

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
FERNANDO DA SILVA CARDOSO

N. CLASS.	M 620.1
CUTTER	C 268v
ANO/EDIÇÃO	2013

VIABILIDADE DO USO DE POLIAMIDAS NOS VEÍCULOS AUTOMOTORES

Varginha
2013

FEPESMIG

FERNANDO DA SILVA CARDOSO

VIABILIDADE DO USO DE POLIAMIDAS NOS VEÍCULOS AUTOMOTORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como requisito para obtenção de graduação em Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Me. Luis Carlos Vieira Guedes

**Varginha
2013**

FERNANDO DA SILVA CARDOSO

VIABILIDADE DO USO DE POLIAMIDAS NOS VEÍCULOS AUTOMOTORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Luis Carlos Vieira Guedes

Prof. Esp. Rullyan Marques Vieira

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prospéri

OBS:

Dedico este Trabalho a meus familiares, aos colegas de curso, aos professores e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista.

RESUMO

O tema abordado no trabalho é sobre viabilidade do uso das poliamidas nos veículos automotores e o presente objetivo do estudo será analisar a viabilidade do uso de poliamida nos veículos automotores. Para tanto se revisou a literatura do tema abordado. O interesse pelo tema surgiu, pois as poliamidas 6.6 e 6 e os seus tipos reforçados com fibras de vidro, e em menor escala as demais poliamidas, são considerados os principais termoplásticos de engenharia e com o uso das poliamidas nas fabricações de peças de automóveis é possível reduzir o peso da peça, custo e o tempo de fabricação delas.. Evidentemente, as poliamidas devem a sua importância não apenas as suas boas propriedades físico-mecânicas, mas também à economia de grande escala de produção dos seus monômeros empregados basicamente para fins têxteis, o que tornam estes termoplásticos competitivos em custo/quilograma de resina, em relação aos metais tradicionais (aço, alumínio, bronze, etc.) que vem substituindo na área da indústria automobilística, engenharia elétrica e de eletros-domésticos, engenharia mecânica leve e de precisão, destacando-se principalmente para aplicações em espelhos retrovisores externo, painéis, calotas, componentes para portas, janelas, faróis, coletor de admissão. Foi visto que os termoplásticos de engenharia têm se mostrado um polímero de grande eficácia, capazes de substituir materiais clássicos empregados na fabricação do automóvel. As resinas de poliamida possuem diversas propriedades que as fazem um dos materiais mais nobres, técnicos e versáteis. Ao final do estudo concluiu-se que a substituição de metais por plásticos não é somente possível, como também muito empregada pela indústria automobilística nos dias de hoje, devido às muitas vantagens que estes oferecem. Neste trabalho foi possível avaliar algumas das vantagens que essas substituições podem trazer ao automóvel. Assim, constatou-se que as peças plásticas, cada vez mais, têm sua importância reconhecida como parte dos veículos viabilizando principalmente economia, flexibilidade e segurança para o produto final.

Palavras-chave: Termoplásticos. Poliamidas. Indústria automotiva

ABSTRACT

The topic is at work on the viability of the use of motor vehicles in polyamides and objective of this study is to analyze the feasibility of using polyamide in automotive vehicles. For that we reviewed the literature of the subject. The interest in the topic arose because polyamides 6 and 6.6 and their types reinforced with glass fibers , and to a lesser extent other polyamides, are considered the main engineering thermoplastics and with the use of polyamides in fabrications car parts is can reduce part weight , cost and time to manufacture them. Of course, polyamides owe their importance, not only its good physical and mechanical properties , but also the economy of large-scale production of its monomers employed primarily for textile purposes , which makes these thermoplastic competitive cost / kilogram of resin by compared to traditional metals (steel, aluminum , brass , etc. .) that is replacing in the automotive industry , electrical engineering and domestic electrostatic , mechanical engineering and lightweight precision , highlighting mainly for applications in external mirrors , panels , hubcaps, components for doors , windows , headlights , intake manifold . It was found that the engineering thermoplastics have shown great efficacy in a polymer capable of replacing traditional materials used in automobile manufacturing. Polyamide resins have several properties that make them one of the finest materials, technical and versatile. At the end of the study it was concluded that the replacement of metals by plastics is not only possible, but also widely used in the automotive industry today due to the many advantages that these offer. In this work it was possible to evaluate some of the advantages that these substitutions can bring to the car. Thus, it was found that the plastic parts increasingly have recognized the importance of the vehicles enabling especially economy, flexibility and security for the final product.

Keywords: Thermoplastic. Polyamides. automotive industry

1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da Poliamida 6.6.....	10
Figura 2: Estrutura da Poliamida 6.....	11
Figura 3: Efeito das condições ambientais na razão da absorção de umidade na poliamida 6.6.....	14
Figura 4: Curva esquemática tensão-deformação: (a) para materiais com fibra frágil e matriz dúctil. (b) para um compósito reforçado com fibras alinhadas que está exposto a uma tensão uniaxial aplicada na direção do alinhamento	21
Figura 5: Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.....	23
Figura 6: Padrão de deformação na matriz em volta de uma fibra que está sujeita à aplicação de uma carga de tração	25
Figura 7: Perfis tensão-posição quando comprimento da fibra l , é (a) igual ao comprimento crítico, l_c , (b) maior que o comprimento crítico e (c) menor que o comprimento crítico para um compósito reforçado com fibras.....	26
Figura 8: Principais fatores que afetam a resistência de termoplásticos reforçados	27
Figura 9: Espelho retrovisor externo de um veículo	30
Figura 10: Coletor em metal.....	31
Figura 11: Coletor de admissão do Palio em poliamida 6,6.....	31
Figura 12: Bomba da água.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades das poliamidas 6 e 6.6.....	11
Tabela 2: Eficiência de reforço de compósitos reforçados com fibras para diferentes orientações das fibras e as várias direções de aplicação das tensões.....	24
Tabela 3: Efeito do reforço de fibra longas e curtas na resistência à flexão	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 POLIAMIDAS	10
2.1 Propriedades das Poliamidas.....	11
2.2 Principais Características das Poliamidas	11
2.3 Reforços	16
2.4 Poliamida como Plástico de Engenharia	17
3 COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS	19
3.1 Soluções para a Melhoria na Rigidez e Resistência Mecânica de Termoplásticos	19
4 APLICABILIDADE DA POLIAMIDA	28
4.1 Poliamida na Indústria Automotiva	29
5 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O Estudo deste Trabalho tem como tema “Viabilidade do uso de Poliamida nos Veículos Automotores”.

A questão deste estudo foi: é viável o uso de poliamidas na fabricação de peças na indústria automobilística?

Neste trabalho temos como objetivo de analisar a viabilidade do uso da poliamida nos veículos automotores.

O estudo se justifica, pois as poliamidas 6.6 e 6 e os seus tipos reforçados com fibras de vidro, e em menor escala as demais poliamidas, são considerados os principais termoplásticos de engenharia e com o uso das poliamidas nas fabricações de peças de automóveis é possível reduzir o peso da peça, custo e o tempo de fabricação delas. Evidentemente, as poliamidas devem a sua importância não apenas as suas boas propriedades físico-mecânicas, mas também à economia de grande escala de produção dos seus monômeros empregados basicamente para fins têxteis, o que tornam estes termoplásticos competitivos em custo/quilograma de resina, em relação aos metais tradicionais (aço, alumínio, bronze, etc.) que vem substituindo na área da indústria automobilística, engenharia elétrica e de eletrodomésticos, engenharia mecânica leve e de precisão, destacando-se principalmente para aplicações em engrenagens, carpetes, airbags, cordas para esqui, coletor de admissão e espelho retrovisor externo. Há uma enorme busca por soluções que reforcem as estruturas dos componentes dos veículos e que tragam redução de massa e de custos nos veículos automotores. Considerações como a disponibilidade de diferentes materiais, rigidez, comportamento dinâmico, beleza, facilidade na manufatura do componente e durabilidade tornaram-se significativas nos desenvolvimentos dos componentes automotivos.

Para a consecução do objetivo proposto, esta pesquisa encontra-se dividida em três capítulos.

O primeiro capítulo versou sobre as propriedades e principais características das poliamidas analisando-se também os reforços aplicáveis a este termoplástico.

O segundo capítulo discutiu os compósitos termoplásticos discutindo soluções para a melhoria na rigidez e resistência mecânica destes produtos.

Por fim, o terceiro capítulo discutiu a aplicabilidade da poliamida na indústria automotiva.

Para a realização deste estudo optou-se pela revisão de literatura em materiais bibliográficos sobre o tema abordado.

2 POLIAMIDA

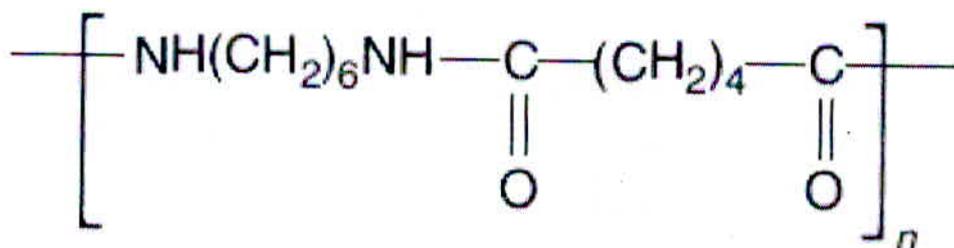
A poliamida (PA) é um dos mais importantes termoplásticos de engenharia, elas podem ser processadas via moldagem por injeção ou extrusão, dando origem a produtos que apresentam resistência, dureza, rigidez e durabilidade requeridas para peças mecânicas, mas deve-se ter cuidado durante o processamento, pois temperaturas elevadas podem causar degradação ou decomposição (ESGALHADO; ROCHA, 2002).

A produção comercial de poliamidas para aplicação de fibras têxteis foi iniciada pela DuPont em 1940, enquanto os plásticos para moldagem, apesar de serem produzidos em 1941, tornou-se popular em 1950. Para evitar os direitos das patentes da DuPont, os químicos alemães iniciaram investigações independentes no fim do ano de 1930 com possíveis polímeros sintéticos para aplicação têxteis, e o resultado foi o lançamento bem sucedido da poliamida 6 (WIEBECK; HARADA, 2005).

A poliamida causou grande impacto no mercado norte-americano no final da década de 30, particularmente entre as mulheres, pois o primeiro produto feito com fios de nylon ou poliamida foram as meias transparentes femininas, que eram mais resistentes e de secagem mais rápida do que as meias de seda, além de serem mais baratas (WIEBECK; HARADA, 2005).

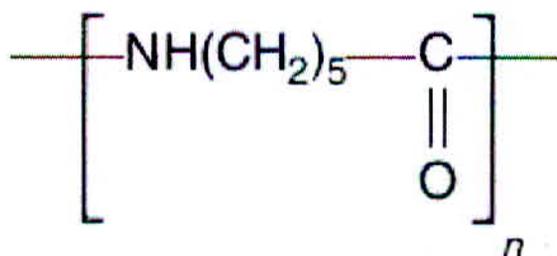
Juntas as poliamidas 6.6 e 6 são responsáveis pela maior parte da produção, que incluem as poliamidas 6.10, 11, 12 e outras. A produção das poliamidas para aplicações em plásticos é de ordem de 12% da produção total das poliamidas, sendo que a maior parte da produção se destina para o setor têxtil (WIEBECK; HARADA, 2005).

Figura 1: Estrutura da Poliamida 6.6



Fonte: Wiebeck e Harada (2005)

Figura 2: Estrutura da Poliamida 6



Fonte: Wiebeck e Harada (2005)

2.1 Propriedades das Poliamidas

As propriedades das poliamidas 6.6 são levemente superiores as da poliamida 6, quanto à resistência mecânica (tração, módulo, fluência), resistência térmica e a absorção de água. Entretanto, a poliamida 6 apresenta vantagens de menor dificuldade no processamento, devido ao seu ponto de fusão inferior e ao fato de apresentar menor encolhimento pós-moldagem (tabela 1) (WIEBECK; HARADA, 2005).

Tabela 1: Propriedades das poliamidas 6 e 6.6

PROPRIEDADE	PA 6	PA 6.6
Densidade ASTM 792 (g/cm ³)	1,13	1,14
Ponto de fusão ASTM D789 (°C)	219	263
Resistência à tração ASTM D638 (MPa)	79	82,7 - 90,3
Módulo de flexão ASTM D790 (MPa)	2829	2827 - 2964
Absorção de água ASTM D570 - Saturação (%)	9,5	8,5

Fonte: Smith (1998)

2.2 Principais Características das Poliamidas

Uma das principais características das poliamidas está na sua excelente resistência à abrasão e auto-lubricidade, principalmente em moldados com alto grau de cristalinidade que induz alta dureza superficial. Entretanto, os coeficientes de atrito das poliamidas são levemente inferiores as dos poliacetais, devido a maior plastificação das poliamidas com absorção de umidade.

Outra importante característica é a sua boa resistência à fadiga dinâmica e ao impacto repetitivo, devido à tenacidade do polímero, e em consequência as poliamidas 6 e 6.6 apresentam superiores resistências à fadiga dinâmica e impacto repetitivo em relação ao policarbonato (de resistência ao impacto e rigidez superiores), devido à natureza cristalina das poliamidas em relação à estrutura essencialmente amorfa do policarbonato.

O mercado aproveitou esse polímero de engenharia de uso geral também no setor automotivo. Fazendo-se algumas estimativas, os carros brasileiros carregam hoje desde 100 até 150 Kg de plástico, dos quais entre 5 e 8 kg são poliamida (GASPARIM, 2004).

As poliamidas alifáticas são polímeros lineares termoplásticos e contêm grupos amidas polares (CONH) espaçados regularmente e, por isso, cristalizam com alta atração intermolecular. Essas cadeias poliméricas também possuem segmentos de cadeia alifáticos que conferem certa flexibilidade na região amorfa (GASPARIM, 2004).

Deste modo, a combinação de alta atração intercadeias, nas zonas cristalinas e flexibilidade nas zonas amorfas fazem com que esses polímeros sejam tenazes acima de suas temperaturas de transição vítrea. Os grupos amidas são muito polares e podem gerar pontes de hidrogênio. Por causa disso e por conta da cadeia da poliamida ser tão regular e simétrica é que as poliamidas são geralmente semicristalinas (WIEBECK; HARADA, 2005).

As poliamidas apresentam várias propriedades que as colocam, no campo da aplicação, como um dos materiais mais nobres, técnicos e versáteis. Toda poliamida é higroscópica, ou seja, absorve água, contudo é altamente impermeável a gases (CO, CO₂, O₂, NH₃, etc.). As poliamidas apresentam vantagens, tais como: leveza, alta resistência à fadiga, boa resistência ao impacto, baixo coeficiente de atrito, resistência a intempéries, são recicláveis e dispensam usinagem e rebarbação, além de possuírem uma boa resistência a hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, a óleos vegetais, animais, minerais e a gorduras, sais em soluções neutras ou alcalinas, cetonas, ésteres, álcoois, ácidos orgânicos, exceto ácido fórmico. Apesar das grandes vantagens que a poliamida possui, existem algumas desvantagens, como por exemplo: resistência limitada a soluções diluídas de ácidos inorgânicos e a alguns hidrocarbonetos clorados (elementos como, ácido acético, ácido fórmico concentrado, fenóis e cresóis dissolvem o polímero), limite na temperatura de trabalho. Além disso, requer um cuidado especial para o seu processamento, devido à sua natureza higroscópica, alta temperatura de fusão cristalina e baixa viscosidade na temperatura de processamento e, tendência à oxidação a temperaturas elevadas de processamento (WIEBECK; HARADA, 2005).

A processabilidade das poliamidas requer cuidados especiais devido aos seguintes fatores: natureza higroscópica da resina; altos pontos de fusão cristalina e baixa viscosidade na temperatura de processamento; tendência a oxidar à temperaturas elevadas de processamento; alto grau de cristalinidade e, conseqüentemente, extensivo encolhimento no resfriamento.

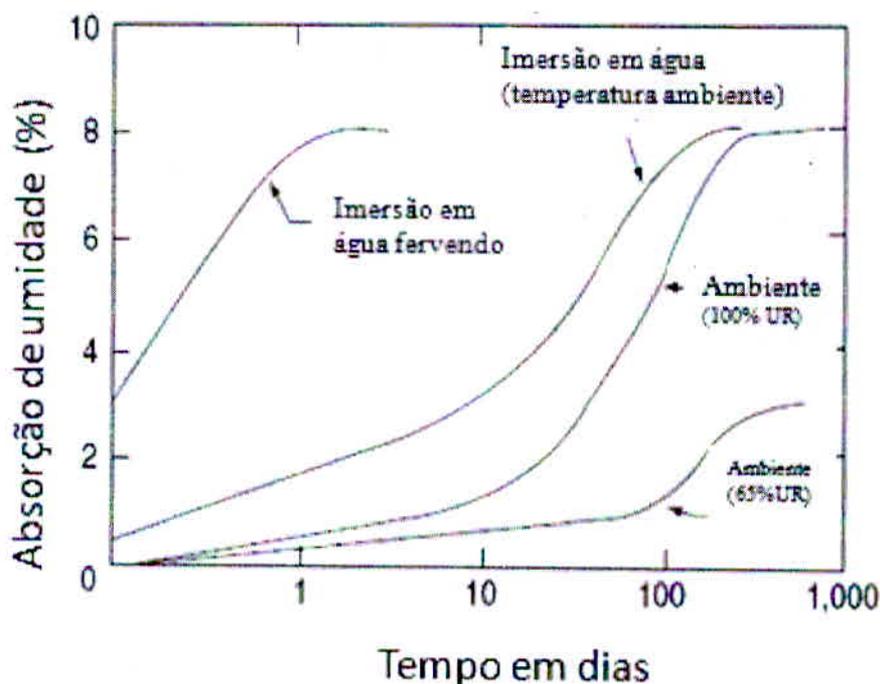
Estas características requerem cuidados especiais por parte dos processadores, como estufagem prévia dos grânulos a temperaturas entre 70°C e 90°C. As injetoras devem ser projetadas para evitar “pontos mortos” no fluxo do polímero fundido que levam à oxidação do material. Devido à baixa viscosidade, os bicos das injetoras devem apresentar sistemas de bloqueio para evitar vazamentos. Além disso, altas pressões de empacotamento devem ser mantidas para minimizar o efeito do alto grau de contração do polímero no resfriamento e compensar as perdas volumétricas (WIEBECK; HARADA, 2005).

As temperaturas do molde e os tempos de resfriamento nos ciclos de moldagem das poliamidas são críticos, visto que o grau de cristalinidade depende da taxa de resfriamento. Para reduzir os ciclos de resfriamento e ao mesmo tempo atingir alta cristalinidade nos moldados, as resinas de poliamida 6 e 6.6 são fornecidas com agentes de nucleação que precipitam rapidamente um maior número de “esferulitos” de dimensões menores e de características morfológicas superiores, resultando em melhores propriedades de resistência nos produtos acabados. Existem vários tipos de agentes de nucleação empregados, geralmente em pequenas porcentagens (aproximadamente 1 por cento), tais como sílica fina precipitada, poliamidas de alta massa molar ou com ligações cruzadas e outros polímeros de temperatura de fusão e textura granulométrica mais fina. Geralmente, os agentes nucleantes tais como poliamidas de ligações cruzadas, ou alta massa molar, melhoram substancialmente as propriedades físicas e mecânicas do produto final (WIEBECK; HARADA, 2005).

Após serem injetadas, as peças devem ser hidratadas para que possam adquirir todas as propriedades características da poliamida. O tempo de hidratação será determinado pelas dimensões da peça e pela temperatura da água.

Recomenda-se imersão em banhos de ambiente não oxidante, tais como ceras e óleos lubrificantes, a temperaturas entre a de fusão cristalina (T_m) e de transição vítrea (T_g) do polímero, no entanto, o custo elevado e a dificuldade de limpeza das peças fazem com que as indústrias optem pela hidratação em banho de água quente (figura 3) (WIEBECK; HARADA, 2005).

Figura 3: Efeito das condições ambientais na razão da absorção de umidade na poliamida 6.6



Fonte: Wiebeck e Harada (2005)

As poliamidas são muito utilizadas em blendas poliméricas e apresentam como principais características: elevada tenacidade acima de sua T_g , boa resistência química em meios orgânicos, boa resistência à abrasão, boas propriedades mecânicas e térmicas. No entanto, a sua sensibilidade à propagação de trinca, alta absorção de umidade, baixa estabilidade dimensional, temperatura de deflexão térmica relativamente baixa e fragilidade em temperaturas sub-ambiente tornam seu uso restrito a algumas aplicações (ARAÚJO et al, 2003).

Estas deficiências podem ser melhoradas pela mistura com outros plásticos como poli(óxido de fenileno) (PPO), acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), poliolefinas, policarbonato ou com borrachas como EPDM (borracha etilenopropileno-monômero diênico), copolímeros de etileno. Entretanto, a borracha possui elevada viscosidade durante a mistura, dificultando a dispersão de um componente no outro. Possui funcionalidade inerente, através dos grupos terminais aminas (NH_2) ou carboxílicos ($COOH$) e, potencialmente, dos grupos amidas ($CONH$). Polímeros funcionalizados com anidrido maleico têm sido apresentados como compatibilizantes bastante efetivos para blendas com PA6, já que os grupos anidridos são capazes de reagir com os grupos terminais aminas da PA6 (MANO; MENDES, 2001).

A facilidade de processamento da PA6 e, principalmente, a modificação da sua resistência ao impacto tem sido alvo de estudos para o desenvolvimento de blendas poliméricas. A produção da poliamida é feita a partir de quatro elementos básicos, extraídos respectivamente: do petróleo (ou gás natural), do benzeno, do ar e da água (carbono, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio). Tais elementos são combinados por processos químicos especiais, dando origem a compostos conhecidos como ácido adípico, hexametilenodiamina, caprolactama e outros compostos, que por sua vez, sofrem reações químicas, de forma a constituírem as macromoléculas que formam a poliamida. A poliamida 6 (PA6), também conhecida como nylon 6, é um tipo de polímero que contém grupo funcional do tipo amida e apresenta um tipo de cadeia carbônica com seis átomos dispostos ao longo desta. Esta é feita por polimerização de abertura de anel a partir do monômero caprolactama, que é um composto orgânico sólido de forma cristalina, cor branca, que apresenta elevada solubilidade em água e possui 6 átomos de carbono na sua composição. Esse monômero é aquecido sob condições em que o anel se abre (temperatura acima de 200°C e presença de água) e forma um polímero linear (AKCELRUD, 2007).

Do ponto de vista físico, as características mais importantes dessas moléculas são o comprimento da unidade repetitiva e a ocorrência de sequências alternadas de grupos (-CH₂-5 e -CONH-). As sequências -CH₂- são flexíveis à temperatura ambiente sendo pouco atraídas por seus vizinhos. Por outro lado, os grupos -CONH- se atraem fortemente entre si através de ligações de hidrogênio. Sob a ação dessas forças, as poliamidas se cristalizam e, formam suas redes cristalográficas (AKCELRUD, 2007).

Em condições adequadas de resfriamento, após a fusão do material, a PA6 cristaliza na forma monoclinica α ou β . As poliamidas, conhecidas desde os anos 30, apresentam algumas transições em suas estruturas. A poliamida 6, quando aquecida, apresenta várias relaxações e transições, na faixa de temperatura de -150 a 250°C. A relaxação é observada em ensaios dinâmico-mecânicos, a aproximadamente -115°C e não é afetada por umidade, cristalinidade, massa molar, etc. Ela é assegurada pelo movimento de três ou mais sequências de grupos (-CH₂)₅. A relaxação é observada também em ensaios dinâmico-mecânicos, a aproximadamente -55°C. Ela é atribuída à mobilidade resultante da atração entre o NH de uma cadeia molecular e os grupos C=O da outra cadeia, e sua posição depende do teor de umidade. A relaxação, com um pico a aproximadamente 45°C, observado em análise dinâmico-mecânica, seria a própria T_g. A temperatura do pico é diminuída pela umidade, enquanto que cristalinidade e orientação reduzem sua intensidade e alarga a faixa de temperatura de transição. Além dessas transições, uma transição exotérmica a

aproximadamente 195°C, chamada sub-T_c, tem sido observada através de DSC (AKCELRUD, 2007).

Devido à flexibilidade de sua cadeia, a poliamida apresenta transição dúctil-frágil, sob solicitação de impacto. Sua baixa viscosidade no estado fundido torna-a um material adequado para moldagem por injeção de produtos complexos. A poliamida 6 é muito empregada em aplicações como: engrenagens, componentes mecânicos de aparelhos domésticos, partes móveis de máquinas, filmes para embalagens de alimentos, material esportivo como raquetes, bases de esqui, rodas de bicicletas. Embora seja um polímero atrativo para aplicações de engenharia, algumas de suas características inerentes, de rápida cristalização e alta absorção de umidade favorecem a retração do moldado e à instabilidade dimensional. Por outro lado, o custo relativamente elevado, temperaturas de deflexões térmicas relativamente baixas, na faixa de 55°C, sua sensibilidade à propagação da trinca e sua fragilidade em temperaturas subambiente, tornam seu uso restrito a algumas aplicações. A absorção de umidade tem efeito plastificante, reduzindo a resistência à tração, módulo, dureza e causando a deterioração de propriedades elétricas, mas aumentando a resistência ao impacto (MANO; MENDES, 2001).

2.3 Reforços

Os três principais tipos de fibras sintéticas que se usam para reforçar materiais plásticos são: as fibras de vidro, as fibras de aramida e as fibras de carbono. As fibras de vidro são de longe o reforço mais usado e mais barato (SMITH, 1998).

As fibras de vidro (FV) são usadas para reforçar matrizes plásticas de modo a obter compósitos estruturais e componentes moldados. Os compósitos de matriz plástica reforçados por fibra de vidro apresentam as seguintes características favoráveis: elevada razão (quociente) resistência peso; boa estabilidade dimensional; boa resistência ao calor; às baixas temperaturas, à umidade e a corrosão; boas propriedades de isolamento elétrico; facilidade de fabricação e custo relativamente baixo (SMITH, 1998).

As características desfavoráveis das fibras de vidro são difícil adesão à matriz polimérica, principalmente quando na presença de umidade, e baixa resistência à abrasão. Diferentes composições de vidros já foram utilizados para produzir fibras, o mais comum é baseado na utilização de sílica (SiO₂) com adição de óxidos de cálcio, boro, sódio, ferro e alumínio.

Os dois mais importantes tipos de vidro utilizados na produção de fibras de vidros para compósitos são o vidro *E* (elétrico) e o vidro *S* (elevada resistência mecânica).

O vidro *E* é o mais usado para obtenção de fibras contínuas. Basicamente o vidro *E* é um vidro de boro-silicato, alumínio e cálcio isento, ou com muito baixos teores, de sódio e potássio. A composição básica do vidro *E* situa-se entre 52-56% SiO₂, 12-16% Al₂O₃, 16-25%CaO e 8-13% B₂O₃. Logo após a fabricação, o vidro *E* apresenta uma resistência à tração de 3,4 GPa, um módulo de elasticidade de 72,3GPa e densidade de 2,54g/cm³ (SMITH, 1998).

O vidro *S* tem uma razão de resistência/peso mais elevada, e é mais caro do que o vidro *E*, sendo geralmente utilizado em aplicações militares e aeroespaciais. A resistência à tração do vidro *S* é superior a 4,4 GPa e o seu módulo de elasticidade é aproximadamente 85,4 GPa. O vidro *S* tem uma composição do tipo 65% SiO₂, 25% Al₂O₃ e 10% MgO (SMITH, 1998) e é mais utilizado em aplicações especiais onde a necessidade do módulo maior justifica o seu maior custo.

2.4 Poliamida como Plástico de Engenharia

Plásticos de engenharia podem ser definidos como “plásticos que podem ser utilizados para fins de engenharia como engrenagens e partes estruturais”. Outra definição os classifica como termoplásticos que mantêm a estabilidade dimensional e a maioria das propriedades mecânicas acima de 100°C e abaixo de 0°C. Esta definição abrange os plásticos que podem ser moldados em partes funcionais capazes de receber carga e resistir a variações de temperaturas, geralmente suportadas por materiais convencionais de engenharia como madeira, metais, vidros e cerâmicas. Algumas resinas que se encaixam nessa definição são resinas de acetal, poliamidas, poliimidadas, polieterimidadas, policarbonato, poliéteres, etc. além das blendas destes materiais. Elastômeros termoplásticos e *commodities* como a maioria das resinas estirênicas, acrílicas, poliolefinas, poliuretanas, poli (cloro de vinila), perdem as propriedades mecânicas abaixo de 100°C. Exceções à definição são certos polímeros de acrilonitrila-butadienoestireno (ABS), que mantêm as propriedades de engenharia em temperaturas em torno de 100°C (WIEBECK; HARADA, 2005).

Devido à diversidade de polímeros e as possibilidades de modificações por meio de cargas, aditivos e elastômeros, as poliamidas representam o maior mercado entre os plásticos de engenharia tradicionais, sendo superadas em volume consumido apenas pelo ABS e compostos de PP. O mercado mundial das poliamidas de engenharia é estimado em cerca de 1,9 milhões de toneladas anuais. Os usos predominantes são as aplicações automotivas (32%),

eletroeletrônicas (22%) e as embalagens (14%). As taxas globais de crescimento esperadas para os próximos anos são da ordem de 6 a 7% ao ano (WIEBECK; HARADA, 2005).

Essa grande diversidade de aplicações normalmente é ditada por motivos econômicos, de desempenho, de hábitos de consumo e, a indústria vai permanentemente pesquisando essas variáveis e com isso determinando as suas escolhas. Uma análise rápida mostra que na indústria automobilística européia, 10% do peso dos veículos já são em materiais plásticos ou termoplásticos. E aí, podem-se incluir inclusive os revestimentos internos. Tem-se 41% desse material todo usado no automóvel constituído por polipropileno, 20% por poliamida, 14% são de ABS, depois vem o policarbonato com 6%, poliacetal com 6%, PBT com 5%, PMMA com 2% e, outros materiais variados. Na distribuição no veículo americano, 38% dos materiais plásticos se encontram no interior do carro e 29% em peças da carroceria, sob o capô só 10% e chassis, 23% (WIEBECK; HARADA, 2005).

3 COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS

Quando avalia-se criteriosamente o desempenho mecânico de termoplásticos para fins de seleção de materiais adequados à fabricação de peças técnicas para aplicações de engenharia, às vezes defrontamos com dois fatores aparentemente limitantes na utilização destes materiais em relação a outros materiais tradicionais como os metais: manutenção da rigidez e resistência mecânica à temperatura elevadas de serviço e por períodos longos sob carregamento mecânico; a relativamente baixa tenacidade e resistência ao impacto da grande maioria de materiais termoplásticos (HARADA, 2004).

Ambos os problemas têm sido enfrentados com sucesso e com soluções das mais variadas possíveis. O problema da relativa fragilidade mecânica de plásticos rígidos frágeis pode ser resolvido através de processos de tenacificação (isto é, aumento de tenacidade) dos mesmos pela incorporação de aditivos elastoméricos ou pela composição dos mesmos com outros plásticos mais tenazes através da técnica de blendas poliméricas.

3.1 Soluções para a Melhoria na Rigidez e Resistência Mecânica de Termoplásticos

Segundo Harada (2004), possíveis soluções para a melhoria na rigidez e resistência mecânica de termoplásticos podem ser classificadas em três categorias:

1) pela utilização criteriosa dos conceitos de produto (isto é, projetos de formato e dimensionamento estrutural) para peças técnicas, explorados através de fabricação de painéis/laminados ocios por processos de moldagem à sopro e painéis sanduíche e moldados integrais de espumas estruturais, ou pela incorporação de elementos estruturais tais como nervuras e costelas de reforço;

2) pela técnica de fabricação de blendas poliméricas (exemplos: ABS/PC, PA/PPO, etc.), incluindo aqui os compósitos moleculares obtidos pela mistura de termoplásticos de engenharia com polímeros líquido-cristalinos (LCP's);

3) pela incorporação de cargas minerais e fibras de altos módulos e resistência na matriz polimérica.

A eficiência de reforço mecânico obtido depende, entre outros fatores, da escolha do elemento de reforço. De forma geral, as fibras de vidro (FV), carbono, aramida e algumas cargas minerais reforçantes tais como mica, wolastonita e talco, apresentam desempenhos superiores em compósitos poliméricos, em relação a outras cargas como os carbonatos de cálcio natural e precipitado, caulim e sílica. Esta diferença na escala de reforço das

propriedades mecânicas dos plásticos, segundo Wiebeck e Harada (2005) tem levado a classificação das cargas minerais e fibras de alto módulo da seguinte maneira na literatura especializada:

a) Fibras de Reforço: as fibras de alto módulo e resistência tais como as fibras de vidro, carbono, aramida e grafite.

b) Cargas Reforçantes: alguns minerais de estrutura fibrosa/acicular ou lamelar tais como mica, wolastonita e alguns tipos de talco e caulim (também flocos de vidro).

c) Cargas de Enchimento: cargas minerais ou sintéticas de partículas com formato esferoidal como CaCO_3 natural e precipitado, talco, caulim, sílica, quartzo, alumina trihidratada, feldspato e esferas de vidro; onde um dos objetos principais da carga é o de funcionamento como um “extensor” de baixo custo para as resinas de plásticos.

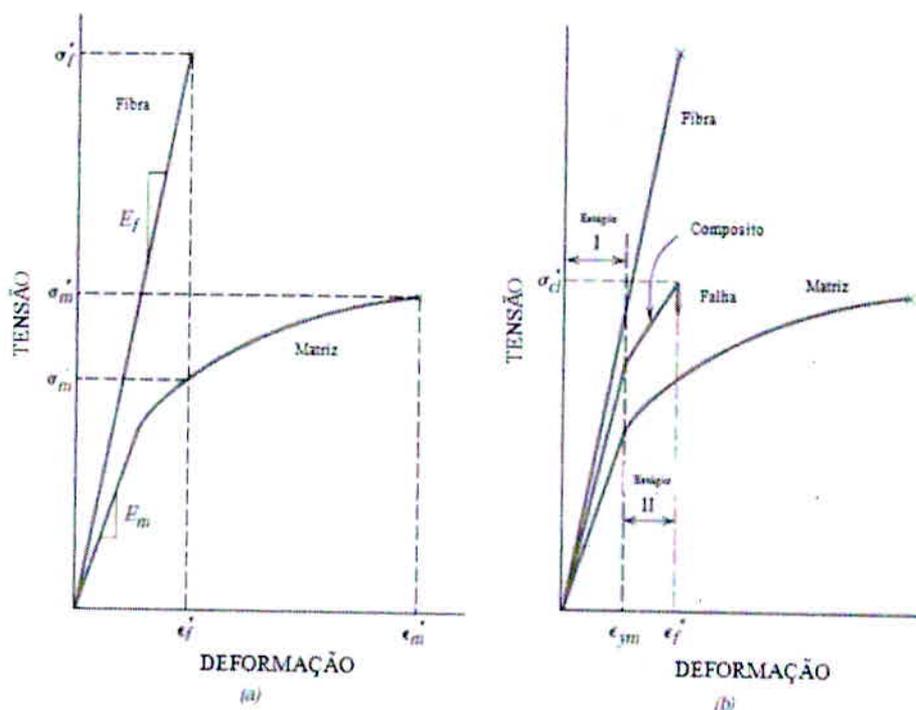
A incorporação de partículas inorgânicas de alto módulo numa matriz polimérica é sempre encarada com objetivos funcionais dos mais variados, e, portanto, é comum atualmente substituir o termo “carga de enchimento” por “cargas funcionais”. De qualquer maneira, um limite bem definido entre estes termos nem sempre é preciso ou mesmo esclarecedor.

Segundo Wiebeck e Harada (2005), de forma geral, as principais vantagens na utilização de fibras e cargas reforçantes em termoplásticos podem ser resumidas da seguinte maneira: aumento substancial no módulo de elasticidade/rigidez do compósito; aumento expressivo na resistência ao impacto do compósito, dependendo do tipo de carga e matriz polimérica em questão; melhoria substancial na resistência à fluência (isto é, deformação lenta), alternando às vezes levemente as características viscoelásticas da matriz polimérica; melhoria na resistência mecânica a longo prazo (durabilidade e resistência e resistência à fadiga), dependendo do tipo de reforço e da natureza das interações na interface polímero-reforço; aumento na estabilidade dimensional, redução da expansão térmica e encolhimento de moldados; e modificação nas características reológicas, elétricas e de permeabilidade dos compósitos.

Nos termoplásticos reforçados temos três elementos básicos que compõem o compósito polimérico: a fibra ou carga mineral de reforço, a matriz polimérica e a interface polímero-reforço. Cada um destes três elementos deve apresentar características apropriadas e funcionar tanto individualmente como coletivamente, no sentido de se atingir a máxima eficiência de reforço das propriedades desejadas no compósito. Em termos comparativos, a matriz polimérica é o componente de relativamente baixa rigidez e resistência, razoavelmente tenaz ou dúctil, de baixa densidade e coeficiente de expansão térmica superior ao do

componente de reforço, que é de alto módulo e resistência e normalmente frágil. Portanto, é a fibra ou reforço mineral que deve, idealmente, suportar a maior parte da carga mecânica ou tensão aplicada ao sistema, enquanto é função da matriz polimérica transmitir e distribuir as tensões para as fibras ou partículas de reforço individualmente. Este é o princípio básico que determina a eficiência de reforço de compósitos poliméricos, desde que a adesão interfacial polímero-reforço seja mantida integralmente (figura 4) (CALLISTER, 2002).

Figura 4: Curva esquemática tensão-deformação: (a) para materiais com fibra frágil e matriz dúctil. (b) para um compósito reforçado com fibras alinhadas que está exposto a uma tensão uniaxial aplicada na direção do alinhamento



Fonte: Callister (2002)

A interface polímero-fibra ou reforço mineral é o fator crítico que determina até que ponto as propriedades mecânicas em potencial do compósito serão atingidas e mantidas durante seu uso em serviço. As tensões localizadas se concentram normalmente na ou próximo à interface e dependendo da natureza das interações na interface entre o polímero e o elemento de reforço, estas tensões podem funcionar como um foco para falha prematura do compósito. A interface deve, portanto, apresentar características físicas e químicas adequadas para promover uma eficiente transferência de tensão da matriz para o elemento de reforço.

Produtos para melhorar as propriedades de adesão na interface são chamados agentes de acoplamento; eles compatibilizam química e fisicamente os componentes do compósito, pois

apresentam características bi ou polifuncionais. Agentes de acoplagem são usados para melhorar a resistência na interface matriz/fibra, através de ligações físicas e químicas, assim como servem para proteger as superfícies das fibras das condições adversas do ambiente, tais como umidade e fluidos reativos (que podem se difundir através da matriz e causar a deterioração das propriedades das fibras).

Para fibras de vidro e matrizes poliméricas usam-se compostos de silício chamados silanos ($R' - Si(OR)_3$) onde o grupo funcional R' deve ser compatível com a resina da matriz (SHACKELFORD, 2008).

A superfície da fibra de vidro é tratada com o silano em solução aquosa, quando ocorre a hidrólise do agente silano. As fibras são imersas na solução aquosa de silano; formam-se ligações químicas ($Si - O - Si$), assim como ligações físicas (pontes de hidrogênio) com os grupos (OH) da superfície da fibra de vidro (SHACKELFORD, 2008).



Depois de tratadas as fibras de vidro são incorporadas à matriz; o grupo funcional R' , no filme de silano formado sobre a superfície da fibra, reage com a resina formando uma reação química entre fibra e matriz polimérica.

Outras funções da matriz polimérica incluem a proteção contra abrasão das fibras/partículas da carga, como também a proteção das mesmas contra exposição à umidade e penetração de líquidos, sendo que estas funções são também promovidas pela interface através do uso de agentes de acoplamento/acoplagem interfacial. A presença do agente de acoplagem na interface pode ser a melhor maneira de assegurar otimização das propriedades físicas e químicas do compósito, como também da manutenção destas propriedades quando a exposição às intempéries e ao envelhecimento.

Resumindo, pode-se dizer que as propriedades finais do compósito polimérico dependerão essencialmente de: propriedades características individuais dos seus componentes; concentração relativa dos componentes; natureza da interface polímero-reforço; e eficiência do processo de composição/compostagem e de transformação em assegurar a melhor morfologia desejada no compósito final (SHACKELFORD, 2008).

O principal efeito da incorporação da fibra de reforço numa matriz polimérica é o de aumentar o módulo (rigidez) e a resistência do polímero. O tratamento teórico mais simplificado destes efeitos é baseado na simples "Regra de Mistura", onde em uma primeira

aproximação o módulo longitudinal e a resistência à tração do compósito, na direção paralela as fibras, são dados por:

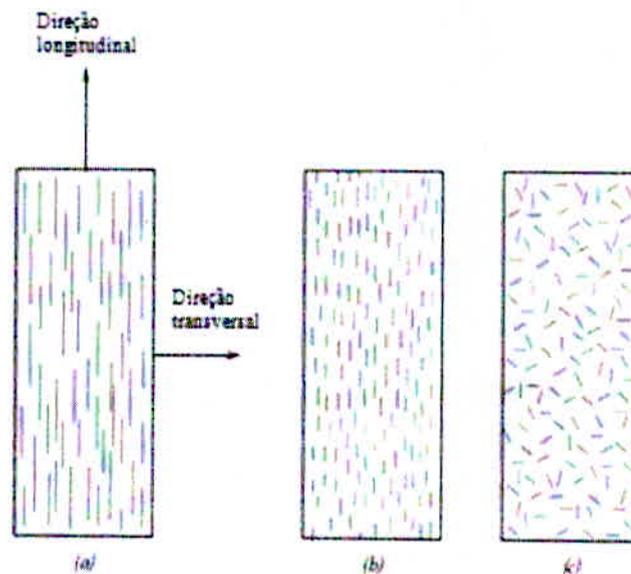
$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (1)$$

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (2)$$

Onde, E_c , E_f e E_m são respectivamente os módulos do compósito, da fibra e da matriz polimérica, σ_c , σ_f são as resistências à tração do compósito e fibra, enquanto σ_m , é a tensão da matriz na deformação máxima da fibra e, finalmente, V_f é a fração em volume da fibra.

As equações (1) e (2) são válidas para fibras longas (ou contínuas), todas alinhadas em uma única direção e ensaiadas na direção de orientação das fibras. Porém, na prática, as fibras nem sempre estão totalmente alinhadas ou não são solicitadas na direção do alinhamento.

Figura 5: Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas



Fonte: Callister (2002)

Deve-se então introduzir um fator de correção nas equações acima, η (fator de alinhamento), e as equações transformam-se em:

$$E_c = E_f \cdot V_f \cdot \eta + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (3)$$

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f \cdot \eta + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (4)$$

Quando $\eta = 1$ as fibras estão totalmente alinhadas e testadas na direção de alinhamento e para $\eta < 1$ implica em redução do módulo do compósito (E_c) e da resistência à tração do compósito (σ_c), pois o reforço das fibras torna-se menos eficiente.

Valores para η são estipulados na literatura (CALLISTER, 2002).

Tabela 2: Eficiência de reforço de compósitos reforçados com fibras para diferentes orientações das fibras e as várias direções de aplicação das tensões

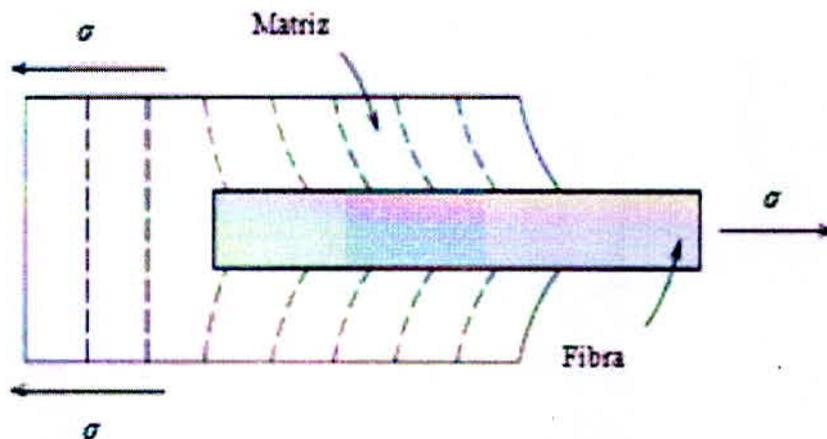
Orientação da Fibra	Direção da tensão	η
Todas as fibras paralelas	Paralela às fibras	1
Todas as fibras paralelas	Perpendicular às fibras	0
Fibras distribuídas aleatoriamente e uniformemente dentro de um plano específico	Qualquer direção no plano das fibras	3/8
Fibras distribuídas aleatoriamente e uniformemente dentro das três dimensões no espaço	Qualquer direção	1/5

Fonte: Callister (2002)

Como na prática e grande maioria das peças técnicas de termoplásticos reforçados são moldados por injeção, é importante avaliar aqui a influência de fibras curtas no processo de reforço do compósito. No caso de fibras curtas, a tensão é transferida da matriz para a fibra através do efeito de atrito e cisalhamento na interface polímero-fibra e, portanto, o comprimento real da fibra e a adesão interfacial polímero-fibra tornam-se fatores de primeira importância.

A magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra e matriz é importante para a extensão dessa transmissão de carga. Sob a aplicação de uma tensão, essa ligação fibra-matriz cessa nas extremidades da fibra, produzindo um padrão de deformação da matriz, como está mostrado esquematicamente na figura 6; em outras palavras, não existe qualquer transmissão de carga a partir da matriz em cada extremidade da fibra.

Figura 6: Padrão de deformação na matriz em volta de uma fibra que está sujeita à aplicação de uma carga de tração



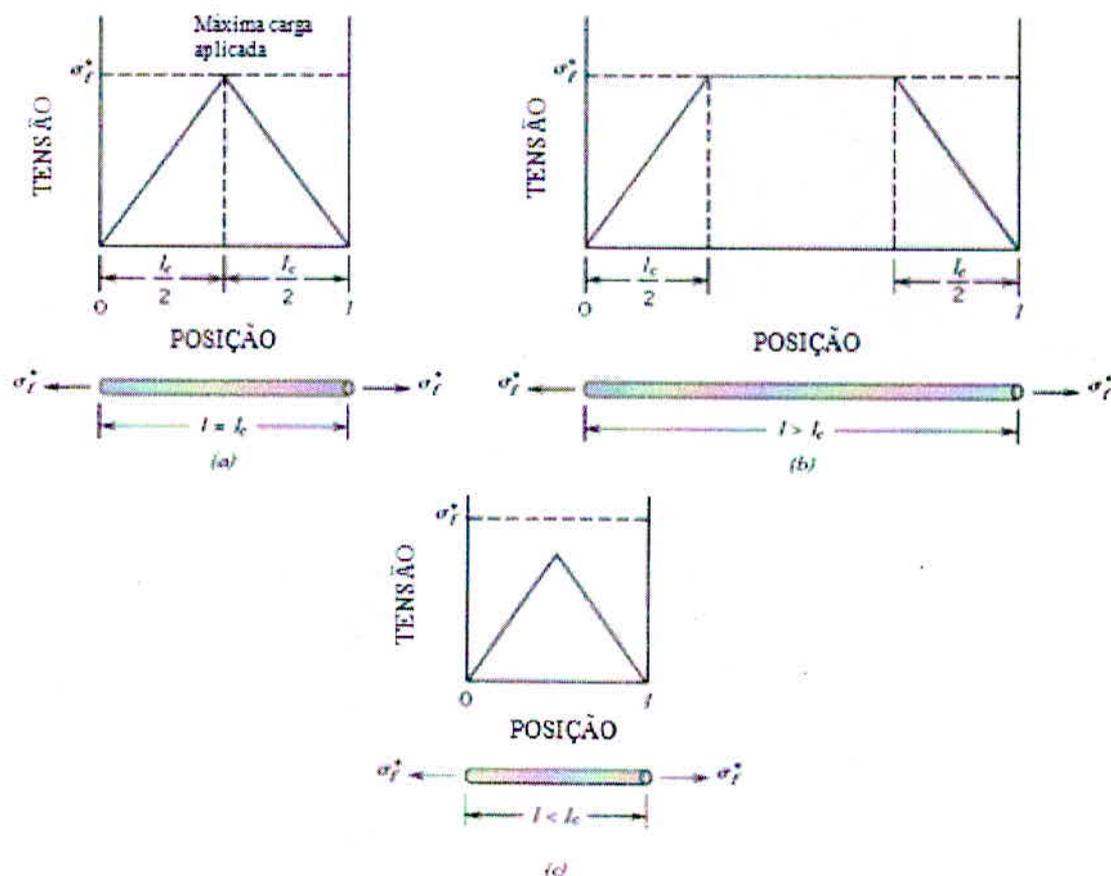
Fonte: Callister (2002)

Um comprimento crítico de fibra é necessário para que exista um efetivo aumento da resistência e um enrijecimento do material compósito. Esse comprimento crítico, l_c , ou razão de aspecto crítica $(l/d)_c$, depende do diâmetro da fibra, d , e da sua resistência final (ou limite de resistência à tração), σ_f , bem como da força da ligação entre a fibra e a matriz (ou da tensão limite de escoamento cisalhante da matriz, o que for menor), τ_c de acordo com a relação (CALLISTER, 2002).

$$l_c = \sigma_f \cdot d / 2\tau_c \quad (5)$$

Para várias combinações matriz-fibra de vidro, esse comprimento crítico é da ordem de um milímetro (1 mm), o que varia entre 20 e 150 vezes o diâmetro da fibra (figura 7).

Figura 7: Perfis tensão-posição quando comprimento da fibra l , é (a) igual ao comprimento crítico, l_c , (b) maior que o comprimento crítico e (c) menor que o comprimento crítico para um compósito reforçado com fibras.



Fonte: Callister (2002)

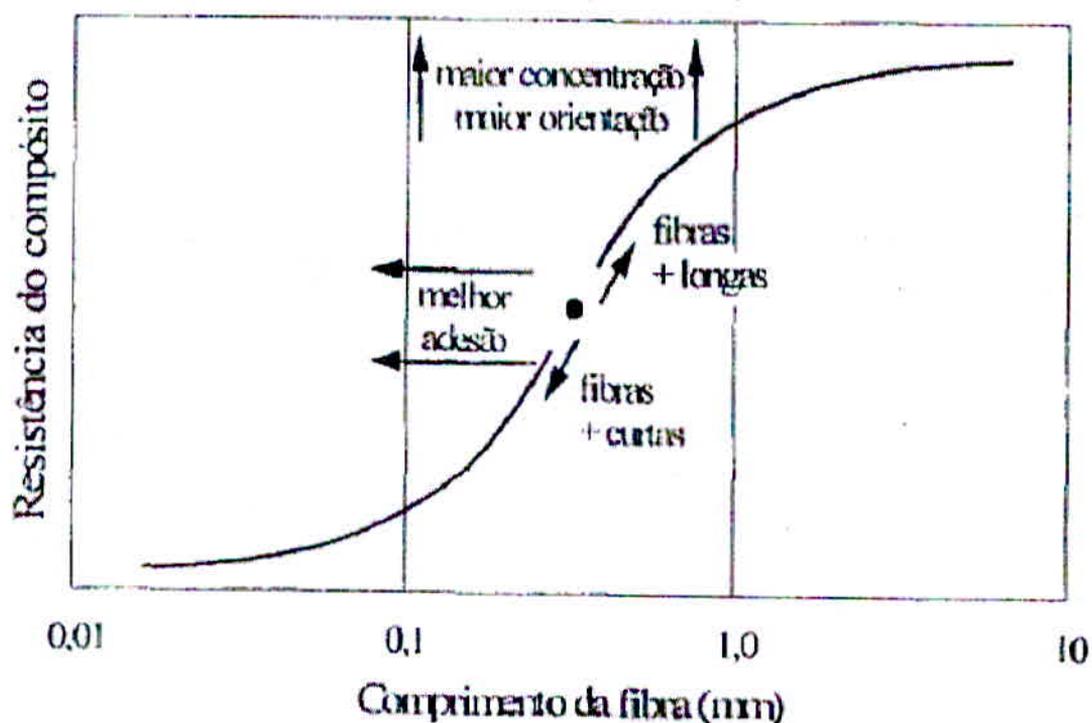
Quando uma tensão igual à σ_f^* , é aplicada a uma fibra que possui exatamente o comprimento crítico, tem-se como resultado o perfil tensão-posição que está mostrado na figura 7(a); isto é, a carga máxima na fibra é atingida somente no eixo central da própria fibra. À medida que o comprimento da fibra, l , aumenta, o esforço causado pela fibra se torna mais efetivo; isso está demonstrando na figura 7 (b), que representa um perfil da tensão em função da posição axial para $l > l_c$ quando a tensão aplicada é igual à resistência da fibra. A figura 7 (c) mostra o perfil tensão-posição para $l < l_c$.

As fibras para as quais $l > l_c$ (normalmente $l > 15l_c$) são chamadas contínuas; as fibras descontínuas ou curtas possuem comprimentos menores que este. No caso de fibras descontínuas com comprimentos significativamente menores que l_c , a matriz se deforma ao redor da fibra de modo tal que virtualmente não existe qualquer transferência de tensão, havendo apenas um pequeno reforço devido à fibra. Estes são, essencialmente, os compósitos

particulados. Para que se desenvolva uma melhoria significativa na resistência do compósito, as fibras devem ser contínuas (CALLISTER,2002).

Conforme descrito na equação (4) sobre a teoria de reforço de compósitos poliméricos, resumimos na figura 8 abaixo, de forma clara, a influência dos principais parâmetros materiais que influenciam em maior ou menor grau na eficiência de reforço de termoplásticos com fibras curtas, onde a resistência mecânica do compósito está relacionada com o comprimento da fibra de reforço e a outros fatores, tais como a orientação e concentração da fibra e a adesão interfacial polímero-reforço.

Figura 8: Principais fatores que afetam a resistência de termoplásticos reforçados



Fonte: Callister (2002)

Pode-se verificar neste gráfico que a resistência do compósito desloca ao longo da curva (o ponto de referência na curva em "S") para valores maiores ou menores em função do comprimento da fibra, enquanto aumento na concentração e grau de orientação da fibra desloca a curva verticalmente para cima. A curva em "S" é também deslocada horizontalmente à esquerda para comprimentos menores da fibra com aumento da adesão interfacial fibra-polímero, conforme as equações (3) e (4) explicadas acima.

As fibras de vidro longas ($l > 5-10$ mm) apresentam resistência superior às fibras curtas ($l = 0.2-1.0$ mm), pelo fato das primeiras se aproximarem do comportamento de fibras contínuas. Esta afirmação fica clara na figura 8 acima e é atestada por dados da Tabela 3

abaixo sobre a resistência à flexão para diversos termoplásticos reforçados com fibras de vidro e carbono (curtas e longas contínuas).

Tabela 3: Efeito do reforço de fibra longas e curtas na resistência à flexão

RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)				
Polímero	Fibra	Não-Carregada	30% fibra curta	65% fibra longa
PP	vidro	33	86	350
PET	vidro	60	140	800
PA 66	vidro	85	180	650
PES	vidro	90	145	500
PEEK	vidro	91	150	780
PEEK	carbono	91	215	1100

Fonte: Harada (2004)

4 APLICABILIDADE DA POLIAMIDA

Aplicações típicas na indústria automobilística com os tipos reforçados com fibras de vidro incluem maçanetas, puxadores e componente de fechaduras das portas de carro. Aplicações no “compartimento do motor” incluem recipientes para água, óleo lubrificante, carcaças de filtros de gasolina, ventoinhas do radiador, caixas de água do radiador, sistemas de aquecimento/resfriamento do carro e outros, onde as excelentes propriedades da poliamida termoestabilizada e reforçada com fibra de vidro (30% de fibra de vidro), de alta resistência mecânica sob condições de fadiga e impacto repetitivo, à temperatura elevadas e ambientes agressivos de serviço, e relativamente baixo custo da resina, são os principais critérios para seleção do material compósito em preferência aos demais termoplásticos de engenharia (HARADA, 2004).

Neste capítulo será analisado o emprego dos termoplásticos na fabricação de peças de automóveis.

4.1 Poliamidas na Indústria Automotiva

A poliamida tem sido utilizada em retrovisores, painéis, calotas, componentes para portas, janelas, faróis, dentre outros.

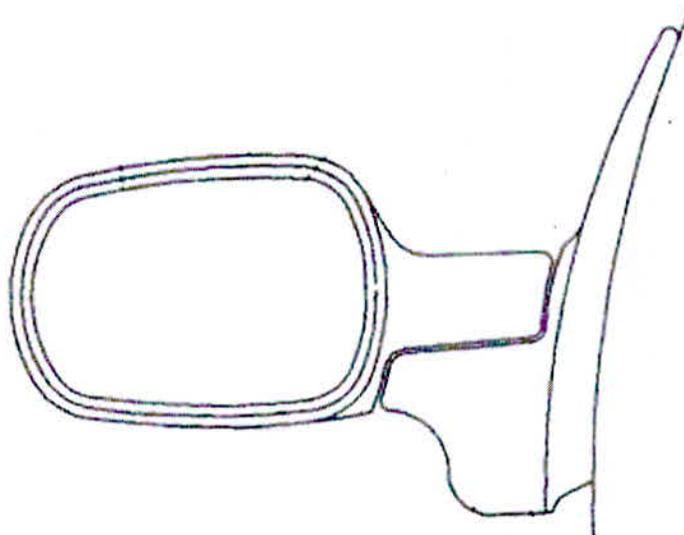
Espelhos retrovisores externos de veículos automotores com corpo termoplástico, um item universal agora, foi uma inovação francesa, introduzida no Renault 14 em 1976 (MAXWELL, 1983).

Segundo o site patente *on line* (2013, s.p):

Um espelho retrovisor externo de um veículo automotor compreende pelo menos um espelho circundado por pelo menos uma carcaça de espelho sustentada por uma armação ligada articuladamente a um elemento de base adaptado para sua fixação no veículo, o espelho podendo ser visto pelo ocupante do veículo para que lhe seja proporcionada uma imagem diretamente refletida nele e que constitui um campo de visão direto, o elemento de base compreendendo uma primeira parte de cobertura ligada a ele e uma segunda parte de cobertura que pode ser ligada à primeira parte de cobertura, constituindo em conjunto uma carcaça.

A figura 9 esquematiza um espelho retrovisor externo de um veículo.

Figura 9: Espelho retrovisor externo de um veículo



Fonte: Harada (2004)

A grande maioria dos espelhos retrovisores externos, utilizam peças moldadas em termoplásticos, com uma grande variedade de formulações baseadas nas poliamidas 6 e 6.6. Outros materiais também são utilizados na composição dos espelhos retrovisores, mas com função estética e não sofrem solicitações mecânicas. A aditivação nos materiais (isto é, aditivos para resistência aos raios ultra violeta) são normalmente utilizada, para as peças sem acabamento de pintura.

Poliamidas reforçadas com fibras de vidro são utilizadas devido aos requisitos de desempenho mecânico dos espelhos retrovisores externos, especialmente a resistência a fluência necessária para resistir às solicitações dos mecanismos dos espelhos retrovisores.

A seleção dos materiais deve ser precisa e devido às características estruturais de algumas peças o uso de ligas metálicas ainda é bastante difundido (MAXWELL, 1994).

O espelho retrovisor externo de um veículo automotor é um item crítico para a segurança ao dirigir e um fator de qualidade com relação ao seu desempenho de vibração.

A Poliamida 6,6 pode substituir o metal com vantagens, tendo em vista que é mais leve, não requer trabalhos de usinagem, confere ao interior do coletor de admissão de gases uma superfície com índice menor de rugosidade, diminuindo a perda de carga no fluxo de ar e resultado de elevada produtividade na injeção das peças.

A figura 10 retrata um coletor em metal, uma peça sem muitas características de designer, o metal pode ter um custo elevado para este projeto. Fisicamente, alterou-se o coletor de admissão, que de acordo com a General Motors viabilizou uma redução de 30% no peso do conjunto.

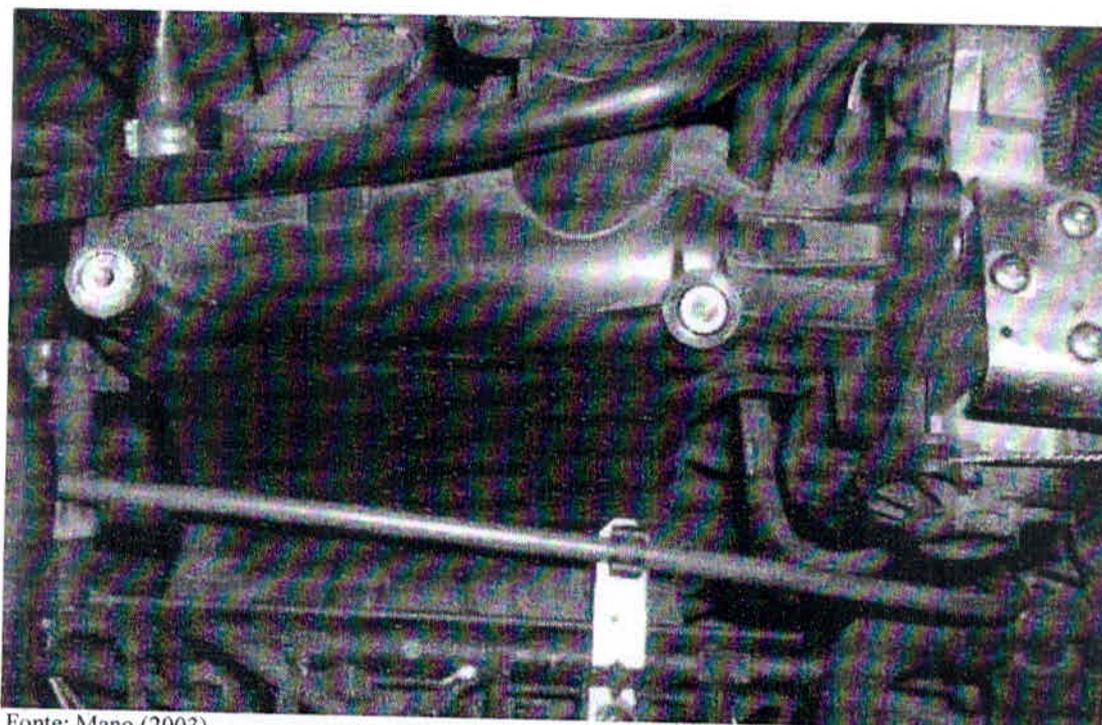
Figura 10: Coletor em metal



Fonte: Mano (2003)

Na figura 11 demonstra-se um coletor de admissão em poliamida 6,6.

Figura 11: Coletor de admissão do Palio em poliamida 6,6



Fonte: Mano (2003)

Outra análise das substituições de peças automotivas, usando a poliamida 6,6 na pode ser observada na figura 12, onde duas bombas da água, uma com a hélice em metal e a outra com poliamida 6,6 com o uso do plástico diminui o tempo para a fabricação da peça.

Figura 12: Bomba da água



Fonte: Mano (2003)

5 CONCLUSÃO

Os metais usados como matéria-prima principal na indústria automotiva, apesar de possuírem boas propriedades mecânicas, facilidade de conformação e de serem tratáveis termicamente, são bastante densos, mesmo na comparação com outros materiais como cerâmicas e principalmente polímeros. Essa maior densidade influencia no peso final do veículo e, conseqüentemente, também nas emissões de poluentes.

Devido a tal fator, nas últimas décadas a engenharia automotiva vem buscando as diminuições da proporção dos metais em veículos utilizando produtos que reduzam o peso permitam garantir a resistência mecânica, térmica e química e que possam acrescentar sistemas funcionais aos automóveis.

A atenção da indústria automobilística se voltou para elementos estruturais e materiais alternativos. Investiu-se em monoblocos mais leves, peças do motor em alumínio e peças de acabamento em plástico. Vale salientar que perdas consideráveis de peso seriam alcançadas se materiais de baixa densidade fossem aplicados na carroceria e no conjunto motor-transmissão.

Os materiais e a sua conversão para componentes são os responsáveis por mais da metade do custo de um veículo. A variedade de materiais muda continuamente, devido à eterna busca por soluções mais leves que possam gerar redução de custo e de peso nos veículos. O alumínio e os compósitos plásticos são os grandes responsáveis por estas soluções. Os novos projetos, aliados as análises virtuais de componentes, de veículos e dos materiais, estão com o foco de desenvolvimento na economia de combustíveis, redução de peso, potencial de estilo, projeto funcional, novos efeitos, manutenção reduzida dos componentes e resistência à corrosão. Devido ao objetivo estabelecido e baseado nos estudos dos novos projetos das indústrias automobilísticas, a troca de materiais nas peças e componentes possibilita aos engenheiros e projetistas a liberdade para realizar as alterações necessárias no projeto para atender as necessidades e requisitos estabelecidos para os veículos.

Neste sentido, materiais alternativos são as poliamidas, que em algumas condições possuem propriedades tão boas quanto os metais, atendendo aos esforços solicitados. Estes materiais vêm ganhando espaço no mercado automotivo.

Foi visto que muitas vezes, além de melhorar as propriedades das poliamidas, os reforços podem baratear os produtos, pois seu valor no mercado pode ser inferior ao da poliamida, reduzindo a quantidade de massa poliamida no produto. Este é o caso das fibras de vidro em relação ao PA6.6, ou seja, quanto maior o teor de fibra na matriz mais barato será o

compósito. Não somente pelo custo, mas também pelas propriedades obtidas, a fibra de vidro é um dos reforços mais interessantes para o PA6,6.

Evidencia-se assim que a poliamida um dos termoplásticos de engenharia têm se mostrado um polímero de grande eficácia, capazes de substituir materiais clássicos empregados na fabricação do automóvel.

As resinas de poliamida possuem diversas propriedades que as fazem um dos materiais mais nobres, técnicos e versáteis.

Do exposto conclui-se que a substituição de metais por poliamidas não é somente possível, como também muito empregada pela indústria automobilística nos dias de hoje, devido às muitas vantagens que estes oferecem. Neste trabalho foi possível avaliar algumas das vantagens que essas substituições podem trazer ao automóvel. Assim, as peças em poliamidas, cada vez mais, têm sua importância reconhecida como parte dos veículos, viabilizando, principalmente, economia, flexibilidade e segurança para o produto final.

REFERÊNCIAS

- AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. Barueri: Manole, 2007.
- ARAÚJO, E.M; HAGE JR., E; CARVALHO, A.J.F. Compatibilização de Blendas de Poliamida 6/ABS usando os copolímeros acrílicos MMA-GMA e MMAMA. Parte 1: Comportamento Reológico e Propriedades Mecânicas das Blendas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, nº 3, p. 205-211, 2003.
- CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2002.
- ESGALHADO, H; ROCHA, A. **Materiais plásticos para construção civil características e tipos de aplicação**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002.
- GASPARIM, A.L. **Comportamento mecânico de polímeros termoplásticos para aplicação em engrenagem automotiva**. 2004. Dissertação (Mestrado em engenharia), PPGEM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS.
- HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplástico projetos e princípios básicos**. São Paulo: Artliber Editora, 2004.
- MANO, E.B; MENDES, L.C. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blüncher Ltda., 2001.
- MAXWELL, J. The Drive for Plastics: Competing in Performance, **Plastics and Rubber International**. v. 8, nº2, p. 45-49, April, 1983.
- MAXWELL, J. **Plastics in the automotive industry**, 1994. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Plastics-Automotive-Industry-J-Maxwell/dp/1855730391>>. Acesso em 22 set. 2013.
- PATENTE ON LINE. **Espelho retrovisor para veículos automotores**. 2013. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/espelho-retrovisor-para-ve-culos-automotores-149100.html>>. Acesso em 22 set. 2013.
- SHACKELFORD, J.F. **Ciência dos Materiais**. 6.ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.
- SMITH, William F. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: LTC, 1998.
- WIEBECK, H; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2005.