

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

BRUNA NAGATSU DE TOLEDO

NATÁLIA DE JESUS ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS
UTILIZADOS EM COMPONENTES
AUTOMOTIVOS**

**Taubaté – SP
2018**

BRUNA NAGATSU DE TOLEDO

NATÁLIA DE JESUS ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS
UTILIZADOS EM COMPONENTES
AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Profa. Dra. Luiza de Castro
Folgueras

**Taubaté – SP
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

A663c Araujo, Natália de Jesus
Caracterização de materiais poliméricos utilizados em componentes
automotivos / Natália de Jesus Araujo; Bruna Nagatsu de Toledo. – 2018.
62 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Luiza de Castro Folgueras, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Caracterização de materiais. 2. Material compósito. 3. Polímero.
4. Sistema de lubrificação. I. Título. II. Toledo, Bruna Nagatsu de.
III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 624.1892

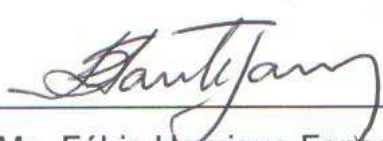
BRUNA NAGATSU DE TOLEDO

NATÁLIA DE JESUS ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS UTILIZADOS EM
COMPONENTES AUTOMOTIVOS**

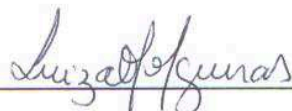
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM
ENGENHARIA MECANICA.**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. Luiza de Castro Folgueras
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Leandro Maia Nogueira
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Aos pais e amigos pelo imenso apoio e compreensão nos momentos difíceis;
e ainda, pela confiança ao nos indicar que para um futuro próspero deverá ser
construído com constante dedicação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter nos dado saúde e força para conseguirmos conquistar nossos objetivos acadêmicos e pessoais.

À Profa. Dra. Luiza de Castro Folgueras, pela orientação, paciência e dedicação ao passar os conhecimentos e ajudando no sucesso deste trabalho; e ainda, pela oportunidade de ter experiências em centros de pesquisa exterior à universidade.

Às empresas ALLTEC Indústria de Componentes em Materiais Compósitos, pelo apoio técnico e em especial à Dra. Liliana Burakowski, pelas análises técnicas.

À Plastic Omnium, por proporcionar o apoio técnico necessário à realização deste trabalho

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (ICT-Unifesp), pela oportunidade de utilização dos equipamentos laboratoriais, e pela participação no VI Simpósio de Ciência e Engenharia de Materiais (SiCEMat).

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), pelo apoio técnico.

À Universidade de Taubaté, por proporcionar o apoio acadêmico necessário à realização deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”
(Charles Chaplin)

RESUMO

Em um cenário em que a busca por novas tecnologias e materiais predominam no meio industrial, o setor automobilístico devido às exigências de componentes com formas complexas, passou a substituir materiais metálicos convencionais por plásticos. Obter automóveis com desempenho cada vez mais elevado é um desafio para as montadoras, pois além disto, busca-se maior segurança, confiabilidade e conforto. Atualmente, o automóvel dispõe, tipicamente, de um motor de combustão interna, de quatro tempos, propulsionado a gasolina, diesel ou álcool; mas este cenário vem migrando para outros tipos de plataformas de locomoção e os materiais vem sendo substituído dia a dia, como já acontece nos casos dos carros elétricos e autônomos que vem abrindo novos mercados. Assim, há uma grande variedade de materiais que estão assumindo a responsabilidade de melhorar o desenvolvimento dos veículos, dentre estes destaca-se os materiais poliméricos e os materiais compósitos. Estes materiais de engenharia passaram a ser essenciais nos automóveis, que visam superar os limites tecnológicos, além de obter proteção à corrosão e redução da massa total. Neste contexto, este trabalho apresenta a caracterização morfológica e térmica de materiais poliméricos, como a poliamida e o polipropileno e ainda, o material compósito de poliamida acrescido de fibra de vidro. Materiais estes utilizados no sistema de lubrificação das partes móveis do motor automotivo e também do sistema de arrefecimento. Os resultados experimentais mostraram que a poliamida, que compõe o material compósito do coletor de óleo, apresentou decomposição térmica iniciando em 397°C, com a finalização do processo próximo de 468 °C, totalizando uma perda de 65,8 % em massa, e que houve boa incorporação do polímero às fibras, não havendo falhas o que seria danoso para o sistema de lubrificação automotivo. Este estudo proporcionou adquirir conhecimento técnico com as análises de caracterização dos materiais poliméricos e também, na interpretação dos resultados, sendo isto, essencial na formação acadêmica de engenheiros.

Palavras-chave: Material compósito. Polímero. Caracterização de materiais. Sistema de lubrificação.

ABSTRACT

The development of new materials and technologies is a reality in all sectors of the modern industry. In this scenario, the automotive industry has made efforts to replace metallic components having complex geometries with plastic ones. The production of safer, more comfortable and reliable automobiles with improved performance has been a challenge for automakers. Currently, the vast majority of automobiles uses four-stroke internal combustion engines burning gasoline, diesel or alcohol; but there is a tendency to use different types of engines and novel modes of transportation. As a consequence, new materials have been used in, for instance, the construction of electric and autonomous cars. Thus, there is now a great variety of materials in use by the automotive industry which have contributed to improve the performance of new transportation vehicles. Among these materials, polymers and composite materials have attracted increasing interest. These engineering materials have become essential in the industry because they help overcome technological limitations, are corrosion-resistant and reduce the total mass of the vehicle. In this context, this study presents the morphological and thermal characterization of polymer-based materials such as polyamide and polypropylene, as well as polyamide composite reinforced with fiberglass. These materials are used in the lubrication system of the moving parts of the engine and also in its cooling system. The results of the experimental analyzes showed that the polyamide in the composite material used in the engine oil pan presented thermal decomposition beginning at 397°C and ending at around 468°C. There was a mass loss of 65.8%, and a good incorporation of the polymer to the fibers without failures that could damage the automotive lubrication system. The evaluation of these materials has helped increase the knowledge of several techniques for the characterization of polymer-based materials and interpretation of results, becoming an essential tool in the academic formation of engineers.

KEYWORDS: Composite material. Polymer. Material characterization, Automotive lubrication system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Otto	18
Figura 2 – Alguns componentes dos motores automotivos	20
Figura 3– Participação de outros materiais na indústria automotiva	25
Figura 4 – Participação de outros materiais na indústria automotiva	25
Figura 5 – Imagem representativa de <i>pellets</i> de diversos polímeros	27
Figura 6 – Fluxograma das etapas do trabalho	32
Figura 7 – Aspectos dos materiais poliméricos para caracterização: (a) PP virgem, (b) PA6.0 virgem e (c) PA6.6 FV30%.....	33
Figura 8 – Aspectos do coletor de óleo utilizado no setor automotivo: (a) vista superior, (b) vista inferior e (c) haste lateral com indicação do tipo de polímero da peça (PA6.6 FV30%).....	34
Figura 9 – Equipamento para obter índice de fluidez	35
Figura 10 – Microscópio eletrônico de varredura	36
Figura 11 – Equipamento para as análises termogravimétricas.....	37
Figura 12 – Equipamento para a análise por calorimetria exploratória diferencial	38
Figura 13 – Componentes do equipamento DSC: (a) panelinhas para a amostra, (b) suporte das amostras e (c) abertura do suporte das panelinhas.....	38
Figura 14 – Análise reológica para teste de fluidez para o polipropileno virgem: (a) as amostras após o processo de aquecimento e (b) a etapa de pesagem.	39
Figura 15 – Análise termogravimétrica do material polipropileno virgem	41
Figura 16 – Análise térmica por DSC do material polipropileno virgem	42
Figura 17 – Análise termogravimétrica do material poliamida virgem	43
Figura 18 – Análise térmica por DSC do material poliamida virgem	44
Figura 19 – Fotomicrografias por MEV do material compósito: (a) aspecto geral, (b) marcas do processo de fabricação, (c) aspecto das fibras de vidro e (d) ausência de aglomerados.....	45
Figura 20 – Análise termogravimétrica do material compósito	46
Figura 21 – Análise térmica por DSC do material compósito	47
Figura A.1.1 – Comportamento físico-mecânico de um polímero em função de sua massa molecular e das temperaturas de transição vítrea e de fusão	55
Figura A.1.2 – Variação do volume específico	57
Figura A.1.3 – Curva de aquecimento	60
Figura A.2.1 – Injetora plástica.....	622
Figura A.2.2 – Funcionamento da injetora plástica	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Polímeros utilizados na produção de alguns componentes nos automóveis.....	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABS	Copolímero de acrilonitrila butadieno estireno
ASA	Acrilonitrila de estireno acrílico
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
FV	Fibra de vidro
IF	Índice de fluidez
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PA	Poliamida
PBT	Poli(tereftalato de butileno)
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PMMA	Poli(metacrilato de metila)
POM	Poli(óxido de metileno); poliformaldeído
PP	Polipropileno
PPE	Poli(p-fenileno éter)
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
T _c	Temperatura de cristalização
T _g	Temperatura de transição vítrea
TGA	Análise termogravimétrica
T _m	Temperatura de fusão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo do trabalho	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Automóveis da atualidade	16
2.2 Evolução na concepção dos materiais	17
2.3 Motor de combustão interna de quatro tempos	18
2.3.1 Componentes de motores automotivos.....	19
2.3.2 Sistema de lubrificação dos motores automotivos	21
2.4 Materiais poliméricos	22
2.4.1 Polímeros na indústria automotiva	24
2.4.2 Polímeros de engenharia.....	26
2.5 Materiais compósitos	29
2.5.1 Fibra de vidro	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Materiais	32
3.2 Métodos	34
3.2.1 Ensaio reológico para obtenção de índice de fluidez	35
3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura	36
3.2.3 Análise termogravimétrica	37
3.2.4 Análise por calorimetria exploratória diferencial	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Caracterização do polímero PP virgem	39
4.1.1 Análise para teste de índice de fluidez	39
4.1.2 Análise termogravimétrica	40
4.1.3 Análise por calorimetria exploratória diferencial	41
4.2 Caracterização do polímero PA6.0 virgem.....	42
4.2.1 Análise termogravimétrica	43
4.2.2 Análise por calorimetria exploratória diferencial	44
4.3 Caracterização do polímero PA6.6 FV30%	44
4.3.1 Análise morfológica	45
4.3.2 Análise termogravimétrica	46
4.3.3 Análise por calorimetria exploratória diferencial	46
5 CONCLUSÃO	48
PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA GERADA DURANTE O TCC	49
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXO 1	54
Considerações sobre os polímeros.....	54
Comportamento físico-mecânico.....	54
Comportamento térmico	56
Teoria do volume livre	58
Calorimetria Exploratória Diferencial	58
ANEXO 2	61
Processo de moldagem por injeção	61

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística ao longo de vários anos vem substituindo os materiais considerados tradicionais pelo plástico. Porém, nas últimas décadas o ritmo dessa substituição aumentou devido às razões econômicas e tecnológicas. Atualmente, os plásticos correspondem a aproximadamente 50% do volume de um automóvel e menos de 10% do peso total. Assim, automóveis mais leves são mais eficientes energeticamente e, conseqüentemente, haverá menor consumo de combustível e emissão de poluentes na atmosfera.

Desde o primeiro polímero sintético produzido no mundo, uma ampla variedade de materiais poliméricos foram desenvolvidos com características diversas para atender às mais variadas aplicações, desta forma, técnicas experimentais sofisticadas foram desenvolvidas para caracterizar as tais estruturas.

A necessidade de se conhecer o comportamento dos polímeros sob influência de calor e o que os diferenciam para as diversas aplicações em engenharia, faz crescer o número de empresas que investem em novas tecnologias e laboratórios de caracterização de materiais. Baseado na demanda crescente por mão-de-obra especializada, se tornam relevantes adquirir e consolidar os conhecimentos relativos à área dos polímeros obtidas durante o período acadêmico.

A partir da utilização de técnicas consolidadas em centros de pesquisas de excelência, este estudo contribuiu na formação profissional das graduandas de engenharia, para que sejam absorvidas principalmente, pelos sistemas de produção que as inovações tecnológicas vêm apresentando ao mercado industrial.

1.1 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho foi caracterizar dois materiais poliméricos utilizados pelo setor automotivo, e ainda, o material compósito polimérico usado na fabricação do coletor de óleo, que compõe o sistema de lubrificação das partes móveis do motor.

Para isto, foram utilizadas quatro técnicas de análises comuns aos materiais poliméricos, visando compreender a influência dos resultados na seleção dos materiais para o sistema do motor automotivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há relatos que o surgimento dos motores de combustão teve raízes na invenção da arma de fogo, por conta da energia térmica da explosão se transformar em trabalho. Na segunda metade do século XVII, ocorreram as primeiras tentativas de desenvolver um motor, utilizando pólvora para poder movimentar o pistão dentro do cilindro. Na evolução do motor, Denis Papin, ajudante de Christian Huygens que havia imaginado o motor à pólvora, propôs o funcionamento da máquina a vapor e esta ideia evoluiu com Thomas Savery, Thomas Newcomen e James Watt.

A invenção da máquina a vapor levou à Revolução Industrial na segunda metade do Século XVIII, e em 1759, Henry Hood recomendou a utilização de ar quente ao invés de vapor, ideia essa, executada por George Caley em 1807. Os motores de Robert Stirling e o modelo de John Ericson de 1826 eram motores desenvolvidos a ar que trabalhavam por combustão externa, no qual o combustível era queimado fora dos cilindros. Esses motores por trabalharem com pressões superiores aos motores a vapor apresentavam um melhor rendimento (TILLMANN, 2013).

O primeiro motor com pistão foi desenvolvido por Jean Joseph Etienne Lenoir em 1860 e a combustão acontecia dos dois lados do pistão. Por meio das válvulas de admissão e exaustão ocorria o controle de entrada e saída dos gases. O funcionamento desse motor permitia ao gás e ao ar adentrar no pistão durante a primeira metade do seu deslocamento. A carga era queimada por meio de uma faísca, com a pressão aumentando os gases da combustão empurravam o pistão até o fim do curso. Quando ocorria a segunda batida do pistão, os gases de exaustão eram lançados, ao mesmo tempo que uma nova combustão acontecia do outro lado do pistão. O ciclo concluía somente após uma posterior batida do pistão, na fase de exaustão (BRUNETTI, 2012; TILLMANN, 2013).

O modelo de motor criado por Nicolaus Otto e Eugen Langen, em que foi apresentado pela primeira vez na Exposição Industrial de Paris em 1867, continha algumas características mais relevantes no desempenho. A ideia desse motor era o de “pistão livre”, sendo impulsionado pela explosão de gases no cilindro, assim o pistão estava conectado a um volante por meio de uma cremalheira e uma engrenagem. O volante com seu movimento produzia uma abertura e fechamento de

uma válvula de admissão e ignição, neste caso não havia compressão dos gases antes da combustão e a eficiência do motor era de 11% (BRUNETTI, 2012; TILLMANN, 2013).

Em 1862 Alphonse Beau de Rochas, baseando-se no princípio do “pistão livre”, desenvolveu um motor de quatro tempos (patente francesa). O modelo desse motor apresentou um desempenho fascinante, “devido às características que visavam diminuir as perdas de calor mantendo a energia nos gases de combustão, como, menor relação superfície/volume para o cilindro do pistão (cilindro com diâmetro na mesma ordem de grandeza que seu comprimento) e com um processo de expansão mais veloz”. A maior expansão e pressão no início do processo de expansão de gases dentro do cilindro visavam obter a máxima potência.

O alemão Nicolaus em 1876, apresentou um motor de quatro cilindros e comparado a outros da época, este era mais completo e leve, com aproximadamente 1/3 do peso do motor anterior e com eficiência de 14%, estes fatos fizeram que as mesmas características básicas desse modelo de motor sejam encontradas nos atuais motores

No ano de 1880, engenheiros desenvolveram o motor de dois tempos e possuía a vantagem de realizar uma potência em cada movimento do pistão. Esses modelos de motores eram menores e mais simples, sendo então, indicados para situações com baixa potência, apesar disto foi utilizado em máquinas de grande porte (TILLMANN, 2013).

Com o começo da exploração do petróleo por Drake em 1859, incentivou-se a utilização de combustíveis líquidos e passou ter necessidade de armazenamento do combustível, isto contribuiu de forma relevante no desenvolvimento de motores de combustão. O engenheiro alemão Rudolf Diesel, no ano de 1892, registrou uma patente de um motor e que leva seu nome, este motor é acionado por ignição seguida de compressão, o que até então, não existia centelha elétrica para inflamar a mistura. A melhor característica deste motor e que foi essencial para a popularização e produção foi a possibilidade do combustível ser injetado dentro de uma câmara de combustão que já continha o ar aquecido e pressurizado. Assim, os motores Diesel se mostraram ter excelente rendimento, mesmo com a necessidade de se ter um sistema complexo de injeção de alta pressão de combustível, problema que na década de 20 do século passado foi solucionado por Robert Bosch (BRUNETTI, 2012; STONE, 1999).

Embora já tenha se passado mais de 100 anos desde a invenção do motor a combustão, o desenvolvimento de novos motores é crescente pela necessidade de atender às novas tecnologias, como por exemplo, motores que emitam menos poluentes na atmosfera. Assim, as indústrias automobilísticas buscam constante melhora na qualidade e eficiência dos motores produzidos com mudanças importantes nos projetos (LOPES; FURLANI; SILVA, 2003).

2.1 Automóveis da atualidade

Os automóveis são os meios de transporte mais utilizado por conta da sua versatilidade, praticidade, e por ser um meio de transporte particular. A invenção dos automóveis causou grandes mudanças no mundo, tanto no quesito econômico como no quesito ambiental. Em questão econômica destacam-se as indústrias cada vez mais investindo em inovação, gerando empregabilidade, contribuindo com a mobilidade das pessoas. Já no quesito ambiental, por conta da poluição gerada pelas indústrias e automóveis se tem um investimento maior em estudos para que isso seja cada vez mais diminuído, e além de estudos existem leis (Projeto de Lei N.º 5.332-A, de 2013) para ajudar a reduzir a emissão de poluentes no ar. As montadoras vêm se preocupando cada vez mais em colocar produtos que atendam às exigências globais no mercado, e até mesmo alterando o tipo de material utilizado em um automóvel visa contribuir com a economia de combustível e consequentemente, na emissão de poluentes.

A produção em série de veículos, de certa forma, foi a inovação mais importante no século passado, mas esta indústria não para e a busca é contínua por inovações. Os atuais automóveis dispõem, tipicamente, de um motor de combustão interna, de quatro tempos, propulsado a gasolina, diesel ou álcool. No entanto, está previsto que em futuro próximo (~2050) não haverá automóveis com motor explosão (EL PAÍS, 2017). Neste cenário os automóveis vêm migrando para outras plataformas de locomoção e os materiais vem sendo substituído dia a dia, como é o caso de carros elétricos e autônomos que vem aumentando a produção e abrindo novos mercados (CORREIO BRASILIENSE, 2018).

A cada dia surgem máquinas e processos aperfeiçoados, capazes de gerar peças mais leves, sem deixar de atender as rigorosas especificações mecânicas e demais características necessárias para as diferentes aplicações no ramo

automobilístico. Os investimentos em estudos para a modificação da fabricação de um carro são altos, pois eles visam sempre a redução ou a troca de material para que o custo final do produto seja reduzido. Os veículos não são vistos hoje apenas como um meio de locomoção, mas sim como algo mais, isto é, o que torna a vida das pessoas de forma mais práticas e ainda, voltadas ao lazer. Assim, é adequado desenvolver um novo modelo com uma alta potência, mas sem deixar comprometer a segurança e o desempenho, aliado às necessidades mundiais quanto a preservação do meio ambiente.

2.2 Evolução na concepção dos materiais

No início da fabricação dos automóveis tinha-se uma visão de que um veículo seguro seria um veículo robusto, com aços fundidos e outros materiais pesados. Mas esse conceito se modificou com o tempo, devido à necessidade de se ter carros mais seguros, leves e eficientes, as montadoras estão fazendo a substituição dos aços convencionais por aços de alta resistência e até mesmo peças poliméricas, as quais podem ter uma alta resistência e grandes características de absorção ao impacto. A substituição desses aços vem sendo bem vista por conta de suas características como: as carrocerias podem ser feitas por metais de alta resistência sem alterar o seu modelo original, redução da massa do veículo por conta da diminuição da espessura das paredes das estruturas sem que a sua eficiência e resistência sejam comprometidas. Mesmo sendo substituído por materiais de alta tecnologia, o metal ainda é o componente mais abundante nos motores. O metal corresponde a mais da metade da massa de um veículo. Em média, um carro pode ter até 1.350 kg de aço. A estrutura dos automóveis é normalmente constituída por alumínio, magnésio e outros tipos de metais em uma quantidade inferior.

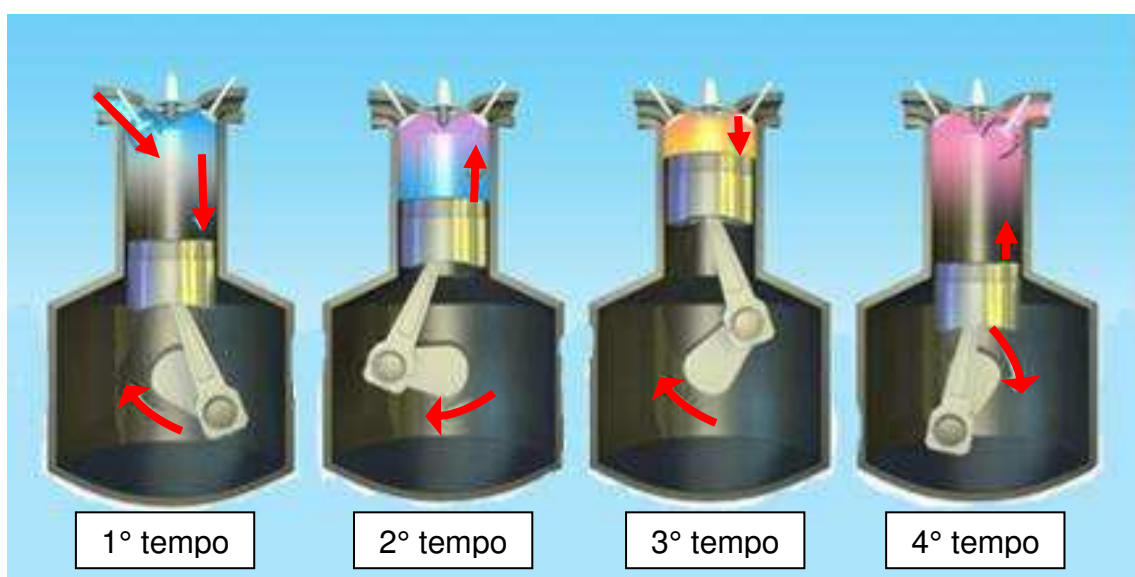
As montadoras hoje em dia têm a facilidade de desenvolver o aço de acordo com a necessidade, devido ao estudo das propriedades químicas e de tratamentos térmicos para que o metal esteja na forma ideal para a sua utilização, podendo ser mais rígido ou mais maleável para a melhor aderência de impacto em uma colisão, por exemplo. Além da mudança no tipo de material utilizado, é confeccionada nas indústrias a fusão do alumínio junto ao aço na mesma peça, mas ainda é um desafio que está sendo conquistado, pois o processo de solda desses tipos de materiais é diferente, assim, a solda entre eles é diferente. Apesar do custo elevado, as

empresas automobilísticas vêm utilizando materiais compósitos a base de fibra de vidro e carbono, pois aumenta muito a resistência mecânica, possui estabilidade térmica e massa específica menor que o metal alumínio. Assim, atualmente, a fabricação com este material é limitada às marcas mais caras, mas vem aparecendo de modo modesto em automóveis com menor custo. Pode-se citar, por exemplo, o Lamborghini Aventador que utiliza materiais compósitos na sua estrutura. Assim como ocorreu com o alumínio no passado, o desenvolvimento e a manipulação desses materiais com maior custo irão se tornar viável à medida que for possível explorá-lo adequadamente.

2.3 Motor de combustão interna de quatro tempos

O motor de combustão interna de quatro tempos mais utilizado no mundo é o movido com o combustível gasolina, também é conhecido como motor de explosão quatro tempos. Os termos “combustão” e “explosão” são usados para denominar o seu funcionamento que é “baseado no aproveitamento da energia liberada na reação de combustão de uma de uma mistura de ar e combustível” a qual ocorre no interior do cilindro do pistão (MUNDO DA EDUCAÇÃO, 2018). A Figura 1 apresenta as etapas de um motor tipo Otto.

Figura 1 - Ciclo Otto



Fonte: Adaptado de MUNDO DA EDUCAÇÃO, 2018

A primeira etapa também denominada de primeiro tempo chama-se Admissão. O pistão encontra-se na parte superior, chamado ponto morto superior. Nesta etapa, a válvula de admissão permite a entrada, na câmara de combustão, de uma mistura de ar e combustível. O pistão chega ao ponto morte inferior e a válvula de admissão se fecha, concluindo o primeiro tempo do ciclo. Esta é uma etapa isobárica, onde a pressão interna praticamente não varia, igualando-se a pressão atmosférica. A segunda etapa é a Compressão. Com as válvulas de admissão e escape fechadas, o pistão se move de forma a comprimir a mistura. Nesta etapa ocorre uma compressão adiabática e em seguida a máquina térmica recebe calor numa transformação isocórica. O pistão sobe e encontra-se no ponto morte superior, concluindo o segundo ciclo. A terceira etapa denomina-se Explosão ou Combustão. No término da compressão um dispositivo elétrico gera uma descarga elétrica (centelha) entre dois pontos da vela de ignição que ocasiona a explosão da mistura, aumentando bruscamente a pressão e a temperatura, assim impelindo o pistão para o ponto morto inferior. Este tempo é o único dentre os quatro tempos, que fornece energia mecânica ao motor. Por fim o último tempo, denominado Exaustão. Após a queima, alguns resíduos ficam no motor e precisam ser expelidos. Isso é feito quando o pistão sobe, a válvula de escape abre, e permite a exaustão do gás queimado na Explosão e seus resíduos. A exaustão isobárica leva a máquina ao próximo estado, onde ela perde calor e retorna ao seu estado inicial, reiniciando o ciclo.

2.3.1 Componentes de motores automotivos

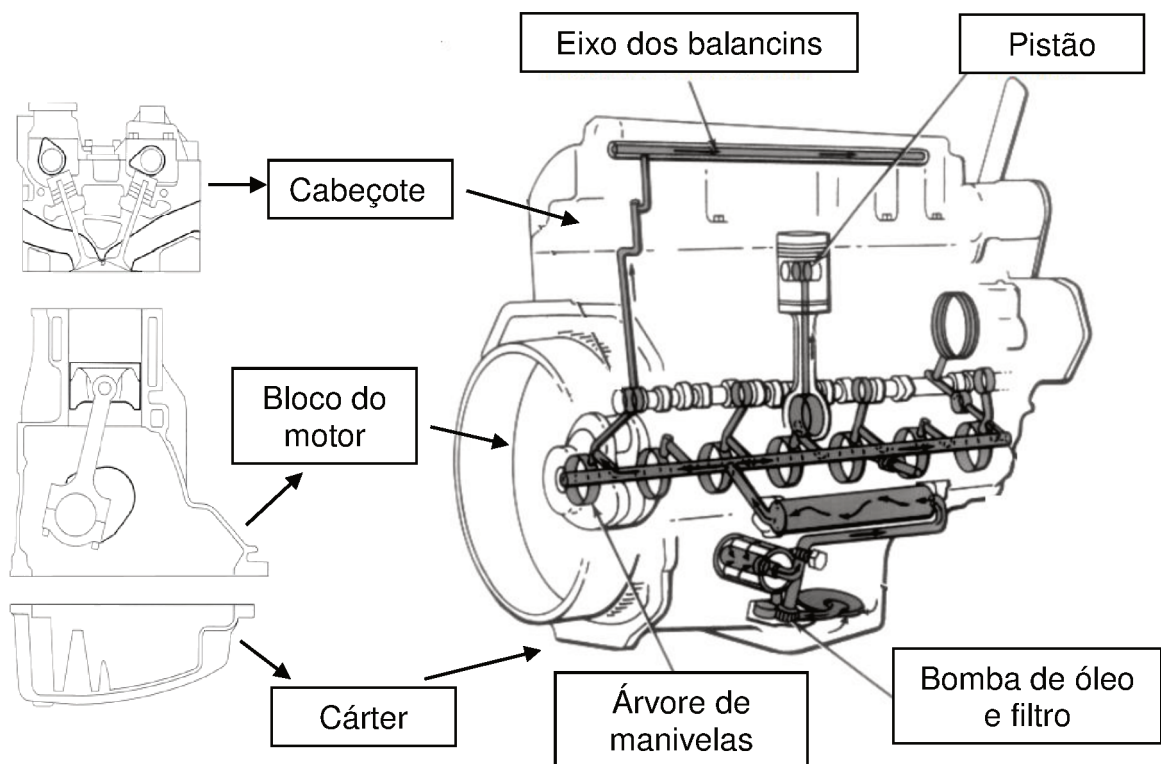
Os componentes de motores são peças auxiliares que operam em conjunto para o funcionamento do motor. Os componentes fundamentais são encarregados por prover as condições favoráveis para que o método de conversão da energia química dos combustíveis nos motores ocorra de forma efetiva e constante.

Os componentes fundamentais de um motor de combustão interna são divididos em duas categorias, os chamados componentes fixos e os componentes móveis. Os componentes fixos são: bloco do motor, cabeçote e cárter; dentre os diversos componentes móveis, podemos citar alguns em destaque como: pistão ou êmbolo, camisas, biela, árvore de manivelas ou virabrequim, válvulas de admissão,

válvulas de escape e árvore de comando de válvulas, guias e sede das válvulas, porcas, molas, bucha do balancim, parafuso regulador, mancais, tuchos, casquilhos ou bronzinas, compensadores de massa, volante e juntas (VARELLA, 2018).

Dentre os componentes fixos se destaca o bloco o qual é o suporte e contém os componentes interligados que constituem o motor (Figura 2), na produção se deve levar em consideração as condições tecnológicas que envolve os modelos dos motores: temperaturas elevadas, pressões de trabalho e as propriedades do material, como a dilatação e a contração (VARELLA, 2018).

Figura 2 – Alguns componentes dos motores automotivos



Fonte: Adaptado de VARELLA, 2018

A peça denominada cabeçote tem a finalidade de ser a tampa dos cilindros, contra a qual o pistão comprime a mistura ar combustível, suporta o conjunto de válvulas e em alguns casos também o eixo comando de válvulas. Nele ocorrem grandes pressões por causa do pistão que comprime a mistura, no caso do ciclo Otto, ou o ar, no caso dos motores de ciclo Diesel. A junção do bloco com o cabeçote, por causa da vedação total, demanda uma junta de amianto revestida de

metal. Os motores refrigerados a água utilizam cabeçotes de ferro fundido ou ligas de alumínio, quando se faz necessário de uma redução de peso ou melhorar a condução de calor, visto que impossibilitam o desenvolvimento de pontos quentes nas paredes internas do cabeçote. O cabeçote é uma das peças mais propensas a dificuldades no projeto de motores. Normalmente junta problemas estruturais, fluxo de calor e escoamento de fluido em uma forma complicada (VARELLA, 2018).

O cárter se localiza na parte inferior do bloco e cobre as peças inferiores do motor, e possui a função de armazenar o óleo lubrificante. O cárter é fabricado de ferro ou alumínio fundido. Compõe a parte essencial do bloco do motor que inclui o virabrequim e a bomba de óleo lubrificante. Os limites do cárter têm, normalmente, garras com a finalidade de fixação do motor. As paredes extremas e as divisórias internas sustentam os mancais do virabrequim. A junção do bloco com o cárter, por causa da necessidade de uma vedação total, requisita uma junta com material que dificulte vazamentos por causa do aquecimento e dilatação dos metais (VARELLA, 2018).

2.3.2 Sistema de lubrificação dos motores automotivos

Os motores são compostos por um sistema de lubrificação o qual tem a finalidade garantir que todas as peças dos componentes móveis funcionem em perfeito estado, pois caso não houvesse o sistema de lubrificação, as peças ao entrarem em contato umas com as outras, poderiam gerar um grande desgaste devido ao atrito e um superaquecimento, prejudicando assim o veículo.

O sistema de lubrificação assegura que as peças do sistema móvel trabalhem com um filme de óleo entre elas (atrito úmido), este ajuda a diminuir o atrito e conseqüentemente o desgaste. O sistema de lubrificação também ajuda no sistema de arrefecimento, retendo as partículas em suspensão no óleo e assim alcançando os canais de lubrificação sobre trabalho de força das peças, prevenindo a oxidação e a formação de carbonização.

Para que ocorra a circulação do óleo, o sistema precisa ser composto por alguns componentes, sendo que, cada um tem uma função específica, como controlar a pressão exercida no sistema e filtrar de modo que a lubrificação ocorra em todas as áreas onde ocorrem atritos.

Os componentes que fazem parte do sistema são: cárter, bomba de óleo, pescador de óleo ou coletor de óleo, filtro de óleo e interruptor de pressão de óleo. As funções dessas peças são (VARELLA, 2018):

a) A bomba de óleo está localizada no eixo central, onde movimenta as palhetas a qual dão impulso para o lubrificante até o sistema. A função da bomba de óleo é dar vazão ao óleo lubrificante para que este circule no sistema e lubrifique todos os componentes móveis do motor.

b) O pescador de óleo ou coletor é um componente que está conectado a bomba de óleo e vai até o cárter com a finalidade de colher o óleo que se encontra ali. Na extremidade do pescador há um filtro, denominado como peneira.

c) O interruptor de pressão de óleo é um componente que possibilita alertar o condutor, por meio de sinal de alerta, que ocorreu uma queda de pressão do óleo, que pode causar deficiência no sistema de lubrificação.

d) O cárter é um componente importante do motor que se localiza na parte inferior do motor. Sua função é manter um nível seguro de óleo para certificar a lubrificação de todo sistema de lubrificação e do motor.

e) O filtro de óleo lubrificante tem a função de eliminar as impurezas de partículas oriundas da combustão ou fragmentos de metal causados pelo atrito entre as peças móveis do motor.

2.4 Materiais poliméricos

A palavra “polímero” vem do grego poli, que significa “muitas” e meros, que significa “partes” e são macromoléculas (longas cadeias) formadas a partir de milhares de monômeros (uma parte), assim, são as matérias-primas na produção dos polímeros (ASHBY, 2007). Esse composto é utilizado há muitos anos pela sociedade não apenas com a função mecânica e sim em diversas áreas e na sua forma natural. Por exemplo: madeira, osso, cartilagem, couro e as que contêm e regulam as reações químicas como folhas, veias e células. Somente no século XXI que a sociedade aprendeu a fazer o seu próprio polímero (ASHBY, 2007). Devido às boas propriedades químicas, mecânicas e físicas permitem extensa variedade de arranjos, assim alguns são rígidos e frágeis, enquanto outros são flexíveis e exibem tanto deformações plásticas como também elásticas ao serem submetidos à tensão (CALLISTER, 2002).

Os polímeros naturais e sintéticos, os naturais são encontrados na natureza e não há nenhum tipo de tratamento sobre o composto, por exemplo: borracha (extraída da seringueira), celulose e a lignina (principais componentes da madeira e da palha), proteínas, queratina, polissacarídeos (celulose, encontrada no algodão), o amido (encontrado em vegetais e na forma de grãos das sementes e de raízes de várias plantas), entre outros. Por sua vez, os polímeros sintéticos começaram a ser desenvolvidos no século XIX e são aqueles que são produzidos através de reações de sintetização, por meio de matérias-primas que podem ser de fontes renováveis ou não renováveis. Os polímeros sintéticos podem ser classificados como polímeros de adição e de polímeros de condensação. Os de adição são os que as macromoléculas “soma” os monômeros, todos iguais entre si; os de condensação são aqueles que são obtidos através da reação de dois monômeros distintos e com a extinção de pequenas moléculas, em que há a eliminação de uma substância mais simples.

Existem muitos tipos de plásticos nas indústrias, dentre eles podemos dividi-los em duas classes: termoplásticos ou termorrígidos (também denominados como termofixos ou termoestáveis). Os polímeros termoplásticos são aqueles que amolecem e podem fluir quando aquecidos, e tem a capacidade de voltar a sua rigidez normal quando esfriam (temperatura ambiente), continuando assim com a forma que lhe foi imposta quando estava sob temperatura elevada. Esse ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetidos inúmeras vezes se o polímero for adequadamente produzido com estabilizantes. Esse ciclo é denominado de reciclagem, pois apesar de ter forma estabelecida (peça), ele pode ser novamente amolecido e resfriado. Alguns tipos de polímeros que são termoplásticos são: polietileno (PE), polipropileno (PP), cloreto de polivinila (PVC), entre outros.

Os polímeros termorrígidos não podem ser reprocessados ou amolecidos, e, quando são reaquecidos à temperatura elevada há o rompimento das ligações cruzadas (reticulações) em sua estrutura, este processo acaba por degradar o material. Porém, isto não significa que os termorrígidos não sejam reutilizados, eles podem ser adicionados em pequenas quantidades de cargas ou reforços em materiais termoplásticos. As formas com este tipo de polímeros são obtidas sob efeito de determinada temperatura e pressão, moldados e quando esfriam endurecem permanecendo como determinado pelo molde (ASHBY, 2007).

2.4.1 Polímeros na indústria automotiva

A grande busca por automóveis com um desempenho elevado é um desafio para as montadoras, pois ao mesmo tempo, os motoristas desejam também obter características, tais como: maior segurança, confiabilidade, conforto, eficiência de combustível, estilo, baixo custo e o impacto que o carro pode causar ao meio ambiente. Há uma grande variedade de materiais que estão assumindo a responsabilidade de melhorar o desenvolvimento dos veículos, dentre os quais se destaca o polímero (plástico), que devido às suas características específicas permite obter novas formas facilmente para atender às inovações tecnológicas do setor.

Os plásticos são materiais com características distintas como: são mais leves, versáteis, flexíveis e ainda permite atender as exigências dos engenheiros automotivos ao projetar um *design* contemporâneo. A multifuncionalidade do plástico viabiliza a forma mais avançada do veículo, sem deixar de comprometer as necessidades básicas. É por conta desses motivos que o plástico vem chamando a atenção dos *designers*, e acrescido ainda, do fator durabilidade que permite aumentar a média de vida de um carro para mais de 12 anos, por proporcionar proteção contra a corrosão metálica.

Na Tabela 1 pode-se observar os tipos de polímeros e a quantidade em massa utilizada de modo geral nos automóveis.

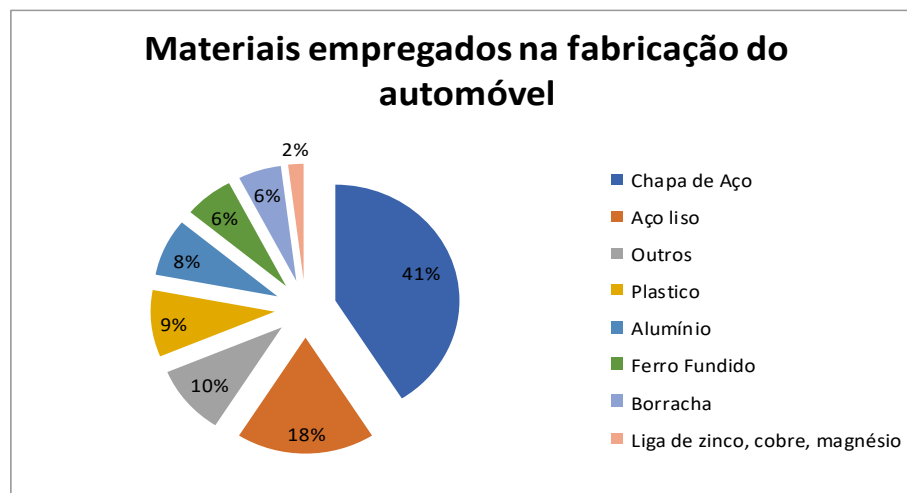
Tabela 1 – Polímeros utilizados na produção de alguns componentes nos automóveis.

COMPONENTE AUTOMOTIVO	PRINCIPAIS TIPOS DE POLÍMERO	PARTICIPAÇÃO NO AUTOMÓVEL (kg)
Para-choques	PP, ABS, PC	10,0
Assentos	PU, PP, PVC, ABS, PA	13,0
Painel de controle	PP, PA, ABS, PV, PC, PE	15,0
Sistema de combustível	PE, POM, PA, PP	7,0
Chassi	PP, PPE, PU	6,0
Interior do capô	PA, PP, PBT	9,0
Acabamento interior	PP, ABS, PET, POM, PVC	20,0
Componentes elétricos	PP, PE, PBT, PA, PVC	7,0
Componentes externos	ABS, PA, PBT, ASA, PP	4,0
Iluminação	PP, PC, ABS, PMMA, PU	5,0
Estofado	PVC, PU, PP, PE	8,0
Reservatórios em geral	PP, PE, PA	1,0
Total		105,0

Fonte: APME, 1999

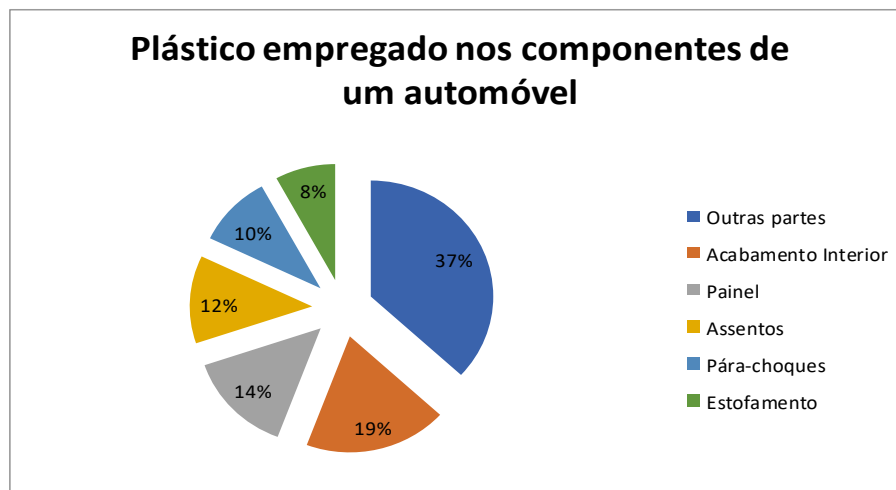
A indústria automobilística em 1997 utilizava próximo de 1,7 milhões de toneladas de plástico, o que representa 6% do consumo total. Então, comparando com o consumo atual com há 20 anos, houve aumento de 1.096.000 toneladas, ou seja, 114%, isso mostra um aumento médio de 30 kg por carro, para 70 kg a 100 kg. O aumento da utilização dos plásticos nos veículos ajuda a diminuir o peso final do veículo, assim aproximadamente 100 kg de plástico é capaz de substituir de 200 kg a 300 kg de materiais tradicionais utilizados em veículos. Além da diminuição do peso, os fabricantes conseguiram também diminuir o tempo e custo na hora da montagem dos veículos (APME, 1999). A Figura 3 e 4 apresentam a participação (em porcentagem) de diversos materiais na produção de um automóvel e nos componentes automotivos, respectivamente.

Figura 3– Participação de outros materiais na indústria automotiva



Fonte: APME, 1999

Figura 4 – Participação de outros materiais na indústria automotiva



Fonte: APME, 1999

Atualmente, as peças como para-choques, para-lamas e painéis são moldadas (injetadas) em apenas uma peça. Antigamente essas peças eram feitas com materiais tradicionais (metais) as quais precisavam que produzissem muitas partes para que fosse feita apenas uma peça final. A diversidade de polímeros que são utilizados em mais de 1000 partes variando em formas e tamanhos, desde painéis, peças do sistema de lubrificação das partes móveis do motor, peças para sistema de arrefecimento, tanque combustível até mesmo os grandes radiadores. Cada polímero pode ser adequado para atender a necessidade da área em que ele vai ser utilizado, como seguir as informações técnicas, segurança, meio ambiente e econômicas. Com a capacidade de resistência ao impacto, o plástico disponibiliza recursos de segurança necessárias, pois ele tem a característica de absorver o impacto quando há uma colisão (APME, 1999).

2.4.2 Polímeros de engenharia

A grande demanda por plásticos no mundo é devida suas características (resistentes, leves, versáteis e flexíveis) que permitem se ter liberdade no *design* de peças (formas) e conseqüentemente levando à importantes inovações tecnológicas (LOPES; FURLANI; SILVA; 2003). O desempenho da indústria de transformadores de plásticos em 2017 superou as expectativas da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) e registrou alta de 2,5% em relação a 2016. Só em dezembro de 2016, o crescimento foi de 3,7% em relação ao mês anterior (REVISTA NEWS, 2018). Neste contexto, um engenheiro automotivo solicita um determinado material que possa atender uma determinada estética de um produto final, com segurança, conforto e eficiência de combustível (APME, 1999).

A demanda da indústria automobilística contemporânea é desafiadora, pois aliado ao fato de se ter boas características mecânicas, há ainda o desafio de atender às exigências mundiais quanto aos itens impacto ambiental e sustentabilidade. Em debates na Europa a respeito do assunto, vem influenciando o *design* dos automóveis, desde as emissões que buscam se ter ar mais limpo até à gestão dos automóveis no final da sua vida útil. É um desafio para todos os intervenientes – legisladores, fabricantes e consumidores – assegurar que todas as atividades sejam realizadas em sinergia na unidade global para uma melhor segurança e proteção do ambiente.

Dentre o grande número de polímeros de engenharia utilizados pelas indústrias automobilísticas, destacam-se: o polipropileno (PP), a poliamida (PA) e o acrilonitrila butadieno estireno (ABS) (Figura 5).

Figura 5 – Imagem representativa de *pellets* de diversos polímeros



Fonte: Adaptado de REVISTA NEWS, 2018; PLASTICONLINE, 2018

O polipropileno é um dos compostos poliméricos mais baratos no mercado, já que permite ser sintetizado a partir de matérias-primas petroquímicas baratas. Este polímero permite ser utilizado em injetoras para obtenção de formas diversas, devido ao bom índice de fluidez (injeção a partir de 100 °C). Como tem a característica de ser um material atóxico, isto o torna ideal para uso em produtos do ramo alimentício e farmacêutico, mas também é muito utilizado em outras aplicações, como: utensílios domésticos, embalagens e utensílios laboratoriais. As boas propriedades mecânicas, resistência ao desgaste, resistência química elevada, boa flexão, dureza superficial e estabilidade dimensional permite que polímeros de alto desempenho sejam substituídos por polipropileno. Por atender diversas especificações de projeto e ter menor custo, faz com que a produção e comercialização do polímero bruto aumente muito no país. Outros nomes comerciais para o polipropileno são: Bexphane, Herculon, Meraklon, Moplen, Propathene, Poly-pro e Pro-faz (WILLIAN, 1996; HEMAIS, 20032).

As poliamidas ou nylon são termoplásticos processados por fusão, de forma que na cadeia principal ocorra a repetição amida (CONH), isto é, via síntese química com ácidos contendo duas carboxilas e diaminas. São plásticos estruturais que possuem boa capacidade de suportar cargas a temperaturas elevadas, além de

apresentarem boa tenacidade acompanhada de baixo coeficiente de atrito, também possuem elevada temperatura de deflexão (pelo calor). Sua elevada flexibilidade molecular é originada pela grande movimentação das cadeias principais de carbono. Tal característica é responsável pela baixa viscosidade do fundido, facilidade de processamento, lubrificação elevada, baixo atrito e boa resistência à abrasão. Contudo, as ligações de hidrogênio e sua polaridade, provocam no grupo amida uma elevada absorção de água, causando variações dimensionais de acordo com a absorção de água. Este composto polimérico é dividido em dois grupos de acordo com seus respectivos pontos de fusão. Poliamidas com elevado ponto de fusão (no máximo 260 °C), não permitem nenhum diluente, são trabalhados por processos térmicos, como moldagem, extrusão, e apresentam elevadas resistências mecânicas devido às ligações de hidrogênio entre suas cadeias moleculares, tornando-se possível ligações do tipo ponte de hidrogênio. A Poliamida com baixo ponto de fusão (no mínimo 175 °C), possuem propriedades mecânicas pouco inferiores às citadas anteriormente (WILLIAN, 1996; REMY; GAY; GONTHIER; 2002). A poliamida 6.6 é assim denominada devido à matéria-prima, a hexametilendiamina e o ácido adípico, conter cada 6 átomo de carbono; e a poliamida 6 é sintetizada a partir da coprolactama que também possui 6 átomos de carbono.

O processamento da poliamida é realizado por injeção, extrusão ou moldagem e sua aplicação estende-se a quase todos os setores industriais, como em engrenagens, peças anti-atritos não lubrificadas, componentes mecânicos para funcionamento a elevadas temperaturas, componentes elétricos e componentes que exigem resistência ao impacto e rigidez. A poliamida reforçada com fibra de vidro é utilizada em pás de ventiladores até mesmo turbinas eólicas, reservatórios de óleo em motores, revestimento de válvulas, e caixas de direção de motores. Na aplicação elétrica, nota-se a poliamida com fibra de vidro em isolamento de fios de ligação, suportes de antenas e terminais. A poliamida recebe nomes comerciais, como: Nylon, Durethan, Herox, Nomex, Ultramid e Zytel (CALLISTER, 2002).

Como exemplo de utilizações relativamente novas para as poliamidas, podemos apontar os coletores de admissão de gases, tampa de válvulas para motores de automóveis, coletores de óleo, etc. Aplicações onde principalmente a poliamida 6.6 substitui muito bem o metal e com vantagens, pois é leve, é isenta de trabalhos de usinagem ou rebarbação, concede uma superfície com índice inferior de rugosidade ao interior do coletor, reduzindo assim a perda de carga no fluxo de ar

resultando em uma alta produtividade de injeção. Na intenção de atender normas cada vez mais rígidas na questão da segurança, peças e componentes que tenham contato direto com fontes de calor e energia, os desenvolvedores de compostos termoplásticos utilizam aditivos que extinguem ou retardam a propagação de fogo. Atualmente, os mais aditivos mais usados são àqueles à base de halogênios (Bromo, Cloro) e Fósforo, que em geral são combinados em conjunto com óxidos, promovendo um efeito de coesão, melhorando o desempenho do aditivo. O uso desses aditivos pode comprometer algumas propriedades mecânicas, mas por outro lado, melhorando as propriedades térmicas. Para compensar a perda das propriedades mecânicas, combinam-se reforços à base de fibra de vidro (WIEBECK, HARADA, 2005).

O polímero derivado dos seguintes monômeros: acrilonitrila butadieno estireno, comumente denominado ABS, é conhecido por suas propriedades de engenharia que cada um dos monômeros formadores da macromolécula contribui nas propriedades. O monômero acrilonitrilo contribui para uma resistência química e ao calor e a tenacidade do material; o butadieno alavanca a resistência ao impacto e a retenção das propriedades à baixas temperaturas; e o estireno impacto no aspecto do brilho superficial, rigidez e a facilidade de processamento. Prós e contras interferem no processamento do ABS, como por exemplo, aumentando-se a resistência ao impacto na medida que se aumenta o teor de borracha conseqüentemente a resistência à tração e temperatura de deflexão decaem. Sua utilização vai desde tubagens e acessórios em construção civil a fabricação de peças de automóveis, componentes eletroeletrônicos e até dispositivos de proteção das interferências eletromagnéticas de radiofrequência. As principais características do ABS são excepcional resistência e tenacidade, ser resistente à distorção térmica, possuir boas propriedades elétricas, ser inflamável e solúvel em alguns solventes orgânicos. Este polímero recebe nomes comerciais, como: Abson, Cicolac, Kralastic, Lustran, Novodur e Tybrene. (WILLIAN, 1996; CALLISTER, 2002)

2.5 Materiais compósitos

Compósito é um material multifásico, criado artificialmente em oposição a um material que se forma naturalmente, que apresenta uma proporção considerável das fases distintas constituintes, obtendo uma melhor combinação dessas propriedades.

Grande parte dos materiais compósitos foram criados a fim de melhorar as combinações das características mecânicas, como tenacidade, rigidez e resistências às condições do ambiente e de temperaturas altas. Um compósito é constituído por duas fases distintas: a fase matriz e a fase reforço.

A fase matriz possui as seguintes funções de unir as fibras e transmitir-las uma carga aplicada externamente às fibras, proteger as fibras individuais contra danos em sua superfície e prevenir a propagação de trincas de fibra para fibra. Esta fase pode ser polimérica, metálica ou cerâmica, sendo a polimérica mais comumente usada devido à facilidade de processamento e apresentar baixo custo. As matrizes poliméricas são classificadas como resinas termoplásticas e resinas termorrígidas. As termoplásticas sofrem deformações devido ao aumento da temperatura e por esse motivo são amplamente usadas em processos de injeção plástica. Por outro lado, as resinas termorrígidas atingem um regime chamado de cura (endurecimento) quando aquecidas, causando uma reação irreversível. A cura é um fenômeno de interligação química de cadeias moleculares que formam moléculas maiores e mais complexas resultando em um material mais resistente.

A fase reforço tem a função de suportar os carregamentos transmitidos pela matriz e é constituído por fibras, podendo se apresentar na forma de fibra contínua ou fibra picada. A primeira, quando em forma de mantas ou fios, caracteriza-se por fornecer reforços apenas na direção em que estão dispostas, já na forma de tecidos ortogonais permitem reforços em duas direções. A segunda, em sua grande maioria, produz reforços aleatórios. É importante citar que o comprimento da fibra é importante, pois ele caracteriza a rigidez de um compósito reforçado. Isso acontece porque a rigidez do laminado depende diretamente da importância de tensão que a matriz consegue passar às fibras. Essa ocorrência de transmissão de carregamento é função do comprimento das fibras e da ligação da mesma à matriz (CALLISTER, 2002; TITA, 1999).

2.5.1 Fibra de vidro

A fibra de vidro (FV) é uma fibra sintética processada a partir do vidro estirado na forma de fibras. O vidro é utilizado como reforço em materiais compósitos por intermédio da aglutinação de filamentos extremamente finos e flexíveis, sendo facilmente estirado no aspecto de fibras de alta resistência (CALLISTER, 2002). É

um material vastamente aplicado como reforço na produção de compósitos com alta resistência específica, como também por ser inerte em ambientes corrosivos (FIORELLI, 2002).

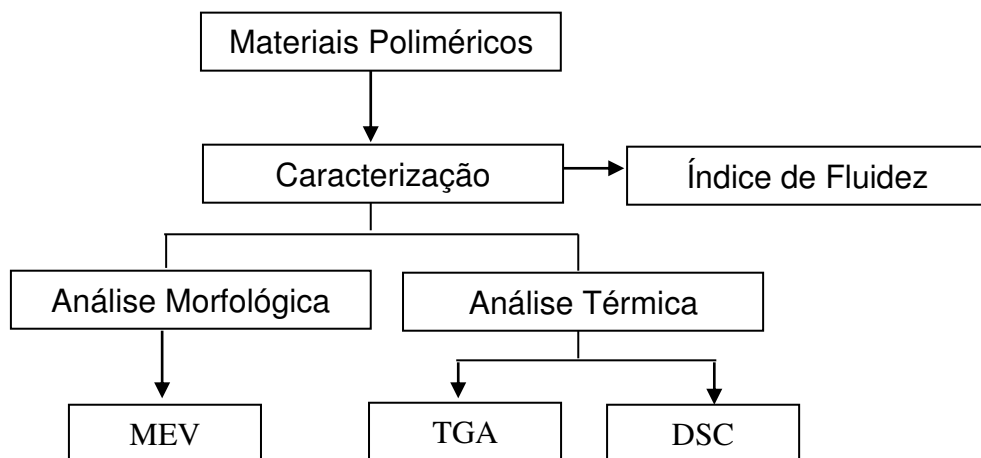
A fibra de vidro é formada a partir da sílica, a qual totaliza mais de 50% em peso e em forma de areia, é misturada a outros componentes como o calcário, a alumina, boratos, e demais componentes e estes são acondicionados ao forno de fusão, a uma temperatura aproximada de 1400°C, formando assim uma massa fundida. Logo após essa massa fundida flui para bandejas de platina altamente resistentes ao calor que possuem milhares de pequenos orifícios tubulares, assim a fibra é puxada verticalmente e reduzida a um diâmetro preciso e resfriada por água e ar para garantir o diâmetro, formando assim filamentos contínuos. Estes filamentos são tratados superficialmente e revestidos por uma mistura química à base de água com o objetivo de fornecer proteção e uma melhor adesão entre fibra e matriz. Enfim, os filamentos de vidro podem ser transformados em diferentes formas, como fios, mantas e tecidos. (OWENS-CORNING, 2005; KAW, 1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e as técnicas utilizadas na caracterização dos materiais poliméricos.

Para facilitar a compreensão do texto, a sequência das etapas que foram realizadas neste trabalho é apresentada esquematicamente como um fluxograma de execução, como mostra a Figura 6. Inicialmente, o trabalho experimental consistiu na preparação de amostras dos materiais a base de polímeros para uso automotivo e a sua conseqüente caracterização, assim, as análises mais comuns ao setor polimérico foram eleitas para desenvolver este trabalho de conclusão de curso.

Figura 6 – Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Próprio autor

3.1 Materiais

Para este trabalho foram utilizados materiais a base polimérica de uso automotivo, mais especificamente, alguns dos polímeros e materiais compósitos que são aplicados no sistema de arrefecimento e na lubrificação do motor; assim, são: o polipropileno, a poliamida e a poliamida aditada em 30% de fibra de vidro.

No sistema de arrefecimento do motor são utilizados peças com polipropilenos, mas para este trabalho foi utilizado o polímero polipropileno virgem,

isto é, sem aditivos ou cargas (neste trabalho foi denominado como PP virgem), da marca BRASKEM, adquirido no formato de *pellets* e do tipo H301, que possui índice de fluidez médio e é indicado para processos por injeção e extrusão de fibras para produção de peças.

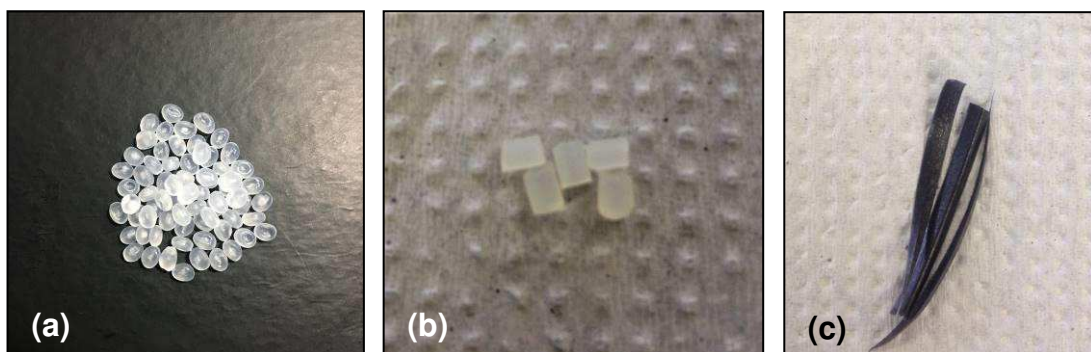
Visando adquirir aumentar conhecimento na área polimérica foi adquirido poliamida virgem, isto é, sem qualquer aditivo ou carga (neste trabalho foi denominado como PA6.0 virgem), da marca LIBOLON no formato de *pellets* e do tipo N400-3FO, utilizado para processar peças automotivas por possuir boas características mecânicas, resistência à óleos e químicas, e ainda excelente comportamento em baixas temperaturas.

No sistema de lubrificação do motor é utilizado uma peça que é denominada como coletor de óleo ou também como pescador de óleo; e se localiza ligada à bomba de óleo que fica no cárter do automóvel, especificamente, tem o objetivo de coletar o óleo que lubrifica as partes móveis do motor.

Para analisar o material polimérico da peça, um coletor de uso comercial foi adquirido para a execução do trabalho. O coletor foi fabricado usando a técnica moldagem por injeção a partir de um material compósito formado pelo polímero poliamida (PA6.6) que é um termoplástico e reforçado com 30% de fibras de vidro, e assim, foi denominado como PA6.6 FV30%.

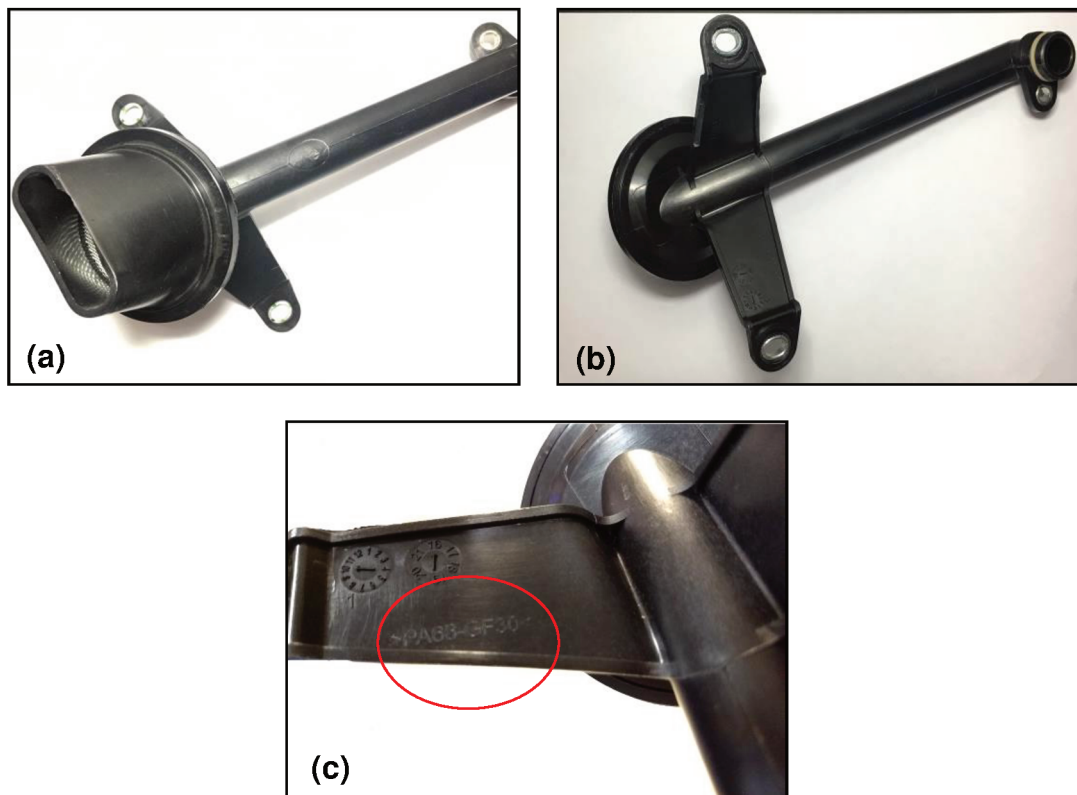
Os aspectos dos polímeros virgens fornecido pelo fabricante, o material (lascas) que foi removido para as análises do material compósito, e ainda, o coletor de óleo podem ser observados nas Figura 7 e 8, respectivamente.

Figura 7 – Aspectos dos materiais poliméricos para caracterização: (a) PP virgem, (b) PA6.0 virgem e (c) PA6.6 FV30%



Fonte: Próprio autor

Figura 8 – Aspectos do coletor de óleo utilizado no setor automotivo: (a) vista superior, (b) vista inferior e (c) haste lateral com indicação do tipo de polímero da peça (PA6.6 FV30%)



Fonte: Próprio autor

3.2 Métodos

Para a caracterização dos polímeros de uso automotivo foram realizadas análise morfológica, análises térmicas e análise reológica visando obter a índice de fluidez (IF).

Nem todas as análises não foram realizadas em todos os polímeros objetos de estudo neste trabalho, pois seria desnecessário ou inadequado. As análises térmicas foram realizadas nos dois polímeros e no material compósito.

Nas amostras de material compósito foi realizado a análise morfológica, pois é necessário avaliar a qualidade da ancoragem das fibras na matriz, por outro lado, esta técnica não justifica ser realizada com os polímeros virgens. Por sua vez, o índice de fluidez foi obtido para o polipropileno, mas não justifica realizar com a poliamida, que absorve muita umidade influencia negativamente nos resultados da análise.

Foram utilizados neste trabalho, os laboratórios e equipamentos disponíveis das empresas ALLTEC Indústria de Componentes em Materiais Compósitos (análise de calorimetria exploratória diferencial) e Plastic Omnium (ensaio de índice de fluidez), e ainda do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (análise por microscopia eletrônica de varredura) e da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (análise termogravimétrica).

3.2.1 Ensaio reológico para obtenção de índice de fluidez

As análises para obtenção do índice de fluidez visam controlar a viscosidade do polímero no estado fundido, para tal, foi utilizado um plastômetro de extrusão da marca Dynisco, modelo LMI 400 (Figura 9).

Para obter o IF do termoplástico PP virgem foi utilizado taxa de aquecimento de 10 °C/min e os *pellets* foram inseridos no interior do plastômetro, até atingir o limite da capacidade do equipamento (preenchimento completo do barril de extrusão). O equipamento foi programado para aquecer amostra até 230 °C e por 240 segundos (tempo de compactação), em seguida, foi usado a haste para pressionar o material e utilizado o peso de 2.060 gramas.

Figura 9 – Equipamento para obter índice de fluidez



Fonte: Próprio autor

3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

As amostras do material compósito PA6.6 FV30% foram analisadas quanto à morfologia, enfatizando a observação da ancoragem da fibra de vidro no polímero, pelo uso de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Figura 10). Esse equipamento possibilita obter imagens com grande profundidade de campo e alta resolução. Estas análises foram feitas em um microscópio computadorizado da marca FEI, modelo INSPECT S50, e as imagens foram obtidas com o auxílio de detector de elétrons secundários.

Figura 10 – Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Próprio autor

Os microscópios eletrônicos utilizam elétrons para a formação de imagens, sendo que comparada com o microscópio óptico tem uma melhor resolução nas imagens com uma menor distância entre dois pontos da amostra que podem ser visualizados como dois pontos diferentes na imagem. Os microscópios eletrônicos de varredura garantem uma visualização de alta resolução nos detalhes, o qual o feixe é produzido por emissão de campo, além também de poderem resolver detalhes de 1 nanômetro. O uso do microscópio eletrônico de varredura geralmente é voltado para estudo de estruturas superficiais ou subsuperficiais de amostras com dimensões consideravelmente grandes. As imagens obtidas conseguem ter uma alta profundidade de foco, ou seja, que se obtém diversos relevos da superfície da amostra simultaneamente em foco. As imagens são tridimensionais, sendo assim, facilitando a interpretação. O preparo das amostras e a obtenção das imagens são processos considerados simples (CANEVAROLO, 2004).

3.2.3 Análise termogravimétrica

As análises termogravimétricas (TGA) realizadas nos polímeros têm como objetivo avaliar as faixas de estabilidade térmica das diferentes amostras analisadas. Estas análises foram realizadas em equipamento da marca Netzsch, modelo Iris TG F1, com taxa de aquecimento 20 °C/min e sob atmosfera de nitrogênio como gás de arraste (fluxo de 20 mL/min) em faixa de temperatura entre 50 e 750 °C (Figura 11). As amostras foram pesadas (20-25 mg) e mantidas em isoterma a 40°C por 30 minutos, a fim de secar e de obter massa constante para o início da análise. Após este período de tempo, as amostras foram resfriadas até 30°C e em seguida foram aquecidas até 750 °C.

Figura 11 – Equipamento para as análises termogravimétricas

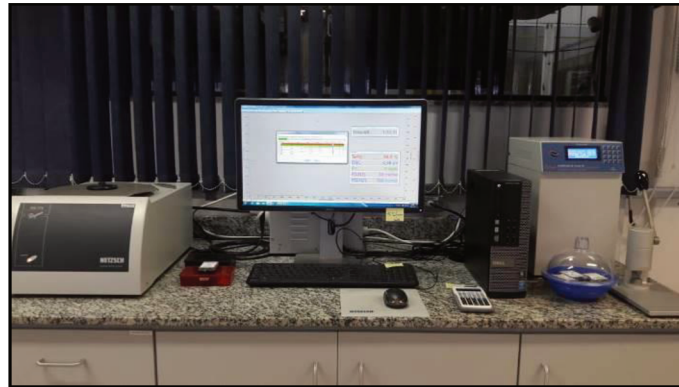


Fonte: NETZSCH, 2018

3.2.4 Análise por calorimetria exploratória diferencial

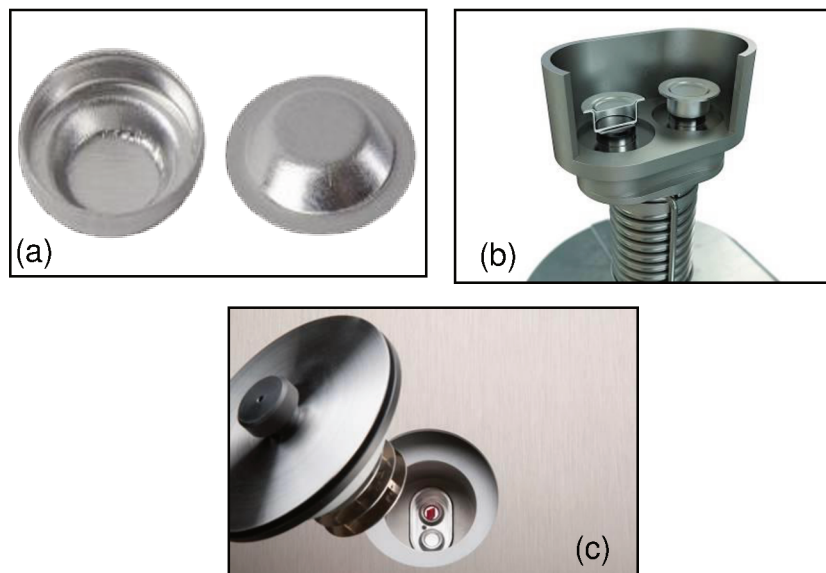
As análises por calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizadas com o objetivo de avaliar o comportamento do material polimérico nas temperaturas de transição vítrea (T_g), de cristalização (T_c) e de fusão (T_m). O equipamento utilizado foi um analisador térmico marca Netzsch, modelo Polyma 214. As amostras foram analisadas, sob atmosfera de nitrogênio com o fluxo 50 mL/min na amostra e 100 ml/min no ambiente e com massa de aproximadamente 15 mg. A razão de aquecimento utilizada para análise dinâmica (determinação da T_g) foi de 10°C/min. As temperaturas isotérmicas utilizadas para a análise dos materiais foram -50°C e 220°C, ambas a 5 minutos (Figura 12 e 13).

Figura 12 – Equipamento para a análise por calorimetria exploratória diferencial



Fonte: Próprio autor.

Figura 13 – Componentes do equipamento DSC: (a) panelinhas para a amostra, (b) suporte das amostras e (c) abertura do suporte das panelinhas



Fonte: NETZSCH, 2018

As amostras dos materiais foram preparadas para realizar a análise, evitando o contato com quaisquer outras superfícies, para que não houvesse contaminação. Os *pellets* de PP virgem e PA6.0 virgem foram cortados com uma tesoura adaptada e colocados na panelinha metálica (porta amostra). O PA6.6 FV30% foi retirado do coletor de óleo, com o auxílio de estilete e depositados diretamente na panelinha de análise. As panelinhas foram devidamente seladas e pesadas em balança analítica. Para a análise foi necessário obter em literatura as temperaturas vítrea e de fusão de cada material, segundo a norma ABNT.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e as discussões referentes aos materiais objeto de estudo neste trabalho.

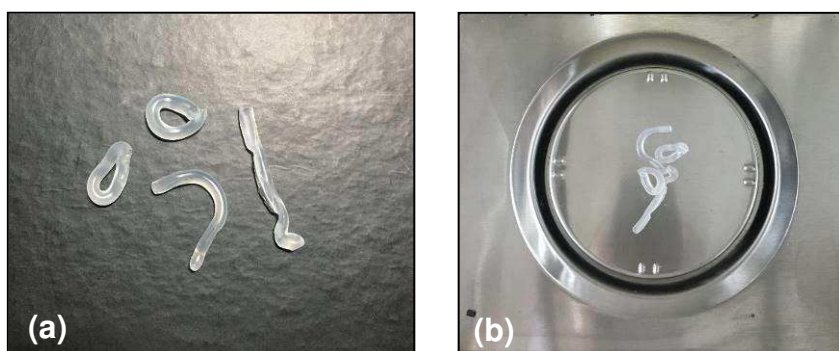
4.1 Caracterização do polímero PP virgem

Visando conhecer as características de comportamento do polipropileno virgem foram realizadas as análises: reológica para teste de índice de fluidez, a análise termogravimétrica e a calorimetria exploratória diferencial.

4.1.1 Análise para teste de índice de fluidez

Para o teste foram processadas 4 amostras e extraídas a cada 10 segundos, o equipamento por uso de software faz o cálculo do IF; assim, foi obtido para o PP virgem o valor de 10,737 g/10min e conforme o boletim técnico emitido pelo fornecedor, este material deve apresentar resultado na faixa de 9 a 11 g/10min. O material foi testado segundo norma certificadora ISO 1133, e os resultados foram reprodutíveis, indicando ausência de degradação térmica durante a análise. A Figura 14 apresenta o aspecto das 4 amostras obtidas após o processo de análise no plastômetro. Os resultados de IF são obtidos a partir da taxa de fluxo do fluído sob carga, e seu valor deve ser expresso, em quantidade de material extrusado em gramas, por 10 minutos.

Figura 14 – Análise reológica para teste de fluidez para o polipropileno virgem: (a) as amostras após o processo de aquecimento e (b) a etapa de pesagem.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados apresentaram concordância com dados fornecidos pelo fornecedor apesar deste índice poder ser influenciado por muitas variáveis. O índice de fluidez tem sido amplamente utilizado por indústrias para caracterizar o fluxo dos polímeros em seus processos, devido à simplicidade da análise. Com informações obtidas a partir do IF se pode avaliar a resistência de filmes ao rasgamento.

Quando fundido, o polímero apresenta certas distorções. O efeito da elasticidade durante o escoamento do polímero se manifesta em forma de distorções quando são empregadas pressões excessivas na sua injeção, como consequência de uma viscosidade muito elevada ou uma insuficiência de temperatura durante o processamento (MORAES; BOZZETTO; SANTANA, 2012; TIAN, YU, ZHOU, 2006).

A variação da viscosidade com a pressão é um fator importante no processamento dos polímeros, principalmente na moldagem por injeção, processo que estudaremos mais adiante. Do modo que a viscosidade depende das distâncias entre as macromoléculas também como a elevação da pressão diminui essa distância entre as macromoléculas, é previsto que um aumento de pressão também aumente a viscosidade. Normalmente o efeito do aumento da pressão possui equivalência com o efeito da diminuição da temperatura (BRETAS, D'ÁVILA, 2005).

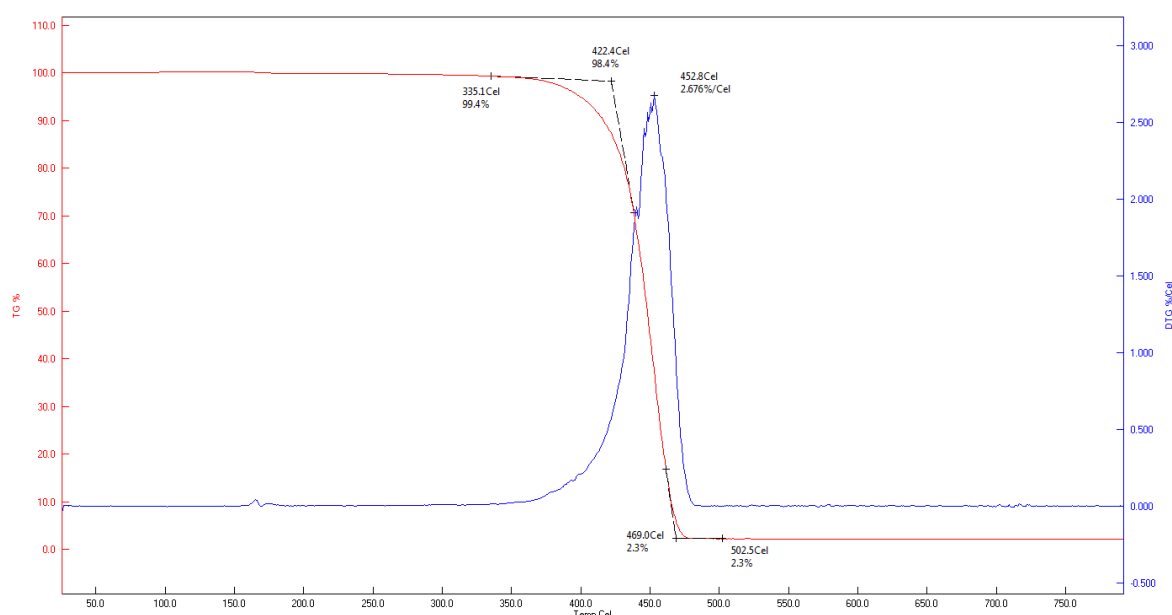
4.1.2 Análise termogravimétrica

A análise térmica compreende um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância é monitorada em função do tempo ou da temperatura, quando sob uma atmosfera específica, a temperatura da amostra é sujeita a uma programação controlada. No caso na análise termogravimétrica é avaliado a redução da massa do material ao ser aquecido em função do tempo. Esta técnica permite analisar o desempenho do material quando estiver em uso sob temperatura.

A Figura 15 apresenta as curvas obtidas na análise do PP virgem, sendo que os resultados mostraram que houve perda de 1,6 % da massa a partir de 335,1°C até 422,4°C, que corresponde à perda de água. A decomposição térmica iniciou em 422,4°C, com a finalização em 469,0°C, totalizando uma perda de 96,1 % em massa. O teor de resíduos em 502°C foi aproximadamente 2,3 %, o qual pode estar associado aos resíduos oriundos do processo de polimerização da formação do polímero. A perda de massa possui temperatura de degradação máxima em 452°C.

Pode-se observar a partir destes resultados que o PP virgem é um material estável quanto ao comportamento térmico, por isto indicado para ser utilizado no sistema de arrefecimento automotivo. Cada motor tem uma faixa ideal de temperatura para trabalhar, mas o ideal, em média, para o sistema de refrigeração é próximo de 92°C. Os aditivos adicionados à água do sistema de arrefecimento têm a função de evitar que aqueça acima de 100°C. Nota-se que na análise térmica feita com o tipo de polipropileno deste trabalho, que a degradação inicia em 335,1°C o que mostra ser adequado para o fim que se destina no automóvel.

Figura 15 – Análise termogravimétrica do material polipropileno virgem

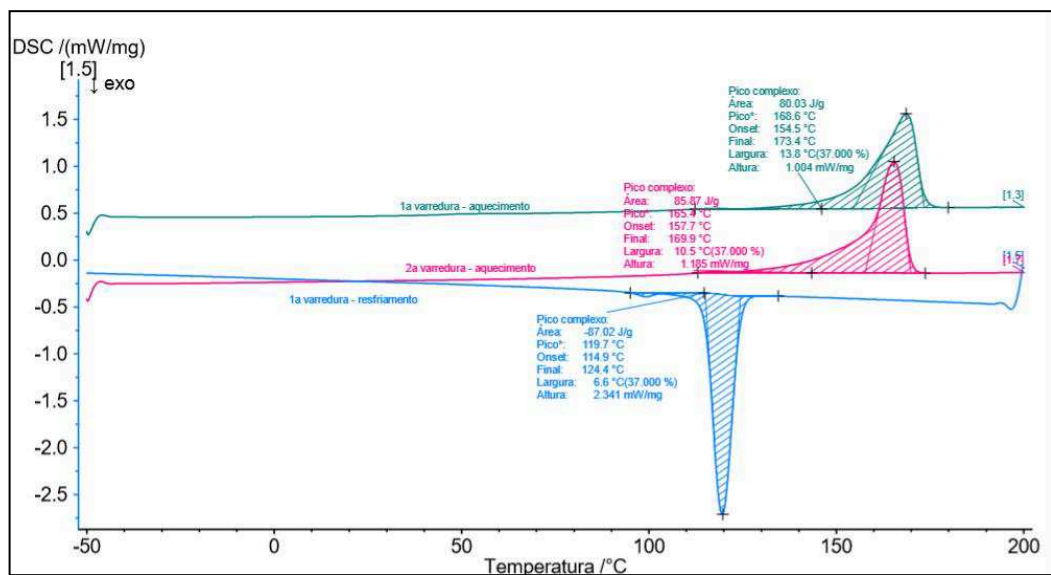


4.1.3 Análise por calorimetria exploratória diferencial

A Figura 16 apresenta as curvas de DSC para a caracterização da amostra PP 100%. A curva em verde (contém um pico voltado para cima) apresenta a 1ª varredura de aquecimento, realizada com o objetivo de destruir a história térmica do material, conforme recomendação da norma ASTM D3418-15, para materiais termoplásticos semicristalinos. Em seguida, uma varredura de resfriamento foi realizada (curva azul com pico para baixo), e apresentou um pico de cristalização do material em 119,7°C. Logo após, foi realizada uma nova varredura de aquecimento

(curva vermelha com pico para cima), para a obtenção da temperatura de fusão do polímero, que apresentou 165,4°C e entalpia de 85,87 J/g (obtido a partir da área sob o pico). O ensaio foi realizado a uma razão de aquecimento e resfriamento de 10°C/min. Estes resultados corroboram com os de TGA mostrando a necessidade de se adotar o polímero adequado para suportar as variações de temperatura do sistema de arrefecimento de um automóvel que idealmente não deve ultrapassar 100°C.

Figura 16 – Análise térmica por DSC do material polipropileno virgem



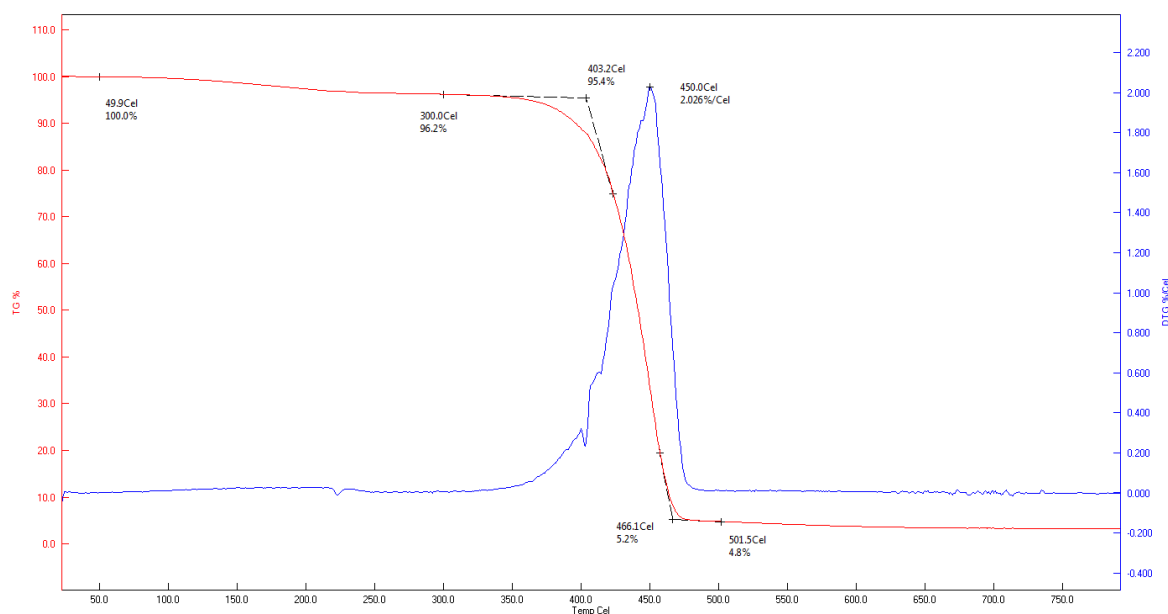
4.2 Caracterização do polímero PA6.0 virgem

Para este polímero, como mencionado no item 3.2 deste trabalho, as amostras de poliamida não foram submetidas à análise reológica para teste de índice de fluidez, devido à facilidade de absorção de água influenciando os resultados. As amostras de PA6.0 virgem foram submetidas às análises térmicas: termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial.

4.2.1 Análise termogravimétrica

Para a poliamida denominada neste trabalho como PA6.0 virgem, a Figura 17 apresenta as curvas obtidas na análise termogravimétrica, sendo que os resultados mostraram que houve perda de 4,6 % da massa a partir de 49,9°C até 403,2°C, que corresponde à perda de água, nota-se que sob a temperatura de 300,0°C já houve perda de 3,8%. A decomposição térmica iniciou em 403,2°C, com a finalização em 466,1°C, totalizando uma perda de 90,2 % em massa. O teor de resíduos em 501,5°C foi aproximadamente 2,0 %, o qual são associados aos resíduos oriundos do processo de polimerização da formação do polímero. A perda de massa possui temperatura de degradação máxima em 450°C. Pode-se ainda observar que o PA6.0 virgem é um material estável quanto ao comportamento térmico, mas com perda considerável de água no início do aquecimento, assim, iniciando o rompimento de cadeias moleculares em temperaturas inferiores a 100°C.

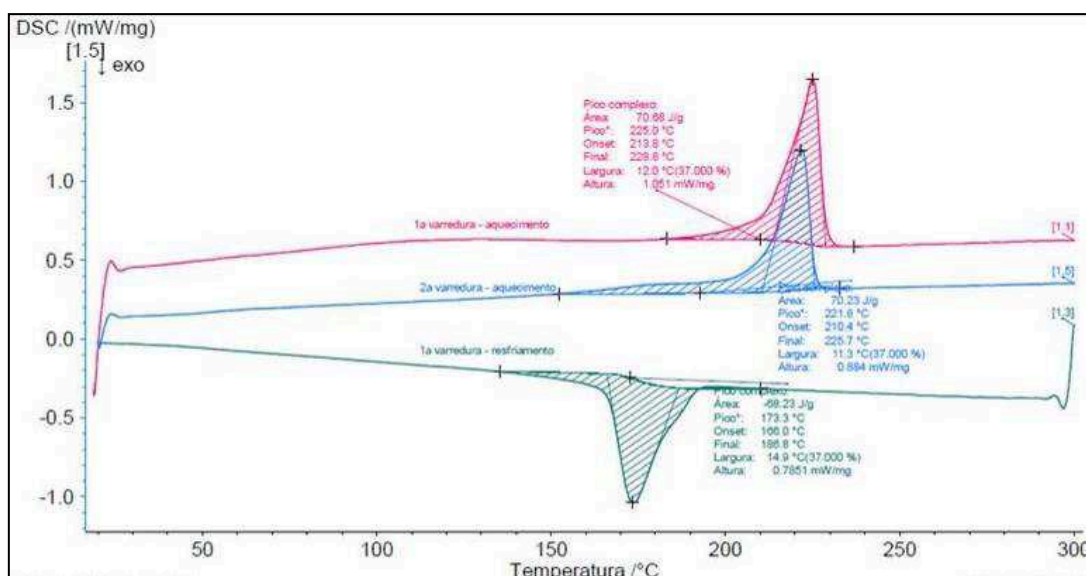
Figura 17 – Análise termogravimétrica do material poliamida virgem



4.2.2 Análise por calorimetria exploratória diferencial

As curvas obtidas na caracterização por DSC na amostra PA6.0 virgem é apresentada na Figura 18. A curva em vermelho (contém um pico voltado para cima) apresenta a 1ª varredura de aquecimento, realizada com o objetivo de destruir a história térmica do material, conforme recomendação da norma ASTM D3418-15, para materiais termoplásticos semicristalinos. Em seguida, uma varredura de resfriamento foi realizada (curva verde com pico para baixo), e apresentou um pico de cristalização do material em 173,3°C. Logo após, foi realizada uma nova varredura de aquecimento (curva azul com pico para cima), para a obtenção da temperatura de fusão do polímero, que apresentou 221,8°C e entalpia de 70,23 J/g. O ensaio foi realizado a uma razão de aquecimento e resfriamento de 10°C/min.

Figura 18 – Análise térmica por DSC do material poliamida virgem



4.3 Caracterização do polímero PA6.6 FV30%

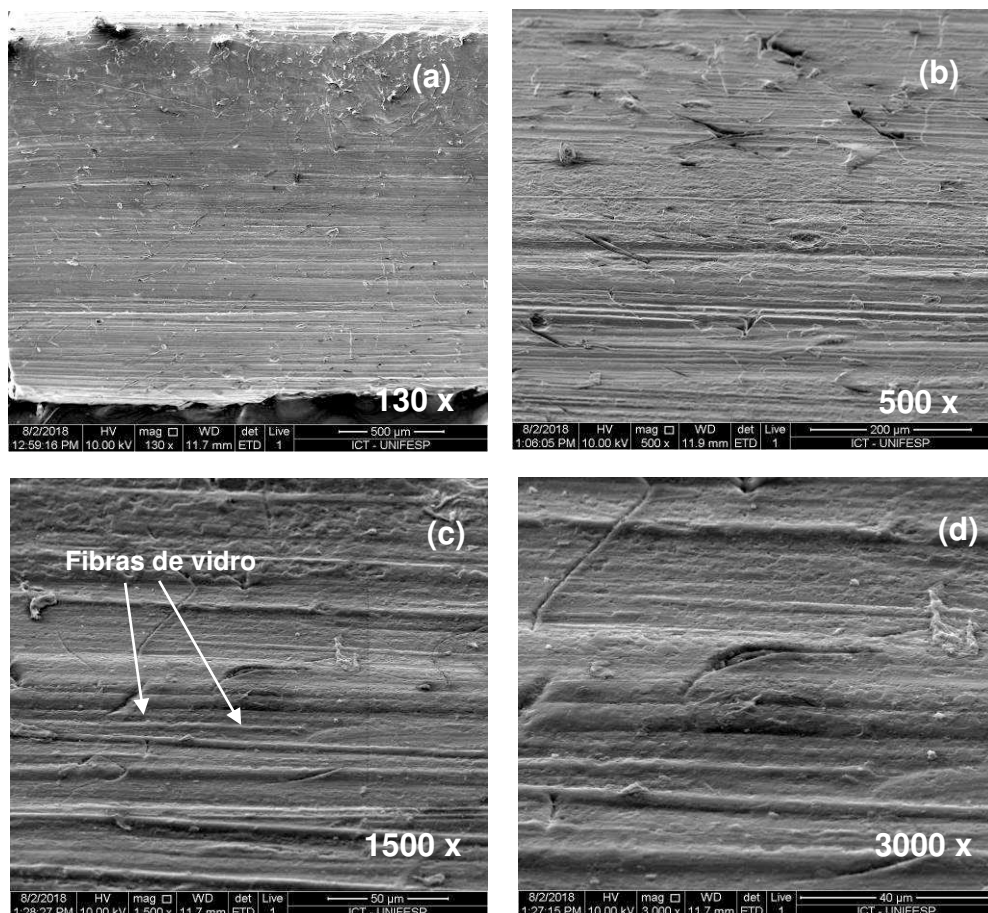
Para o material compósito formado por PA6.6 FV30% obtido do coletor e óleo, foi realizado a análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura e também as análises térmicas por TGA e DSC. Como mencionado no item 3.2 deste trabalho, as amostras com materiais a base de poliamida não foram submetidas à análise

reológica para teste de índice de fluidez, devido à facilidade de absorção de úmida influenciando os resultados.

4.3.1 Análise morfológica

A análise morfológica via MEV permitiu avaliar a ancoragem do reforço de fibra de vidro com a matriz polimérica de poliamida (Figura 19). Observou-se que na fabricação da peça (amostras retiradas do coletor de óleo) houve bom envolvimento (incorporação) das fibras pelo polímero, isto porque a poliamida tem caráter polar, e facilita a incorporação nas fibras de vidro, que possui na superfície grupos de silanos de caráter polar, então favorecendo para que não haja aglomerados.

Figura 19 – Fotomicrografias por MEV do material compósito: (a) aspecto geral, (b) marcas do processo de fabricação, (c) aspecto das fibras de vidro e (d) ausência de aglomerados

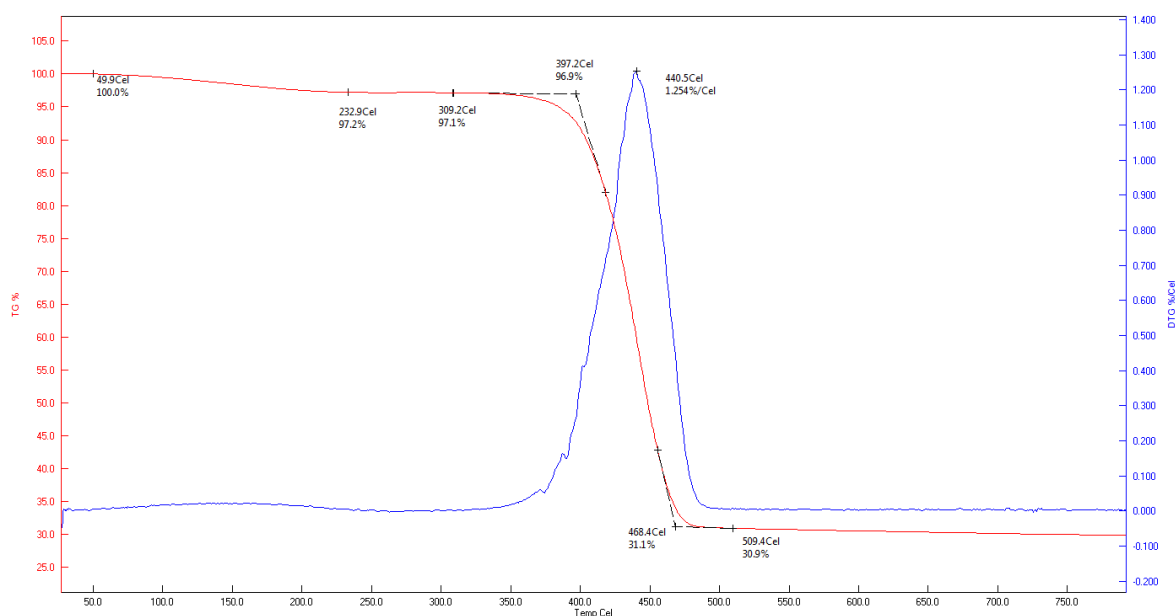


Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Análise termogravimétrica

Na Figura 20 pode-se observar os resultados das análises termogravimétricas do material compósito PA6.6 FV30% mostraram que houve perda de 3,1% da massa a partir de 50 °C até 397 °C, que corresponde à perda de água. A decomposição térmica iniciou em 397 °C, com a finalização do processo próximo de 468 °C, totalizando uma perda de 65,8 % em massa. O teor de resíduos em 440°C foi aproximadamente 1,25 %, o qual pode estar associado aos resíduos oriundos do processo de síntese. A perda de massa possui temperatura de degradação máxima em 440°C. Estas curvas mostram que sob baixas temperaturas o material já começa a ter resposta ao aquecimento.

Figura 20 – Análise termogravimétrica do material compósito



4.3.3 Análise por calorimetria exploratória diferencial

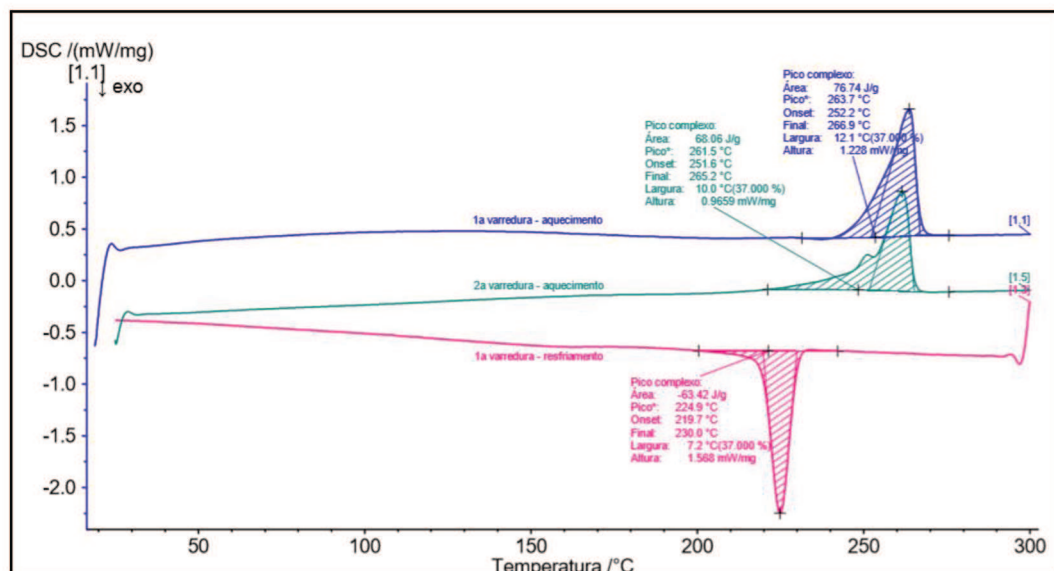
As curvas de DSC apresentadas na Figura 21 mostram o comportamento térmico do material compósito. A curva em azul (contém um pico voltado para cima) apresenta a 1ª varredura de aquecimento, realizada com o objetivo de destruir a história térmica do material, conforme recomendação da norma ASTM D3418-15,

para materiais termoplásticos semicristalinos. Em seguida, uma varredura de resfriamento foi realizada (curva vermelha com pico para baixo), e apresentou um pico de cristalização do material em 224,9°C. Logo após, foi realizada uma nova varredura de aquecimento (curva verde com pico para cima), para a obtenção da temperatura de fusão do polímero, que apresentou 261,5°C e entalpia de 68,06 J/g. O ensaio foi realizado a uma razão de aquecimento e resfriamento de 10°C/min. Deve-se ressaltar que para os cálculos da análise foram descontados a proporção em 30% em volume das fibras e que, durante a análise não apareceu nenhum evento referente à fibra de vidro, pois estes ocorrem em elevadas temperaturas.

Estes resultados corroborados com os de TGA pode notar que este material é mais adequado para ser usado como componente de motor pois suportar a faixa de temperatura que o óleo circula do sistema automotivo (em média de 90 a 120°C).

A adição de fibras de vidro ou de carbono na formação de um material compósito encarece o produto, mas proporciona a multiplicação por duas a três vezes suas propriedades mecânicas e aumenta sensivelmente sua resistência térmica.

Figura 21 – Análise térmica por DSC do material compósito



5 CONCLUSÃO

O uso de poliamida na formação do material compósito mostrou-se adequado para a obtenção do coletor de óleo automotivo, pois a boa incorporação do polímero às fibras permite não haver falhas de preenchimento na injeção da peça, o que seria danoso para a utilização no sistema de lubrificação das partes móveis no motor.

Os benefícios da adição das fibras, que aumenta a propriedade mecânica e a resistência térmica do material foi beneficiado quando comparado aos resultados térmicos do material sem incorporação de fibras e também encontrado em literatura.

De modo geral, os resultados de análise térmica mostraram que os polímeros se apresentam estáveis em relação ao comportamento sob temperatura, sendo adequados para substituição às antigas peças metálicas em automóveis.

Os resultados obtidos neste trabalho de conclusão de curso também fornecem subsídios para compreender o comportamento dos materiais poliméricos sob ação de temperatura elevada.

Em função da postura mundial em relação aos materiais poliméricos esse trabalho vai de encontro aos conhecimentos que serão cada vez mais necessários na formação acadêmica.

PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA GERADA DURANTE O TCC

Título: CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO A BASE DE POLIAMIDA UTILIZADO EM COLETOR DE ÓLEO AUTOMOTIVO

Evento: XXIII Encontro de Iniciação Científica / V Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento (VII CICTED) / UNITAU / Taubaté-SP.

Título: ANÁLISE TÉRMICA E MORFLÓGICA DE MATERIALCOMPÓSITO UTILIZADO EM COLETOR DE ÓLEO AUTOMOTIVO

Evento: V Simpósio de Ciência e Engenharia dos Materiais / Instituto de Ciência e Tecnologia – UNIFESP / São José dos Campos – SP.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, têm-se como futuros trabalhos, as seguintes sugestões:

- 1 – Estudar o efeito por envelhecimento por luz ultravioleta do material compósito e os polímeros virgens.
- 2 – Realizar estudo com material compósito a base de fibra de vidro e polipropileno.
- 3 – Realizar ensaios de rigidez e tração nos polímeros.

REFERÊNCIAS

- APME. A material of choice for the automotive industry. **Plastics**. In: **The Association of Plastics Manufacturers in Europe**, 1999. Brussels. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/textos/Plastics,%20a%20material%20of%20choice%20for%20the%20automotive%20industry.pdf>>. Acesso em: maio., 2018.
- AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. São Paulo: Manole, 2007.
- ASHBY, M.F.; JONES, D.R.J. **Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. vol. 2.
- BRETAS, R.E.S.; D'ÁVILA, M.A. **Reologia de Polímeros Fundidos**. 2.ed. São Carlos: EdUFSCar, 2005.
- Brunetti, F. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo. Blucher, 2012.
- CALLISTER Jr., W.D. **Ciência em Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro. LTC, 2002.
- CANEVAROLO Jr., S.V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002.
- CANEVAROLO Jr., S.V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004.
- CORREIO BRASILIENSE. Carros autônomos já começam a virar realidade. **Correio Brasiliense**, 02 fev. 2018, Caderno de economia. Disponível em:<https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/02/02/internas_economia,657350/carros-autonomos-ja-comecam-a-virar-realidade.shtml>. Acesso em: out. 2018.
- EL PAÍS. Adeus aos carros em 2050. **Jornal El País**, 11 nov. 2017. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2017/11/10/actualidad/1510291706_071983.html>. Acesso em: out., 2018.
- FARIA, M.C.M.de **Avaliação do efeito higrotérmico nas propriedades mecânicas de compósitos de PPS/fibras contínuas**. 2008. 166 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/99284>>. Acesso em: 15, maio. 2018
- FIORELLI, J. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira**. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

GARCIA, A.Z. Aprimore seus conhecimentos sobre análise térmica e transição vítrea (Tg). **AEPI do Brasil**. Disponível em: <<http://www.aepi.com.br/blog/index.php/tag/analise-termica/>>. Acesso em: out., 2018.

KAW, A.K. **Mechanics of Composite Materials**. Boca Raton: CRC Press, 1997. 329p.

LOKENS GARD, E. **Plásticos Industriais: teoria e aplicações**. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning. 2014.

LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.da Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v.5, n. 1, p. 24-31, 2003.

OWENS-CORNING. Disponível em:< <http://www.owenscorning.com.br/pt-br/home>>. Acesso em: 30, ago. 2018.

MUNDO DA EDUCAÇÃO. Funcionamento do motor de combustão interna. **Mundo da Educação**, 2018. Caderno de combustíveis. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>. Acesso em: out. 2018.

MORAES, M.P.; BOZZETO, R.M.; SANTANA, R.M.C. **Influência da pressão e temperatura na variação do índice de fluidez do polipropileno**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia dos Materiais, 20., Joinville, SC, 2012.

NETZSCH. **Netzsch. Catálogo de fabricante**, 2018. Disponível em:< <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/produtos-solucoes/>>. Acesso em: out., 2018.

PLASTICONLINE. Conheça as propriedades do plástico. **Plastic Online**, 10 jan 2017, Caderno Plásticos. Disponível em: < <http://www.plasticonline.com.br/2017/01/10/conheca-as-principais-propriedades-do-plastico/>>. Acesso em: out., 2018.

REMY, A; GAY, M; GONTHIER, R. **Materiais**. 2 ed. São Paulo: Hemus, 2002.

REVISTA NEWS. Produção de plástico cresceu 2,5% em 2017. **News**, 21 fev. 2018, Caderno de Negócios. Disponível em:< <https://revistanews.com.br/2018/02/21/producao-de-plastico-cresceu-25-em-2017/>>. Acesso em: out., 2018.

SMITH, W.F. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3.ed. Portugal: McGRAW-HILL, 1998.

STONE, R. **Introduction to Internal Combustion Engines**. 3rd.ed. London: Palgrave, 1999.

TIAN, J.; YU, W.; ZHOU, C. The preparation and rheology characterization of long chain branching polypropylene. **Polymer**, v.47, p.7962-7969, 2006.

TILLMANN, C.A. da C. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Manual eTEC Brasil, 2013. Disponível em <
http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf >. Acesso em: 20, fev. 2018.

TITA, V. **Análise dinâmica teórica e experimental de vigas fabricadas a partir de materiais compósitos poliméricos reforçados**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

VARELLA, C.A.A. Sistema de lubrificação dos motores de combustão interna. Apresentações de aula: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro. Disponível em:<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/sistema%20de%20lubrificacao.pdf>. Acesso em: out. 2018.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber, 2005.

ANEXO 1

Considerações sobre os polímeros

Comportamento físico-mecânico

As propriedades mecânicas dos polímeros são definidas de acordo com a maneira que esses materiais reagem às solicitações mecânicas aplicadas, estas últimas podendo ser do tipo tensões ou deformações. A natureza dessa reação depende da estrutura química, da temperatura, do tempo e das condições de processamento desse polímero.

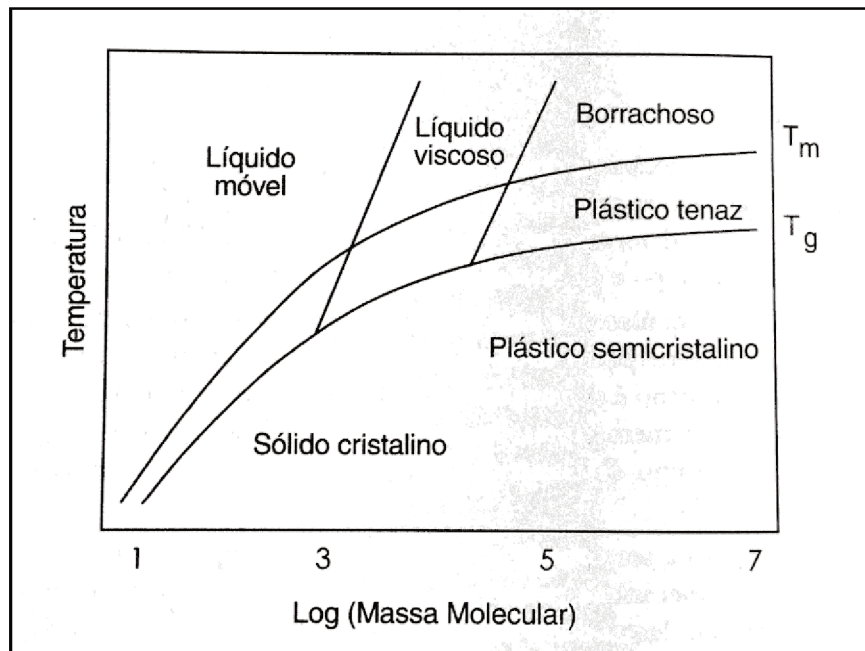
A estrutura molecular dos materiais poliméricos possibilita um comportamento viscoso, como os líquidos, sobreposto a um comportamento elástico, como nos sólidos *Hookeanos*. Esse acontecimento é chamado viscoelasticidade e acontece para os plásticos e para as fibras (CANEVAROLO, 2002).

A avaliação das propriedades mecânicas dos polímeros pode ser feita de forma estática ou dinâmica, como também, a caracterização do comportamento mecânico pode ser feita atingindo-se ou não a ruptura do material.

A viscoelasticidade define-se como o fenômeno pelo qual o polímero apresenta características de um fluido e de um sólido elástico ao mesmo tempo. A fração elástica da deformação aparece devido às alterações do ângulo e da distância de ligação entre os átomos da cadeia polimérica. A fração plástica surge devido ao atrito e ao escoamento entre as moléculas poliméricas, fazendo com que o polímero demore um tempo finito para reagir à solicitação, gerando uma defasagem entre está e a reação.

Quando o comportamento físico-mecânico de um polímero é analisado, alguns fatores devem ser levados em consideração, sendo os principais a massa molecular, temperaturas características de transição vítrea (T_g) e fusão (T_m) e a temperatura na qual a medida está sendo realizada (CANEVAROLO, 2002). Com esse arranjo de dados é possível construir-se o gráfico como o apresentado na Figura A1.1.

Figura 22 – Comportamento físico-mecânico de um polímero em função de sua massa molecular e das temperaturas de transição vítrea e de fusão



Fonte: CANEVAROLO, 2002

A Figura A.1.1 apresenta a variedade de comportamentos físico-mecânicos que um material polimérico pode ter, desde um sólido cristalino, uma borracha ou um líquido. De forma simples, podemos classificar, com relação à temperatura, os três estados físico-mecânicos que um polímero semicristalino pode apresentar, sendo: vítreo, borrachoso e viscoso.

O estado vítreo ocorre em temperaturas abaixo da T_g , nesse caso há baixo nível energético e as cadeias poliméricas não possuem energia suficiente para apresentar mobilidade, reagindo preferencialmente de forma elástica às solicitações. A deformação plástica existe, mas sua contribuição é minoritária; assim, o polímero é caracterizado como rígido e frágil.

O estado borrachoso acontece em temperaturas entre T_g e T_m , nessa faixa de temperatura o nível energético do polímero é capaz de fornecer mobilidade somente à fase amorfa, mantendo a fase cristalina rígida. A flexibilidade que a massa polimérica apresenta é função da mobilidade criada pela fase amorfa, limitada pela rigidez da fase cristalina. Quanto maior for a porcentagem de cristalinidade maior será a contribuição elástica. O polímero no estado borrachoso apresenta um comportamento semelhante ao da borracha vulcanizada.

O estado viscoso acontece em temperaturas acima da T_m e o termo “fundido” é restrito apenas aos polímeros semicristalinos, sendo assim, não é empregado por acontecer em todos os tipos de polímeros. Esse alto nível energético é determinado por apresentar todas as cadeias poliméricas altamente móveis, com grande contribuição da reação plástica à deformação. É neste estado que os polímeros são processados, por apresentarem máxima capacidade de mudança de conformação.

Para os polímeros semicristalinos é possível que ocorra os três estados físicos, mas para os polímeros amorfos apresentam somente os estados vítreo e viscoso (CANEVAROLO, 2002).

Comportamento térmico

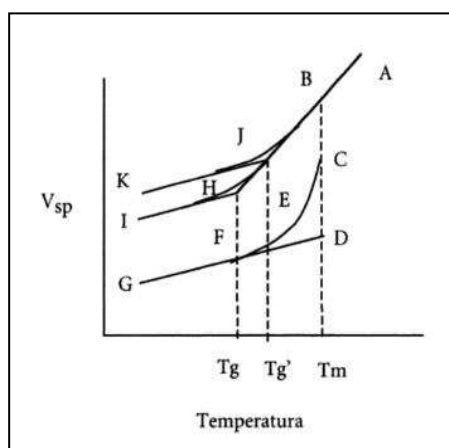
A grande maioria dos materiais não poliméricos existem em estado sólido, líquido, cristalino ou gasoso e essas mudanças de estado são caracterizadas em temperaturas de fusão e ebulição bem definidas. Geralmente um polímero apresenta o comportamento de um fluido viscoso quando processado em temperaturas altas, sendo então utilizado em aplicações práticas que requerem características ora flexíveis ora rígidas. Devido à variabilidade de comportamento do polímero, esta é uma característica sabiamente usada na indústria automotiva para uma melhor seleção do material referente a uma dada aplicação (CANEVAROLO, 2002; AKCELRUD, 2007).

As moléculas de um plástico amorfo, à temperatura ambiente, apresentam movimentos limitados. Assim que o material é aquecido ele recebe energia, então suas moléculas adquirem mobilidade. A temperatura de transição vítrea (T_g) é a qual o material atinge e perde sua rigidez tornando-se viscoso, ou seja, é a propriedade do material onde é permitido obter a temperatura de passagem de seu estado vítreo para um estado “maleável”, sem ocorrência de mudança em sua estrutura. Como a transição não ocorre em uma determinada temperatura, é comum considerar a temperatura de transição vítrea como uma faixa de temperaturas (LOKENS GARD, 2014).

Abaixo da T_g , o material não possui energia interna suficiente para realizar o deslocamento de uma cadeia em relação a outra por mudanças conformacionais. Assim sendo, quanto mais cristalino o polímero, menor será a representatividade da

transição vítrea. A T_g refere-se a uma transição termodinâmica de segunda ordem, ou seja, implica em variáveis termodinâmicas secundárias. Portanto, algumas propriedades mudam com a T_g e assim, podem ser utilizadas para a sua definição. Na curva de DSC, a T_g é definida pela mudança de calor específico, mudança da linha de base, dada em $J/g^{\circ}C$, em que ocorre sempre em sentido endotérmico. As normas ISO 11357, ASTM E1356 e ASTM D 3418 descrevem os parâmetros para a determinação da T_g por DSC (GARCIA, 2018). A Figura A.1.2 representa a variação do volume específico em relação à variação da temperatura para diferentes polímeros.

Figura 23 – Variação do volume específico



Fonte: AKCELRUD, 2007

Nota-se que com o aumento da temperatura houve uma expansão mais rápida no estado líquido do que em relação ao estado sólido, indicando que nesse estado, à medida que esse material é aquecido é introduzido mais volume livre.

A análise termogravimétrica é a técnica cuja variação da massa de uma amostra é medida em função da temperatura ou do tempo. Essa técnica é utilizada para determinar a temperatura inicial de degradação de materiais poliméricos como também de compósitos poliméricos; também permite conhecer as alterações que o aquecimento causa nas massas da amostra, possibilitando determinar a faixa de temperatura em que elas ganham na composição química, em qual temperatura a amostra inicia o processo de decomposição, possibilita o acompanhamento do andamento das reações de desidratação no material, oxidação, combustão e entre outros.

Atualmente, um analisador térmico é composto de um forno (célula de medida) a qual a amostra analisada é aquecida ou resfriada com uma taxa controlada, com a atmosfera previamente estabelecida. As mudanças nas características da amostra são observadas através de um transdutor seletivo que pode ser constituído por: termopares, balança, sensor calorimétrico, medidor de deslocamento, detector de gás. O transdutor seletivo emite um sinal elétrico que é levado para a unidade controladora, assim conseguindo manter uma comunicação com a célula de medida. A unidade controladora além de receber os dados, ela também envia os dados necessários para adotar no equipamento para a análise dos parâmetros corretos, como por exemplo: faixa de temperatura, razão de aquecimento, tipo de atmosfera, dados que são previamente estabelecidos (CANEVAROLO, 2002).

Teoria do volume livre

O volume que um material ocupa influencia a energia livre de Gibbs de duas diferentes formas. Na sua primeira forma, a influência advém da energia das interações intermoleculares, que então determinam a distância entre as moléculas. A segunda forma que influencia provém do volume livre propriamente dito. Essa teoria foi desenvolvida com base na teoria definida nos estudos dos líquidos de baixa massa molar, na qual, é considerado que o material é composto por moléculas e buracos. As moléculas desses líquidos migram do lugar que ocupam para um buraco, ao passo que nos polímeros, são os segmentos de cadeia que migram, tomando diferentes conformações. Ambos os efeitos de volume são afetados pela temperatura e procedem-se de modo diferente antes e depois da transição vítrea (AKCELRUD, 2007).

Calorimetria Exploratória Diferencial

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) permite acompanhar e mensurar a diferença de energia entre a amostra e sua referência em função da temperatura e/ou do tempo. Essa diferença de energia acontece devido às mudanças físicas ou

químicas causadas pelo aquecimento ou resfriamento do material analisado, originando uma curva de fluxo de calor que pode ser mensurado por J/g ou mW/mg, onde cada ponto é proporcional ao calor específico do material analisado (FARIA, 2008).

O equipamento DSC de fluxo de calor tem seu processo de análise do material realizado com duas cápsulas idênticas, uma contendo a amostra e a outra contendo a referência. Ambas são colocadas sobre um disco termoelétrico e são aquecidas por uma única fonte de calor. O equipamento mantém as duas células na mesma temperatura ao passo que são aquecidas. O calor é transferido para as cápsulas através do disco, contendo um fluxo do calor diferencial entre as duas cápsulas, sendo assim monitoradas através de termopares conectados ao disco, dado que ΔT ($\Delta T = T_a - T_r$), em certo momento da análise é proporcional à variação da entalpia, à capacidade calorífica e à resistência térmica total ao fluxo calórico. O teste DSC após realizado apresenta o resultado em um gráfico de linhas, as quais podem apresentar alguma curva devido à alguma alteração em consequência da variação de calor específico da amostra, perda de massa da amostra ou alteração da programação da temperatura ao longo do experimento.

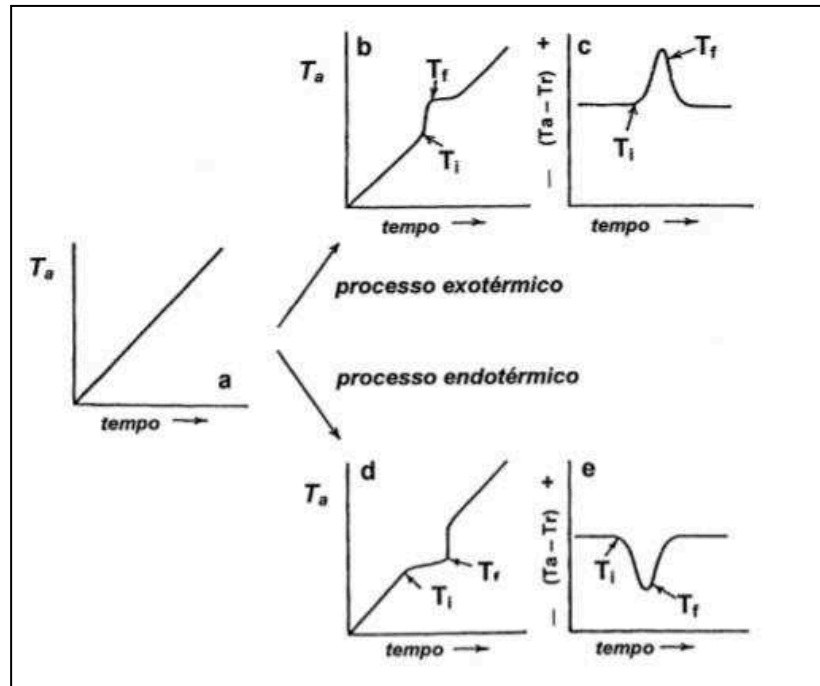
Há outros fatores que causam modificações nas curvas DSC, na maior parte, transições de primeira e de segunda ordem. As transições de primeira ordem são aquelas que apresentam a variação de entalpia – endotérmica ou exotérmica - e assim dando origem aos picos. Nos eventos endotérmicos que há possibilidade de ocorrer em amostras de polímeros, pode-se exemplificar: fusão, perda de massa da amostra (podendo ser devida a perda à vaporização da água, aditivos ou até mesmo produtos voláteis de reação da decomposição). Em eventos exotérmicos verificados em polímeros podemos citar: cristalização, reações de polimerização, adsorção, oxidação, degradação oxidativa, cura e outros.

As transições de segunda ordem se qualificam pela variação da capacidade calorífica, mas sem variações de entalpia. Portanto, as transições de segunda ordem não geram picos nas curvas dos DSC, exibindo um deslocamento da linha base na forma de um S. Um exemplo distinto é a transição vítrea (CANEVAROLO, 2004).

A Figura A.1.3 mostra a curva do aquecimento, onde: a) quando não existe nenhum evento térmico; b) quando acontece um processo exotérmico; c) quando acontece um processo exotérmico, mas para um sistema térmico diferencial; d)

quando acontece um processo endotérmico; e) quando acontece um processo endotérmico, mas para sistema diferencial.

Figura 24 – Curva de aquecimento



Fonte: Química Nova, 2018; Canevarolo, 2004; Faria 2018.

ANEXO 2

Processo de moldagem por injeção

Um dos métodos de processamento mais usados para dar forma aos materiais termoplásticos é a moldagem por injeção. No processo de moldagem por injeção, o compósito polimérico em forma granulada contido numa tamonha e é empurrado em direção ao bico injetor através de uma abertura no cilindro de injeção, servindo de alimentação para a superfície do parafuso que, de forma rotacional, conduz esse material para o interior do molde. O movimento de rotação faz com que os granulados do compósito entrem em contato com as paredes aquecidas do cilindro de injeção, uma vez que estas paredes já se encontram na temperatura pré-determinada para o amolecimento do polímero em questão, ocasionando assim no seu amolecimento causado pelo calor de compressão, ao atrito das paredes quentes do cilindro. O material é então injetado para o interior do molde. Assim que uma quantidade suficiente de material plástico fundido atinge a extremidade do parafuso, este para e, com seus movimentos de compressão em direção ao molde, é introduzido, através do sistema de gitagem, o material plástico no interior do molde fechado. O tempo em que o parafuso mantém a pressão aplicada ao material já introduzido no molde é curto, necessário para a sua solidificação e resfriamento e assim ser recolhido do interior do molde, seja por garras robotizadas, por ar ou molas ejetoras. Assim que a peça é retirada do interior do molde, este se fecha e está pronto para outro ciclo de injeção (SMITH, 1998).

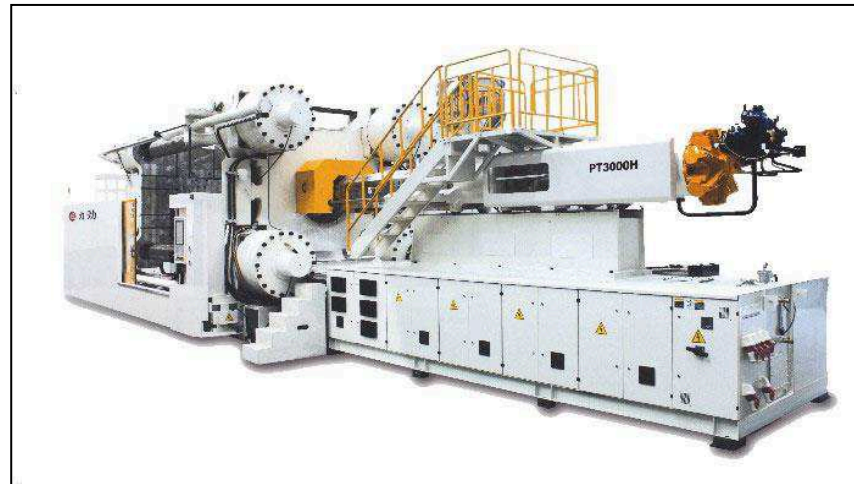
A injeção dos termoplásticos é executada em molde, que é arrefecido com água circulante, de modo a baixar o mais rápido possível a temperatura da peça injetada. O molde é pré-aquecido para que se atinja a temperatura ideal para a injeção já de início, a fim de otimizar o processo e não ocorrer falhas por temperatura no processo de fundição (REMY; GAY; GONTHIER; 2002).

Graças a tecnologia moderna, a moldagem por injeção de termorrígidos também é possível. O processo difere-se da moldagem por injeção dos termoplásticos, usando-se revestimentos especiais tanto de aquecimento quanto no arrefecimento do equipamento de injeção, o que permite a cura da resina do termorrígido durante o processo de injeção. É o caso de algumas resinas

termorrígidas necessitem de uma boa ventilação das cavidades do molde para que ocorra a evacuação os produtos de reação originados durante a cura (SMITH, 1998).

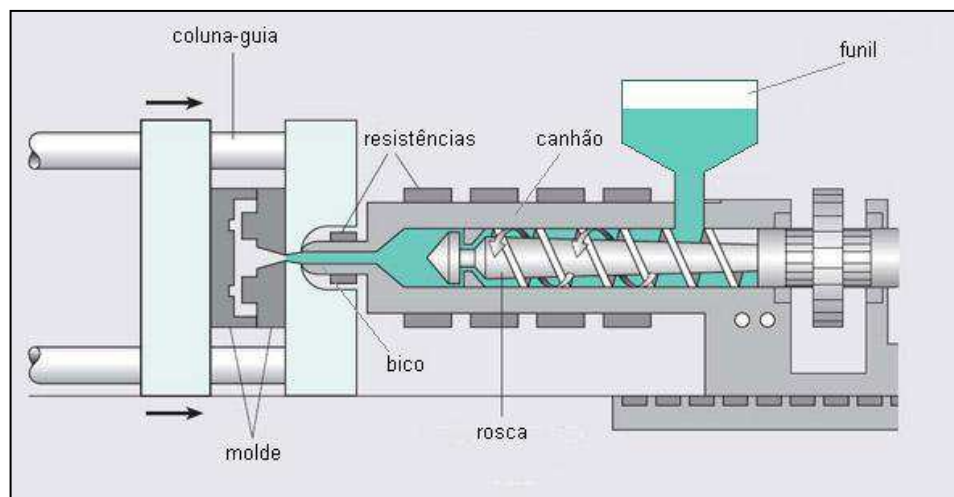
As Figuras A.2.1 e A.2.2 ilustram um modelo de injetora plástica e seu funcionamento simplificado.

Figura 25 – Injetora plástica



Fonte: SMITH, 1998

Figura 26 – Funcionamento da injetora plástica



Fonte: SMITH, 1998