação das propriedades mecânicas; térmicas; resistência ao calor. Chegou-se à conclusão que o PA66 30FV CT é o material mais adequado para a substituição proposta. Finalmente, foi obtido um modelo da peça estudada (coletor de admissão) por prototipagem rápida, para auxiliar nas etapas posteriores deste trabalho, que será o desenvolvimento da matriz de injeção.

Palavras-chaves: coletor de admissão; seleção de materiais poliméricos; indústria automotiva; poliamida 66 reforçada; poliftalamida; acetal.

Abstract

In the modern world where we live, due to incited competition in the automobilist market, emerges the necessity an engine much more economic and it is worsen by the international competition with the Asian markets. Thus, accelerate not only the race for the raise of the quality and cost reduction of products, but also for the environment topics, such as the reduction of the carbonic gas emissions and fuel consumption. It is known that, as bigger the vehicle is, bigger will be the impact of the fuel consumption. The weight, for example, is the most important factor in the CO₂ emissions. Concerning that the metals are heavier than plastics, a great interest in the replacing the metallic parts for polymers exists. The general objective of this work was to select of engineering plastics or composites of polymerics matrix for application in the intake manifold of diesel engines. For this reason, a decision matrix was elaborated where the main necessary characteristics for this specific part had been evaluated, currently is the casting aluminum alloy. The following characteristics had been considered important in the decision matrix: mechanical resistance to the tensile and the impact, density, thermal resistance, chemical resistance to the fuels, injection process, cost and availability. As substitute to casting aluminum the following plastics or composites had been chosen: Polyamide 66 without reinforcement (PA66), Polyamide 66 with 30% glass fiber reinforcement and without heat stabilizer (PA66 30 GF - CT), Polyamide 66 with 30% glass fiber reinforcement with heat stabilizer (PA 66 30 FV - ST), Poliftalamide with 33% of glass fiber (PPA 33 FV) and Acetal (PPO). A first stage was made with data gotten in literature, remaining as three more promising candidates PA 66 30FV without heat stabilizer, PA 66 30 FV with heat stabilizer and PPA 33 FV. For these three engineering plastics had been carried through characterization tests: evaluation of the mechanical and thermal properties, resistance to the heat. As conclusion, the PA66 30FV with heat stabilizer is the material that more adjusted for the replacement proposal. Finally a model of the studied part (Intake Manifold of Diesel Engine) for rapid prototyping was gotten, to assist the next stage of this work, whit will be the development of the injection matrix.

Key-Words: intake manifold; Polymers; automotive industry; polyamide 66; fiber glass reinforced; polyftalamide; acetal.

Lista de Figuras

1. Divisão de segmento de motores diesel	6
2. Esquema dos 4 ciclos do motor a diesel	7
3. Motor a diesel em estudo	9
4. Coletor de admissão Sprint 3.2 (peça escolhida para este trabalho)	14
5. a) Polímeros táticos; b) Polímeros atáticos	19
6. Polímeros de uso geral, de engenharia e especiais	21
7. Fatores que influenciam no desempenho final do produto	23
8. Árvore das aplicações técnicas dos termoplásticos	24
9. Segmentação do mercado de termoplásticos	24
10. Aplicações de termoplásticos em diversos setores	25
11. Exemplos de aplicações de termoplásticos na indústria automotiva	25
12. Exemplo de peça da MWM em poliamida 66: tampa de válvula de motor a diesel	26
13. Exemplos de peças em PA reforçada com FV utilizadas pela indústria automotiva	26
14. Roteiro para seleção de matéria-prima	28
15. Foto do coletor em estudo feito em liga de Alumínio	31
16. Monômero da poliamida 66 (PA66)	33
17. Monômero da poliamida 6 (PA6)	34
18. Efeito do reforço de fibras de vidro nas propriedades do Nylon	35
19. Monômero da poliftalamida (PPA)	37
20. Monômero do acetal [Poli(óxido de metileno)-POM]	38
21. Esquema de absorção de umidade	46
22. Ensaio de resistência à tração	47
23. Curva tensão-deformação esquemática de um polímero semicristalino dúctil apresentando os vários estágios de deformação.	47
24. Tensão deformação de plásticos rígidos e frágeis	48

25. Configuração do ensaio de Módulo de Flexão	49
26. Configuração do ensaio de Módulo de Flexão	49
27. Corpos de prova para ensaio de impacto	49
28. Esquema do equipamento de impacto	50
29. Tipos de corpos de prova para ensaio ao impacto	51
30. Injetora para corpos de prova	55
31. Dimensões dos corpos de prova	55
32. Corpos de prova injetados para ensaio de tração	56
33. Corpos de prova injetados para ensaio de impacto	56
34. Esquema da máquina de tração	58
35. Esquema da máquina de impacto	59
36. Diagrama esquemático dos compartimentos do DSC por compensação de energia	60
37. DSC por fluxo de calor	61
38. Curvas de DTA e DSC	62
39. Cadinhos utilizados no DSC (grafite, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , Pt + Al ₂ O ₃ inside layer Pt, Au) e haste do DSC de fluxo de calor	63
40. Exemplo de gráfico de TGA (vermelho) e sua derivada, DTG (azul)	64
41. Desenho detalhado de um instrumento de termogravimetria	66
42. Prototipagem rápida da peça em estudo	67

Lista de Tabelas

1. Funções e propriedades requeridas para componentes da área do motor	30
2. Composição do Alumínio A 384.0-F	32
3. Comparativo de Nylon reforçado com fibra de vidro 66 x 6	35
4. Acetais (Polioxido de metileno)	39
5. Propriedades físicas, mecânicas, térmicas e de processamento dos plásticos escolhidos	40
6. Propriedades térmicas e de processamento dos plásticos escolhidos	43
7. Resistência a solventes e produtos químicos em geral	44
8. Matriz de decisão preliminar	53
9. Matriz de decisão final	70

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
(A)	- Atendimento às propriedades e características
CAD	- <i>Computer-aided design</i>
CO ₂	- Gás Carbônico
DSC	- <i>Differential scanning calorimetry</i> ou Calorimetria Exploratória Diferencial
DTA	- Análise Térmica Diferencial
DTG	- Termogravimetria Derivada
ECU	- <i>Electronic Control Unit</i> ou Unidade de Controle Eletrônico
EGR	- Recirculação de gases de escape
EUA	- Estados Unidos da América
FV	- Fibra de vidro
FTIR	- Fourier Transform Infrared Spectroscopy ou Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
°C	- Graus Celsius
H ₂ O	- Água
HCL	- Ácido Clorídrico
ICE	- Motores de Combustão Interna
IUPAC	- International Union of Pure and Applied Chemistry
J/g	- Joule/Grama
Kg	- Quilograma
LME	- London Metal Exchange
MD	- Matriz de decisão
MET	- Microscópio Eletrônico de Transmissão
MEV	- Microscópio Eletrônico de Varredura
N ₂	- Gás inerte
(P)	- Peso
PA	- Poliamida
PC	- Policarbonatos

PE	- Polietileno
PEEK	- Poli Éter-Éter-Cetona
PES	- Poli Éter Sulfona
PI	- Poli Imida
PMI	- Ponto Morto Inferior
PMS	- Ponto Morto Superior
POM	- Acetal
PP	- Polipropileno
PPA	- Poliftalamida
OS	- Poliestireno
PTFE	Poli Tetra-Fluor-Etileno
PVC	- Poly Vinyl Chloride ou Poli Cloreto de Vinila
SCR	- <i>Selective Catalytic Reduction</i> – Redução Catalítica Seletiva
SI	- Sistema Internacional de Unidades
SiO ₂	- Silicon Dioxide ou Dióxido de Silício
Tg	- Transição vítrea
TGA	- Thermal Gravimetric Analysis ou Análise Termogravimétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3.1 Motor Diesel.....	3
3.1.1 Desenvolvimento dos Motores a Diesel: Breve Histórico.....	3
3.1.2 Componentes do motor de ciclo “Diesel”	6
3.1.3 Funcionamento do motor de ciclo “Diesel”	7
3.1.4 Funcionamento do motor à combustão interna ciclo “Otto”	9
3.1.5 A influência da temperatura no funcionamento do motor à combustão interna.....	10
3.1.6 Sistema de Alimentação	12
3.1.7 Coletores de Admissão	12
3.1.8 Tecnologia no motor diesel <i>versus</i> menor emissão de gases e cuidados com o meio ambiente	14
3.2 Polímeros.....	15
3.2.1 Classificação de polímeros	15
3.2.2 Aditivos em polímeros.....	22
3.2.3 Estatísticas da Indústria Brasileira de Plástico	24
3.2.4 Aplicações dos polímeros.....	25
4 SELEÇÃO PRELIMINAR DE MATERIAIS.....	27
4.1 Introdução.....	27
4.2 Requisitos da peça escolhida.....	28
4.3 Descrição dos principais materiais candidatos à substituição do alumínio fundido.....	32
4.3.1 Poliamida 66 (sem e com reforço com 30% de fibras de vidro)	32
4.3.2 Poliamida 6 (com reforço de 30% de fibras de vidro).....	34
4.3.3 Poliftalamida (com reforço de 33% de fibras de vidro) – Poliftalamida (PPA).....	37
4.3.4 Acetal (com reforço de 30% de fibras de vidro) Acetal.....	38
4.4 Comparação das propriedades dos plásticos selecionados	40
4.5 Matriz de decisão preliminar	45
4.5.1 – Densidade	45
4.5.2 - Absorção de água	46
4.5.3 – Resistência a Tração	47
4.5.4 – Resistência à flexão	48
4.5.5 – Resistência ao Impacto	49
4.5.6 – Resistência ao calor	51
4.5.7 – Facilidade de injeção	52
4.5.8 – Resistência a produtos químicos.....	52
5 MATERIAIS E MÉTODOS – Matriz de decisão final.....	54
5.1 Introdução.....	54

5.2 Experimentos	54
5.2.1 Confeção de corpos de prova por injeção	54
5.2.2 Ensaio de Tração	56
5.2.3 Ensaio de Impacto Charpy	58
5.2.4 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	59
5.2.5 Análise Termogravimétrica (TGA)	63
5.2.6 Levantamento de Custo	66
5.2.7 Levantamento de disponibilidade.....	66
5.3 Prototipagem Rápida	67
6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	69
6.1 Resultados dos ensaios de Tração	69
6.2 Resultados dos ensaios de Impacto	69
6.3 Resultados DSC.....	69
6.4 Resultados TGA	69
7 DISCUSSÃO E MATRIZ DE DECISÃO FINAL.....	70
8 CONCLUSÕES	71
Referências	72
Anexos	75

1 INTRODUÇÃO

No acirrado e competitivo mercado automobilístico em que vivemos, a necessidade de um motor cada vez mais econômico está presente no mundo moderno e é agravada pela competição internacional com os mercados asiáticos. Assim, acelera-se não apenas a corrida pelo aumento de qualidade e redução de custo dos produtos, mas também para as questões ambientais, como a redução das emissões de gás carbônico e de consumo de combustível.

Sabe-se que, quanto maior o veículo, maior é o seu impacto sobre o consumo de combustível. O peso, por exemplo, é o fator mais importante nas emissões de CO₂. Considerando que o aço corresponde a dois terços do peso do veículo e o plástico corresponde a um terço do aço, é evidente que haja interesse em uma substituição. Além disso, os plásticos de engenharia possuem propriedades que os tornam perfeitos componentes substitutos, daí a substituição de peças metálicas por peças de polímero apresentar-se como interessante, devido à baixa densidade destes.

Sabe-se que o automóvel é feito, basicamente, de três classes de materiais: metais: aços em forma de chapa ou peças, aço fundido e ligas de alumínio; polímeros: plásticos, borrachas, tintas, vernizes, tecidos; e vidro.

A utilização de polímeros na indústria automobilística, na década de 70, foi decorrente do petróleo e da necessidade de se diminuir o consumo de combustível. Hoje em dia, além da redução de peso, o polímero possibilita *designers* modernos, aumento da segurança, redução de custos e tempo de produção, além de ser imune à corrosão.

A indústria automobilística européia utiliza cerca de 150kg de polímeros em um veículo. Já no Brasil, atualmente, cada veículo utiliza entre 60 e 90 quilos de polímero, sendo 40% de elastômeros (incluindo pneus, que correspondem a 80% dos elastômeros); 15% de tintas e vernizes e 40% de plásticos. No final da década de 80, a média da aplicação de plástico nos carros nacionais era de apenas 30 quilos.

Em média, cada 100kg de plástico substituem de 200kg a 300kg de peso provenientes de outros materiais, reduzindo o consumo anual de combustível em 12 milhões de toneladas e a emissão de CO₂ em 30 milhões de toneladas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi selecionar plásticos de engenharia ou compósitos de matriz polimérica para aplicação em coletores de admissão de gases de motores a diesel. Para tanto, foi elaborada uma matriz de decisão onde foram avaliadas as principais características necessárias para essa peça específica, que atualmente é constituída por liga de alumínio fundida.

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram necessários:

- Relacionar os possíveis plásticos de engenharia ou compósitos de matriz polimérica para coletor de admissão de motores diesel;
- Escolher os requisitos importantes (propriedades e características gerais) para avaliação dos materiais candidatos para a aplicação desejada;
- Fazer uma pré- matriz de decisão, utilizando dados encontrados na literatura, sobre as propriedades requeridas dos materiais candidatos para coletor de admissão de motores diesel;
- Com os materiais escolhidos na etapa anterior, fazer uma nova matriz de decisão, desta vez efetuando ensaios experimentais, com materiais fornecidos pelos fabricantes de matéria-prima. Desta forma um único material será escolhido.
- Construir um protótipo da peça escolhida (coletor de admissão de gases de motores a diesel) por prototipagem rápida.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Motor Diesel

3.1.1 Desenvolvimento dos Motores a Diesel: Breve Histórico

Na prática, os motores de combustão interna podem ser separados em dois grupos: os que sofrem ignição por centelha e os que sofrem ignição por compressão. Tais motores apresentam características distintas, especialmente no que se refere ao tipo de combustível utilizado; ao seu modo de operação; aos aspectos econômicos e, principalmente, ao tipo de gases emitidos (COSTA, 2007).

O surgimento dos motores de combustão remonta ao final do século XIX quando Rudolf Diesel e Nikolaus A. Otto construíram os primeiros motores de ignição por compressão e centelha, respectivamente. Os motores de combustão por centelha utilizavam, inicialmente, gás comprimido, até que em 1883, Karl Benz e Gottlieb Daimler aperfeiçoaram o modelo construído por Otto N. A., passando a utilizar gasolina como combustível. Já os motores de ignição por compressão utilizavam, inicialmente, óleos vegetais como combustíveis, depois passaram a utilizar o óleo diesel proveniente do petróleo (COSTA, 2007)

Em 1889, o conceito de automóvel estava realmente bem definido. Com o motor a vapor tocando plenamente toda forma de força motriz, no período da Revolução Industrial, nascia o motor de combustão interna e os primeiros automóveis no mundo (ROCHA, 2009).

Após a descoberta do refino do petróleo e a gasolina como subproduto do mesmo, os engenheiros da época começaram a perceber que uma mistura de ar mais combustível dentro do cilindro provocaria uma explosão, que deslocaria o pistão com muito mais força e potência que os motores a vapor, sendo mais leves e compactos.

Assim, os automóveis tornaram-se uma realidade e Daimler, em 1889, construiria um de seus primeiros projetos. Destaca-se, neste momento, a simplicidade dos conjuntos mecânicos de direção, suspensão, freio e transmissão, que era mecânica de quatro velocidades e as engrenagens ficavam expostas, necessitando de lubrificação constante. No fim do século XIX, estes

automóveis, assim como os de outros engenheiros, circulavam nas ruas das grandes cidades do mundo, em Paris, em Londres e nas ruas americanas, sob o controle de pessoas de alta nobreza na sociedade e engenheiros ligados à área metal mecânica. Hoje, o automóvel é um ícone do capitalismo moderno e estima-se que mais de um bilhão de automóveis circulem nas ruas de todo o mundo (ROCHA, 2009).

O primeiro modelo do motor a diesel que funcionou de modo eficiente data do dia 10 de agosto de 1893, e foi criado por Rudolf Diesel, em Augsburg, Alemanha. Em 1898, este mesmo motor foi apresentado, oficialmente, na Feira Mundial de Paris, França. O combustível utilizado até o momento era o óleo de amendoim, um tipo de biocombustível obtido a partir do processo de transesterificação (www.biodieselbr.com).

Registra-se que os primeiros motores do tipo diesel eram de injeção eletrônica, alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e óleo de peixe.

Entre 1911 e 1912, Rudolf Diesel afirmou que “o motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais, e ajudará no desenvolvimento agrário dos países que vierem a utilizá-lo... O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo, irão se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente”.

Um dos primeiros usos do óleo vegetal transesterificado foi o abastecimento de veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. Na figura 1 podem-se observar os tipos de aplicações dos motores a diesel.

O processo chamou a atenção de pesquisadores norte-americanos durante a década de 40, quando buscavam uma maneira mais rápida de produzir glicerina para alimentar bombas, no período de guerra. Com o passar do tempo, e já após a morte de Rudolf Diesel, a indústria do petróleo criou um tipo de óleo que denominou de “óleo diesel”, o qual, por ser mais barato que os demais combustíveis, passou a ser largamente utilizado (www.biodieselbr.com).

Devido à abundância de petróleo, aliada aos baixos custos dos seus derivados, o uso dos óleos vegetais caiu no esquecimento. Porém, os conflitos entre países e o efeito estufa foram elementos que marcaram de forma definitiva a consciência do desenvolvimento auto-sustentável, pelos ambientalistas. Assim, a partir da fixação do homem no campo e do aumento do consumo de combustíveis fósseis, houve, mais uma vez, a preocupação com a produção de óleo vegetal para ser utilizado em motores.

Atualmente, existe uma tendência gradual da utilização de misturas do diesel de petróleo com óleos vegetais esterificados ou transesterificados (Biodiesel).

A gasolina e o diesel são misturas de hidrocarbonetos extraídos do petróleo pelo processo de destilação fracionada nas faixas de 80-120°C e 160-410°C, respectivamente. Os diferentes comprimentos das cadeias carbônicas do diesel (C9-C28) e da gasolina (C6-C12) refletem não só nas faixas de destilação, mas também nos pontos de ignição desses combustíveis (BRAUN; APPEL; SCHMAL, 2003).

Essa última propriedade explica o porquê do motor a diesel precisar do calor obtido na compressão do ar antes de injetar o combustível, já que este possui um maior ponto de ignição.

Em síntese, o motor de combustão interna é uma máquina que absorve ou admite o ar da atmosfera e o combustível do tanque, une estes dois elementos, formando a mistura proporcional de ar mais combustível o mais ideal possível, e comprime a mesma em um local denominado câmara de combustão. Em seguida, após esta mistura estar comprimida pelo pistão na câmara de combustão, o sistema de ignição, sincronizado com o motor, gera uma centelha elétrica nas velas que estão rosqueadas dentro da câmara, inflamando a mistura, gerando uma explosão e um deslocamento de massa, empurrando, então, o pistão para baixo e gerando força, torque e movimento rotativo (ROCHA, 2009).

Ressalta-se que os motores diesel ganharam considerável importância nos mercados europeus e americanos, devido às diversas vantagens econômicas oferecidas pelos mesmos. Este tipo de motor possui maior rendimento energético, durabilidade e robustez, o que significa que ele produz mais potência por litro de combustível; tem uma vida útil bem maior do que os motores de centelha (cerca de 10 vezes) e com baixíssimos custos de manutenção (COSTA, 2007).

Uma evolução histórica do combustível diesel pode ser assim definida:

Início do Século II: utilização de óleos vegetais em testes nos motores diesel.

Anos 70: declínio de interesse pelo uso dos óleos vegetais, motivado pela abundância e baixo custos dos derivados de petróleo. Nesta mesma década, devido aos dois grandes choques mundiais que elevaram o preço do petróleo, há a retomada pelos testes com óleo vegetal.

Anos 80: novo declínio de interesse pelos óleos vegetais.

Anos 90: retomada de interesse devido às pressões ambientalistas e a introdução do conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Século XXI: efeito estufa, guerra, desenvolvimento do setor primário e fixação do homem no campo, fazem com que o investimento na pesquisa, produção e divulgação do biodiesel se espalhem por todo o país, por meio de feiras, encontros, seminários, entre outros.

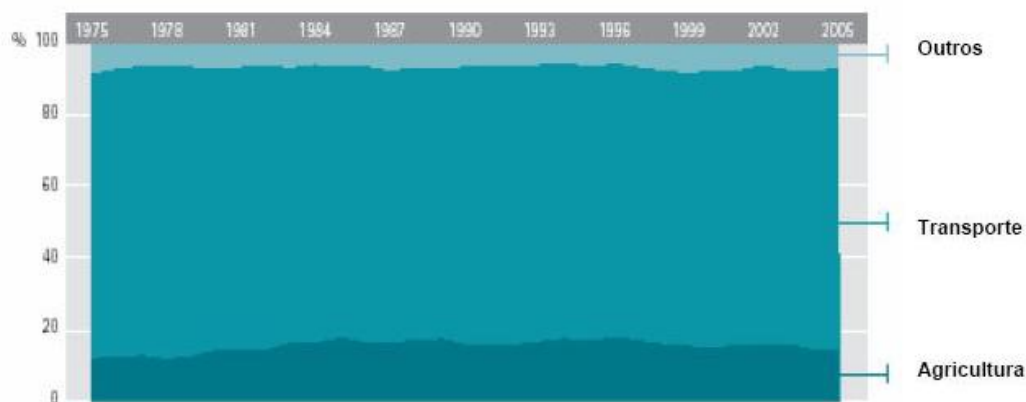


FIGURA 1. Divisão de segmento de motores diesel.
Fonte: Disponível em: www.MME.gov.br

3.1.2 Componentes do motor de ciclo “Diesel”

O motor construído por Rudolf Diesel foi criado, primeiramente, para trabalhar com óleo vegetal. Depois que o óleo diesel passou a ser um dos subprodutos mais abundantes do petróleo, é que o motor a diesel entrou no ciclo econômico mundial (ROCHA, 2009).

As peças e os conjuntos mecânicos são similares aos dos motores de ciclo “Otto” e concebidos igualmente, contendo as mesmas peças fixas e móveis, como: bloco, cabeçote, cárter e pistão, biela, virabrequim e tantos outros componentes.

A principal diferença é a taxa de compressão, que nos motores a diesel é bem mais elevada, pois, para gerar combustão, o ar dentro da câmara de combustão precisa estar bem

aquecido, e assim, os componentes, de um modo geral, necessitam ser mais reforçados, pois a compressão no motor é maior (ROCHA, 2009).

Nos dias atuais, toda a linha pesada e de trabalho é equipada com esses tipos de motores. Ainda que sejam eficientes, os motores a diesel, somados aos motores de ciclo Otto, são máquinas com os mesmos propósitos e, por isso, contribuem com uma grande parcela da transformação dos ecossistemas e do clima na terra.

O biodiesel é uma saída sustentável para esses tipos de motores, e em poucos anos, será responsável pela maior fatia da frota a diesel, trabalhando com esse tipo de combustível ecologicamente correto.

3.1.3 Funcionamento do motor de ciclo “Diesel”

O funcionamento do motor ciclo “diesel” acontece de modo semelhante ao motor de ciclo “Otto”. Os componentes do motor dos dois ciclos também são semelhantes e, portanto, o funcionamento dos dois motores parte do mesmo princípio da admissão, compressão, combustão e descarga, ilustrado na figura 2 (ROCHA, 2009).

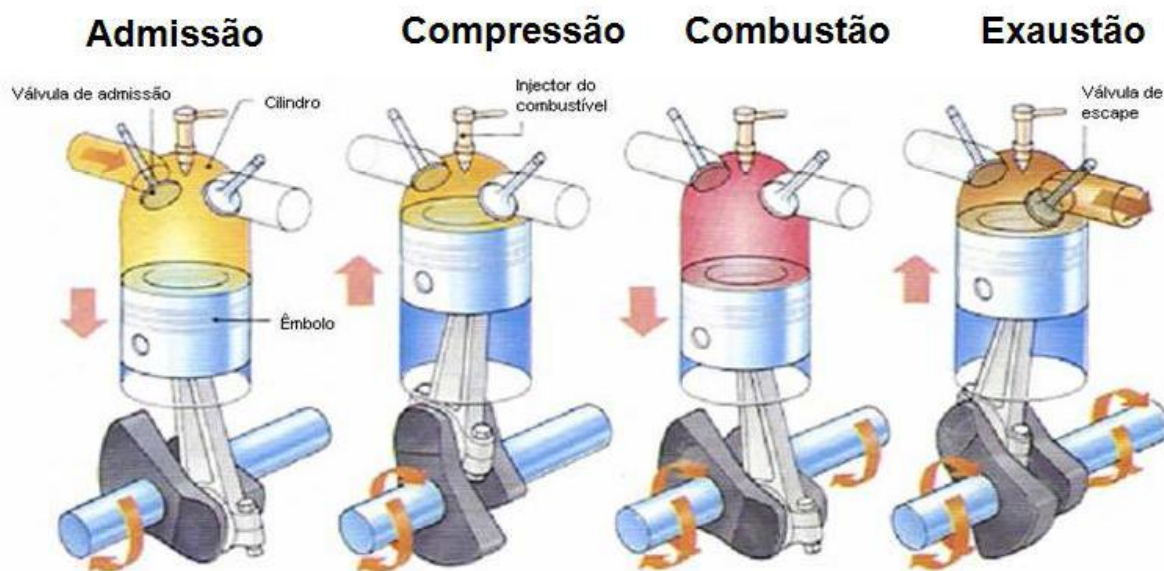


FIGURA 2: Esquema dos 4 ciclos do motor a diesel.

Fonte: ROCHA, 2009

No ciclo “diesel”, os tempos acontecem de maneira parecida, ou seja, no primeiro tempo, a válvula de admissão se abre, movida pelo came do eixo comando de válvulas, e o pistão desce, aspirando apenas ar, com o giro do Virabrequim completando seu primeiro 180°.

No segundo tempo do ciclo “diesel”, o pistão sobe dentro do cilindro, fazendo 360° do eixo Virabrequim, comprimindo apenas ar e o elevando a temperaturas próximas à 600°C. O terceiro tempo deste motor acontece um pouco diferente. Com a compressão, o ar fica aquecido. Quando o pistão chega ao PMS (Ponto Morto Superior), uma quantidade de “diesel” é injetada e inflama dentro da câmara, por encontrar o ar extremamente quente e a geração de força acontece com o deslocamento do pistão e do eixo Virabrequim em 540°.

A característica construtiva principal deste motor é de possuir alta taxa de compressão, começando com 14:1 a 28:1 ou até outros valores extremos. Isso explica o aumento da temperatura do ar quando comprimido. Em alguns casos, o cabeçote de motores a “diesel” tem sua face de baixo “plana”, sem câmara, cujo volume do cilindro é todo comprimido em milímetro, em um espaço pequeno que sobra quando o pistão chega em PMS.

Encerrando o ciclo, a válvula de escape se abre, em função do comando, o pistão sobe, expulsando os gases de descarga no escapamento e, conseqüentemente, na atmosfera. O ciclo se completa com duas voltas 720° no eixo de Manivelas ou Virabrequim (ROCHA, 2009).

Os motores de combustão interna podem ser divididos nos seguintes sistemas, vide figura 3:

- Estrutural: bloco, cabeçote, suportes...
- Potência: virabrequim, biela, pistões, anéis...
- Lubrificação: bomba de óleo, ejetores de óleo...
- Gerenciamento de ar (turbo compressor, válvulas EGR e borboleta, coletores de admissão e escape...).
- Arrefecimento (trocadores de calor, bomba d'água, válvula termostática...).
- Elétrico (ECU, sensores, atuadores...).
- Combustível (bomba de injeção de combustível, bomba alimentadora, bicos injetores, filtros...).

- Auxiliar (compressor de ar, alternadores, bomba hidráulica...).
- Distribuição e sincronismo (válvulas de admissão e escape, comando de válvulas, balanceiros, correia dentada, corrente, engrenagens...) (FURLANI; SILVA, 2006)

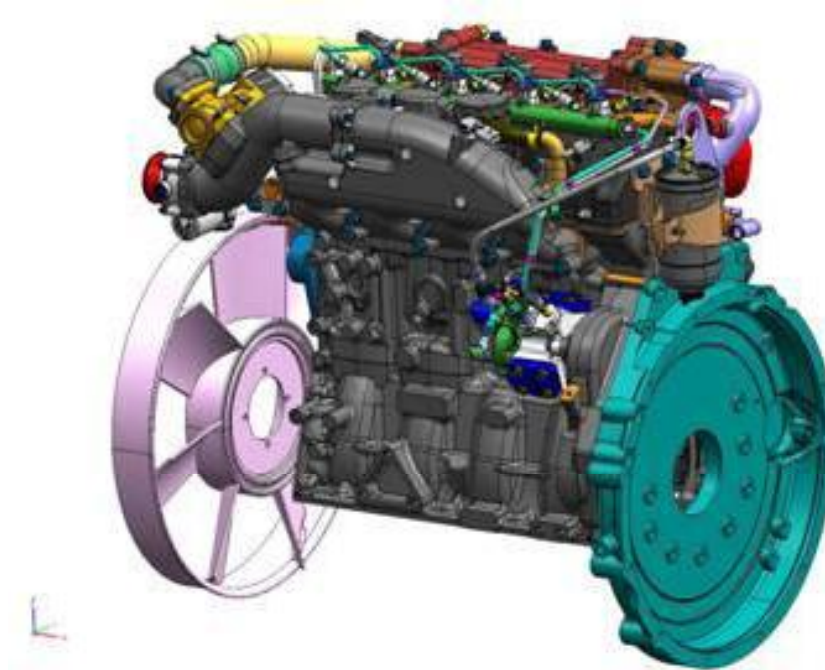


FIGURA 3. Motor a diesel em estudo.

Fonte: Arquivo 3D – Motor Sprint 3.2– MWM *International* Motores

3.1.4 Funcionamento do motor à combustão interna ciclo “Otto”

O motor à combustão interna ciclo Otto é uma máquina que trabalha com os princípios da termodinâmica e com os conceitos de compressão e expansão de fluidos gasosos para gerar força e movimento rotativo. Criado e patenteado por Nikolaus August Otto, por volta do ano de 1866, este motor funciona com um ciclo de quatro tempos e os mesmos princípios até os dias atuais (ROCHA, 2009).

Na prática, esta máquina geradora de força motriz vem evoluindo, ao longo dos anos, com o avanço da tecnologia e novos estudos aplicados a materiais e combustíveis, cujo objetivo é deixá-lo com uma eficiência energética maior.

Na medida em que este processo ocorre, é finalizado com a expulsão dos gases queimados para fora do motor. Este é, portanto, o chamado princípio de funcionamento do motor com o ciclo de quatro tempos que, em síntese, da seguinte forma: 1º tempo: admissão; 2º tempo: compressão; 3º tempo: explosão; e 4º tempo: escape (ROCHA, 2009).

3.1.5 A influência da temperatura no funcionamento do motor à combustão interna

Desde o século XIX, os motores de combustão interna (ICE) tiveram seu desenvolvimento ligado a modelos termodinâmicos que descrevem o seu funcionamento. Estes modelos foram importantes na construção do primeiro motor ICE. No entanto, até a década de 60 do século XX, o empirismo dominou o desenvolvimento tecnológico destes motores. A partir desta década, a disponibilidade de meios computacionais mais baratos e poderosos vem tornando a simulação uma ferramenta importante na pesquisa de novos motores, permitindo uma significativa melhora de desempenho, redução de emissão de poluentes e viabilizando sistemas de controle mais eficientes.

Atualmente, não é possível conceber um novo desenvolvimento sem o uso de ferramentas de modelagem. A capacidade de previsão dos atuais modelos é suficiente para eliminar configurações ineficientes reduzindo, assim, os custos da fase de experimentação em protótipos. Contudo, ainda não existe um procedimento de modelagem generalizado que permita a evolução de modelos mais simples para modelos complexos sem a necessidade de reescrita total dos códigos computacionais (BARROS, 2003).

O motor de combustão interna ciclo Otto é uma máquina térmica que gera potência e, por consequência, temperatura, que em índices alterados torna-se um empecilho para o motor, contribuindo para o desgaste e perda da vida útil das peças e conjuntos mecânicos.

A temperatura ideal para o bom funcionamento do motor fica em torno dos 90°C a 100°C e é um fator bastante importante para que o motor forneça toda a sua potência, pois o combustível que explode no terceiro tempo do ciclo de funcionamento gera calor, expansão de gases e geração de movimento.

É neste momento que se observa que este processo acontece a cada ciclo do motor, e o calor das explosões é transferido para todas as peças fixas e conjuntos móveis do motor. Os conjuntos móveis e as peças fixas são fabricados com certa tolerância dimensional, e quando o calor incide sobre estes materiais, acaba trabalhando na estrutura atômica, os materiais se expandem, e as peças, quando ultrapassam as medidas toleráveis, acabam não funcionando como deveriam. Por exemplo, o pistão com os anéis podem travar dentro do cilindro ou, ainda, as capas de mancais do virabrequim travam o eixo em função da dilatação do material. O cabeçote também sofre com a temperatura, empenando e gerando perda de potência do motor, necessitando do processo de retífica destes componentes (ROCHA, 2009).

Os motores são equipados com sistemas como o de arrefecimento e lubrificação para controlar a temperatura e reduzir o efeito da mesma sobre os componentes do motor. A temperatura elevada ainda causa a pré-ignição e detonação, gerando falhas no funcionamento do motor. Ao contrário do que se pensa, temperaturas abaixo da ideal as do funcionamento do motor também geram falhas, o motor quando não alcança a temperatura térmica de funcionamento gera perda de potência e funcionamento irregular do motor, o consumo aumenta e o desgaste das peças também ocorre devido à folga entre os componentes causado pela redução dimensional nos componentes em função da baixa temperatura.

Nos dois modos de trabalho, com temperatura levada aos dois extremos, o motor gera desgaste, consumo, problemas com a ignição e perda da vida útil de funcionamento, por isso, é necessário um excelente controle e manutenção preventiva do automóvel (ROCHA, 2009).

Acrescenta-se que, o motor em funcionamento gera tanto calor que, mesmo com refrigeração e ventilação adequada, as temperaturas atingem aproximadamente 200°C, além da presença de gasolina, detergentes, aditivos, etc., que podem entrar em contato com componentes existentes no compartimento do motor.

3.1.6 Sistema de Alimentação

A função desse sistema é fazer com que sejam admitidos no cilindro quantidades de ar e que o mesmo esteja livre de impurezas. Portanto, é necessário um sistema de limpeza do ar, podendo ser encontrado dois tipos:

- Sistema de limpeza a banho de óleo: as impurezas maiores (folhas, partículas maiores de terra etc.) são retiradas no pré-purificador, sendo conduzidas posteriormente ao copo de sedimentação. O ar segue por um tubo até a cuba de óleo, entrando em contato com o mesmo, o que faz com que as partículas menores de poeira fiquem retidas. O ar, acompanhado de gotículas de óleo, segue até os elementos filtrantes, os quais retêm esse óleo juntamente com partículas ainda contidas nele. Ao sair do filtro, o ar está livre de impurezas e então, é conduzido aos cilindros pelos tubos de admissão (FURLANI; SILVA, 2006).

- Sistema de limpeza de ar seco: as impurezas são separadas por movimento inercial em um pré- purificador tipo ciclone, no qual o ar admitido adquire um movimento circular. A força centrífuga faz com que as impurezas maiores sejam depositadas num reservatório. Em seguida, o ar passa pelos elementos filtrantes, primário e secundário. O primário é confeccionado de papel e o secundário de feltro. Cerca de 99,9% das partículas sólidas em suspensão são retidas no sistema, sendo o ar, então, conduzido ao motor. A diferença do sistema a óleo é que ele consegue alta eficiência mesmo em rotações baixas (FURLANI; SILVA, 2006).

3.1.7 Coletores de Admissão

Coletores de admissão são condutos que promovem a distribuição homogênea de ar entre os cilindros de um motor. Também são utilizados como suporte.

O coletor de admissão possui, basicamente, duas funções. A primeira é contribuir para a vaporização da mistura gasosa proveniente do carburador; a segunda, distribuí-la pelos cilindros em quantidades tão uniformes quanto possível.

A distribuição nem sempre se faz perfeitamente uniforme, já que a mistura, algumas vezes, não é toda vaporizada no carburador, chegando ao coletor de admissão alguma gasolina ainda em estado líquido.

Nos motores que apresentam um carburador para cada cilindro, as consequências de tal fato não são tão relevantes, pois cada um recebe a totalidade do combustível que lhe é destinada. Porém, quando o carburador necessita alimentar mais do que um cilindro é necessário um sistema adicional de vaporização para melhorar a distribuição da mistura.

Geralmente, uma zona aquecida pelo escapamento e situada na parte central do coletor de admissão constitui um vaporizador auxiliar de combustível. O aquecimento em excesso desta zona poderá originar uma perda de potência devido à redução da densidade do ar e, para evitar este inconveniente, existem, em algumas dessas zonas, válvulas reguladas por termostato, as quais se fecham quando as temperaturas dos escapamentos são demasiadamente elevadas (ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY, 1982).

Se a disposição do motor não permitir a inclusão de uma zona aquecida pelo escapamento, o coletor de admissão pode ser aquecido por água do sistema de resfriamento ou até mesmo por termostatos elétricos fixados ao coletor de admissão. O aquecimento por água assegura uma temperatura mais constante numa zona maior; porém, após um arranque com motor frio, não se torna tão rapidamente eficaz como o aquecimento proporcionado pelo escapamento.

O formato do coletor pode ajudar a evitar a formação de gotas de combustível sem diminuir o fluxo de ar, o que resulta uma grande variedade de formas e dimensões dos coletores de admissão. Quando são utilizados dois carburadores independentes num motor de quatro cilindros, são normalmente ligados a coletores curtos bifurcados, alimentando, cada um deles, dois cilindros. A mesma disposição aparece nos motores de seis cilindros com três carburadores. No caso de carburadores de duplo corpo, cada um, num motor de quatro cilindros, alimenta-se apenas um cilindro (COSTA, 2007).

Em automóveis de elevada potência é comum a utilização de ligações flexíveis do carburador, a fim de evitar que a vibração do motor dê origem à formação de espuma na cuba de nível constante. Em todas as instalações de carburadores múltiplos é necessário ligar os coletores independentes com um tubo equilibrador para evitar desigualdades na alimentação.

Atualmente, os coletores de admissão cobrem a amplitude das funções alcançando além da mera rota do fluxo de ar, incluindo supercargas dinâmicas; controle de turbilhões e de secagem rápida; ventilação positiva de cárteres e recirculação de gases de escape (MANN+HUMMEL BRASIL, s.d.).

Consequentemente, os sistemas coletores dão uma contribuição considerável nos principais objetivos dos fabricantes de motores, como: baixo consumo; emissões reduzidas; *performance* e torque maiores. Além disso, os coletores de admissão têm um papel importante em muitos desenvolvimentos como parte do *design* do motor, no compartimento deste (MANN+HUMMEL BRASIL, s.d.).

Na figura 4 pode-se ver o coletor de admissão selecionado para estudo neste trabalho.



FIGURA 4. Coletor de admissão – peça selecionada para este trabalho.
Fonte: Arquivo 3D - Motor Sprint 3.2 – MWM *International* Motores

3.1.8 Tecnologia no motor diesel *versus* menor emissão de gases e cuidados com o meio ambiente

Atualmente, a redução da emissão de óxido nítrico e das partículas até aos valores limites exigidos só se pode aplicar mediante o método SCR (*Selective Catalytic Reduction* – redução catalítica seletiva). Deste modo, o tratamento dos gases de combustão está ganhando cada vez uma maior importância (ROCHA, 2009).

No entanto, as estações de serviço oferecem, por exemplo, em toda a Alemanha, esta solução para reduzir as emissões. Dado que o AdBlue congela a uma temperatura aproximada de -11°C, é preciso aquecer os tubos por onde passa esta solução sintética de uréia. O especialista em polímeros REHAU oferece uma solução a esta aplicação especial com os seus sistemas de tubos

rígidos e flexíveis aquecidos para todo o setor dos veículos industriais. Os tubos de plástico são envoltos com uma bobina do aquecedor, que transfere uma quantidade determinada de calor aos tubos através da tensão de bordo, impedindo, deste modo, que a solução arrefeça ou chegue mesmo a congelar.

Para integrar toda esta tecnologia nos automóveis são necessárias secções de tubo muito pequenas. Não se dispõe de modo algum de tanto espaço como nos veículos industriais. Além disso, à semelhança da versão para caminhões, o material dos tubos deve ser estanque à difusão e resistente à solução de uréia e deve ser capaz de suportar temperaturas entre -35°C e $+100^{\circ}\text{C}$. Na procura de tecnologias inovadoras e novas tendências para a indústria de fornecedores, o especialista em polímeros passou, rapidamente, de fornecedor de produtos semi-acabados a oferecer inovadores e complexos sistemas de tubos pré-montados. Hoje em dia a REHAU está em condições de oferecer soluções muito interessantes à indústria automotiva, tanto no setor de veículos industriais como no setor de veículos turísticos, nos seus esforços para reduzir, de maneira considerável, a emissão de gases de escape e por cuidar, deste modo, do meio ambiente (ROCHA, 2009).

3.2 Polímeros

3.2.1 Classificação de polímeros

Conceitualmente, o polímero é visto como uma substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos ligados uns aos outros em quantidades suficientes para fornecer um conjunto de propriedades que não variam, acentuadamente, com a adição ou a remoção de uma ou algumas unidades constitucionais (SCRIBD, 2006).

A classificação de polímeros pode ser feita da seguinte forma:

a) Quanto ao tipo de cadeia:

- Lineares – a cadeia do polímero não possui ramificações.
- Ramificados – o polímero se apresenta ramificado, ou seja, com pequenas cadeias laterais.
- Reticulados – os polímeros possuem estrutura tridimensional; as cadeias estão unidas por ligações químicas (ligações cruzadas) (SCRIBD, 2006).

b) Quanto à estrutura química: esta classificação é baseada no grupo funcional ao qual pertencem os meros presentes na cadeia do polímero. Assim, tem-se:

- Poliolefinas – polipropileno, polibutadieno, poliestireno.
- Poliésteres – poli (tereftalato de etileno), policarbonato.
- Poliéteres – poli (óxido de etileno), poli (óxido de fenileno).
- Poliamidas – nylon, poliimida.
- Polímeros celulósicos – nitrato de celulose, acetato de celulose.
- Polímeros acrílicos – poli (metacrilato de metila), poliacrilonitrila.
- Polímeros vinílicos – poli (acetato de vinila), poli(álcool vinílico)
- Poliuretano
- Resinas formaldeídicas – resina fenol-formol, resina uréia-formol (SCRIBD, 2006).

c) Quanto às aplicações tecnológicas:

- Termoplásticos – lineares ou ramificados, que permitem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento.
- Termorrígidos: estrutura reticulada, com ligações cruzadas; são insolúveis e infusíveis (degradam antes da fusão) (SCRIBD, 2006).

d) Quanto ao comportamento mecânico:

- Borrachas ou elastômeros: é um material macromolecular que exibe elasticidade em longa faixa à temperatura ambiente. Possui um certo número de reticulações, que lhe confere o efeito memória.

- Plásticos: o termo plástico vem do grego, e significa “adequado à moldagem”. Plásticos são materiais que contém, como componente principal, um polímero orgânico sintético e se caracterizam porque, embora sólidos à temperatura ambiente em seu estado final, em alguns estágios de seu processamento, tornam-se fluídos e possíveis de serem moldados, por ação isolada ou conjunta de calor e pressão. Esse ingrediente polimérico é chamado de resina sintética. Fibra é um corpo que possui uma elevada razão entre o comprimento e as dimensões laterais, e é composto, principalmente, de macromoléculas lineares, orientadas longitudinalmente (MANO, 1991.).

- Fibras: é um corpo que tem elevada razão entre o comprimento e as dimensões laterais. Composto de macromoléculas lineares orientadas longitudinalmente. Fibras de vidro são constituídas basicamente por sílica (aproximadamente 50-60% em SiO_2) e contém muitos outros óxidos, tais como óxidos de cálcio, boro, sódio, alumínio e ferro. A quantidade de sílica e a presença de outros constituintes determinam a resistência química e mecânica (MANO, 1996.).

- Resinas – sólidas ou líquidas muito viscosas à temperatura ambiente. Fusível com a elevação da temperatura. Insolúvel em água e solúvel em algum solvente orgânico (SCRIBD, 2006).

- Conforme o seu comportamento mecânico, os polímeros são divididos em três grandes grupos: elastômeros ou borrachas, plásticos e fibras. Em sua aplicação, estes termos envolvem a expressão resina. Resina é uma substância amorfa ou uma mistura, de peso molecular intermediário ou alto, insolúvel em água, mas solúvel em alguns solventes orgânicos, e que, a temperatura ordinária, é sólida ou um líquido muito viscoso, que amolece, gradualmente, por aquecimentos. Todas as resinas naturais são solúveis e fusíveis, e todos os polímeros sintéticos que obedecem as condições acima apontadas são também chamados de resinas sintéticas.

Borracha ou elastômeros é um material macromolecular exibindo elasticidade em longa faixa, à temperatura ambiente (MANO, 1991.).

e) Quanto ao método de preparação:

São divididos, em linhas gerais, em polímeros de adição e polímeros de condensação, conforme ocorra uma simples adição, sem subproduto, ou uma reação em que são abstraídas dos monômeros pequenas moléculas, como HCl, H₂O, KCl.

f) Quanto à ocorrência:

Naturais – são polímeros que já existem normalmente na natureza. Dentre os mais importantes estão os carboidratos (celulose, amido, glicogênio etc.), as proteínas (existente em todos os seres vivos) e os ácidos nucleicos (existentes no núcleo das células vivas e responsáveis pelas características genéticas dos seres vivos).

Sintéticos – São polímeros fabricados pelo homem, a partir de moléculas simples. Dentre eles estão o nylon, o polietileno, o PVC etc. No setor de fibras têxteis, além de falarmos em fibras naturais (algodão, seda, juta etc.) e artificiais (nylon, poliéster etc.), falamos também em fibras artificiais ou modificadas, como, por exemplo, o rayon.

A fabricação do rayon já parte de uma macromolécula, que são as fibras naturais do algodão; a seguir, por meio de várias reações químicas, purifica-se a macromolécula e no final faz-se uma nova fiação. Resultam então fios e fibras de composição química idêntica à macromolécula inicial, porém, de muito melhor qualidade, que constituem o *rayon* (SCRIBD, 2006).

g) Quanto à natureza da cadeia:

Polímero de cadeia homogênea – quando o esqueleto da cadeia é formada apenas por átomos de carbono.

Polímero de cadeia heterogênea – quando no esqueleto da cadeia existem átomos diferentes de carbono (heteroátomos) (SCRIBD, 2006).

h) Quanto à disposição espacial dos monômeros:

Polímero Tático – quando as unidades monoméricas dispõem-se ao longo da cadeia polimérica segundo certa ordem, ou seja, de maneira organizada, vide figura 5. Os polímeros táticos podem ainda ser divididos em isotáticos e sindiotáticos.

Nos polímeros isotáticos, os monômeros distribuem-se ao longo da cadeia de tal modo que unidades sucessivas, após rotação e translação, podem ser exatamente superpostas. Nos polímeros sindiotáticos, a rotação e translação de uma unidade monomérica, em relação à seguinte, reproduz a imagem especular desta última.

Polímero Atático – quando as unidades monoméricas dispõem-se ao longo da cadeia polimérica acaso, ou seja, de maneira desordenada, vide figura 5 (SCRIBD, 2006).

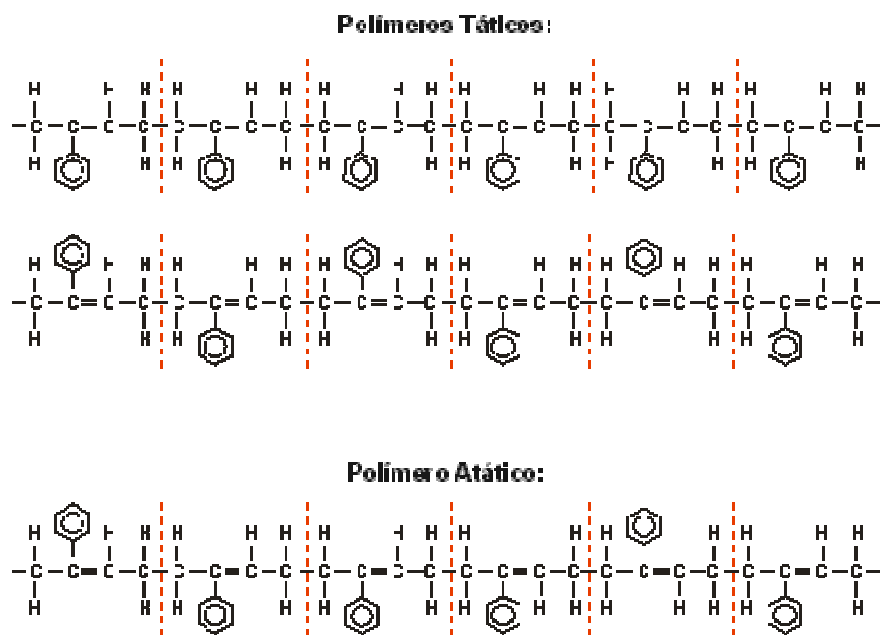


FIGURA 5. a) Polímeros táticos; b) Polímeros atáticos.

i) Quanto à estrutura final do polímero:

Polímero linear – quando a macromolécula é um encadeamento linear de átomos. Mesmo que a cadeia apresente ramificações (desde que a ramificação não ligue uma cadeia à outra vizinha) o polímero continua sendo considerado linear. Ex: borracha sintética (neoprene).

Os polímeros lineares dão origem a materiais termoplásticos, isto é, plásticos que podem ser amolecidos pelo calor quantas vezes quisermos e, ao resfriarem, voltam a apresentar as mesmas propriedades iniciais.

Polímero tridimensional – quando a macromolécula se desenvolve em todas as direções, isto é, há ligações entre cadeias adjacentes, através de átomos localizados ao longo da cadeia. Esses polímeros dão origem a materiais termofixos ou materiais termorígidos.

No primeiro caso, pelo menos a última fase de produção da macromolécula deve ser feita simultaneamente com a modelagem do objeto desejado, pois uma vez prontos, esses polímeros não podem ser novamente amolecidos pelo calor (um aquecimento excessivo causará a decomposição até a queima do material mas nunca seu amolecimento) e conseqüentemente, esses polímeros não podem ser reaproveitados industrialmente na moldagem de novos objetos.

Os polímeros termorígidos, quando prontos, só podem ser fundidos uma vez, pois, durante a fusão, as moléculas reagem entre si, aumentando a massa molecular do polímero e este, endurecendo, torna-se insolúvel e infusível (ROCHA, 2007).

j) Quanto às características técnicas e econômicas (HEMAIS, 2003):

Os polímeros são classificados como: polímeros de uso comum, polímeros de engenharia e polímeros de uso especial.

Polímeros de uso comum, também chamado *commodities*, são aqueles produzidos em larga escala, tem baixo valor agregado, não apresentam propriedades mecânicas e térmicas elevadas, são utilizados para aplicações gerais e são consumidos em grandes quantidades. Pode-se citar como exemplos desses polímeros: o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poli(cloreto de vinila) (PVC), o poliestireno (PS), entre outros.

Polímeros de engenharia possuem propriedades mecânicas e térmicas superiores aos *commodities*, e são produzidos em escala menor que estes, possuem preços intermediários entre os polímeros de uso comum e os de uso especial. Exemplos de polímeros desta categoria: poliamidas (PA), policarbonatos (PC), acetal (POM), poli (tetra-fluor-etileno) (PTFE) etc.

Polímeros de uso especial são aqueles que apresentam alto desempenho, são produtos específicos, com propriedades bem definidas e incomuns, possuem alto valor agregado e são produzidos em baixa escala. Alguns exemplos desses polímeros: poli (éter-éter-cetona) (PEEK), poli(éter sulfona) (PES), poli imida (PI), poliftalamida (PPA) etc.

A figura 6 apresenta essa classificação:

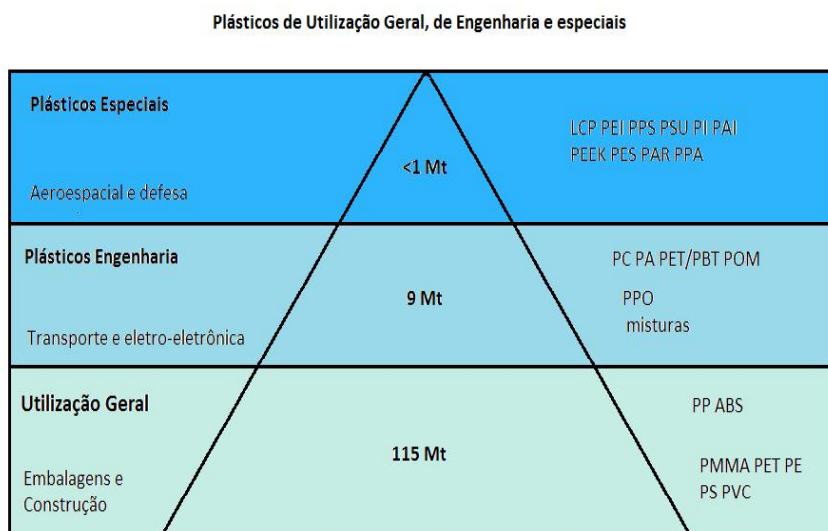


FIGURA 6. Polímeros de uso geral, de engenharia e especiais.
Fonte: Adaptado de HEMAIS, 2003.

3.2.2 Aditivos em polímeros

Para a ampliação da utilização de materiais poliméricos, podem-se desenvolver novas estruturas poliméricas ou modificar os polímeros já existentes através da colocação de aditivos. Desta forma, pode-se alterar ou melhorar uma propriedade intrínseca deste polímero. Exemplo: um PVC, que naturalmente é rígido, aplicado como canaletas em construção civil, pode se tornar flexível, com o uso de plastificantes e ser aplicado em pisos flexíveis.

Praticamente quase todos os polímeros comerciais recebem pelo menos um tipo de aditivo e aí por diante passa a ser chamado de “plástico”.

Segundo Rabello (RABELLO, 2000), os principais tipos de aditivos são:

- Plastificantes
- Estabilizantes
- Lubrificantes
- Cargas
- Pigmentos ou corantes
- Antiestáticos
- Retardantes de chama
- Nucleantes
- Modificadores de impacto

Alguns polímeros recebem aditivos durante a síntese, outros durante o processamento e outros na etapa da mistura.

Os aditivos podem ser classificados em duas categorias gerais: a) aditivos protetores: estabilizantes, lubrificantes e antiestáticos; b) aditivos modificadores: os demais.

Os **plastificantes** são misturados à resina polimérica durante o processamento, tornam o produto mais macio e flexível e baixam a temperatura de transição vítrea. Para o poli (cloreto de vinila) usam-se por exemplo os ésteres do ácido ftálico (DE PAOLI, 2008).

Os plásticos tem suas propriedades modificadas, com o decorrer do tempo devido a ataques físicos e químicos que o material está sujeito durante o processamento ou uso final do produto. As principais modificações estruturais são: cisão da cadeia principal; reações de reticulação; alterações da estrutura química, levando a modificações de cor e das propriedades e degradação e eliminação de aditivos presentes (RABELLO, 2000).

A função dos **estabilizantes** é reduzir esses efeitos e conferir um aumento da vida útil ao produto plástico. Diminuindo a velocidade de degradação do polímero.

O consumo de aditivos nos Estados Unidos em 1987 (RADIAN, 1987) foi distribuído da seguinte maneira: cargas (70,6%); plastificantes (16,6); antichama (4,6%); pigmentos (3,9%); estabilizantes (1,5%); agentes de expansão (1,4%); lubrificantes (1,0%) e antiestáticos (0,1%).

Nota-se que as **cargas**, cuja função principal é a de melhorar as propriedades mecânicas de um polímero, é o aditivo mais utilizado. Neste trabalho, a carga utilizada para reforçar os polímeros estudados é a fibras de vidro.

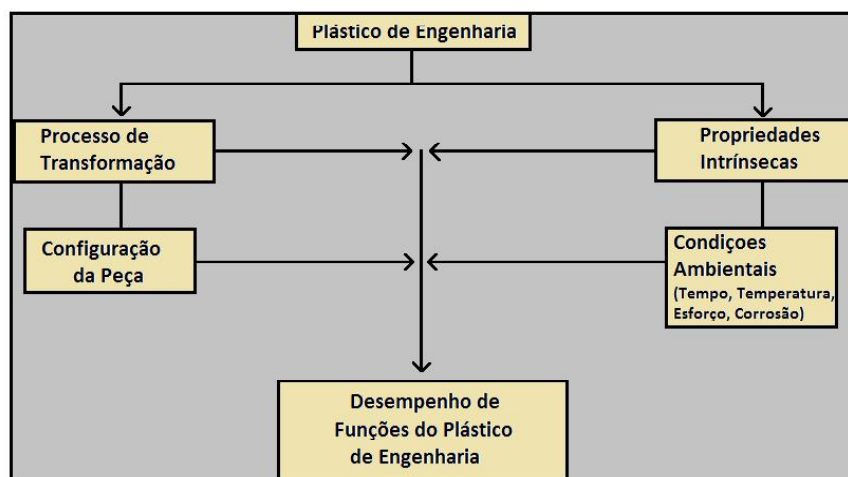


FIGURA 7. Fatores que influenciam no desempenho final do produto
Fonte: DIAS, 2000.

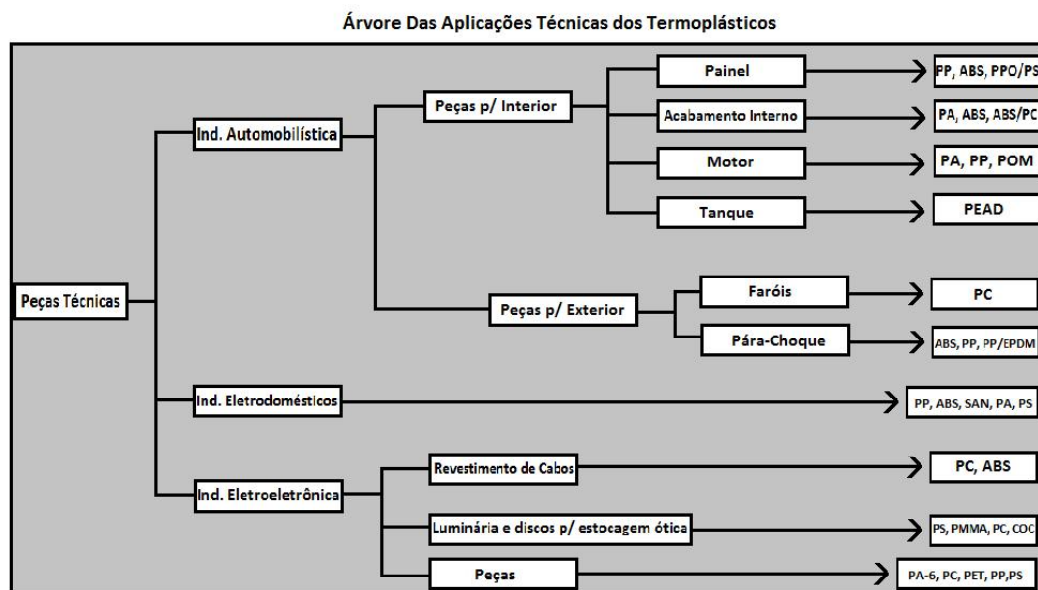


FIGURA 8. Árvore das aplicações técnicas dos termoplásticos.
Fonte: DIAS, 2000.

3.2.3 Estatísticas da Indústria Brasileira de Plástico

Nas figuras 9 e 10 estão algumas estatísticas da Indústria do plástico

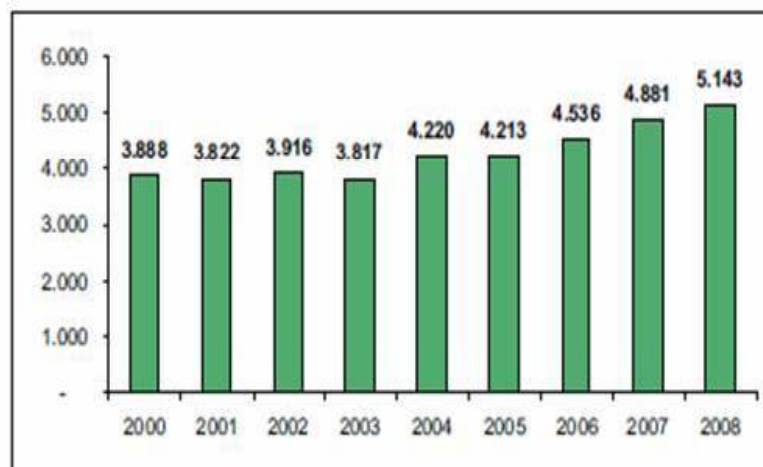


FIGURA 9. Segmentação do mercado Termoplástico (1.000 toneladas).
Fonte: ABIQUIM, 2008

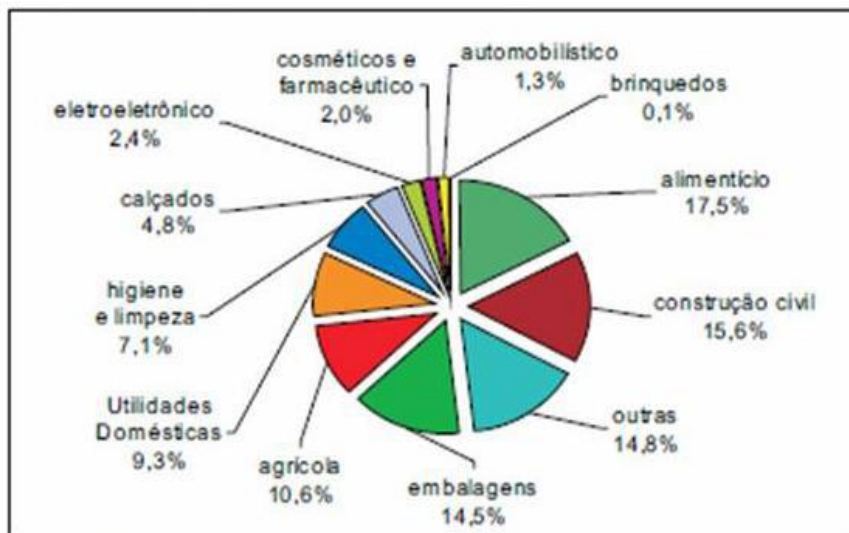


FIGURA 10. Aplicações de termoplásticos em diversos setores

Fonte: ABIQUIM, 2008

3.2.4 Aplicações dos polímeros

Nas figuras 11, 12 e 13 estão algumas aplicações dos polímeros.



FIGURA 11. Exemplos de aplicações de termoplásticos na Indústria Automotiva

Fonte: BASF



FIGURA 12. Exemplo de peça MWM em poliamida 66: tampa de válvula de motor a diesel

Fonte: Apresentação da AEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. MWM *International* Motores (2008).

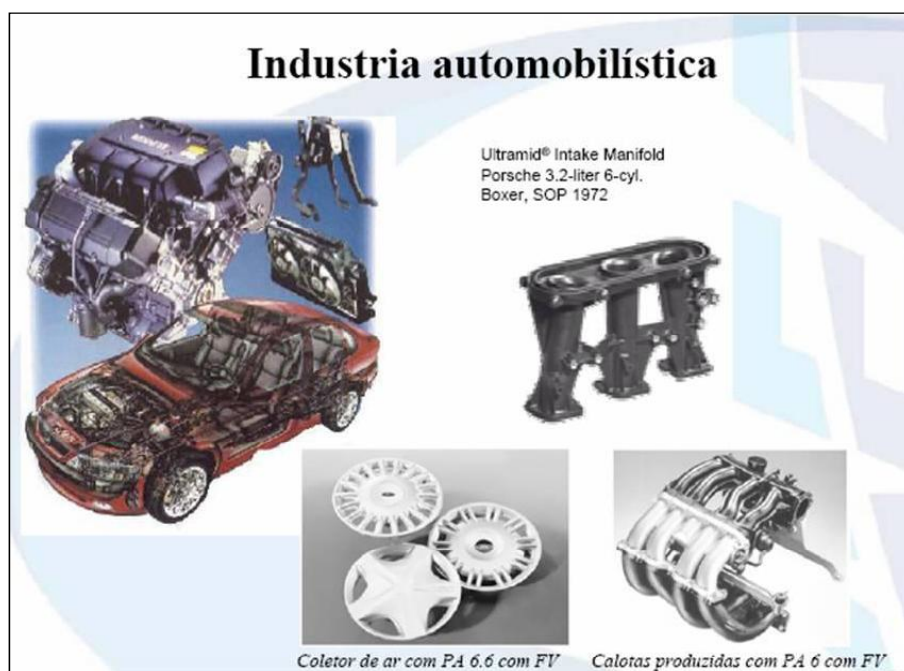


FIGURA 13. Exemplos de peças em PA reforçada com fibra de vidro utilizadas pela indústria automotiva

Fonte: Apresentação da AEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. MWM *International* Motores (2008).

4 SELEÇÃO PRELIMINAR DE MATERIAIS

4.1 Introdução

Diversos autores estabeleceram métodos de seleção de materiais, podendo-se mencionar: Ashby (2005), Ferrante (2002), Santana (2007), Dornelles F^o (2006), Guide to Selecting Engineered Materials (ASM, 1990), entre outros. Além disso, alguns seletores de materiais estão disponíveis na Internet

1. Seletor de Materiais. Disponível em <http://www.ticona.com/tools/search/lit_search.cfm> Acesso em jul 2010
2. Seletor de Materiais. Disponível em <<http://www.omnexus.com/tc/polymersselector/index.aspx>> Acesso em jul 2010 .
3. Seletor de Materiais. Disponível em <<http://www.geoplastics.com>> Acesso em Jul. 2010.
4. Seletor de Materiais. Disponível em <<http://www.matweb.com/search/SearchProperty.asp>> Acesso em Jul.2010
5. Seletor de Materiais. Disponível em <<http://www.designinsite.dk/>> Acesso em jul 2010
6. Seletor de Materiais. Disponível em <http://www.rhodia-ep.com/ep/ms_search_form.jsp> Acesso em jul 2010.

Neste trabalho utilizou-se um método constituído parcialmente pela autora, utilizado no dia a dia de seu trabalho e tema do paper (Oliveira S.G., 2007) e pelo método adotado pela

orientadora, na sua disciplina de graduação “Seleção de Materiais”, ministrada na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP (Zavaglia, C.A.C.; Bresciani Fº, E., 2006)

Na figura 14, observa-se o esquema de seleção de materiais adotado neste trabalho.

Roteiro para seleção de matéria prima

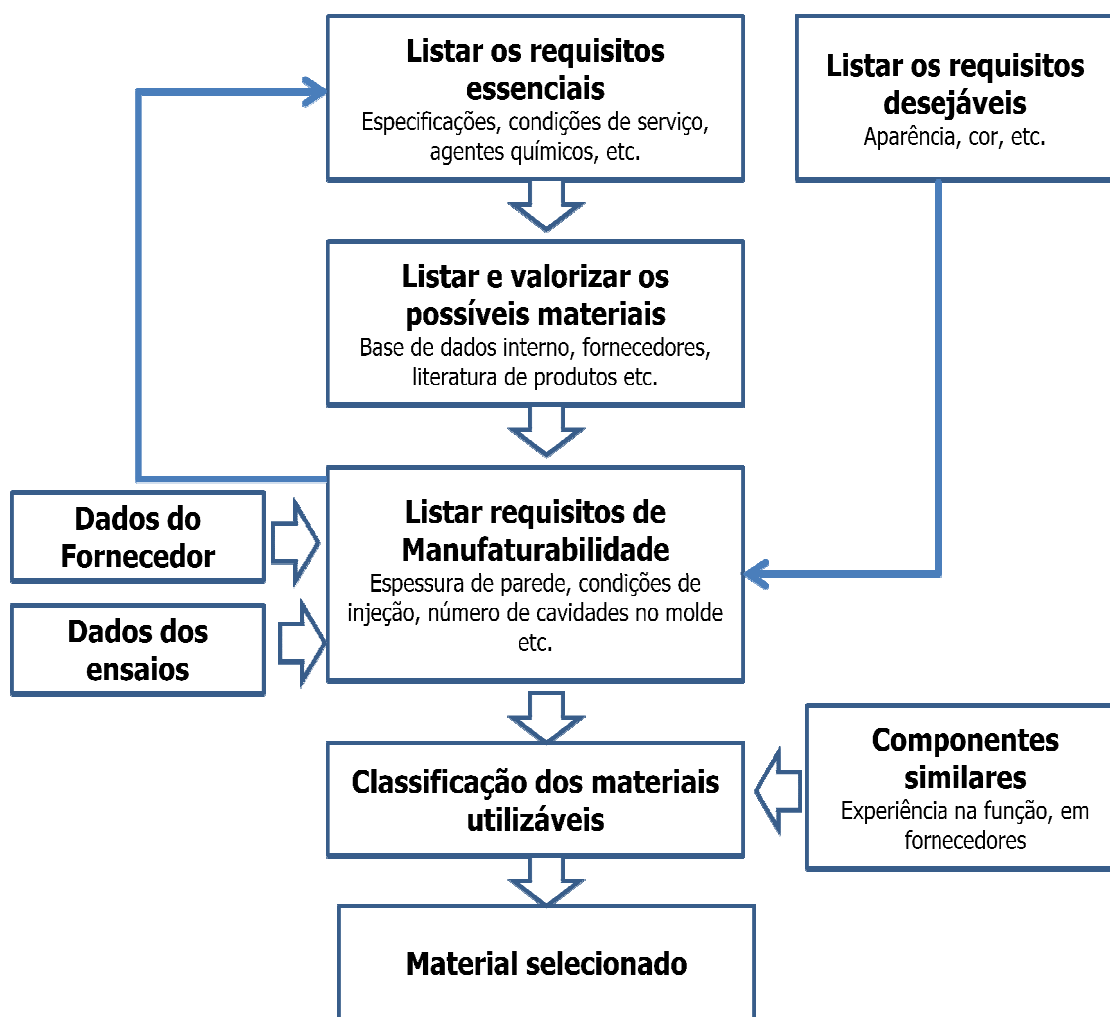


FIGURA 14. Roteiro para seleção de matéria-prima

4.2 Requisitos da peça escolhida

No compartimento do motor, a presença de altas temperaturas é uma característica importante, pois em alguns casos as temperaturas chegam a 160°C. Essa condição já é suficiente para limitar a quantidade de plásticos que podem ser utilizados nessa área. Porém outras solicitações também merecem ser considerados como: contato com óleos, combustíveis, fluidos de freios e refrigerantes do motor.

Além disso, são expostos a vibrações severas e constantes e altas forças de aceleração, durante o funcionamento do veículo.

Os componentes da área do motor podem ser divididas em quatro grupos (DORNELLES FILHO, 2006):

A) Componentes expostos ao ar quente- Exemplos: ventiladores do motor, carcaça de filtro de ar, coletor de admissão.

B) Componentes expostos ao calor e a fluidos lubrificantes- Exemplos: tanques de radiadores, carcaças de bomba d'água, trocadores de calor.

C) Componentes expostos ao ar quente e a lubrificantes- Exemplos: mancais e rolamentos do sistema de transmissão.

D) Componentes expostos aos combustíveis – Exemplos: carcaça do injetor de combustível, galeria de combustível.

A peça escolhida neste trabalho pertence à categoria A.

A Tabela 1 apresenta as funções e propriedades requeridas para componentes da área do motor.

TABELA 1. Funções e propriedades requeridas para componentes da área do motor

Principais funções do produto	Propriedades relacionadas às funções do produto
Prover estabilidade funcional	Baixos: absorção de umidade, contração na moldagem e coeficiente de expansão térmica.
Resistir ao estiramento	Altas: resistência à tração e resistência à fluência na tração.
Suportar vibrações, choques mecânicos, reduzir ruídos	Alta resistência ao impacto (Izod ou Charpy), alto alongamento na ruptura
Prover rigidez, suportar montagem	Alto módulo de flexão
Suportar cargas	Altas resistências a: flexão, fadiga e fluência Alta temperatura e deflexão ao calor
Prover flexibilidade	Alto alongamento na ruptura(%)
Proporcionar manutenção de propriedades	Altos índices de temperatura UL
Suportar desgaste	Alta resistência à abrasão
Resistir ao atrito	Baixo coeficiente de fricção
Resistir aos combustíveis	Alta resistência química
Prover leveza (Economia de combustível e menor desgaste do conjunto de suspensão)	Menor densidade
Reduzir custos	Menor custo relativo

Fonte: DORNELLES FILHO, 2006.

A peça escolhida como estudo de caso nesta dissertação foi o coletor de admissão de gases de motores a diesel, conforme figura 15.



FIGURA 15. Foto do coletor em estudo feito em liga de Alumínio.

Fonte: Arquivo próprio

Os seguintes requisitos são desejados para essa peça:

- a) Baixa densidade
- b) Resistência à tração
- c) Resistência à flexão
- d) Resistência ao impacto
- c) Resistência térmica
- d) Facilidade de injeção
- e) Resistência a produtos químicos
- f) Estabilidade dimensional
- g) Custo
- h) Disponibilidade da matéria prima

4.3 Descrição dos principais materiais candidatos à substituição do alumínio fundido

O material tradicionalmente utilizado para os coletores de admissão é o alumínio A 384.0-F, próprio para fundição com a seguinte composição mostrada na tabela 2:

Composição	Metric
Aluminio, Al	79.3 - 86.5 %
Cobre, Cu	3.0 - 4.50 %
Ferro, Fe	<= 1.30 %
Magnésio, Mg	<= 0.10 %
Manganês, Mn	<= 0.50 %
Níquel, Ni	<= 0.50 %
Outros, total	<= 0.50 %
Silicone, Si	10.5 - 12.0 %
Estanho, Sn	<= 0.35 %
Zinco, Zn	<= 1.0 %

TABELA 2. Composição do Alumínio A 384.0-F

Fonte: www.matweb.com

O Preço/kg estimado do alumínio é de aproximadamente USD 2,10 em jul 2010. (LME)

Os seguintes materiais foram previamente escolhidos: Poliamida 66 sem reforço (PA 66), Poliamida 66 com reforço de 30% fibras de vidro e sem termoestabilizante (PA 66 30 FV - 216), Poliamida 66 com reforço de 30% fibras de vidro com termoestabilizante (PA 66 30 FV - 218), Poliftalamida com 33% de fibras de vidro (PPA 33 FV) e Acetal (POM).

Serão descritos a seguir os candidatos a substitutos do alumínio fundido.

4.3.1 Poliamida 66 (sem e com reforço com 30% de fibras de vidro)

A poliamida 66 (PA66) foi desenvolvida por Carothers e usada primeiramente como fibra por volta de 1930. A PA66 é o resultado de uma reação de policondensação de uma diamina com

um ácido carboxílico. O número de átomos de carbono de cada um desses precursores vai fornecer a nomenclatura da poliamida. Nesse caso particular, a diamina possui 6 átomos e o ácido carboxílico também possui 6.

O monômero do PA66 está representado na figura 16.

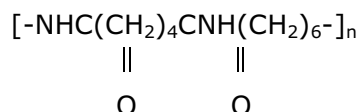


FIGURA 16. Monômero da Poliamida 66. Poli (hexametileno diamida-co-ácido adípico)

A PA66 é um plástico semicristalino com alta resistência mecânica e usado como fibras para cordas, *rops* e tapetes. Porém desde o início da década de 1950, começou a ser utilizado como plástico de engenharia. Esse plástico tende a degradar a temperaturas próximas à 65°C, porém isso pode ser contornado e aumentado para 140°C com a colocação de aditivos como sais de cobre e derivados fenólicos.

Os plásticos PA66 e PA6 são importantes plásticos de engenharia e de modo geral combinam boas propriedades físicas e mecânicas, boas resistência à abrasão, coeficiente de atrito baixo, alta resistência ao impacto a aos solventes. O campo de aplicação dos diversos tipos de PA66 e PA6, reforçadas ou não é bastante amplo. A PA66 é muito aplicada na indústria automobilística, em aplicações que incluem maçanetas, puxadores, componentes de fechaduras. No compartimento do motor também é aplicada, como por exemplo em carcaças de filtros de a em itens como recipientes para água, óleo lubrificante, carcaças para filtros de gasolina, ventoinhas do radiador, sistemas de aquecimento ou resfriamento, entre outros.

As poliamidas PA 6,6 e PA 6 e os tipos reforçados com fibra de vidro, e em menor escala as demais poliamidas, são consideradas os principais termoplásticos de engenharia. Quando reforçadas com fibra de vidro, tem as vantagens de serem mais fortes e mais rígidas, terem maior temperatura de trabalho e maior estabilidade dimensional; porém, apresentam algumas limitações. Um dos fenômenos mais frequentes que ocorre na sua moldagem por injeção é a

deformação ou empenamento da peça, devido ao fato das fibras de vidro se orientarem no sentido do fluxo do material, determinando uma contração superior no sentido perpendicular a este.

4.3.2 Poliamida 6 (com reforço de 30% de fibras de vidro)

A poliamida 6 foi desenvolvida por Gabriel e Maass em 1894, aquecendo o α - ω ácido aminocaproico. Carothers também desenvolveu esse polímero em 1930.

A PA6 possui um ponto de fusão menor que a PA66, mas possui uma superior resistência a intempéries. Possui uma densidade de $1,13\text{g/cm}^3$, uma moderada absorção de água e possui resistência ao ataque de microorganismos é bastante aplicada na indústria elétrica e na indústria mecânica leve e de precisão como, por exemplo, na confecção de carcaças para ferramentas elétricas manuais, coberturas de interruptores, plugs, conectores e carcaças dps tambores de máquinas de lavar automáticas.

A Figura 17 apresenta o monômero do PA6:

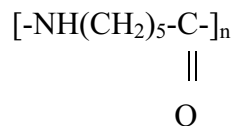


FIGURA 17. Monômero do PA6 (Policaprolactana)

A figura 18 mostra a comparação de algumas propriedades mecânicas de duas poliamidas com e sem reforço de 30% fibra de vidro.

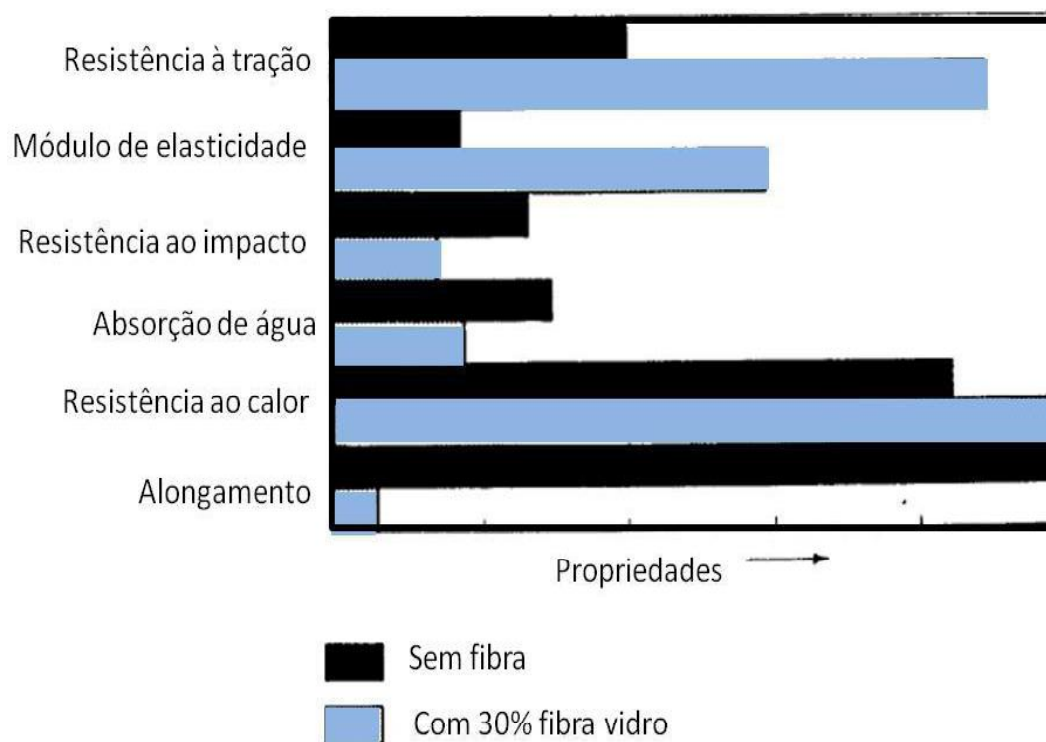


FIGURA 18 - Efeito do reforço de fibras de vidro nas propriedades do Nylon.
Fonte: Donato, 2003

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre as propriedades dos plásticos PA66 e PA6, com e sem reforço.

TABELA 3. Comparação de Nylon reforçado com fibra de vidro 66 x 6

PROPRIEDADE	<i>Nylon 66</i>	<i>Nylon 66 reforçado com fibra de vidro</i>	<i>Nylon 6</i>	<i>Nylon 6 reforçado com fibra de vidro</i>
Temperatura de deflexão a 1820kPa (°C)	75	250	80	210
Máxima temperatura de trabalho (°C)	120	140	125	130
Coefficiente de expansão térmica linear (cm/cm/°Cx10 ⁻⁵)	8,0	2,0	8,0	3,0

Resistência à compressão (MPa)	103,5	207,0	96,5	131,0
Resistência à Flexão (MPa)	103,5	276,0	96,5	207,0
Resistência ao Impacto, Izod (cm.N/cm de entalhe)	80	106,7	160	160
Resistência à Tração (MPa)	82,7	172,0	62,0	172,0
Alongamento (%)	60	3	3	3
Dureza , Rockwell	R120	M100	M119	M101
Densidade (g/cm³)	1,2	1,4	1,15	1,4
Constante Dielétrica	4,0	4,0	4,0	4,0
Absorção de Água (%)	2,5	3,0	2,7	3,2
Resistência a produtos químicos a 25°C				
Ácidos não Oxidantes (20% H₂SO₄)	I	I	I	I
Ácidos Oxidantes (10% HNO₃)	I	I	I	I
Soluções Salinas Aquosas (NaCl)	S	S	S	S
Álcalis Aquosos (NaOH)	S	M	S	M
Solventes Polares (C₂H₅OH)	M	M	M	M
Solventes Não Polares (C₆H₆)	S	S	S	S
Água	S	S	S	S

Observação: I – Insatisfatória; S – Satisfatória; M – Moderada

Fonte: Adaptado de SEYMOUR (1987).

4.3.3 Poliftalamida (com reforço de 33% de fibras de vidro) – Poliftalamida (PPA)

A Figura 19 apresenta o monômero do PPA

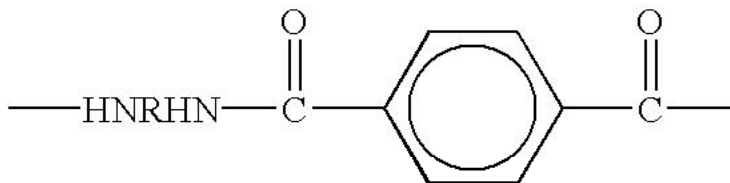


FIGURA 19. Monômero do PPA (Poliftalamida)

A poliftalamida (PPA) foi comercializada desde início da década de 1990. A tecnologia de produção da PPA permite produzir tanto polímeros semicristalinos como amorfos. Os semicristalinos apresentam excelentes propriedades mecânicas, estabilidade dimensional marcante, bom desempenho a altas temperaturas e boas características de processamento. É uma categoria de polímeros desenvolvida para fazer a ponte custo-desempenho entre as resinas de engenharia de altos volumes e desempenho moderado com as especialidades termoplásticas de baixo volume e alto custo, tais como a poli(éter-éter-cetona).

Quando é necessário reter propriedades mecânicas críticas em meios agressivos, a PPA é uma boa escolha, suportando altas temperaturas, alta umidade e produtos químicos agressivos. Esses plásticos podem ser utilizados em um vasto grupo de indústrias, como as do setor automotivo, eletro-eletrônico, produtos antifricção ou ferramentas de jardinagem.

Embora os plásticos PPA possam ser processados por diversas técnicas, a mais utilizada é a moldagem por injeção.

As resinas de PPA comercialmente disponíveis possuem diferentes *grades*, podendo ser puras, modificadas para impacto, reforçadas com fibra de vidro, com cargas minerais ou com retardantes de chama. O polímero-base é branco translúcido devido à sua cristalinidade. Suas cores podem variar devido aos aditivos empregados (estabilização ao calor, lubrificação etc.). Isto oferece desempenho melhorado quando comparado com outros polímeros de engenharia por que apresentam maior dureza, rigidez, temperaturas de fusão e de transição vítrea. O emprego de reforços, cargas e outros aditivos melhoram ainda mais suas propriedades de aplicação.

As literaturas técnicas dos fabricantes de polímeros normalmente listam as propriedades mecânicas dos polímeros obtidas como material recém-produzido, ou seja, nas melhores condições de desempenho. A utilidade destes dados reside na possibilidade de poder comparar os dados de materiais similares a serem considerados para uma aplicação desejada.

As propriedades mecânicas típicas que caracterizam um polímero em geral – e no caso em são o módulo de elasticidade, a tensão no ponto de escoamento, o alongamento na ruptura, a resistência ao impacto come sem entalhe, a tensão na compressão, a tensão de cisalhamento, a dureza superficial e o teor de umidade. Outras propriedades podem ser levadas em consideração para cada aplicação específica.

4.3.4 Acetal (com reforço de 30% de fibras de vidro) Acetal

A Figura 20 apresenta o monômero do Acetal

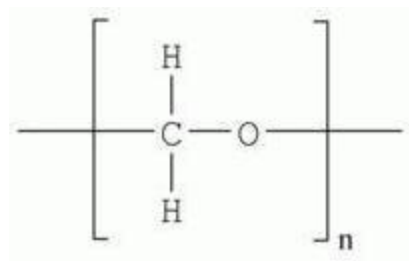


FIGURA 20. Monômero do POM (Polióxidometileno)

Esse polímero foi inicialmente estudado por Butlerov em 1859 e depois por Staudinger em 1922, que logo perdeu o interesse devido à sua instabilidade térmica. Esse problema foi superado por químicos da Dupont, que polimerizaram o formaldeído puro, produzido pela decomposição do trioxane, na presença do trifenilfosfino e esterificando o grupo terminal hidroxil com grupos acetílicos. Esse poli (óxido de metileno) foi registrado com o nome *Delrin*.

Walling, Broun e Bartz desenvolveram copolímeros estáveis termicamente de formaldeído, com pequenas adições de óxido de etileno. Esses copolímeros foram registrado pela empresa elanese com o nome comercial de Celcon.

Os plásticos de acetal são caracterizados por possuírem boas propriedades mecânicas e rigidez, baixo coeficiente de atrito, capacidade de auto-lubrificação, excelentes resistências à fadiga, ao impacto ao desgaste e a solventes. Esses plásticos, normalmente processados por injeção possuem alta retração durante a moldagem, o que precisa ser compensado com o desenvolvimento do molde.

Os plásticos de acetal são largamente empregadas na indústria automobilística para tanques de combustíveis, na construção civil como “plumbing fixtures” , em aplicações industriais, como válvulas, came, componentes de máquinas, etc.

A Tabela 4 apresenta as propriedades do acetal, homo e copolímero sem reforço e copolímero com reforço.

Tabela 4. ACETAIS (POLI ÓXIDO DE METILENO) (Fonte: adaptado de SEYMOUR, 1987).

PROPRIEDADE	Homopolímero	Copolímero	Copolímero reforçado (25% fibra de vidro)
Temperatura de deflexão a 1820kPa (°C)	125	110	160
Máxima temperatura de trabalho (aquecimento prolongado) (°C)	100	100	125
Coeficiente de expansão térmica linear (cm/cm/ °C x 10 ⁻⁵)	10,0	8,5	5,0
Resistência à compressão (MPa)	106,1	110,3	117,2
Resistência à flexão (MPa)	96,5	89,6	193,0
Resistência ao impacto (IZOD) (cm.N/cm de entalhe)	80,1	69,4	96.1
Resistência à tração (MPa)	68,9	62,0	128,6
Alongamento (%)	30	50	3
Dureza, Rockwell	M94	M78	M79
Densidade (g/cm ³)	1,41	1,41	1,61
Constante dielétrica	3,2	3,7	4,0
Absorção de água (%)	0,25	0,25	0,30
Resistência a produtos químicos			

Ácidos não oxidantes (20% H₂SO₄)	I	I	I
Ácidos oxidantes (10% HNO₃)	I	I	I
Soluções aquosas salinas (NaCl)	S	S	S
Álcalis aquosos (C₂NOH)	S	S	S
Solventes polares (C₂H₅OH)	S	S	S
Solventes não polares (C₆H₆)	M	M	M
Água	S	S	S

Observação : S = satisfatória; I= insatisfatória; M= moderada

4.4 Comparação das propriedades dos plásticos selecionados

Pode-se observar nas tabela 5, 6 e 7 as principais propriedades físicas, mecânicas, térmicas e de processamento de interesse dos plásticos selecionados para este trabalho. Foram consultadas tabelas em diversos livros e *handbooks*, porém, optou-se pelos dados do *Site* www.matweb.com, pois nesse local foram encontradas as tabelas completas.

TABELA 5. Propriedades físicas, mecânicas, térmicas e de processamento dos plásticos escolhidos

Propriedade	Norma ASTM (só para plásticos)	Unidade	Material I Liga de Al 384.0- O-F	Material II Nylon 66 com 30% FV	Material III Nylon 6 com 35% FV	Material IV Copolímero Acetal com 30% FV	Material V PPA com 30% FV
Propriedades Físicas							
Densidade	D 792	g/cm ³	2,823	1,11-1,66	1,14-1,67	1,35-1,72	1,33-1,75
Conteúdo de carga		%		25,0-35,0	25,0-35,0	25,0-30,0	25,0-33,0
Absorção de água	D 570	%		0,300-7,00	0,130-9,00	0,140-0,900	0,0200-5,0

Propriedades mecânicas							
Dureza Rockwell R	D 785			110-123	110-122	85-112	121-125
Dureza Shore D				80,0-85,0	76,0-83,0		
Resistência à tração	D 638	MPa	331,0	50,0-290,0	50,0-195,00	59,0-147,0	166,0-233,00
Limite de escoamento	D 638	MPa	165,0	73,0-112,0	79,0-189,0	67,7-140,0	
Alongamento na ruptura	D 638	%	2,5	2,5-7,4	1,00-28,0	1,0-10,0	1,0-3,5
Módulo de elasticidade	D 638	GPa		2,76-12,5	3,10-13,1	4,0-13,0	8,48-25,5
Módulo de flexão	D 790	GPa		3,45-13,5	0,724-11,7	3,40-11,8	4,3-10,8
Limite de escoam.na flexão	D 790	MPa		121,0-325,0	100,0-300,0	89,6-275,0	80,0-227,0
Resistência ao escoamento na compressão		MPa		28,0-241,0	148,0-222,0		145,0-276,0
Coefficiente de Poisson				0,350-0,420	0,350		0,370-0,410
Módulo de cisalhamento		GPa		3,60-3,90	3,60-4,10		
Resistência ao cisalhamento		MPa	199	50,0-90,0			62,0-101,0
Res. Impacto IZOD s/entalhe (ISO)	D 256	kJ/m ²		70,0-90,0	60,0-100,0	2,67-6,94	40,0-62,0
Res. Impacto IZOD c/entalhe, baixa temp. (ISSO)	D 256	J/cm ²		5,00-8,00	3,00-9,50		7,0-11,0
Res. Impacto Charpy s/entalhe	D 256	J/cm ²		2,50	2,3	2,0-5,50	1,01-9,70

Res. Impacto Charpy c/entalhe	D 256	J/cm ²		0,250-5,0	0,200-4,50	0,360-0,900	0,700-1,30
Módulo de fluência à tração, 1 hora		MPa		4900,0-9350,0	2400,0-92000,0	7500,0-11000,0	
Módulo de fluência à tração, 1000 horas		MPa		18,0-6600,0	2000,0-5000,0	5400,0-7100,0	

Fonte: www.matweb.com

TABELA 6. Propriedades térmica e de processamento dos plásticos escolhidos

Fonte: www.matweb.com

Propriedade		Unidade	Material 1 Liga de Al 384.0-O-F	Material 2- Nylon 66 com 30% FV	Material 3- Nylon 66 com 35% FV	Material 4- Copolímero Acetal com 30% FV	Material 5- PPA com 30% FV
Propriedades Térmicas							
Coef. dilatação térmica linear	D 696	$\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$	22,1(temp. entre 20 e 300 $^{\circ}\text{C}$)	13,0-14,0 (temp. entre 55-160 $^{\circ}\text{C}$)	5,0-12,00 (temp. entre 55-160 $^{\circ}\text{C}$)	19,8-90,0	14,0-24,0
Calor específico		$\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$	0,963	1,50-2,35	1,89-2,43	1,21	
Ponto de fusão	D 3418	$^{\circ}\text{C}$	516-582	160-265	208-255	165-331	300-332
Solidus		$^{\circ}\text{C}$	516				
Liquidus		$^{\circ}\text{C}$	582				
Máxima temperatura de serviço ao ar		$^{\circ}\text{C}$		65-241	65-200	100-140	140-250
Temperatura de deflexão a 0,46 MPa	D 648	$^{\circ}\text{C}$		216-297	125-238	164-166	280-320
Temperatura de deflexão a 1,8 MPa	D 648	$^{\circ}\text{C}$		85-260	54- 232	118-165	235-310
Ponto de amolecimento Vicat	D 1525	$^{\circ}\text{C}$		195-260	183-222	156-162	

TABELA 7. Resistência a solventes e produtos químicos em geral

Material	Álcool	Aldeído	Aromáticos	Gasolina	Cetonas	Água quente	Óleos e graxas	Água salgada	Pontos totais	Resistência química geral
PA 66 30FV	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
PA 6 30FV	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Acetal co-polímero 30FV	3	3	3	3	3	2	3	3	23	5
PPA30 FV	3	3	3	3	3	3	3	3	24	5

Fonte: Adaptado de WIEBECK e HARADA, 2005; DORNELLES FILHO, 2006; BISSOTO, 2005.

Pontuação dos materiais plásticos em relação aos produtos químicos:

- 1 – Afetado
- 2 – Ligeiramente Afetado
- 3 – Não Afetado

Resistência Química Geral (Componentes Automotivos)

Avaliação do Desempenho de Acordo com a Pontuação Obtida:

- + de 18 pontos: 5 (Forte)
- De 16 a 18 pontos: 4 (Bom)
- De 13 a 15 pontos: 3 (Regular)
- De 12 a 14 pontos: 2 (Modesto)
- de 12 pontos: 1 (Fraco)

4.5 Matriz de decisão preliminar

A seguir serão descritos brevemente as propriedades e características importantes para a pré-seleção de materiais para a aplicação pretendida:

4.5.1 - Densidade

4.5.2 - Absorção de umidade

4.5.3 – Resistência à Tração

4.5.4 – Resistência à flexão

4.5.5 – Resistência ao Impacto

4.5.6 – Resistência ao calor

4.5.7 – Facilidade de injeção

4.5.8 – Resistência a produtos químicos

A seguir serão descritos brevemente as propriedades e características importantes para a pré-seleção de materiais para a aplicação pretendida:

4.5.1 – Densidade

A densidade ou massa específica define-se como o quociente da massa (quantidade de massa que o corpo possui) pelo volume (volume que a massa ocupa) e é expresso em quilogramas por metro cúbico (kg/m³) pelo SI (Sistema Internacional de Unidades).

A norma que descreve a realização do ensaio é a ASTM D -792.

A densidade pode ser determinada pela expressão matemática:

$$Densidade = \frac{Massa}{Volume}$$

Por ser utilizada para identificar um material, a densidade, conhecida pelo símbolo ρ (a letra grega rô), é considerada uma propriedade essencial dos materiais. Em relação à composição do custo, a densidade é um dos elementos mais importantes, sendo uma propriedade sempre lembrada quando se pensa em redução de peso do veículo, para redução do consumo de combustível.

4.5.2 - Absorção de água

A absorção de água é importante ser estudada porque afeta as propriedades mecânicas, elétricas e as dimensões dos moldados, uma vez que a hidrólise reduz o tamanho das macromoléculas e consequentemente o peso molecular, assim, os plásticos de engenharia que absorvem menor quantidade de água apresentam melhor estabilidade dimensional. Na figura 21 está esquematizando a absorção da umidade. Ticona, Designing With Plastic. 2000.

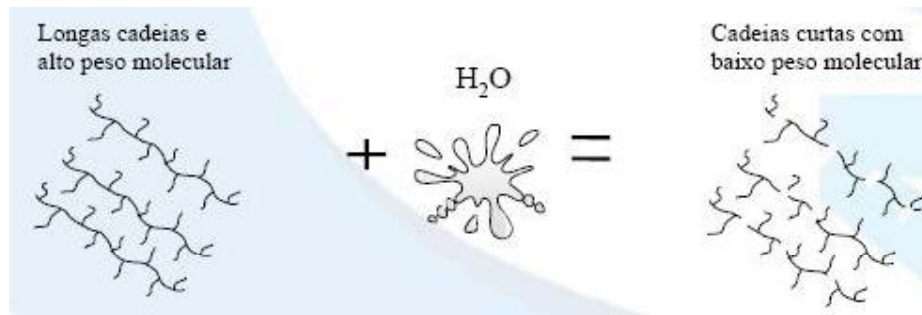


FIGURA 21 - Esquema de absorção de umidade.

Fonte: Palestra AES na MWM - Prof. Wagner Burielo em julho de 2008

A norma que descreve a realização do procedimento para medir essa característica é a ASTM D -570, que rege que os corpos de prova devem ser secos antes de serem pesados por 24 horas, e após 24 horas de imersão em água, durante vários intervalos de tempo.

Essa característica é de extrema importância para os nylons devido a sua higroscopicidade natural.

4.5.3 – Resistência a Tração

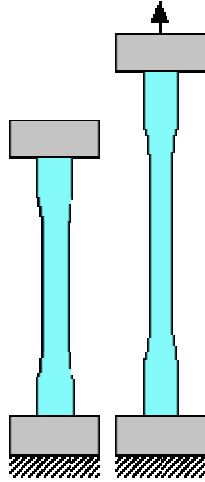


FIGURA 22 – Ensaio de resistência à tração.

Fonte: www.ides.com

Diagrama tensão-deformação obtido por meio de um ensaio de tração na figura 23.

1. Tensão Máxima de Tração
2. Tensão de Escoamento
3. Tensão de Ruptura
4. Região de Encruamento
5. Região de "Estricção".

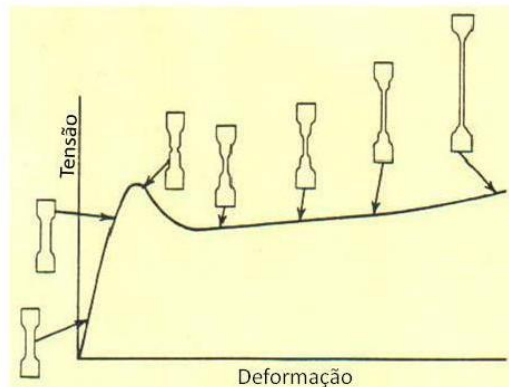


FIGURA 23 - Curva tensão-deformação esquemática de um polímero semicristalino ductil, apresentando os vários estágios de deformação.

Fonte: Adaptado de Callister, 2001

As propriedades de tração são as mais importantes definidoras da resistência mecânica de um material. A força necessária para alongar um corpo de prova é juntamente determinada com a medida do alongamento total do corpo de prova até sua ruptura.

A norma ASTM D-638 descreve as propriedades da tração.

O termo resistência à tração distingue-se três diferentes fenômenos:

- A tensão de escoamento;
- A tensão no ponto de ruptura para fraturas na zona plástica;
- A tensão máxima para uma fratura instantânea.

O módulo de tração ou elástico é a relação entre a tensão aplicada e a conseqüente deformação na região em que ela ocorre linearmente e proporcional à tensão.

O módulo elástico é importante na escolha de um polímero que se deseje uma alta rigidez mecânica, vide figura 24.

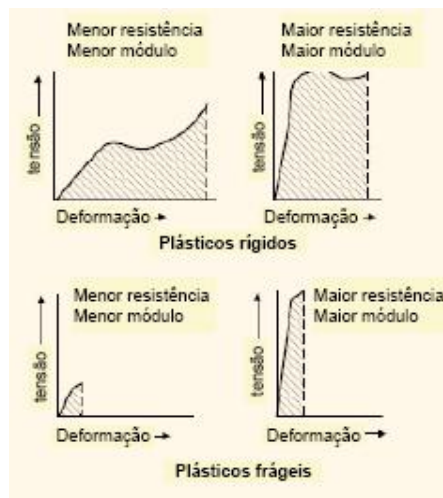


FIGURA 24 – Tensão deformação de plásticos rígidos e frágeis.

Fonte: www.ticona.com, acessado em 10/04/10

4.5.4 – Resistência à flexão

A norma que descreve o procedimento do ensaio à flexão é a ASTM D-790.

Se um componente de secção transversal retangular, seja plástico ou metálico, sofre uma deflexão entre apoios, conforme figura 25, percebe-se que uma das superfícies do

material se deforma em tração, e o lado oposto se deforma em compressão, conforme figura 26. Este comportamento é neutralizado até que se alcance a linha entre as duas superfícies, denominada de linha de tensão zero ou do eixo neutro.

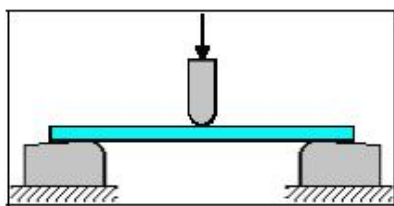


FIGURA 25 – Configuração do ensaio de Módulo de Flexão.
Fonte: www.ides.com

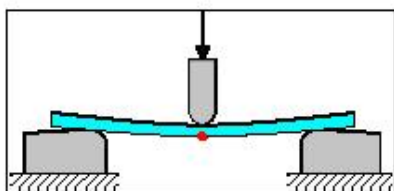
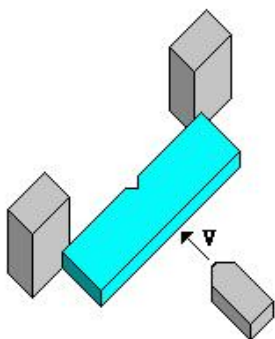


FIGURA 26 – Configuração do ensaio de Módulo de Flexão.
Fonte: www.ides.com

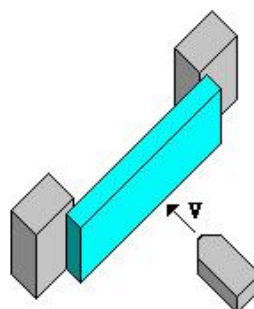
4.5.5 – Resistência ao Impacto

A norma que descreve o procedimento do ensaio ao impacto é a ASTM D-256.

O método utilizado nos ensaios será o IZOD, que visa medir a energia necessária, em J/m (SI), para romper um corpo de prova injetado, que pode ser entalhado ou não, conforme figura 27.



Impacto com o corpo de prova de lado



Impacto com o corpo de prova plano

FIGURA 27 – Corpos de prova para ensaio de impacto.

Fonte: www.ides.com

O ensaio de impacto é simples conforme pode ser visto no esquema da Figura 28, um corpo de prova é fixado num suporte, na base da máquina. O martelo do pêndulo - com uma borda de aço endurecido de raio específico - é liberado de uma altura pré-definida (h_0), causando a ruptura do corpo de prova pelo efeito da carga instantânea. A altura de elevação do martelo após o impacto (h_1) dá a medida da energia absorvida pelo corpo de prova.

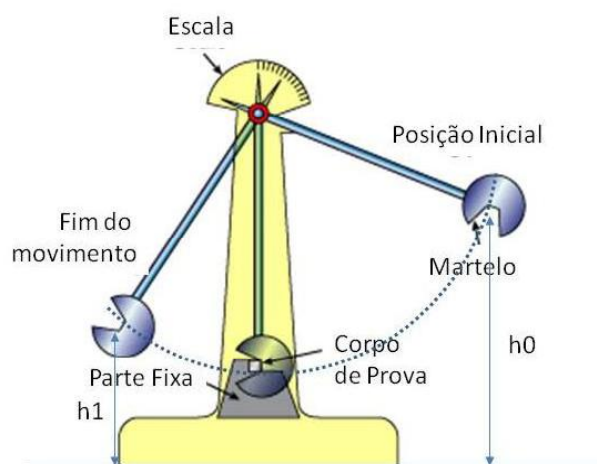


FIGURA 28 – Esquema do equipamento de impacto.

Fonte: Adaptado de Callister, 2001

Os corpos de prova podem ser de diferentes tipos e dimensões dos entalhes. A norma americana E23 especifica os tipos. Eles são divididos em três grupos, a saber: A, B e C. Todos possuem as mesmas dimensões. A seção transversal é quadrada com 10 mm de lado e o comprimento é de 55 mm. O entalhe é executado no ponto médio do comprimento e pode ter 3 diferentes formas, em V em forma de fechadura e em U invertido, que correspondem aos grupos A, B e C respectivamente conforme figura 29.

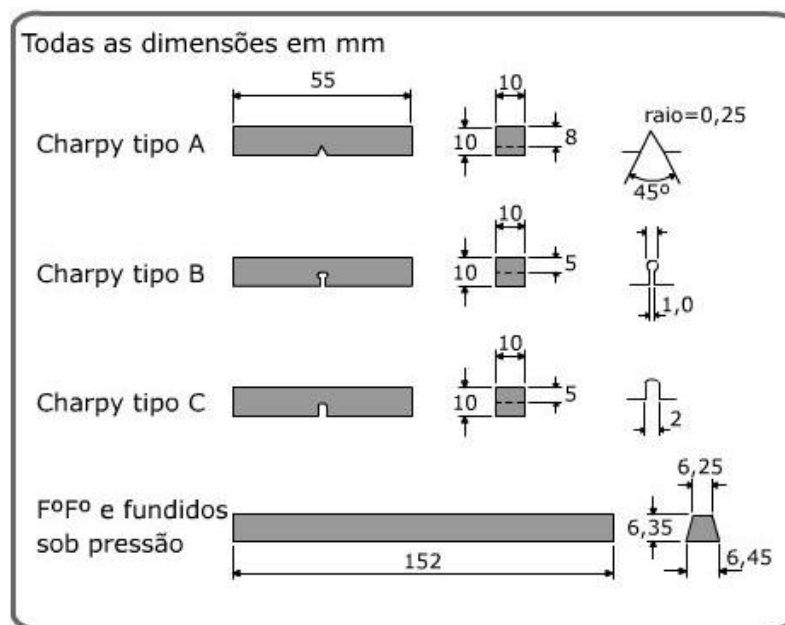


FIGURA 29 – Tipos de corpos de prova para ensaio ao impacto.

Fonte: http://java.cimm.com.br/cimm/construtordepaginas/htm/3_24_8317.htm, acessado em 20/05/10.

4.5.6 – Resistência ao calor

Algumas características importantes relacionadas à resistência ao calor desses materiais poliméricos podem ser mencionadas: temperatura de fusão (T_m), temperatura de transição vítrea (T_g), máxima temperatura de serviço ao ar, ponto de amolecimento Vicat.

Nota-se que dos polímeros estudados, dois deles possuem baixas resistências à temperatura: PA6 com FV e Acetal copolímero com 30 FV.

A peça em estudo, coletor de admissão, é submetido a picos de temperatura de até 160°C. O Acetal copolímero com 30 FV possui, máxima temperatura de uso em cerca de 113°C. Já o PA6 com 30FV, possui máxima temperatura de uso em cerca de 130°C e o PA66 com 30 FV possui máxima temperatura de uso em cerca de 140°C, sem uso do termoestabilizante. O PPA com 30 FV é o único dos materiais estudados que possui valor médio de máxima temperatura, se uso de 187°C, superior ao necessário (160°C).

4.5.7 – Facilidade de injeção

De todos os compósitos poliméricos utilizados neste trabalho, os nylons 6 e 66 reforçados possuem uma certa dificuldade para serem injetados. Devem ser secados cuidadosamente antes de injeção.

Já o PPA reforçado possui outro tipo de dificuldade: devido à sua elevada resistência térmica (314°C) necessita de injetoras potentes para chegar à fusão.

O Acetal copolímero reforçado é o compósito mais fácil de injetar que os demais materiais estudados.

Todos esses compósitos por possuírem 30% de fibra de vidro, promovem o desgaste da rosca e canhão da injetora. Essas peças devem ser protegidas com tratamento superficial para que suas vidas úteis sejam altas.

4.5.8 – Resistência a produtos químicos

A norma que descreve o procedimento do ensaio a produtos químicos é a ASTM D-543.

Este procedimento visa avaliar a resistência dos plásticos aos reagentes químicos. Estes reagentes podem ser qualquer substância que o componente entre em contato, como: lubrificantes, agentes de limpeza, tintas, combustíveis etc. As características avaliadas são: alterações de peso, dimensões, aparência e resistência mecânica sob altas temperaturas, deformações sob carga em função do tempo.

Cada propriedade ou característica deve ser avaliada pela sua importância, dando um peso a cada um, essa pontuação varia entre 1 e 5, conforme a seguir:

- 1- Característica sem Importância
- 2 – Importância moderada (desejável)
- 3 – Importante
- 4 – Muito Importante
- 5 – Característica Mandatória

Os resultados quanto ao atendimento das propriedades ou características de cada material serão pontuadas da seguinte maneira:

- 1 – Não atende
- 2 – Atende mal
- 3 – Atende mediamente
- 4 – Atende bem
- 5 – Atende muito bem

Posteriormente a pontuação das propriedades e características de cada material, será feita a multiplicação dos pontos por essa pontuação. O resultado mais alto nessa matriz será, o material escolhido, vide tabela 8.

TABELA 8. Matriz de decisão preliminar

	(P)	Material I		Material II		Material III		Material IV		Material V	
		(A)	PxA	(A)	PxA	(A)	PxA	(A)	PxA	(A)	PxA
Densidade	3	2	6	4	12	4	12	3	9	3	9
Absorção de umidade	3	4	15	2	6	3	9	3	9	4	12
Resistência a Tração	4	4	16	3	12	4	16	3	12	4	16
Resistência a Flexão	3	4	12	5	15	4	12	3	9	3	9
Resistência ao Impacto	2	4	8	5	10	5	10	2	4	4	8
Resistência ao calor	5	5	25	1	5	4	20	1	5	5	25
Facilidade de injeção	4	3	12	4	16	4	16	5	20	4	16
Resistência produtos químicos	3	4	12	4	12	4	12	4	12	5	15
Custo	4	2	16	4	16	4	16	4	16	2	4
Disponibilidade	3	5	15	5	15	5	15	5	15	2	6
TOTAL			137		119		138		107		120

Peso das características (P)	
Característica sem Importância	1
Importância moderada (desejável)	2
Importante	3
Muito Importante	4
Característica Mandatória	5

Atendimento (A)	
Não Atende	1
Atende mal	2
Atende mediamente	3
Atende bem	4
Atende muito bem	5

5 MATERIAIS E MÉTODOS – Matriz de decisão final

5.1 Introdução

Da pré-matriz de decisão foram selecionados dois materiais para a matriz de decisão final, dos quais foram realizados experimentos com matérias primas obtidas por doação de fabricantes:

- PA 66 – 30% FV – Com e Sem Termoestabilizante (acetato de cobre + iodeto de potássio), doados pela Rhodia;
- PPA – 30% FV, doado pela Solvay;

Os seguintes experimentos foram realizados:

- Confecção de corpos de prova por injeção
- Ensaio de Tração
- Ensaio de Impacto
- DSC
- TGA
- Levantamento de custos
- Levantamento de disponibilidade

5.2 Experimentos

5.2.1 Confecção de corpos de prova por injeção

A injetora que foi usada para a confecção dos corpos de prova foi a Arburg Allrounder 221K 250-75, conforme figura 30.



FIGURA 30. Injetora para corpos de prova

Fonte: Arquivo próprio

As dimensões do corpo de prova tipo “gravatinha” conforme figuras 31, 32 e 33 são: $L = 215\text{mm}$; $A = 60\text{ mm}$; $B = 100\text{ mm}$; $C = 19\text{ mm}$ e espessura = 3 mm .

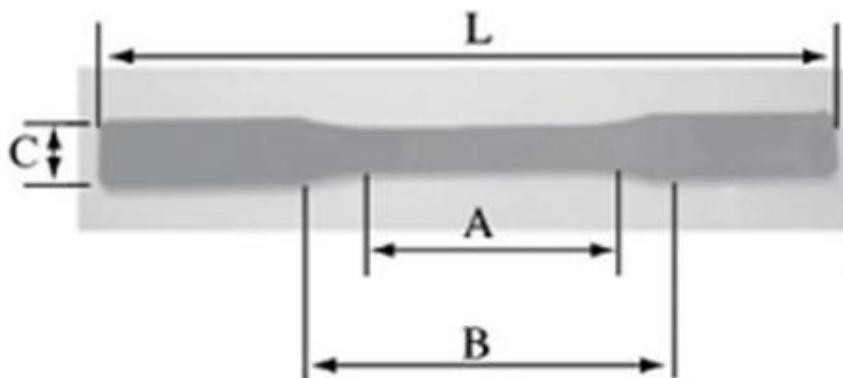


FIGURA 31. Dimensões dos corpos de prova.

Fonte: Beatriz L. Fernandes, 2006

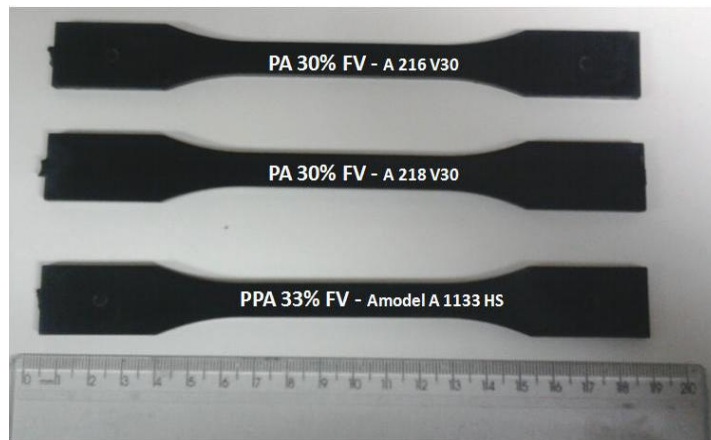


FIGURA 32. Corpos de prova injetados para ensaio de tração.
Fonte: Arquivo próprio.

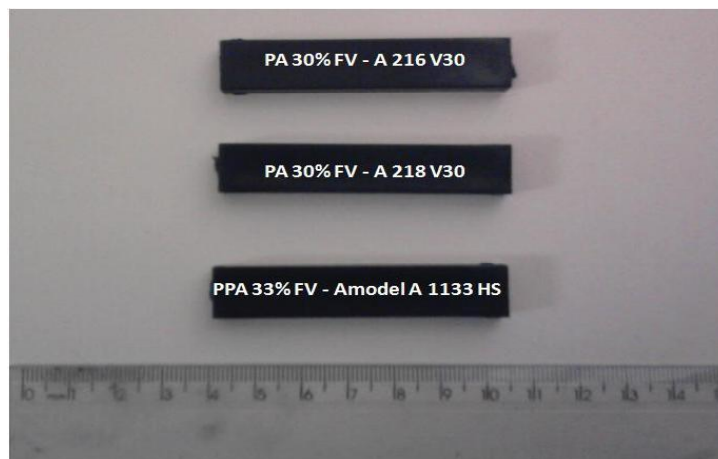


FIGURA 33. Corpos de prova injetados para ensaio de impacto.
Fonte: Arquivo próprio.

5.2.2 Ensaios de Tração

Não existe ensaio mecânico que preveja completamente o real desempenho mecânico de um material, seja na etapa de produção (conformação, usinagem etc.), seja na etapa de

utilização (como elemento estrutural, peça automobilística, painel etc.). No entanto, o ensaio de tração é considerado o teste mecânico que apresenta a melhor relação entre informações obtidas e custo/complexidade de ensaio (MORAIS, s.d.).

O ensaio de tração consiste, basicamente, em se tracionar um corpo de prova (CP) de seção reta retangular (CP prismático) ou circular (CP cilíndrico) até a sua ruptura. Diversos parâmetros podem ser medidos, vide equipamento de ensaio a tração na figura 34 (MORAIS, s.d.).

Acrescenta-se que o ensaio de tração é a principal forma de avaliação do comportamento mecânico de um polímero sintético, e ainda, fornece parâmetros para algumas propriedades, sendo as principais:

- Resistência à tração na ruptura: é a resistência que o material oferece ao ser puxado até o momento de ruptura, ou seja, é a carga aplicada por unidade de área.
- Alongamento na ruptura: é a quantidade que o material alonga até o momento de ruptura, e é dado em porcentagem (HELLERICH, s.d.).

O Ensaio de Tração Simples é utilizado, principalmente, para determinar a resistência à tração de juntas soldadas para qualificação de soldador ou de procedimento de soldagem.

Em materiais soldados, podem ser retirados corpos de prova com a solda no sentido transversal ou longitudinal da solda. Pode-se, ainda, ensaiar a raiz ou a face dependendo das necessidades do cliente (HELLERICH, s.d.).

Há dois tipos de deformação, que se sucedem quando o material é submetido a uma força de tração: a elástica e a plástica.

Deformação elástica: não é permanente. Uma vez cessados os esforços, o material volta à sua forma original.

Deformação plástica: é permanente. Uma vez cessados os esforços, o material recupera a deformação elástica, mas fica com uma deformação residual plástica, não voltando mais à sua forma original (HELLERICH, s.d.).

Neste trabalho, os ensaios de tração foram realizados numa máquina universal de ensaios INSTRON, modelo 1127, e de acordo com as condições estipuladas pela norma ASTM 638-90 (ASTM, 1990).

Usou-se os corpos de prova com 30% de fibra de vidro e os ensaios realizados a uma velocidade de 5 mm/min., com uma célula de carga de 500 Kg. Os ensaios foram realizados

em corpos de prova condicionados durante pelo menos 48 horas, a uma temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa.

Os valores de resistência à tração e alongamento na ruptura foram obtidos por meio dos valores médios e desvio-padrão de cinco corpos de prova para cada amostra.



FIGURA 34. Esquema da máquina de tração.
Fonte: Arquivo próprio.

5.2.3 Ensaio de Impacto Charpy

O ensaio de flexão foi adotado com o objetivo de ser utilizado em materiais frágeis para determinar a tensão e flecha de ruptura, além de permitir avaliar outras propriedades mecânicas, nomeadamente o módulo de elasticidade à flexão. A sua grande vantagem é a de permitir utilizar provetes mais fáceis de maquinar que o provete de tração e, tem tanto mais aplicação quanto mais duro for o material. Porém, para materiais muito frágeis, os resultados

obtidos apresentam grande dispersão, de modo que, nestes casos, devem realizar-se sempre vários ensaios para estabelecer um valor médio (ISEL, 2008-2009).

A técnica de ensaio consiste em apoiar o provete em dois pontos distanciados de um comprimento (L) e aplicar lentamente uma força de flexão (F) no centro deste (ISEL, 2008-2009), vide equipamento de ensaio ao impacto na figura 35.



FIGURA 35. Esquema da máquina de impacto.

Fonte: Arquivo próprio.

5.2.4 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

O DSC foi desenvolvida com o objetivo de evitar as dificuldades encontradas no DTA ou compensá-las, criando um equipamento capaz de quantificar a energia envolvida nas reações (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Existem dois tipos de equipamentos que realizam a Calorimetria Diferencial de Varredura: o primeiro é denominado de DSC de compensação de energia e o segundo de DSC de fluxo de calor.

DSC de compensação de energia: o equipamento inicialmente desenvolvido e que dá nome à técnica é chamado de DSC por “compensação de energia”, desenvolvido por Perkin-Elmer Co. (1964).

No DSC por compensação de energia, a amostra e a referência são colocadas em compartimentos diferentes com fontes de aquecimento individuais, onde a temperatura e a energia são monitoradas e geradas por filamentos de platina idênticos, atuando, assim, como termômetros resistivos e aquecedores, vide figura 36 (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

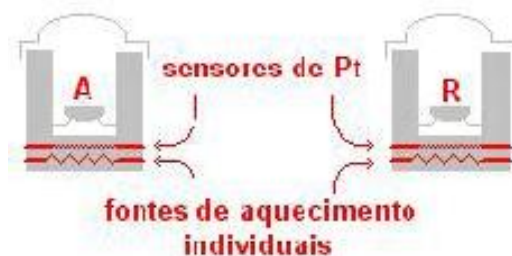


FIGURA 36. Diagrama esquemático dos compartimentos do DSC por compensação de energia

Fonte: Rodrigues; Marchetto, 2010

Esta técnica mantém constante o calor fornecido. Porém, ao invés de medir a diferença de temperatura entre a amostra e a referência durante a reação, um sistema de controle aumenta imediatamente a energia fornecida para a amostra quando o processo é endotérmico, e aumenta a energia fornecida para a referência quando o processo é exotérmico, conservando assim a amostra e a referência com a mesma temperatura (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Um gráfico da energia fornecida pelos aquecedores é formado, possibilitando quantificar as transformações, uma vez que a compensação de calor é proporcional à energia envolvida na reação.

DSC de fluxo de calor: o segundo tipo de instrumento é chamado de DSC por “fluxo de calor”. Este instrumento possui uma similaridade ainda maior com o DTA, uma vez que apenas um forno é utilizado.

No forno, os cadinhos são dispostos sobre uma base de um metal altamente condutor, geralmente platina. A amostra e a referência são, então, aquecidas pelo mesmo sistema de fornecimento de energia. Cada vez que a amostra reage, um fluxo de energia se estabelece entre os cadinhos através da base de platina. Os dados na forma de potencial elétrico [μV], correspondente ao aumento da temperatura de ambos os cadinhos no interior do forno, devem

aumentar linearmente e simetricamente. Assim, uma curva de μV *versus* tempo pode ser computado.

O fluxo é, então, mensurado através dos sensores de temperatura posicionados sob cada cadinho, obtendo, assim, um sinal proporcional à diferença de capacidade térmica entre a amostra e a referência, esquematicamente mostrada na figura 37 (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

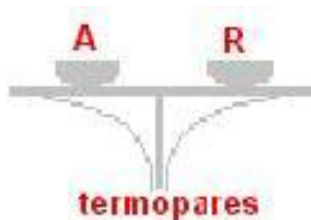


FIGURA 37. DSC por fluxo de calor

Fonte: Rodrigues; Marchetto, 2010

Os dois tipos de DSC foram estudados por Höhne, que descreveu ambos os equipamentos como capazes de fornecer dados satisfatórios em processos envolvendo entalpia, com uma precisão da ordem de 1-2%. Os equipamentos de compensação de calor são, geralmente, limitados a temperaturas até 725°C, enquanto os de fluxo de calor podem operar até 1500°C.

O registro, posteriormente corrigido da curva DSC, em ambas as técnicas, é expresso em termos de temperatura ou tempo nas ordenadas, e mW/mg (miliwatts por miligramas) na abscissa (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

A diferença na definição dos picos entre a DTA e a DSC pode ser ilustrada em um gráfico, onde as amostras foram submetidas aos mesmos procedimentos experimentais.

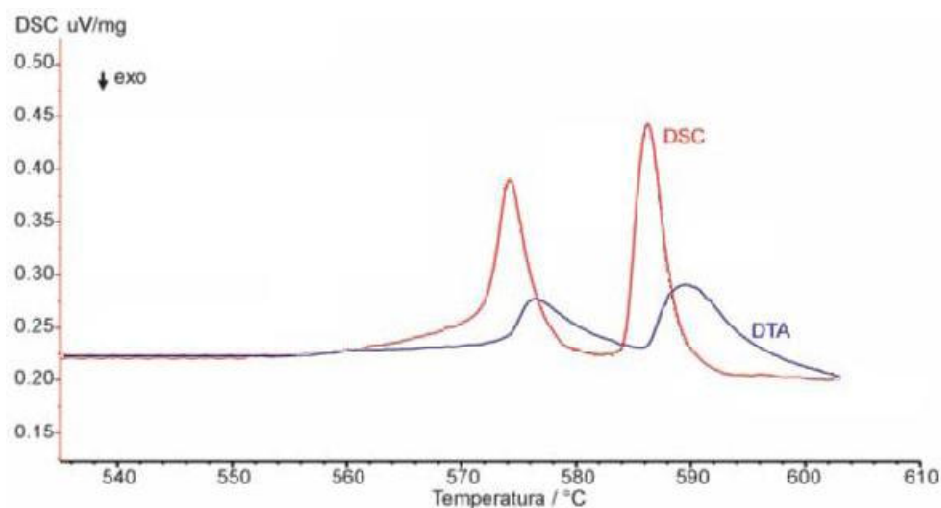


FIGURA 38. Curvas de DTA e DSC

Fonte: Rodrigues; Marchetto, 2010

O DSC é aplicado em: alívio de tensões; análises de copolímeros e blendas; catálises; capacidade calorífica; condutividade térmica; controle de qualidade; determinação de pureza; diagramas de fase; entalpia das transições; estabilidade térmica e oxidativa; grau de cristalinidade; intervalo de fusão; nucleação; transição vítrea; transições mesofase; taxas de cristalização e reações (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Os equipamentos utilizados no DSC são, basicamente, compostos de forno, termopares, cadinhos e de um sistema de fluxo de gás.

Cadinhos de DSC: os cadinhos utilizados em DSC são produzidos desde materiais altamente condutores de calor, como platina, até alumina. Estes cadinhos são vulgarmente conhecidos como “panelinha”, devido ao seu formato. No DSC por compensação de energia, cada cadinho é colocado em um forno; no DSC por fluxo de energia, os cadinhos são colocados em cada lado da base de platina, permitindo, assim, o fluxo de calor entre a amostra e a referência (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).



FIGURA 39. Cadinhos utilizados no DSC (grafite, ZrO_2 , Al_2O_3 , Pt + Al_2O_3 *inside layer* Pt, Au) e haste do DSC de fluxo de calor

Fonte: Rodrigues; Marchetto, 2010

Aquisição e tratamento das curvas: o registro gráfico da técnica DSC, em ambas as técnicas de Fluxo de Calor e de Compensação de Energia, são expressas em temperatura ou tempo ($^{\circ}C$, min) no eixo X e em fluxo de calor (mW/mg) no eixo Y. O fluxo de calor é dividido pela massa. Desta maneira, a curva passa a não ser afetada pela quantidade de massa que compõe o cadinho. Isto porque, quanto maior a massa existente no cadinho, maior é a quantidade de calor liberada / absorvida na reação (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Transições de primeira ordem (endotérmicas ou exotérmicas) são caracterizadas como picos, mesmo que eles possam sobrepujar um ao outro. A área do pico diretamente sob a curva mW/mg é proporcional a entalpia ΔH envolvida no processo endotérmica / exotérmica, expresso em Quilojoule por Quilograma, ou, Joule por grama.

Transições de segunda ordem, como a transição vítrea (T_g), são caracterizadas como uma alteração na linearidade da curva, geralmente chamados de “degraus”. Isto ocorre porque não há mudança na entalpia como em reações de fusão ou cristalização, mas somente uma mudança na capacidade calorífica (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Esta técnica foi aplicada com o objetivo de analisar a variação de cristalinidade na matriz de nylon 6, com as fibras de vidros correspondentes. O equipamento utilizado foi um NETZSCH DSC 200.

Os ensaios foram realizados aquecendo-se amostras até $300^{\circ}C$ e a taxa de aquecimento foi de $10^{\circ}C/min$. O grau de cristalinidade foi calculado utilizando-se o valor de entalpia de fusão, para o material 100% cristalino, igual a $191 J/g$ (MANO, 1991).

5.2.5 Análise Termogravimétrica (TGA)

Termogravimetria é a técnica na qual a mudança da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto esta é submetida a uma programação controlada.[20]

O termo Análise Termogravimétrica (TGA) é comumente empregado, particularmente em polímeros, no lugar de TG, por ser seu precedente histórico e para minimizar a confusão verbal com T_g , a abreviação da temperatura de transição vítrea. Problemas adicionais podem ocorrer em pesquisas computadorizadas, já que ambas abreviaturas são aceitas pela IUPAC.

Tipicamente, curvas TGA e sua derivada (DTG) são apresentadas como no gráfico 1.

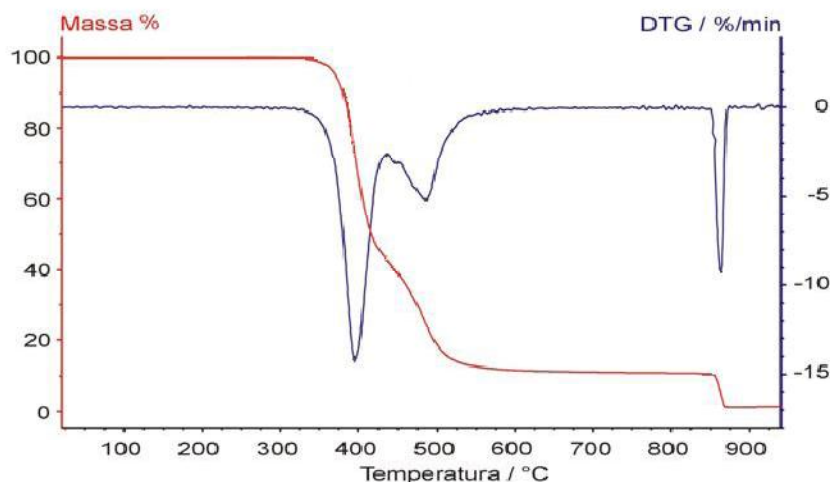


FIGURA 40. Exemplo de gráfico de TGA (vermelho) e sua derivada, DTG (azul)

Fonte: Rodrigues; Marchetto, 2010

A ordenada é apresentada, usualmente, em percentual de massa wt%, ao invés da massa total, proporcionando, assim, uma fácil comparação entre várias curvas em uma base normalizada (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Ressalta-se que existem mudanças significativas, particularmente na temperatura da amostra, que podem refletir na curva TGA, quando a massa inicial é significativamente variada entre experimentos.

Ocasionalmente, o peso e a temperatura serão exibidos em função do tempo. Isto permite a verificação aproximada da taxa de aquecimento, mas é menos conveniente para propósitos de comparação com outras curvas.

As curvas DTG aperfeiçoam a resolução e são mais facilmente comparadas a outras medidas.

Entretanto, a diferenciação é um grande amplificador; sendo, muitas vezes, aplainada pelo *software* para gerar um gráfico da derivada. Tais curvas são também de interesse do estudo da cinética das reações, uma vez que ela apresenta a taxa efetiva da reação. A estequiometria, todavia, é mais legível na representação original (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Dentre as inúmeras aplicações existentes da termogravimetria destacam-se: a) Calcinação e torrefação de minerais; b) Corrosão de materiais em várias atmosferas; c) Curvas de adsorção e desadsorção; d) Decomposição de materiais explosivos; e) Degradação térmica oxidativa de substâncias poliméricas; f) Desenvolvimento de processos gravimétricos analíticos (peso constante); g) Decomposição térmica ou pirólise de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos; h) Destilação e evaporação de líquidos; i) Determinação da pressão de vapor e entalpia de vaporização de aditivos voláteis; j) Determinação da umidade, volatilidade, e composição de cinzas; k) Estudo da cinética das reações envolvendo espécies voláteis; l) Estudo da desidratação e da higroscopicidade; m) Identificação de polímeros novos, conhecidos e intermediários; n) Propriedades magnéticas como temperatura Curie, suscetibilidade magnética; o) Reações no estado sólido que liberam produtos voláteis; p) Taxas de evaporação e sublimação.

O equipamento utilizado na análise termogravimétrica é, basicamente, constituído por uma microbalança, um forno, termopares e um sistema de fluxo de gás (RODRIGUES; MARCHETTO, 2010).

Esta técnica foi aplicada com o objetivo de analisar a variação de umidade com os tempos de secagem do material moído e o teor de fibra de vidro do compósito polimérico em questão. Todas as análises de TGA foram feitas em atmosfera de gás inerte (N₂), num intervalo de temperatura aproximado entre 25 e 600°C, e a uma taxa de aquecimento de 10°C/min.

Para análise do teor de umidade do material, usou-se um calorímetro diferencial de varredura, com acessório de termogravimetria, da marca Du Pont, modelo TA 9900. O teor de umidade foi calculado a partir dos dados de perda de massa, a uma temperatura de 150°C, temperatura esta maior que a temperatura de ebulição da água, porém, menor do que a temperatura inicial de alguma provável reação no polímero caracterizado.

Para as análises de teor de fibras, utilizou-se um equipamento da marca Perkins Elmer, modelo TGA 7. As amostras foram aquecidas até 630°C. Usou-se a quantidade de massa restante nesta temperatura, como a quantidade de fibra do material. As amostras foram secas a 80°C, durante 90 minutos, antes de iniciar as análises.

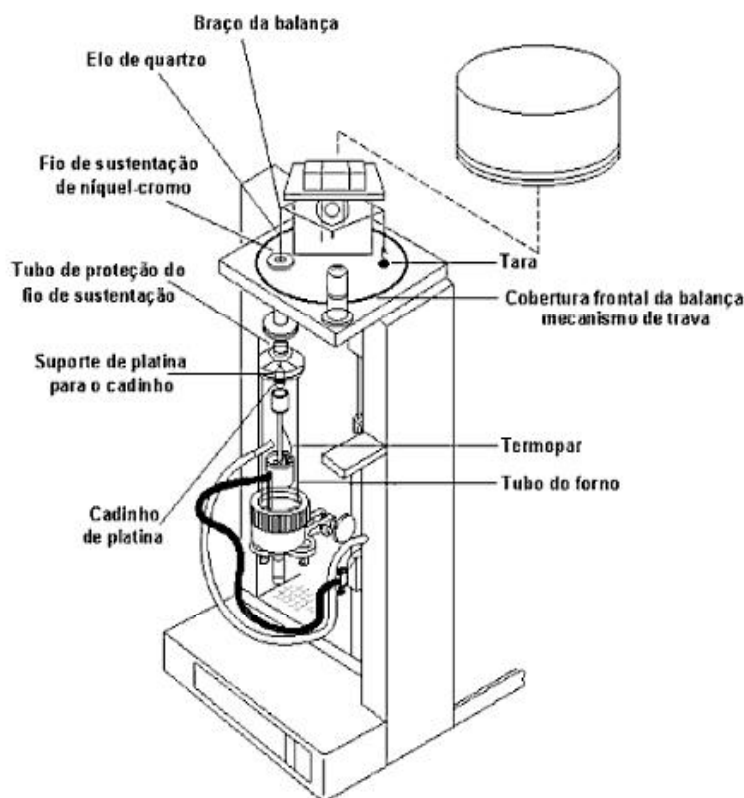


FIGURA 41. Desenho detalhado de um instrumento de termogravimetria
Fonte: LUCAS, 2001

5.2.6 Levantamento de Custo

Além das propriedades avaliadas experimentalmente, também duas características foram avaliadas: custo e disponibilidade.

5.2.7 Levantamento de disponibilidade

5.3 Prototipagem Rápida

A prototipagem rápida é um processo utilizado para a fabricação de componentes físicos a partir das informações geométricas fornecidas por um sistema CAD (projeto auxiliado por computador). Esse processo consiste em adicionar material na forma de camadas planas sucessivas, possibilitando a fabricação de peças complexas sem a necessidade de moldes e ferramentas (ISEL, 2008-2009).

Tais métodos permitem aos projetistas criar rapidamente protótipos concretos a partir de seus projetos, ao invés de figuras bidimensionais, vide a peça em estudo na figura 42. Esses modelos apresentam diversos usos.



FIGURA 42. Prototipagem rápida da peça em estudo

Fonte: Arquivo próprio

Eles constituem um auxílio visual excelente durante a discussão prévia do projeto com colaboradores ou clientes. Além disso, o protótipo pode permitir testes prévios como, por exemplo, ensaios em túnel de vento para componentes aeronáuticos ou análise fotoelástica para se verificar pontos de concentração de tensões na peça. A verdade é que os projetistas sempre construíram protótipos; os processos de prototipagem rápida permitem que eles sejam feitos mais depressa e de forma mais barata. De fato, estima-se que a economia de tempo e de custos proporcionada pela aplicação das técnicas de prototipagem rápida na construção de modelos seja da ordem de 70 a 90 (ISEL, 2008-2009).

Nos últimos anos surgiu uma nova família de máquinas altamente inovadoras que permitem, com tecnologias e materiais diferentes, obter um protótipo de um modelo ou de um molde, de maneira precisa e rápida a partir do modelo sólido gerado no sistema CAD 3D. Tais máquinas, conhecidas como máquinas de Prototipagem Rápida, permitem obter peças físicas acabadas, de modo automático, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que não permitiriam sua obtenção em máquinas convencionais de usinagem, ou tornariam sua execução demorada ou complexa em centros de usinagem numericamente comandados. Dessa forma, tais máquinas possibilitam uma maior velocidade e menor custo na obtenção de protótipos se comparado aos processos tradicionais de usinagem. Além disso, em certos casos estas técnicas permitem a obtenção de matrizes capazes de produzir uma quantidade limitada de peças, ideal para o emprego na produção de lotes pilotos. Tal tecnologia possibilita que as empresas possam desenvolver produtos mais rapidamente (menor *time to market*) e com menor custo, e, principalmente, com um acréscimo na qualidade por meio de uma melhor avaliação do projeto (ISEL, 2008-2009).

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

6.1 Resultados dos ensaios de Tração

TRACÇÃO \ AMOSTRAS	A 218 V30 (MÉDIA)	A 216 V30 (MÉDIA)	PPA33% FV (MÉDIA)
Tensão de força máxima (MPa)	170.5	171.0	199.5
Alongamento Força Máxima (%)	4.165	4.726	2.250
Tensão de ruptura (MPa)	170.3	170.1	198.0
Alongamento de ruptura (%)	4.215	4.916	2.35

Vide apêndice 1 e 2.

6.2 Resultados dos ensaios de Impacto

AMOSTRAS	A 218 v30	A 216 v30	PPA 33% FV
J/cm2	2,5	2,5	4,36

Vide apêndices 3 e 4.

6.3 Resultados DSC

TESTES \ AMOSTRAS	A 218 V30	A 216 V30	PPA33%FV
DSC			
Pico de Fusão	262,20	261,20	261,37
Pico de Cristalização	225,97	223,13	223,13

Vide apêndice 5.

6.4 Resultados TGA

Vide apêndice 6.

7 DISCUSSÃO E MATRIZ DE DECISÃO FINAL

TABELA 9. Matriz de decisão final

		PA 66 30% FV sem Termoestabilizante		PA 66 30% FV com Termoestabilizante		PPA com 33% FV	
	(P)	(A)	PxA	(A)	PxA	(A)	PxA
Ensaio de Tração	4	3	12	3	12	4	16
Ensaio de Impacto	3	4	12	4	12	4	12
DSC	5	3	15	4	20	5	25
TGA	5	3	15	4	20	5	25
FTIR	3	5	15	5	15	5	15
Custo	4	5	20	5	20	2	8
Disponibilidade	3	5	15	5	15	2	6
TOTAL			104		114		107

Peso das características (P)	
Característica sem Importância	1
Importância moderada (desejável)	2
Importante	3
Muito Importante	4
Característica Mandatória	5

Atendimento (A)	
Não Atende	1
Atende mal	2
Atende mediantemente	3
Atende bem	4
Atende muito bem	5

Essa segunda matriz foi baseada em experimentos, para conhecimento e aprendizado no manuseio dos equipamentos e análise de resultados.

Pode-se notar que os resultados obtidos na priorização dessa matriz de decisão foram muito semelhantes, entre os 3 materiais, porém, o PA 66 30% FV sem termoestabilizante não atende as especificações mínimas necessárias (Requisito mandatório: a temperatura pode atingir picos de 160°).

O PPA foi o que apresentou as melhores propriedades mecânicas e térmicas, porém, seu alto custo de matéria prima e a sua difícil disponibilidade, uma vez que esse material é importado, o tornaram menos interessante que o PA 66 30% FV com termoestabilizante, material selecionado e bastante adequado para a aplicação em estudo.

Portanto o PA 66 30% FV com termoestabilizante foi o que apresentou a melhor pontuação entre os 3 materiais, por isso, o material selecionado para a aplicação em estudo.

8 CONCLUSÕES

O PA 66 sem reforço e todos os outros plásticos sem reforço não participaram da matriz de decisão prévia, pois suas propriedades mecânicas são muito abaixo das desejadas.

O acetal possui propriedades muito importantes como boas propriedades mecânicas, precisão dimensional, baixo custo, autolubrificante; porém, sua resistência ao calor não atinge o requisito mínimo necessário para a peça substituída.

Verifica-se que o material escolhido foi o PA 66 com FV e com aditivo termoestabilizante, pois o mesmo fez grande diferença com relação à temperatura.

Porém o PPA teve um excelente desempenho com relação às suas propriedades em geral, destacando-se a sua resistência mecânica, resistência a produtos químicos e resistência ao calor. Os únicos inconvenientes desse material é o seu elevado custo e difícil disponibilidade uma vez que é importado. Esse material é bastante promissor e poderá ser utilizado no futuro, se o seu custo baixar e eventualmente passar a ser fabricado no país.

Referências

ASHBY, A.F. **Materials selection in mechanical design**, Elsevier, Third Edition, 2005, 603p.

ASTM D 638-90. **Standart test method for tensile properties of plastics**. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990.

BARROS, J. E. M. **Estudo de motores de combustão interna aplicando análise orientada a objetos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais**. Disponível em:

BILLMEYER JR., F. W. **Textbook of polymer science**. 3. ed. John Wiley, N. York, 1984.

BIODIESELbr.com. Motor diesel. Disponível em: MOTOR DIESEL. <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/motor-diesel/motor-diesel.htm>>. Acesso em:

BRADY, G.S. (Ed.) **Materials Handbook**, 14th Edition , Mc Graw Hill, New York, 1997, pp. 604-606.

BISSOTO, I. **Substituição de materiais poliméricos através de seletores de materiais e fornecedores: Um estudo de caso**, Dissertação (Mestrado), UFPR, 2006.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel: a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 472-482, 2003.

CALLISTER Jr, W. D., **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008. 705 p.

CALLISTER, W. D. Jr., **Fundamentals of Materials Science and Engineering** , John Wiley and Sons, Inc., 2001.

CHAWLA, K. K. **Composite materials: science and engineering**. Springer-Verlag, N. York, 1987

COSTA, P. G. **Coletor De admissão**. Disponível em: <<http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=15>>. Acesso em:

COSTA, D. A. **Células combustíveis: uma abordagem contemporânea**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Física). Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.fisica.ucb.br/sites/000/74/00000081.pdf>>. Acesso em:12/06/2010

CRAWFORD, R.J. **Plastics engineering**, Third Edition, Butterworth-Heinemann, Great Britain, 2001.

DE PAOLI, M.A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**, 2ª Versão On Line, Chemkeys, 2008

DORNELLES F^o, A.M.L. **Critérios na Seleção de Plásticos de Engenharia para Aplicações em Veículos Populares no Brasil**, Dissertação (Mestrado), EPUSP, 2006.

Encyclopedia of Chemical Technology. USA, John Wiley & Sons, 1982, v. 18.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**, 2a Edição, Editora da UFSCar, São Carlos, SP, 2001.

FURLANI, E. A.; SILVA, R. P. da. **Apostila didática**, n. 2. Motores de combustão interna. Jaboicabal, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/motores-de-combustao-interna-pdf-a24276.html>>. Acesso em: 12/06/2010.

Guide to Selecting Engineered Materials, ASM International, Advanced Materials & Processes, Vol. 137, Issue 6, 1990, 1-140.

Handbook of Plastic Joining – A Practical Guide, Plastic Design Library, Munich, 1995.

HELLERICH, H. H. **Guia de materiais plásticos** - Editora Hanser, versão Espanhol. Disponível em: <http://www.polimeroseprocessos.com/ensaio_3.html>. Acesso em: 12/06/2010.

HEMAIS, C.A. **Polímeros e a indústria automobilística**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol. 13, No 2, PP. 107-114, 2003.

LUCAS, Elizabete F. Caracterização de Polímeros. Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica. E-papers, Rio de Janeiro, 2001.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

MANN+HUMMEL BRASIL. **Sistemas de admissão**: coletores de ar sistemáticos. Disponível em: <<http://www.mann-hummel.com/mhbr/index.html?iKeys=7.5.410.0.0>>. Acesso em:

MARK, H.F. (Ed.) Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley& Sons, 1992, Third Edition, Vol. 18, **Polyamides**, PP. 328-371.

MICHAELI, W.; GREIF, H.; KAUFMANN, H.; VOSSEBÜRGER, F. **Tecnologia de Plásticos**, Ed. Edgard Blücher Ltda., SP, 1995.

Nylon. **Infopédia** [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2010. [Consult. 2010-07-04]. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$nylon](http://www.infopedia.pt/$nylon)>. Acesso em:

Oliveira, S.G., Processo de definição de fornecedores de tecnologia crítica e co-design, Society of Automotive Engineers, Inc. 2007.

RABELLO, M. Aditivação de Polímeros, Ed. Artliber, São Paulo, 2000.

RADIAN Corporation, Chemical Additives for the Plastic Industry, Noyes, New Jersey, 1987.

ROCHA, G. da. **Um olhar no passado automotivo.** Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/12/um-olhar-no-passado-automotivo/>>. Acesso em:

ROCHA, W. X. **Classificação dos polímeros.** Disponível em: <<http://www.mundovestibular.com.br/articles/774/1/CLASSIFICACAO-DOS-POLIMEROS/Paacutegina1.html>>. Acesso em:

RODRIGUES, G. V.; MARCHETTO, O. **Análises térmicas.** Universidade Federal de Santa Catarina. Monografia de Graduação em Engenharia de Materiais, s.d. Disponível em: <<http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EMC5733/Apostila.pdf>>. Acesso em: 12/03/2010.

SANT'ANA, J.A.; WIEBECK, E.H. Plástico substituindo o metal na produção de peças : como fazer a seleção nessa troca, tendências e exemplos in : http://www.moldesdeinjeçao plasticos.com.br/plastico_metal.asp; acesso em 23/03/2010.

SEYMOUR, R.B. Polymers for Engineering Applications, ASM International, N.Y., 1987.

ZAVAGLIA, C.A.C; BRESCIANI Fº, E. - Seleção de Materiais , Apostila Didática, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 2006.

Anexos

RHODIA POLIAMIDA

Laboratorio D&A/DCA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL2000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 3** Data: **21/11/2009** Hora: **23:47:04** Trabalho n° **3054**

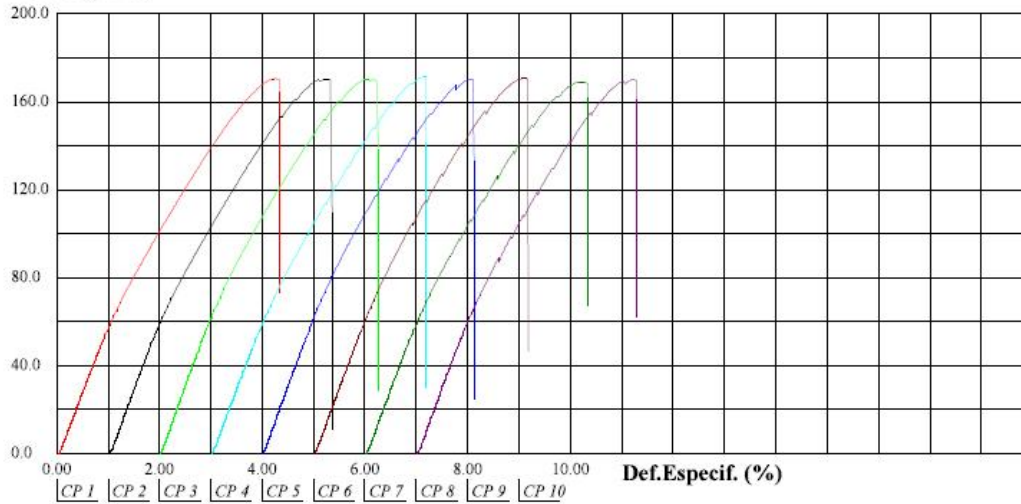
Programa: **Tesc versão 3.04**

Método de Ensaio: **Tracao PA66 com Carga DCA**

Ident, Amostra: > Material: **A 218 V30 PTO 34 NGLote: 105245 BG 01,08,15,22Solicitacao: SILVIO MA-0544 25°C 50% um**

Corpo de Prova	Area (mm2)	Tensao Força Maxima (MPa)	Alongamento Força Maxima (%)	Tensao Ruptura (MPa)	Alongamento Ruptura (%)	Força Força Maxima (kgf)
CP 1	40.24	170.67	4.26	170.52	4.30	700.30
CP 2	40.24	170.37	4.27	170.23	4.30	699.05
CP 3	40.24	170.66	4.04	170.10	4.20	700.23
CP 4	40.24	171.59	4.15	171.59	4.15	704.05
CP 5	40.24	170.44	4.07	170.44	4.07	699.33
CP 6	40.24	170.79	4.10	170.78	4.13	700.79
CP 7	40.24	169.32	4.20	168.85	4.30	694.74
CP 8	40.24	170.15	4.22	170.10	4.26	698.15
Número CPs	8	8	8	8	8	8
Média	40.24	170.5	4.165	170.3	4.215	699.6
Mediana	40.24	170.5	4.178	170.3	4.230	699.8
Desv. Padrão	0.0000	0.6395	0.08760	0.7700	0.08870	2.624
Coef. Var. (%)	0.0000	0.3750	2.103	0.4521	2.105	0.3750
Mínimo	40.24	169.3	4.039	168.8	4.070	694.7
Máximo	40.24	171.6	4.266	171.6	4.303	704.1

Tensão (MPa)



RHODIA POLIAMIDA

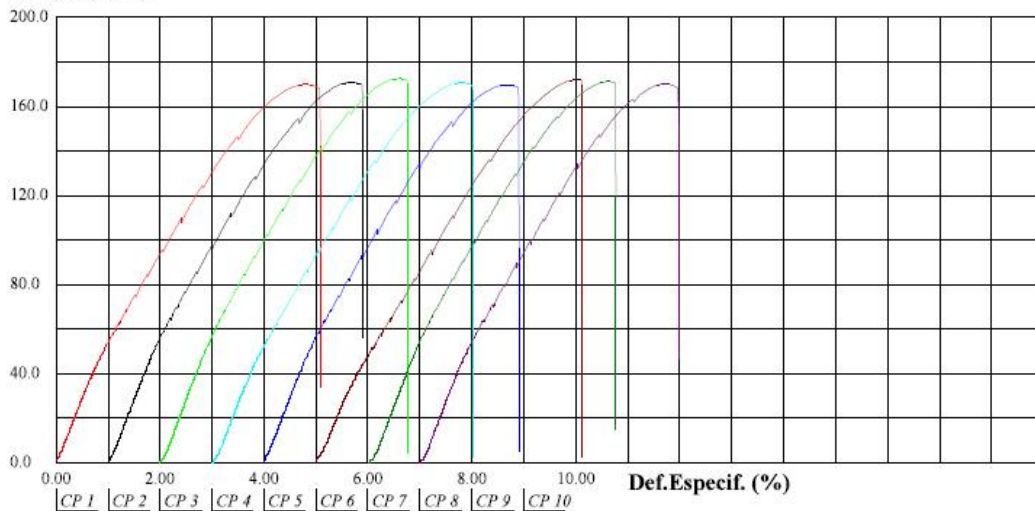
Laboratorio D&A/DCA

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL2000** Célula: **Trd 26** Extensômetro: **Trd 3** Data: **12/12/2009** Hora: **06:55:46** Trabalho n° **3218**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Tracao PA66 com Carga DCA**
 Ident, Amostra: > Material: **A 216 V30 NATU** Lote: **808386** SACO **01**, Solicitacao: **ALEXANDRE (MA 0544)** 25°C 53%

Corpo de Prova	Area (mm2)	Tensao Forca Maxima (MPa)	Alongamento Forca Maxima (%)	Tensao Ruptura (MPa)	Alongamento Ruptura (%)	Forca Maxima (kgf)
CP 1	39.83	169.91	4.75	168.56	5.04	690.16
CP 2	39.83	171.04	4.67	170.44	4.85	694.74
CP 3	39.83	172.61	4.59	171.67	4.78	701.13
CP 4	39.83	170.82	4.80	169.53	5.01	693.84
CP 5	39.83	169.74	4.65	168.88	4.87	689.46
CP 6	39.83	172.15	5.01	171.93	5.12	699.26
CP 7	39.83	171.24	4.63	170.89	4.73	695.58
CP 8	39.83	170.24	4.71	169.00	4.92	691.48
Número CPs	8	8	8	8	8	8
Média	39.83	171.0	4.726	170.1	4.916	694.5
Mediana	39.83	170.9	4.689	170.0	4.898	694.3
Desv. Padrão	0.0000	1.026	0.1320	1.305	0.1337	4.169
Coef. Var. (%)	0.0000	0.6003	2.792	0.7670	2.720	0.6003
Mínimo	39.83	169.7	4.594	168.6	4.734	689.5
Máximo	39.83	172.6	5.010	171.9	5.118	701.1

Tensão (MPa)



PENDULUM REPORT

=====

General Data

<i>RESIL serial number</i>	16308
----------------------------	-------

<i>Methods / Standards</i>	Charpy / ISO 179
<i>Specimen Type</i>	1e
<i>dimensions</i>	80±2 x 10±0.2 x 4.0 mm
<i>Distance between supports</i>	62 mm
<i>Notch type</i>	Un-notched

<i>Hammer</i>	5, J
<i>Impact Velocity</i>	2,9 m/s
<i>Dissipation energy</i>	0,000 J

<i>Specimen identification</i>	A 216 V30 NATURAL
<i>Preparation method</i>	Lote - 808386 SC 01, 120
<i>Specimen preconditioning</i>	EH0 - 24h (MA 0544)
<i>Temperature of testing</i>	25°C 53%
<i>Date and time testing</i>	12/12/2009 - 06.43
<i>Operator</i>	ALEXANDRE
<i>Laboratory</i>	D&A / DCA
<i>Equipment</i>	RESIL 25 CEAST
	Engineering Plastics - Rhodia

<i>Test Name</i>	808386.PTS
<i>No of Data</i>	8
<i>No of Tests</i>	16

Comments

Signature of operator :

P E N D U L U M R E P O R T

=====

Statistics
808386.PTS

	bn mm	h mm	Abs. Ene J	Resilience KJ/m ²	J/m	Energy %
All Test :	Number = 8					
<i>Minimum</i>	10,61	3,91	3,000	72,32	767,26	60,00
<i>Mean</i>	10,61	3,91	3,310	79,79	846,55	66,20
<i>Maximum</i>	10,61	3,91	3,630	87,50	928,39	72,60
<i>Std. Dev.</i>	0,00	0,00	0,208	5,01	53,18	4,16
<i>Variance %</i>	0,00	0,00	6,281	6,28	6,28	6,28

Complete Break : **Number = 8** (100,00%)

<i>Minimum</i>	10,61	3,91	3,000	72,32	767,26	60,00
<i>Mean</i>	10,61	3,91	3,310	79,79	846,55	66,20
<i>Maximum</i>	10,61	3,91	3,630	87,50	928,39	72,60
<i>Std. Dev.</i>	0,00	0,00	0,208	5,01	53,18	4,16
<i>Variance %</i>	0,00	0,00	6,281	6,28	6,28	6,28

Hinge Break : **Number = 0**

Partial Break : **Number = 0**

Non Break : **Number = 0**

R E S I L I E N C E C O M P A R A T I O N

Total n.ro of specimens = 8

KJ/m² J/m

4,000 100,000 LIMIT

0 0 Total n.ro of specimens less than limit

0,00 0,00 % of specimens less than limit

0,00 0,00 Mean of values less than limit

PENDULUM REPORT

=====

Table of data
808386.PTS

n	bn mm	h mm	Abs. Energy J	Resilience KJ/m ²	Energy J/m	Energy %	F
2	10,61	3,91	3,330	80,27	851,66	66,60	C
3	10,61	3,91	3,000	72,32	767,26	60,00	C
4	10,61	3,91	3,130	75,45	800,51	62,60	C
8	10,61	3,91	3,130	75,45	800,51	62,60	C
12	10,61	3,91	3,380	81,48	864,45	67,60	C
13	10,61	3,91	3,630	87,50	928,39	72,60	C
14	10,61	3,91	3,450	83,16	882,35	69,00	C
15	10,61	3,91	3,430	82,68	877,24	68,60	C

PENDULUM REPORT

=====

General Data

RESIL serial number	16308
---------------------	-------

Methods / Standards	Charpy / ISO 179
Specimen Type	1e
dimensions	80±2 x 10±0.2 x 4.0 mm
Distance between supports	62 mm
Notch type	Un-notched

Hammer	5, J
Impact Velocity	2,9 m/s
Dissipation energy	0,000 J

Specimen identification	A 218 V30 PTO 34NG
Preparation method	Lote - 105246 SC01,240
Specimen preconditioning	EH0 - 24h
Temperature of testing	23 °C
Date and time testing	22/11/2009 - 06.26
Operator	JESSICA
Laboratory	D&A / DCA
Equipment	RESIL 25 CEAST
	Engineering Plastics - Rhodia

Test Name	105246.PTS
No of Data	8
No of Tests	12

Comments	
MA 544	

Signature of operator :

P E N D U L U M R E P O R T

=====

Statistics

105246.PTS

	bn mm	h mm	Abs. Ene J	Resilience KJ/m ²	J/m	Energy %
All Test :	Number = 8					
<i>Minimum</i>	10,67	3,80	2,810	69,30	739,47	56,20
<i>Mean</i>	10,67	3,80	2,944	72,60	774,67	58,88
<i>Maximum</i>	10,67	3,80	3,170	78,18	834,21	63,40
<i>Std. Dev.</i>	0,00	0,00	0,101	2,49	26,58	2,02
<i>Variance %</i>	0,00	0,00	3,431	3,43	3,43	3,43

Complete Break : **Number = 8** (100,00%)

<i>Minimum</i>	10,67	3,80	2,810	69,30	739,47	56,20
<i>Mean</i>	10,67	3,80	2,944	72,60	774,67	58,88
<i>Maximum</i>	10,67	3,80	3,170	78,18	834,21	63,40
<i>Std. Dev.</i>	0,00	0,00	0,101	2,49	26,58	2,02
<i>Variance %</i>	0,00	0,00	3,431	3,43	3,43	3,43

Hinge Break : **Number = 0****Partial Break :** **Number = 0****Non Break :** **Number = 0**

RESILIENCE COMPARATION

Total n.ro of specimens = 8

<i>KJ/m²</i>	<i>J/m</i>	
4,000	100,000	LIMIT
0	0	Total n.ro of specimens less than limit
0,00	0,00	% of specimens less than limit
0,00	0,00	Mean of values less than limit

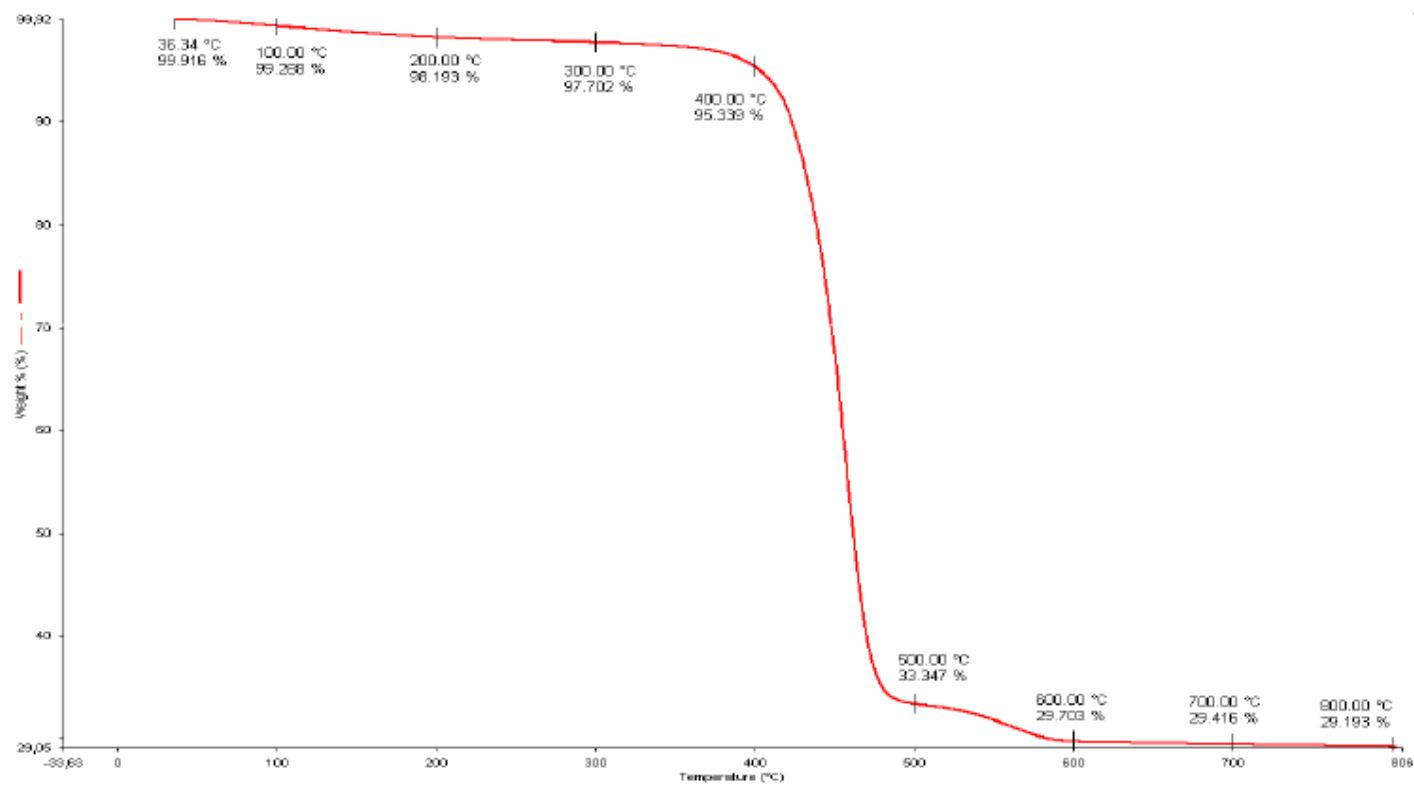
PENDULUM REPORT

=====

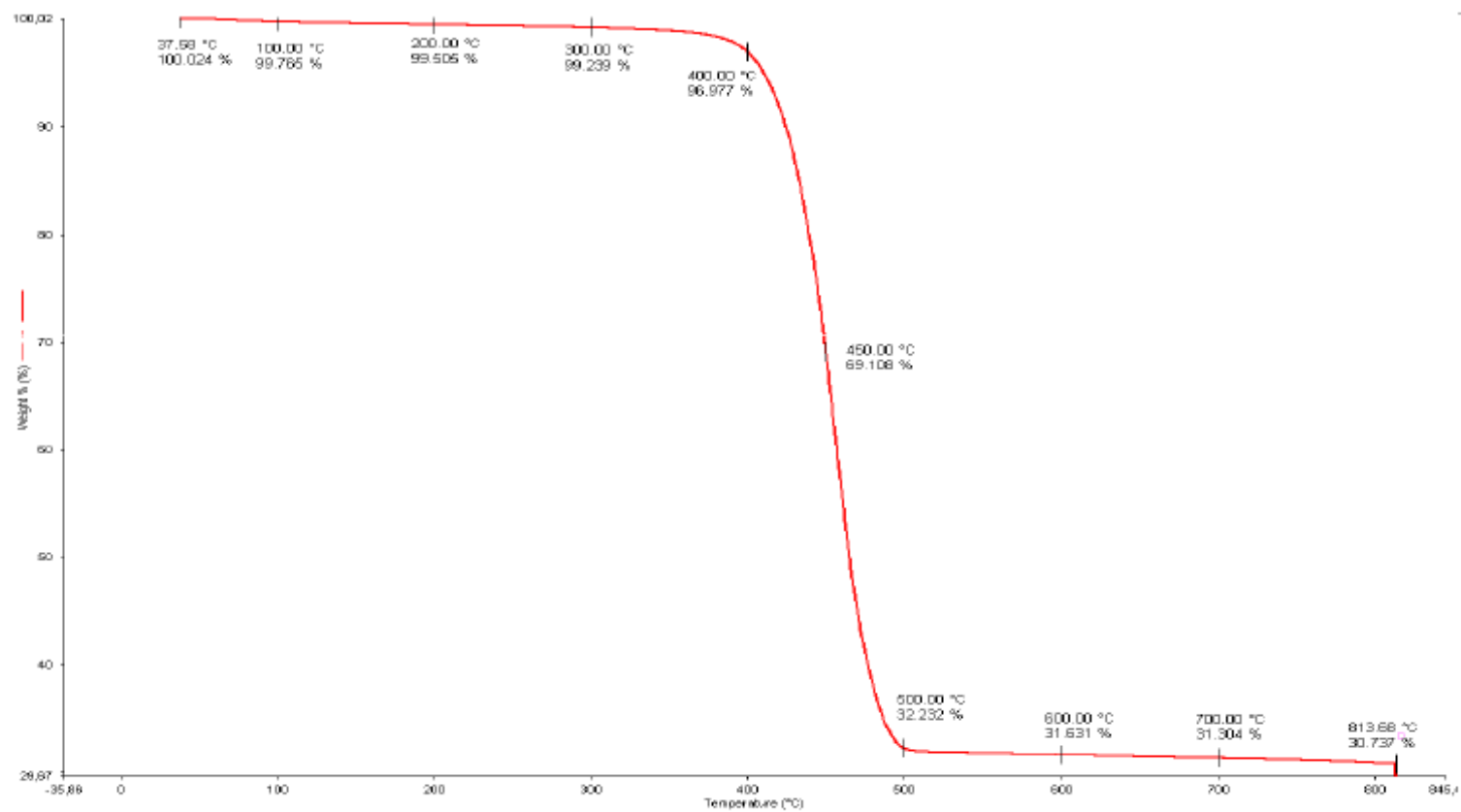
Table of data
105246.PTS

n	bn mm	h mm	Abs. Energy J	Resilience KJ/m ²	J/m	Energy %	F
1	10,67	3,80	2,920	72,02	768,42	58,40	C
3	10,67	3,80	2,930	72,26	771,05	58,60	C
4	10,67	3,80	2,930	72,26	771,05	58,60	C
5	10,67	3,80	2,910	71,77	765,79	58,20	C
8	10,67	3,80	2,950	72,76	776,32	59,00	C
10	10,67	3,80	3,170	78,18	834,21	63,40	C
11	10,67	3,80	2,930	72,26	771,05	58,60	C
12	10,67	3,80	2,810	69,30	739,47	56,20	C

A 218 V30 PRETO



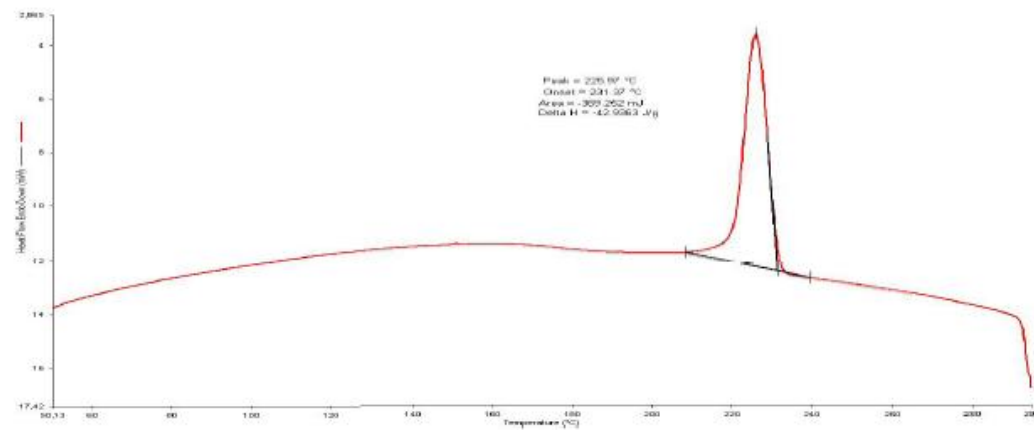
A 216 V30



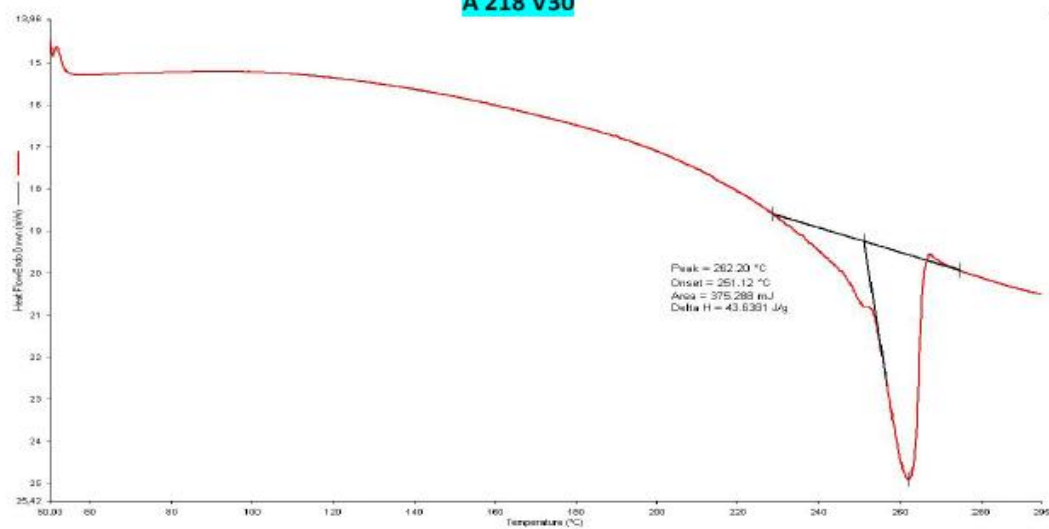
APENDICE 5

DSC - ESPECTROS/ TERMOGRAMAS

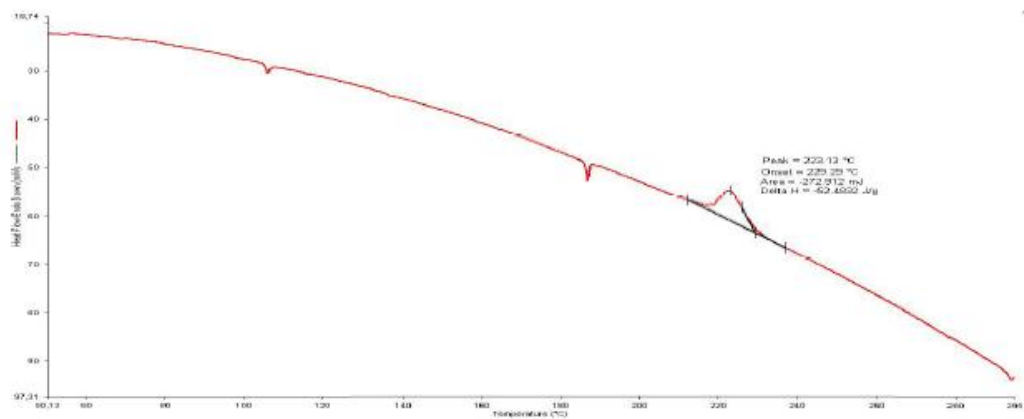
A 218 V30



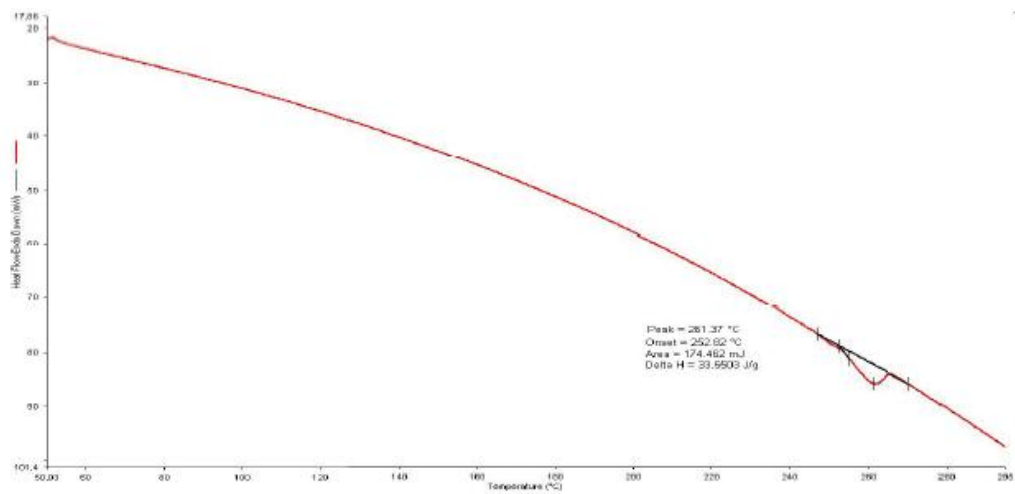
A 218 V30



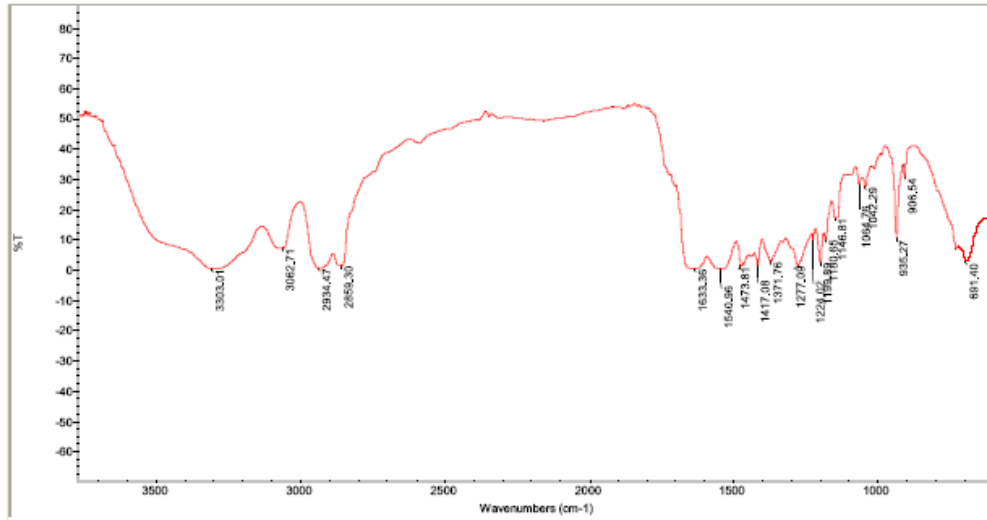
A 216 V30



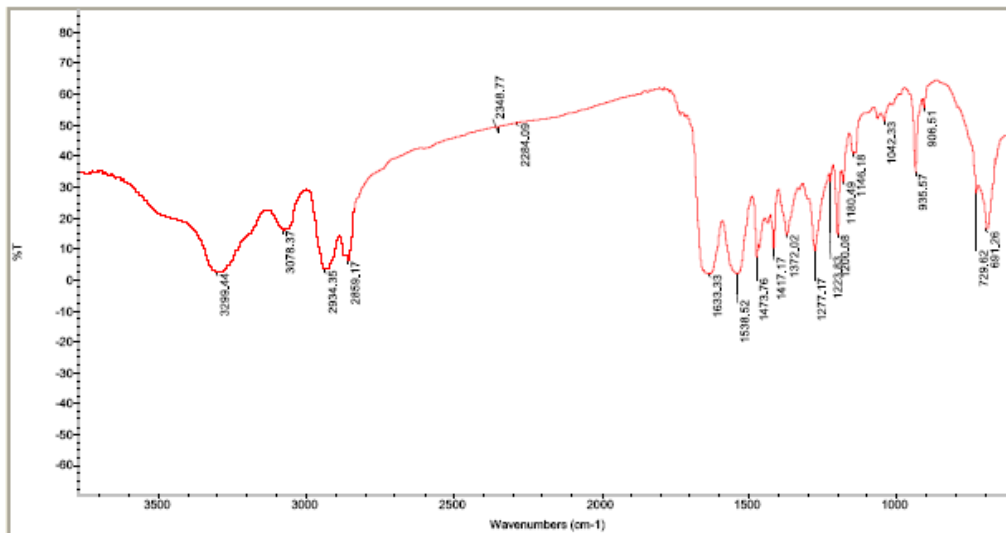
A 216 V30



A 218 V30



A 216 V30



Aluminum A384.0-F Die Casting Alloy

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Aluminum Alloy](#); [Aluminum Casting Alloy](#)

Material Notes: Composition Notes:
Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminium A384.0-F; UNS A13840; AAA384.0-F Die

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.768 g/cc	0.1000 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	85	85	500 kg load, 10 mm ball
Hardness, Knoop	109	109	Estimated from Brinell Hardness.
Hardness, Rockwell A	37	37	Estimated from Brinell Hardness.
Hardness, Rockwell B	53	53	Estimated from Brinell Hardness.
Hardness, Vickers	96	96	Estimated from Brinell Hardness.
Tensile Strength, Ultimate	330 MPa	47900 psi	
Tensile Strength, Yield	165 MPa	23900 psi	0.2% offset
Elongation at Break	2.50 %	2.50 %	in 50 mm
Machinability	50 %	50 %	0-100 Scale (100=best)
Shear Strength	196 MPa	28700 psi	Calculated
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.00000750 ohm-cm	0.00000750 ohm-cm	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Heat of Fusion	389 J/g	167 BTU/lb	Typical for cast aluminum
CTE, linear 	20.7 µm/m-°C	11.5 µin/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 100 °C	@Temperature 68.0 - 212 °F	
	22.1 µm/m-°C	12.3 µin/in-°F	
	@Temperature 20.0 - 300 °C	@Temperature 68.0 - 572 °F	
Specific Heat Capacity	0.963 J/g-°C	0.230 BTU/lb-°F	Typical for cast aluminum
Thermal Conductivity	96.0 W/m-K	666 BTU-in/hr-ft ² -°F	
Melting Point	516 - 582 °C	961 - 1080 °F	
Solidus	516 °C	961 °F	
Liquidus	582 °C	1080 °F	
Processing Properties	Metric	English	Comments
Annealing Temperature	177 - 260 °C	350 - 500 °F	Stress-relief anneal; hold at temperature 4 - 6 hrs; cool in still air
	260 - 371 °C	500 - 700 °F	for increased ductility; hold at temperature 4 - 6 hrs; furnace cool or cool in still air
Casting Temperature	616 - 699 °C	1140 - 1290 °F	Die Casting
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Aluminum, Al	79.3 - 86.5 %	79.3 - 86.5 %	As remainder
Copper, Cu	3.0 - 4.50 %	3.0 - 4.50 %	
Iron, Fe	<= 1.30 %	<= 1.30 %	
Magnesium, Mg	<= 0.10 %	<= 0.10 %	
Manganese, Mn	<= 0.50 %	<= 0.50 %	
Nickel, Ni	<= 0.50 %	<= 0.50 %	
Other, total	<= 0.50 %	<= 0.50 %	
Silicon, Si	10.5 - 12.0 %	10.5 - 12.0 %	
Tin, Sn	<= 0.35 %	<= 0.35 %	
Zinc, Zn	<= 1.0 %	<= 1.0 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Overview of materials for Acetal Copolymer, 30% Glass Fiber Reinforced

Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Acetal](#); [Acetal Copolymer, 30% Glass Fiber Reinforced](#)

Material Notes: This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Acetal Copolymer, 30% Glass Fiber Reinforced". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.35 - 1.72 g/cc	0.0488 - 0.0621 lb/in ³	Average value: 1.59 g/cc Grade Count:45
Filler Content	25.0 - 30.0 %	25.0 - 30.0 %	Average value: 27.8 % Grade Count:18
Water Absorption	0.140 - 0.900 %	0.140 - 0.900 %	Average value: 0.460 % Grade Count:26
Moisture Absorption at Equilibrium	0.150 - 0.800 %	0.150 - 0.800 %	Average value: 0.373 % Grade Count:3
Water Absorption at Saturation	0.900 %	0.900 %	Average value: 0.900 % Grade Count:3
Linear Mold Shrinkage	0.00100 - 0.0220 cm/cm	0.00100 - 0.0220 in/in	Average value: 0.00629 cm/cm Grade Count:35
Linear Mold Shrinkage, 6.35 mm section	0.00500 - 0.00600 cm/cm	0.00500 - 0.00600 in/in	Average value: 0.00517 cm/cm Grade Count:6
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.0100 - 0.0205 cm/cm	0.0100 - 0.0205 in/in	Average value: 0.0136 cm/cm Grade Count:11
Melt Flow	3.30 - 9.50 g/10 min	3.30 - 9.50 g/10 min	Average value: 5.56 g/10 min Grade Count:13

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell M	80.0 - 95.0	80.0 - 95.0	Average value: 86.1 Grade Count:10
Hardness, Rockwell R	85.0 - 112	85.0 - 112	Average value: 106 Grade Count:7
Ball Indentation Hardness	175 - 239 MPa	25400 - 34700 psi	Average value: 206 MPa Grade Count:8
Tensile Strength, Ultimate	59.0 - 147 MPa	8560 - 21300 psi	Average value: 110 MPa Grade Count:33
 Tensile Strength, Yield	45.0 - 173 MPa @Temperature -40.0 - 120 °C	6530 - 25100 psi @Temperature -40.0 - 248 °F	Average value: 82.0 MPa Grade Count:2
Flexural Yield Strength	89.6 - 275 MPa	13000 - 39900 psi	Average value: 166 MPa Grade Count:34
Izod Impact, Unnotched	2.67 - 6.94 J/cm	5.00 - 13.0 ft-lb/in	Average value: 4.97 J/cm Grade Count:13
Charpy Impact Unnotched	2.00 - 5.50 J/cm ²	9.52 - 26.2 ft-lb/in ²	Average value: 3.10 J/cm ² Grade Count:5
 Charpy Impact, Notched	1.80 - 6.00 J/cm ² @Temperature -40.0 - -20.0 °C	8.57 - 28.6 ft-lb/in ² @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 3.12 J/cm ² Grade Count:4
Charpy Impact, Notched	0.360 - 0.900 J/cm ²	1.71 - 4.28 ft-lb/in ²	Average value: 0.669 J/cm ² Grade Count:16
 Charpy Impact, Notched	0.800 - 0.900 J/cm ² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	3.81 - 4.28 ft-lb/in ² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 0.850 J/cm ² Grade Count:3
Tensile Creep Modulus, 1 hour	7500 - 11000 MPa	1.09e+6 - 1.60e+6 psi	Average value: 8730 MPa Grade Count:3
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	5400 - 7100 MPa	783000 - 1.03e+6 psi	Average value: 6100 MPa Grade Count:3
Izod Impact, Notched	0.392 - 9.00 J/cm	0.735 - 16.9 ft-lb/in	Average value: 1.32 J/cm Grade Count:30
Izod Impact, Notched (ISO)	5.20 - 7.50 kJ/m ²	2.47 - 3.57 ft-lb/in ²	Average value: 6.49 kJ/m ² Grade Count:7

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	10000 - 1.00e+15 ohm-cm	10000 - 1.00e+15 ohm-cm	Average value: 2.09e+14 ohm-cm Grade Count:22
Surface Resistance	1.00e+6 - 5.00e+16 ohm	1.00e+6 - 5.00e+16 ohm	Average value: 7.50e+15 ohm Grade Count:15
Dielectric Constant	4.00 - 4.50	4.00 - 4.50	Average value: 4.22 Grade Count:10
Dielectric Strength	18.0 - 43.0 kV/mm	457 - 1090 kV/in	Average value: 28.5 kV/mm Grade Count:17
Dissipation Factor	0.00200 - 0.00950	0.00200 - 0.00950	Average value: 0.00621 Grade Count:10
Comparative Tracking Index	600 V	600 V	Average value: 600 V Grade Count:7

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	19.8 - 90.0 µm/m-°C	11.0 - 50.0 µin/in-°F	Average value: 38.3 µm/m-°C Grade Count:9
CTE, linear, Transverse to Flow	80.0 - 110 µm/m-°C	44.4 - 61.1 µin/in-°F	Average value: 92.5 µm/m-°C Grade Count:4
Specific Heat Capacity	1.21 J/g-°C	0.289 BTU/lb-°F	Average value: 1.21 J/g-°C Grade Count:4
Melting Point	165 - 331 °C	329 - 626 °F	Average value: 181 °C Grade Count:15
Maximum Service Temperature, Air	100 - 140 °C	212 - 284 °F	Average value: 113 °C Grade Count:5
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	164 - 166 °C	327 - 331 °F	Average value: 165 °C Grade Count:21
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	118 - 165 °C	245 - 329 °F	Average value: 159 °C Grade Count:35

Vicat Softening Point	156 - 162 °C	313 - 324 °F	Average value: 159 °C Grade Count:10
Flammability, UL94	HB	HB	Grade Count:28

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	154 - 230 °C	310 - 446 °F	Average value: 198 °C Grade Count:25
Rear Barrel Temperature	165 - 190 °C	329 - 374 °F	Average value: 178 °C Grade Count:3
Middle Barrel Temperature	175 - 210 °C	347 - 410 °F	Average value: 195 °C Grade Count:3
Front Barrel Temperature	180 - 220 °C	356 - 428 °F	Average value: 203 °C Grade Count:3
Nozzle Temperature	180 - 220 °C	356 - 428 °F	Average value: 203 °C Grade Count:3
Mold Temperature	60.0 - 121 °C	140 - 250 °F	Average value: 93.2 °C Grade Count:24
Drying Temperature	80.0 - 121 °C	176 - 250 °F	Average value: 106 °C Grade Count:12
Dry Time	2.00 - 6.00 hour	2.00 - 6.00 hour	Average value: 2.79 hour Grade Count:12
Moisture Content	0.150 %	0.150 %	Average value: 0.150 % Grade Count:6
Dew Point	-31.7 °C	-25.0 °F	Average value: -31.7 °C Grade Count:6
Injection Pressure	39.2 - 138 MPa	5690 - 20000 psi	Average value: 87.0 MPa Grade Count:18

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Overview of materials for Nylon 6, 30% Glass Fiber Filled

Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Nylon](#); [Nylon 6](#); [Nylon 6, 30% Glass Fiber Filled](#)

Material Notes: This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Nylon 6, 30% Glass Fiber Filled". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Bulk Density	0.600 - 0.800 g/cc	0.0217 - 0.0289 lb/in³	Average value: 0.700 g/cc Grade Count:8
Density	1.14 - 1.67 g/cc	0.0410 - 0.0603 lb/in³	Average value: 1.36 g/cc Grade Count:378
Filler Content	25.0 - 35.0 %	25.0 - 35.0 %	Average value: 30.9 % Grade Count:82
Water Absorption	0.130 - 9.00 %	0.130 - 9.00 %	Average value: 3.09 % Grade Count:216
Moisture Absorption at Equilibrium	0.170 - 3.10 %	0.170 - 3.10 %	Average value: 1.78 % Grade Count:162
Water Absorption at Saturation	3.50 - 8.20 %	3.50 - 8.20 %	Average value: 6.17 % Grade Count:71
Viscosity	2.60 - 50.0 cP	2.60 - 50.0 cP	Average value: 9.37 cP Grade Count:7
Viscosity Measurement	50.0 - 145	50.0 - 145	Average value: 99.8 Grade Count:23
Viscosity Test	104 - 195 cm³/g	104 - 195 cm³/g	Average value: 143 cm³/g Grade Count:30
Linear Mold Shrinkage	0.000500 - 0.0190 cm/cm	0.000500 - 0.0190 in/in	Average value: 0.00378 cm/cm Grade Count:291
 Linear Mold Shrinkage	0.00180 - 0.00220 cm/cm @Temperature 270 - 280 °C	0.00180 - 0.00220 in/in @Temperature 518 - 536 °F	Average value: 0.00204 cm/cm Grade Count:8
	0.00180 - 0.00220 cm/cm @Pressure 50.0 - 60.0 MPa	0.00180 - 0.00220 in/in @Pressure 7250 - 8700 psi	Average value: 0.00204 cm/cm Grade Count:8
Linear Mold Shrinkage, 6.35 mm section	http://www.matweb.com/tools/unitconverter.aspx?fromID=148&fromValue=0.00180		Average value: 0.00489 cm/cm Grade Count:9
Linear Mold Shrinkage, Transverse			Average value: 0.00838 cm/cm Grade Count:100
 Linear Mold Shrinkage	0.00530 - 0.0105 cm/cm @Temperature 270 - 280 °C	0.00530 - 0.0105 in/in @Temperature 518 - 536 °F	Average value: 0.00750 cm/cm Grade Count:8
	0.00530 - 0.0105 cm/cm @Pressure 50.0 - 60.0 MPa	0.00530 - 0.0105 in/in @Pressure 7250 - 8700 psi	Average value: 0.00750 cm/cm Grade Count:8
Melt Flow	2.00 - 145 g/10 min	2.00 - 145 g/10 min	Average value: 34.4 g/10 min Grade Count:51
Ash	30.0 - 33.1 %	30.0 - 33.1 %	Average value: 31.5 % Grade Count:4
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell L	111 - 115	111 - 115	Average value: 113 Grade Count:10
Hardness, Rockwell M	94.0 - 100	94.0 - 100	Average value: 97.3 Grade Count:8
Hardness, Rockwell R	110 - 122	110 - 122	Average value: 120 Grade Count:56
Hardness, Shore D	76.0 - 83.0	76.0 - 83.0	Average value: 80.3 Grade Count:3
Ball Indentation Hardness	70.0 - 280 MPa	10200 - 40600 psi	Average value: 172 MPa Grade Count:43
Tensile Strength, Ultimate	47.0 - 203 MPa	6820 - 29500 psi	Average value: 142 MPa Grade Count:281
 Tensile Strength, Ultimate	43.0 - 283 MPa @Temperature -40.0 - 121 °C	6240 - 41000 psi @Temperature -40.0 - 250 °F	Average value: 124 MPa Grade Count:16
Tensile Strength, Yield	50.0 - 195 MPa	7250 - 28300 psi	Average value: 145 MPa Grade Count:101
 Tensile Strength, Yield	79.0 - 189 MPa @Temperature -40.0 - 120 °C	11500 - 27400 psi @Temperature -40.0 - 248 °F	Average value: 128 MPa Grade Count:3
Elongation at Break	1.00 - 28.0 %	1.00 - 28.0 %	Average value: 4.28 % Grade Count:317
 Elongation at Break	2.50 - 7.00 % @Temperature -40.0 - 121 °C	2.50 - 7.00 % @Temperature -40.0 - 250 °F	Average value: 5.21 % Grade Count:8
Elongation at Yield	2.00 - 9.70 %	2.00 - 9.70 %	Average value: 3.46 % Grade Count:69
 Elongation at Yield	2.60 - 9.20 % @Temperature -40.0 - 120 °C	2.60 - 9.20 % @Temperature -40.0 - 248 °F	Average value: 6.94 % Grade Count:3
Modulus of Elasticity	3.10 - 13.1 GPa	450 - 1900 ksi	Average value: 8.01 GPa Grade Count:247
 Modulus of Elasticity	2.66 - 11.6 GPa @Temperature -40.0 - 121 °C	386 - 1680 ksi @Temperature -40.0 - 250 °F	Average value: 6.31 GPa Grade Count:8
Flexural Modulus	0.724 - 11.7 GPa	105 - 1700 ksi	Average value: 7.53 GPa Grade Count:264
 Flexural Modulus	2.80 - 12.5 GPa @Temperature -40.0 - 121 °C	406 - 1810 ksi @Temperature -40.0 - 250 °F	Average value: 4.92 GPa Grade Count:13
Flexural Yield Strength	95.0 - 300 MPa	13800 - 43500 psi	Average value: 214 MPa Grade Count:233
 Flexural Yield Strength	89.0 - 380 MPa @Temperature -40.0 - 121 °C	12900 - 55100 psi @Temperature -40.0 - 250 °F	Average value: 186 MPa Grade Count:9
Compressive Yield Strength	140 - 222 MPa	20300 - 32200 psi	Average value: 166 MPa Grade Count:9
Poissons Ratio	0.350	0.350	Average value: 0.350 Grade Count:8
Shear Modulus	3.60 - 4.10 GPa	522 - 595 ksi	Average value: 3.77 GPa Grade Count:4
Izod Impact, Unnotched	6.41 - 1330 J/cm	12.0 - 2490 ft-lb/in	Average value: 84.3 J/cm Grade Count:31
Izod Impact, Unnotched (ISO)	60.0 - 100 kJ/m²	28.6 - 47.6 ft-lb/in²	Average value: 75.9 kJ/m² Grade Count:9

	40.0 - 90.0 kJ/m² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	19.0 - 42.8 ft-lb/in² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 62.9 kJ/m² Grade Count:7
Izod Impact, Notched, Low Temp (ISO)	3.00 - 9.50 kJ/m²	1.43 - 4.52 ft-lb/in²	Average value: 6.33 kJ/m² Grade Count:3
Charpy Impact Unnotched	2.30 J/cm² - NB	10.9 ft-lb/in² - NB	Average value: 7.35 J/cm² Grade Count:175
	2.00 J/cm² - NB @Temperature -40.0 - -20.0 °C	9.52 ft-lb/in² - NB @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 6.08 J/cm² Grade Count:112
	7.50 - 7.50 J/cm² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	35.7 - 35.7 ft-lb/in² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 6.08 J/cm² Grade Count:7
	7.50 - 7.50 J/cm² @Thickness 4.00 - 4.00 mm	35.7 - 35.7 ft-lb/in² @Thickness 0.157 - 0.157 in	Average value: 6.08 J/cm² Grade Count:7
Charpy Impact, Notched	0.200 - 4.50 J/cm²	0.952 - 21.4 ft-lb/in²	Average value: 1.51 J/cm² Grade Count:169
	0.150 - 19.0 J/cm² @Temperature -40.0 - -20.0 °C	0.714 - 90.4 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 1.26 J/cm² Grade Count:107
	0.900 - 0.900 J/cm² @Thickness 4.00 - 4.00 mm	4.28 - 4.28 ft-lb/in² @Thickness 0.157 - 0.157 in	Average value: 1.26 J/cm² Grade Count:6
	0.900 - 0.900 J/cm² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	4.28 - 4.28 ft-lb/in² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 1.26 J/cm² Grade Count:6
Puncture Energy	1.70 - 14.0 J	1.25 - 10.3 ft-lb	Average value: 4.41 J Grade Count:23
Tensile Creep Modulus, 1 hour	2400 - 92000 MPa	348000 - 1.33e+7 psi	Average value: 9650 MPa Grade Count:22
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	2000 - 5000 MPa	290000 - 725000 psi	Average value: 3730 MPa Grade Count:16
Izod Impact, Notched @ -40°C	0.400 - 2.35 J/cm	0.749 - 4.40 ft-lb/in	Average value: 1.08 J/cm Grade Count:4
Izod Impact, Notched	0.400 - 3.84 J/cm	0.749 - 7.20 ft-lb/in	Average value: 1.28 J/cm Grade Count:176
	0.700 - 1.39 J/cm @Temperature -40.0 - -40.0 °C	1.31 - 2.60 ft-lb/in @Temperature -40.0 - -40.0 °F	Average value: 0.998 J/cm Grade Count:11
Izod Impact, Notched, Low Temp	0.450 - 1.13 J/cm	0.843 - 2.12 ft-lb/in	Average value: 0.845 J/cm Grade Count:4
Izod Impact, Notched (ISO)	5.00 - 35.0 kJ/m²	2.38 - 16.7 ft-lb/in²	Average value: 14.8 kJ/m² Grade Count:74
	6.00 - 15.0 kJ/m² @Temperature -40.0 - -30.0 °C	2.86 - 7.14 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -22.0 °F	Average value: 10.0 kJ/m² Grade Count:15
	7.00 - 21.0 kJ/m² @Temperature -40.0 - -20.0 °C	3.33 - 9.99 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 10.0 kJ/m² Grade Count:14
	7.00 - 21.0 kJ/m² @Thickness 4.00 - 4.00 mm	3.33 - 9.99 ft-lb/in² @Thickness 0.157 - 0.157 in	Average value: 10.0 kJ/m² Grade Count:14
Thermal Properties			
		Metric	English
CTE, linear	0.200 - 82.0 µm/m-°C	0.111 - 45.6 µin/in-°F	Average value: 25.2 µm/m-°C Grade Count:132
	5.00 - 12.0 µm/m-°C @Temperature 55.0 - 160 °C	2.78 - 6.67 µin/in-°F @Temperature 131 - 320 °F	Average value: 10.3 µm/m-°C Grade Count:3
CTE, linear, Transverse to Flow	0.800 - 150 µm/m-°C	0.444 - 83.3 µin/in-°F	Average value: 89.9 µm/m-°C Grade Count:97
	110 - 125 µm/m-°C @Temperature 55.0 - 160 °C	61.1 - 69.4 µin/in-°F @Temperature 131 - 320 °F	Average value: 118 µm/m-°C Grade Count:3
Specific Heat Capacity	1.89 - 2.43 J/g-°C	0.452 - 0.582 BTU/lb-°F	Average value: 2.13 J/g-°C Grade Count:5
Thermal Conductivity	0.200 - 0.504 W/m-K	1.39 - 3.50 BTU-in/hr-ft²-°F	Average value: 0.346 W/m-K Grade Count:17
Melting Point	208 - 325 °C	406 - 617 °F	Average value: 222 °C Grade Count:255
Maximum Service Temperature, Air	65.0 - 250 °C	149 - 482 °F	Average value: 140 °C Grade Count:50
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	125 - 238 °C	257 - 460 °F	Average value: 215 °C Grade Count:198
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	54.0 - 280 °C	129 - 536 °F	Average value: 202 °C Grade Count:306
Deflection Temperature at 8.0 MPa	60.0 - 160 °C	140 - 320 °F	Average value: 112 °C Grade Count:40
Vicat Softening Point	183 - 222 °C	361 - 432 °F	Average value: 208 °C Grade Count:75
	205 - 210 °C @Temperature 120 - 120 °C	401 - 410 °F @Temperature 248 - 248 °F	Average value: 208 °C Grade Count:4
	205 - 210 °C @Load 0.999 - 5.00 kg	401 - 410 °F @Load 2.20 - 11.0 lb	Average value: 208 °C Grade Count:4
UL RTI, Electrical	65.0 - 140 °C	149 - 284 °F	Average value: 94.3 °C Grade Count:21
UL RTI, Mechanical with Impact	65.0 - 125 °C	149 - 257 °F	Average value: 87.4 °C Grade Count:21
UL RTI, Mechanical without Impact	65.0 - 150 °C	149 - 302 °F	Average value: 96.2 °C Grade Count:21
Flammability, UL94	HB - 5VA	HB - 5VA	Grade Count:210
Oxygen Index	21.0 - 33.0 %	21.0 - 33.0 %	Average value: 23.9 % Grade Count:42
Glow Wire Test	550 - 960 °C	1020 - 1760 °F	Average value: 783 °C Grade Count:38
Shrinkage 	0.0300 - 0.130 % @Temperature 120 - 120 °C	0.0300 - 0.130 % @Temperature 248 - 248 °F	Average value: 0.0760 % Grade Count:8

0.0300 - 0.130 % @Time 4.00 - 4.00 hour	0.0300 - 0.130 % @Time 4.00 - 4.00 hour	Average value: 0.0760 % Grade Count:8
--	--	---------------------------------------

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	60.0 - 340 °C	140 - 644 °F	Average value: 254 °C Grade Count:142
Feed Temperature	60.0 - 340 °C	140 - 644 °F	Average value: 264 °C Grade Count:27
Rear Barrel Temperature	138 - 345 °C	280 - 653 °F	Average value: 262 °C Grade Count:47
Middle Barrel Temperature	220 - 345 °C	428 - 653 °F	Average value: 270 °C Grade Count:51
Front Barrel Temperature	220 - 293 °C	428 - 560 °F	Average value: 258 °C Grade Count:30
Nozzle Temperature	210 - 340 °C	410 - 644 °F	Average value: 275 °C Grade Count:45
Mold Temperature	21.1 - 120 °C	70.0 - 248 °F	Average value: 82.2 °C Grade Count:130
Drying Temperature	71.0 - 130 °C	160 - 266 °F	Average value: 85.4 °C Grade Count:95
Dry Time	2.00 - 16.0 hour	2.00 - 16.0 hour	Average value: 5.56 hour Grade Count:67
 @Temperature 79.4 - 79.4 °C	2.00 - 4.00 hour	2.00 - 4.00 hour	Average value: 3.00 hour Grade Count:5
Moisture Content	0.0500 - 1.90 %	0.0500 - 1.90 %	Average value: 0.274 % Grade Count:33
Dew Point	-25.0 - -17.8 °C	-13.0 - 0.000 °F	Average value: -22.1 °C Grade Count:20
Injection Pressure	3.45 - 172 MPa	500 - 25000 psi	Average value: 70.8 MPa Grade Count:49
Hold Pressure	30.0 - 80.0 MPa	4350 - 11600 psi	Average value: 57.3 MPa Grade Count:20
Back Pressure	0.000 - 1.72 MPa	0.000 - 250 psi	Average value: 0.492 MPa Grade Count:20
Fill Speed	200 - 600 mm/sec	7.87 - 23.6 in/sec	Average value: 400 mm/sec Grade Count:3
Shot Size	30.0 - 80.0 %	30.0 - 80.0 %	Average value: 53.6 % Grade Count:7
Screw Speed	20.0 - 120 rpm	20.0 - 120 rpm	Average value: 68.0 rpm Grade Count:29

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Overview of materials for Polyphthalamide, 30% Glass Fiber Reinforced

Categories: [Polymer; Thermoplastic; Polyphthalamide \(PPA\); Polyphthalamide \(PPA\), 30% Glass Fiber Reinforced](#)

Material Notes: This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Polyphthalamide, 30% Glass Fiber Reinforced". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.33 - 1.80 g/cc	0.0480 - 0.0650 lb/in³	Average value: 1.51 g/cc Grade Count:77
Filler Content	25.0 - 45.0 %	25.0 - 45.0 %	Average value: 31.1 % Grade Count:41
Water Absorption	0.0200 - 5.00 %	0.0200 - 5.00 %	Average value: 0.354 % Grade Count:35
Moisture Absorption at Equilibrium	0.100 - 2.00 %	0.100 - 2.00 %	Average value: 1.31 % Grade Count:24
Water Absorption at Saturation	1.50 - 5.00 %	1.50 - 5.00 %	Average value: 3.30 % Grade Count:22
Linear Mold Shrinkage	0.000 - 0.00550 cm/cm	0.000 - 0.00550 in/in	Average value: 0.00284 cm/cm Grade Count:69
Linear Mold Shrinkage, 6.35 mm section	0.00300 - 0.00500 cm/cm	0.00300 - 0.00500 in/in	Average value: 0.00350 cm/cm Grade Count:4
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.00200 - 0.0130 cm/cm	0.00200 - 0.0130 in/in	Average value: 0.00765 cm/cm Grade Count:46
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	121 - 125	121 - 125	Average value: 125 Grade Count:16
Ball Indentation Hardness	225 - 280 MPa	32600 - 40600 psi	Average value: 251 MPa Grade Count:21
Tensile Strength, Ultimate	68.9 - 262 MPa	10000 - 38000 psi	Average value: 171 MPa Grade Count:76
 Tensile Strength, Ultimate	72.0 - 148 MPa @Temperature 100 - 175 °C	10400 - 21500 psi @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 99.6 MPa Grade Count:3
Tensile Strength, Yield	178 - 225 MPa	25800 - 32600 psi	Average value: 193 MPa Grade Count:8
 Tensile Strength, Yield	63.4 - 134 MPa @Temperature 100 - 175 °C	9200 - 19400 psi @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 91.9 MPa Grade Count:4
Elongation at Break	1.00 - 3.50 %	1.00 - 3.50 %	Average value: 2.00 % Grade Count:78
 Elongation at Break	2.20 - 8.70 % @Temperature 100 - 175 °C	2.20 - 8.70 % @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 4.61 % Grade Count:6
Modulus of Elasticity	7.58 - 25.5 GPa	1100 - 3700 ksi	Average value: 12.1 GPa Grade Count:74
 Modulus of Elasticity	4.30 - 10.8 GPa @Temperature 100 - 175 °C	624 - 1570 ksi @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 6.96 GPa Grade Count:7
Flexural Modulus	7.52 - 17.2 GPa	1090 - 2500 ksi	Average value: 11.2 GPa Grade Count:61
 Flexural Modulus	3.60 - 9.80 GPa @Temperature 100 - 175 °C	522 - 1420 ksi @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 6.07 GPa Grade Count:7
Flexural Yield Strength	103 - 365 MPa	15000 - 53000 psi	Average value: 252 MPa Grade Count:58
 Flexural Yield Strength	80.0 - 227 MPa @Temperature 100 - 175 °C	11600 - 32900 psi @Temperature 212 - 347 °F	Average value: 132 MPa Grade Count:7
Compressive Yield Strength	145 - 276 MPa	21000 - 40000 psi	Average value: 187 MPa Grade Count:10
Poissons Ratio	0.370 - 0.410	0.370 - 0.410	Average value: 0.405 Grade Count:8
Shear Strength	62.1 - 101 MPa	9010 - 14600 psi	Average value: 84.3 MPa Grade Count:13
Izod Impact, Unnotched	1.60 - 13.9 J/cm	3.00 - 26.0 ft-lb/in	Average value: 6.29 J/cm Grade Count:34
Izod Impact, Unnotched (ISO)	40.0 - 60.0 kJ/m²	19.0 - 28.6 ft-lb/in²	Average value: 50.0 kJ/m² Grade Count:3
Charpy Impact Unnotched	3.50 - 9.70 J/cm²	16.7 - 46.2 ft-lb/in²	Average value: 5.39 J/cm² Grade Count:32
 Charpy Impact Unnotched	3.50 - 6.50 J/cm² @Temperature -40.0 - -30.0 °C	16.7 - 30.9 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -22.0 °F	Average value: 4.36 J/cm² Grade Count:23
Charpy Impact, Notched	0.600 - 1.40 J/cm²	2.86 - 6.66 ft-lb/in²	Average value: 0.872 J/cm² Grade Count:38
 Charpy Impact, Notched	0.600 - 1.30 J/cm² @Temperature -40.0 - -30.0 °C	2.86 - 6.19 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -22.0 °F	Average value: 0.720 J/cm² Grade Count:24
Izod Impact, Notched	0.267 - 1.33 J/cm	0.500 - 2.49 ft-lb/in	Average value: 0.781 J/cm Grade Count:52
Izod Impact, Notched (ISO)	7.00 - 58.8 kJ/m²	3.33 - 28.0 ft-lb/in²	Average value: 19.8 kJ/m² Grade Count:16
 Izod Impact, Notched (ISO)	8.00 - 9.00 kJ/m² @Temperature -40.0 - -30.0 °C	3.81 - 4.28 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -22.0 °F	Average value: 8.43 kJ/m² Grade Count:2
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	1000 - 2.00e+16 ohm-cm	1000 - 2.00e+16 ohm-cm	Average value: 1.70e+15 ohm-cm Grade Count:51
Surface Resistance	1.00e+6 - 2.00e+16 ohm	1.00e+6 - 2.00e+16 ohm	Average value: 1.70e+15 ohm Grade Count:20
Dielectric Constant	3.40 - 5.50	3.40 - 5.50	Average value: 4.24 Grade Count:15
Dielectric Strength	19.0 - 42.0 kV/mm	483 - 1070 kV/in	Average value: 29.1 kV/mm Grade Count:39
Dissipation Factor	0.00400 - 0.0220	0.00400 - 0.0220	Average value: 0.0119 Grade Count:15
Arc Resistance	120 - 300 sec	120 - 300 sec	Average value: 187 sec Grade Count:6
Comparative Tracking Index	500 - 600 V	500 - 600 V	Average value: 578 V Grade Count:25
Hot Wire Ignition, HWI	60.0 - 150 sec	60.0 - 150 sec	Average value: 120 sec Grade Count:3
High Amp Arc Ignition, HAI	74.0 - 120 arcs	74.0 - 120 arcs	Average value: 105 arcs Grade Count:3
High Voltage Arc-Tracking Rate, HVTR	10.0 - 18.0 mm/min	0.394 - 0.709 in/min	Average value: 15.0 mm/min Grade Count:6

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	14.0 - 25.0 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$	7.78 - 13.9 $\mu\text{in/in}^\circ\text{F}$	Average value: 20.4 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ Grade Count:27
	7.00 - 27.0 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ @Temperature 55.0 - 250 $^\circ\text{C}$	3.89 - 15.0 $\mu\text{in/in}^\circ\text{F}$ @Temperature 131 - 482 $^\circ\text{F}$	Average value: 14.5 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ Grade Count:11
CTE, linear, Transverse to Flow	4.50 - 77.0 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$	2.50 - 42.8 $\mu\text{in/in}^\circ\text{F}$	Average value: 55.9 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ Grade Count:25
	65.0 - 150 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ @Temperature 55.0 - 250 $^\circ\text{C}$	36.1 - 83.3 $\mu\text{in/in}^\circ\text{F}$ @Temperature 131 - 482 $^\circ\text{F}$	Average value: 103 $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$ Grade Count:13
Melting Point	295 - 332 $^\circ\text{C}$	563 - 630 $^\circ\text{F}$	Average value: 314 $^\circ\text{C}$ Grade Count:46
Maximum Service Temperature, Air	140 - 250 $^\circ\text{C}$	284 - 482 $^\circ\text{F}$	Average value: 187 $^\circ\text{C}$ Grade Count:15
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	279 - 320 $^\circ\text{C}$	534 - 608 $^\circ\text{F}$	Average value: 303 $^\circ\text{C}$ Grade Count:8
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	235 - 310 $^\circ\text{C}$	455 - 590 $^\circ\text{F}$	Average value: 277 $^\circ\text{C}$ Grade Count:66
Deflection Temperature at 8.0 MPa	140 - 200 $^\circ\text{C}$	284 - 392 $^\circ\text{F}$	Average value: 170 $^\circ\text{C}$ Grade Count:12
Flammability, UL94	HB - 5VA	HB - 5VA	Grade Count:59
Glow Wire Test	775 - 960 $^\circ\text{C}$	1430 - 1760 $^\circ\text{F}$	Average value: 861 $^\circ\text{C}$ Grade Count:11

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	60.0 - 352 $^\circ\text{C}$	140 - 666 $^\circ\text{F}$	Average value: 314 $^\circ\text{C}$ Grade Count:74
Feed Temperature	79.4 - 340 $^\circ\text{C}$	175 - 644 $^\circ\text{F}$	Average value: 283 $^\circ\text{C}$ Grade Count:25
Rear Barrel Temperature	300 - 345 $^\circ\text{C}$	572 - 653 $^\circ\text{F}$	Average value: 321 $^\circ\text{C}$ Grade Count:39
Middle Barrel Temperature	300 - 345 $^\circ\text{C}$	572 - 653 $^\circ\text{F}$	Average value: 323 $^\circ\text{C}$ Grade Count:24
Front Barrel Temperature	316 - 339 $^\circ\text{C}$	601 - 642 $^\circ\text{F}$	Average value: 326 $^\circ\text{C}$ Grade Count:18
Nozzle Temperature	300 - 340 $^\circ\text{C}$	572 - 644 $^\circ\text{F}$	Average value: 321 $^\circ\text{C}$ Grade Count:21
Mold Temperature	65.6 - 170 $^\circ\text{C}$	150 - 338 $^\circ\text{F}$	Average value: 127 $^\circ\text{C}$ Grade Count:52
Drying Temperature	79.4 - 135 $^\circ\text{C}$	175 - 275 $^\circ\text{F}$	Average value: 101 $^\circ\text{C}$ Grade Count:39
Dry Time	4.00 - 12.0 hour	4.00 - 12.0 hour	Average value: 6.79 hour Grade Count:20
Moisture Content	0.0300 - 0.150 %	0.0300 - 0.150 %	Average value: 0.0703 % Grade Count:34
Dew Point	-40.0 - -28.9 $^\circ\text{C}$	-40.0 - -20.0 $^\circ\text{F}$	Average value: -32.7 $^\circ\text{C}$ Grade Count:16
Injection Pressure	68.9 - 124 MPa	10000 - 18000 psi	Average value: 91.1 MPa Grade Count:23
Hold Pressure	50.0 - 80.0 MPa	7250 - 11600 psi	Average value: 63.0 MPa Grade Count:21
Screw Speed	50.0 - 100 rpm	50.0 - 100 rpm	Average value: 75.0 rpm Grade Count:4

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.