ALINE CRISTINA FERREIRA VENTURA

**Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes
automotivos**

São Paulo
2018

ALINE CRISTINA FERREIRA VENTURA

**Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes
automotivos**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo
2018

ALINE CRISTINA FERREIRA VENTURA

**Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes
automotivos**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo
2018

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de 2018

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Ventura, Aline Cristina Ferreira Ventura

Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes automotivos / A. C. F. Ventura -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
140 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Centro de Engenharia Automotiva.

1. Seleção de plásticos 2. Risco 3. Índice de mérito I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Centro de Engenharia Automotiva II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à instituição, aos professores participantes da banca e aos educadores que contribuíram com a minha formação, especialmente ao meu orientador, o Prof. Dr. Marcelo Massarani pelo seu incentivo e colaboração durante este trabalho.

A Fiat Chrysler por ter me proporcionado a oportunidade valiosa de participar do programa de Residência Tecnológica contemplado dentro do projeto INOVAR Auto.

A minha querida família por compartilhar minhas experiências e oportunidades. Com afeto e dedicação ao meu filho querido Lucca.

A persistência é o caminho do êxito.
(Charles Chaplin)

RESUMO

Este estudo se refere a um método para selecionar os materiais plásticos resistentes a riscos mais adequados para peças automotivas. Estabelecer este procedimento é fundamental para as montadoras devido à versatilidade, qualidade e custo competitivo que os polímeros apresentam. Contudo, essa é uma atividade árdua, pois nota-se a ausência de profissionais familiarizados em trabalhar com materiais plásticos e a existência de milhares de materiais disponíveis para utilização. Deste modo, formular um processo estruturado para facilitar a seleção de plásticos tem como objetivo minimizar os riscos e erros do projeto. Portanto, o processo concebido para esta pesquisa foi gerado a partir da estratégia de seleção desenvolvida por Ashby, método tido como referência na área. Além deste, também foram utilizados conceitos da matriz de decisão de Pahl & Beitz, incluindo índice de mérito. Dois exemplos de aplicação da metodologia são apresentados através de estudos de caso, com os componentes tampa do porta-luvas e base do espelho lateral.

Palavras-Chave: Seleção de plástico. Risco. Índice de mérito.

ABSTRACT

This dissertation work is focused on a method to select the most suitable plastic material with scratch resistance for automotive parts. This process is essential for the automakers due to the versatility, improved quality and cost competitiveness of resin materials. Nonetheless, the lack of professionals specialized in plastic materials and the large variety of polymeric materials makes the proper material selection challenging. In this way, it is necessary to define a systematic method to simplify polymeric materials selection in order to reduce the project risks and errors. For this reason, the process proposed in this study was generated based from the selection strategy developed by Ashby, as this is a reference in the field. In addition, two other concepts were adopted: Pahl & Beitz decision matrix and merit index. In order to evaluate this systematic method, two case studies were analyzed: glove compartment and side mirror base.

Keywords: Polymer selection. Scratch deformation. Index of merit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seleção de materiais: evolução e opções.....	22
Figura 2 - Tendência em longo prazo do uso de polímeros compósitos e plásticos em veículos	23
Figura 3 - Classificação dos polímeros	25
Figura 4 - Vedação do vidro da porta – FIAT Punto	26
Figura 5 - Plásticos de engenharia para aplicações automotivas.....	27
Figura 6 - Duas diferentes configurações, (a) influência da deformação plástica e (b) influência do desgaste (perda de massa)	32
Figura 7 - Cinco modos de riscos distinguíveis em uma superfície danificada de acordo com o incremento da força normal	33
Figura 8 - Riscos próximo a ignição	34
Figura 9 - Riscos no painel.....	34
Figura 10 - Riscos na região da porta	34
Figura 11 - Imagem do equipamento de teste de riscos	37
Figura 12 - Contorno do comprimento do risco referente à resistência do risco. A magnitude de L é obtida utilizando a técnica de perfilometria. ..	38
Figura 13 - O plástico com modificações pode ser movido para qualquer posição na figura atendendo a diferentes requisitos.	40
Figura 14 - Teste de dureza	44
Figura 15 - Testes de Izod e Charpy	45
Figura 16 - Influência do raio da ponta do entalhe na resistência ao impacto de alguns termoplásticos (observar a escala logarítmica utilizada para expressar o raio).....	45
Figura 17 - Orientação de moléculas, (A) randomicamente dispostas e (B) alinhadas	46
Figura 18 – Teste de flexão.....	47
Figura 19 - Significados do ensaio de tração	49
Figura 20 – Equipamento para teste do índice de fluidez.	53
Figura 21 - Teste de deflexão.....	54
Figura 22 - Representação esquemática da etapa de iniciação da fotooxidação.....	55
Figura 23 - Diagrama esquemático de um glossímetro (a) e micro-TRI-g/loss,	

glossímetro (b).....	57
Figura 24 – Fenômeno da metameria	58
Figura 25 – Teste de fadiga com 3 pontos de flexão.....	65
Figura 26 - Teste de fadiga com 4 pontos de flexão.	65
Figura 27 - Teste de Voigt-Maxwell.....	67
Figura 28 - a) Curvas de fluência calculadas segundo o modelo de Voigt, apresentadas em escala linear e logarítmica	67
Figura 29 - Esboço de processos de conformação e moldagem de plásticos, elastômeros e materiais compósitos. (TP = termoplástico, TS = termofixo, E = elastômero)	69
Figura 30 - Relação entre custo relativo por unidade fabricada e produtividade dos principais processos de fabricação de produtos poliméricos.....	71
Figura 31 - Esquema de moldagem por injeção (a) por embolo e (b) parafuso rotativo alternativo	72
Figura 32 - Relação entre a faixa de pressões para moldagem por injeção e viscosidade aparente dos polímeros nas suas respectivas faixa de temperatura de processamento.....	74
Figura 33 - (a) Esquema de um parafuso extrusor típico (b) geometria de um parafuso extrusor.....	75
Figura 34 - Importância da seleção de materiais no desenvolvimento do produto....	78
Figura 35 - Problema central da seleção de materiais no projeto mecânico: a interação entre função, material, forma e processo.....	79
Figura 36 - Taxonomia dos materiais, da esquerda para a direita, classificados por reinos (<i>kingdom</i>), famílias (<i>family</i>), classes e tipos de membros (<i>class & member</i>) e atributos dos materiais.	80
Figura 37 - O “afunilamento” de um típico procedimento de seleção de materiais e alguns critérios de decisão ao longo do evento.....	82
Figura 38 - Um exemplo dos mapas das propriedades dos materiais como inicialmente desenvolvidos (mapa módulo de Young versus densidade).....	83
Figura 39 - Processo sistemático de seleção	84
Figura 40 - A estratégia para seleção de materiais	87
Figura 41 - Propriedades materiais – a ligação entre a estrutura e o desempenho ..	88
Figura 42 - Diagrama esquemático E-p que apresenta um limite inferior para E e um	

limite superior para p	91
Figura 43 - Tampa do porta-luvas (modelo Peugeot 107)	101
Figura 44 - Balanço de propriedades	109
Figura 45 - Base do espelho lateral.....	110
Figura 46 - Vista da geometria externa do retrovisor (parte traseira)	110
Figura 47 - Características PC/ASA WX-7010	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de propriedades materiais	42
Tabela 2 - Considerações de projeto	51
Tabela 3 - Sensibilidade espectral de alguns polímeros comerciais	55
Tabela 4 - Escala do teste olfativo	59
Tabela 5 - Técnica de injeção - características	74
Tabela 6 - Técnica de extrusão - características.....	77
Tabela 7 - Características de desempenho material	89
Tabela 8 - Requisitos técnicos	90
Tabela 9 - Índices de mérito para projetos regidos por rigidez e resistência mecânica.	93
Tabela 10 - Escala de valor.....	95
Tabela 11 - Matriz de decisão para avaliação de produto	96
Tabela 12 - Especificações por desempenho (tampa do porta-luvas).....	102
Tabela 13 - Propriedades mecânicas (tampa do porta-luvas)	103
Tabela 14 - Índice de mérito (tampa do porta-luvas).....	104
Tabela 15 - Técnica ponderacional (tampa do porta-luvas)	106
Tabela 16 - Especificações por desempenho (base do espelho lateral retrovisor) .	112
Tabela 17 - Propriedades mecânicas (base do espelho lateral retrovisor).....	113
Tabela 18 - Índice de mérito (base do espelho lateral retrovisor).....	114
Tabela 19 - Técnica ponderacional (base do espelho lateral retrovisor)	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acronitrila Butadieno Estireno
ACC	American Chemistry Council
ASA	Acronitrila Estireno Acrilato
ASTM	American Society for Testing and Materials
BMW	Bayerische Motoren Werke
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.
Co	Corporation
COF	Coeficiente de Atrito
CTFE	Fluoroplástico
CTE	Coeficiente Térmico de Expansão
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTUL	Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load
E	Módulo de Elasticidade (Young)
E	Elastômero
F	Força
FIAT	Fábrica Italiana Automobilística de Turim
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
G	Geometria
GE	General Electric
GM	General Motors
GU	Unidades de brilho
IDS	Integrated Defense Systems
IM	Índice de Mérito
Inc	Incorporação
ISO	International Organization for Standardization
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OEM	Original Equipment Manufacturer
PA	Poliamida
PBT	Tereftalato de Polibutileno
PC	Polycarbonato

PE	Polietileno
PET	Politereftalato de etileno
PMMA	Poli Metil Metacrilato
PP	Polipropileno
PPO	Polioxifenileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinila
SAE	Society of Automotive Engineers
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SR	Scratch Resistance
TP	Termoplástico
TPO	Poliolefina Termoplástica
TS	Termofixo
UV	Ultra-violeta
VDA	Verband der Automobilindustrie
VIAQ	Vehicle interior air quality
VOC	Componentes orgânicos voláteis
VW	Volkswagen

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
CaCO₃	Carbonato de Cálcio
cm	Centímetro
cm²	Centímetro Quadrado
COF	Coeficiente de Atrito
CTE	Coeficiente Térmico de Expansão
σ	Resistência
ε	Deformação
E	Módulo de Elasticidade (Young)
EUR	Moeda Euro
F	Força
G	Geometria
in	Polegada
Hs	Número de Dureza ao Risco
J	Joule
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma Força
KIc	Tenacidade à fratura
m²	Metro Quadrado
mm	Milímetro
mm²	Milímetro Quadrado
M	Propriedades do Material
N	Newton
π	Pi
P	Métrica de Desempenho
Pa	Pascal
SW₁	Largura do Risco
ρ	Densidade
s	Segundo
t	Tempo

US	United States
US\$	Moeda Dólar Americano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	20
2	PLÁSTICOS DE ENGENHARIA PARA AUTOMÓVEIS	22
2.1	HISTÓRICO	22
2.2	DEFINIÇÃO	23
2.3	DESAFIOS E APLICAÇÕES DE POLÍMEROS PARA AUTOMOTIVEIS ...	26
2.4	MATERIAIS PLÁSTICOS RESISTENTES A RISCO	31
2.5	INFLUÊNCIA DE ADITIVOS EM MATERIAIS RESISTENTES A RISCO ...	35
2.6	PRINCIPAIS PROPRIEDADES MATERIAIS	39
2.6.1	Dureza superficial	43
2.6.2	Resistência ao impacto (tenacidade)	44
2.6.3	Módulo de flexão (rigidez)	47
2.6.4	Módulo de elasticidade (resistência à tração)	47
2.6.5	Contração no molde	49
2.6.6	Absorção de umidade	51
2.6.7	Índice de fluidez	52
2.6.8	Deflexão sob ação de cargas.....	53
2.6.9	Resistência a radiação ultravioleta (intempérismo).....	54
2.6.10	Brilho (brilho especular).....	57
2.6.11	Colorimetria	57
2.6.12	Resistência a odor.....	59
2.6.13	Emissão de formaldeído.....	60
2.6.14	Emissão de FOG, componente orgânico volátil (VOC)	60
2.6.15	Resistência a chamas (flamabilidade)	61
2.6.16	Resistência química	62
2.6.17	Densidade	63
2.6.18	Resistência à fadiga	64
2.6.19	Resistência à deformação em longo prazo (fluência ou creep)	66
2.7	PROCESSOS	68

2.7.1	Injeção.....	72
2.7.2	Extrusão.....	75
3	SELEÇÃO DE MATERIAIS.....	78
3.1	MÉTODOS DE SELEÇÃO DE MATERIAIS	81
4	MÉTODO PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS	
	RESISTENTES A RISCOS	86
4.1	ETAPA 1 – ANÁLISE DOS REQUISITOS DO PROJETO	87
4.2	ETAPA 2 – FILTRO DOS MATERIAIS CANDIDATOS	922
4.3	ETAPA 3 – SELEÇÃO DOS MATERIAIS CANDIDATOS	94
4.4	ETAPA 4 – PROCURAR DOCUMENTAÇÃO	99
5	ESTUDOS DE CASO	100
5.1	PROPOSTA DA PEÇA – TAMPA DO PORTA-LUVAS	100
5.1.1	Identificação das funções e definição dos requisitos – tampa do porta-luvas.....	101
5.1.2	Filtro dos materiais candidatos – tampa do porta-luvas	104
5.1.3	Seleção do material – tampa do porta-luvas	105
5.1.4	Documentação dos materiais selecionados – tampa do porta-luvas	108
5.2	PROPOSTA DA PEÇA – BASE DO ESPELHO LATERAL	
	RETROVISOR.....	110
5.2.1	Identificação das funções e definição dos requisitos – base do espelho lateral retrovisor	111
5.2.2	Filtro dos materiais candidatos – base do espelho lateral retrovisor	114
5.2.3	Seleção do material – base do espelho lateral retrovisor	115
5.2.4	Documentação dos materiais selecionados – base do espelho lateral retrovisor.....	117
5.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	119
6	ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO.....	121
6.1	ASPECTOS NEGATIVOS.....	122
6.2	ASPECTOS POSITIVOS	122
7	CONCLUSÕES.....	124
7.1	TRABALHOS FUTUROS.....	125
	REFERÊNCIAS.....	127

1 INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos apresentam um potencial econômico expressivo, ao considerar os avanços de polímeros no projeto de veículos. Com significantes implicações na redução de peso do automóvel, permitindo o aumento da eficiência energética (FUCHS et al, 2008). Além disso, o interior do automóvel normalmente feito de materiais plásticos dispõe da estética como fator fundamental para atrair os clientes e deste modo, garantir a competitividade da marca. O Conselho Americano de Química (*American Chemistry Council - ACC*) estima que no ano de 2006, 50% do total de plásticos empregados em veículos comerciais correspondiam a componentes e peças no interior do automóvel (*National Highway Traffic Safety Administration - NHTSA*, 2007).

Logo, materiais plásticos (compostos e resinas) são usados em inúmeras peças no interior do veículo, como painel de instrumentos, painéis das portas, porta luvas e revestimento das colunas devido a sua versatilidade, extensa faixa de propriedades físicas e mecânicas, processabilidade e relativo custo baixo (NOH et al, 2011).

Portanto, Noh et al (2011), pesquisadores do time de Pesquisa de Materiais Poliméricos da Hyundai Motor Co., afirmam que a resistência ao risco é um dos requisitos chaves para materiais moldados com cor principalmente para aplicações no interior do automóvel. Este assunto é um dos maiores desafios para os engenheiros da indústria automotiva que trabalham com estes materiais. O fenômeno do risco em materiais plásticos consiste na deformação da superfície por força de atrito externa e normalmente acompanha embranquecimento da área danificada. O nível do dano causado pelo risco depende da velocidade, força, geometria do objeto responsável pelo dano, profundidade, temperatura ambiente, umidade, pigmentos utilizados (cor) e tribologia do material.

Deste modo, é imprescindível entender a relação entre os fatores citados anteriormente com a propriedade de resistência ao risco, pois este elemento influencia o resultado final do produto e inclusive o plano estratégico da empresa, pois:

- O conceito de durabilidade do produto é afetado negativamente diante da quantidade percebida de riscos, logo o produto deixa de atender as expectativas do cliente;
- O consumidor almeja por um produto com aspecto novo mesmo depois de um período de uso;
- A resistência ao risco gera um elevado valor de reconhecimento da marca, principalmente em relação à frotistas (UBER, Lyft, entre outros) e taxistas;
- O emprego de materiais resistentes ao risco permite um preço maior na revenda do veículo mesmo após o uso extensivo do mesmo;
- É gerada uma relação de fidelização do cliente em relação à marca e consequentemente aos seus produtos, que por fim influencia positivamente na aquisição de novos automóveis da mesma marca.

Outro desafio às empresas é aliar o melhor desempenho do produto a um custo competitivo, em face aos prazos para lançamento de produtos cada vez menores. Por isso, a seleção de materiais é um fator que afeta diretamente o resultado final do projeto.

Segundo Shanian e Savadogo (2006), tradicionalmente a escolha de um novo material acontece quando suas características são conhecidas, ou em virtude da substituição de um material existente por outro com melhor desempenho, em que especialistas na maioria dos casos trabalham com métodos empíricos, ou consideram a experiência adquirida em casos anteriores.

No entanto, é visível que a opção por um material inapropriado para determinada aplicação, pode resultar em falhas na peça e também em custo desnecessário (DIETER, 1991). Sendo assim, a solução definida pode não representar às vezes a melhor relação entre custo, estética e desempenho do material. Ademais, nota-se a ausência de engenheiros e projetistas familiarizados com propriedades específicas dos materiais plásticos, o que pode produzir uma análise tão detalhada do projeto.

Neste contexto, um dos fatores que se torna cada vez mais relevante é a qualidade (estética e bom acabamento superficial – resistência a riscos) de peças plásticas. Tem-se com isso um potencial que permite desenvolver uma pesquisa para definir uma metodologia para seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para automóveis. Sendo assim, identifica-se uma oportunidade que favorece a

aplicação dos conceitos idealizados por Ashby (2012) em sua obra, sobre a interação entre a forma, função, material e processo para seleção do material.

1.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo principal desenvolver um processo sistemático para seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes automotivos, com perspectiva de explorar melhor as propriedades materiais.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Neste sentido, considera-se como objetivos específicos deste trabalho:

- Identificar materiais resistentes a risco com o intuito de criar um banco de dados que será utilizado no processo de seleção de materiais.
- Criar um modelo prático com orientações para seleção de materiais resistentes a risco que contemple a indicação das melhores práticas, utilizando conceitos de Ashby, Pahl & Beitz e índice de mérito.
- Analisar o desempenho de materiais com custo mais acessível (*commodities*) em frente a materiais com maior prática de uso por montadoras.
- Avaliar as consequências que a inexistência de leis brasileiras relacionadas a baixos níveis de emissões (no habitáculo do veículo) acarretam na venda de veículos brasileiros no mercado internacional.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Para atingir os objetivos propostos, a pesquisa foi estruturada da seguinte forma, no capítulo 1 é apresentada a necessidade de se ter um método para seleção de materiais plásticos resistentes a riscos. Assim como os objetivos e o contexto geral do desenvolvimento do trabalho que será realizado.

Em seguida, o capítulo 2 tem por finalidade introduzir a definição, origem e aplicações de materiais plásticos. Também são abordados os desafios inerentes ao uso deste tipo de material para o desenvolvimento de peças automotivas. Além da caracterização e importância da propriedade de resistência a riscos. A definição de outras propriedades materiais associadas a esta classe de materiais e os processos de manufatura mais usuais são descritos nesta etapa também.

Por sua vez, o capítulo 3 reuniu um levantamento com os métodos mais utilizados para seleção de materiais e técnicas de ponderação. Neste momento,

algumas citações de empresas são realizadas associando a companhia à técnica empregada.

Posteriormente, o capítulo 4 expõe detalhadamente todas as etapas do método proposto para seleção de materiais plásticos resistentes a riscos.

Deste modo, o método citado no capítulo anterior é colocado em prática no capítulo 5, momento em que é realizada a aplicação da técnica em dois estudos de caso.

Por fim, uma discussão sobre os resultados obtidos é efetuada no capítulo 6, incluindo aspectos positivos e negativos do método proposto.

O capítulo 7 retoma os principais pontos apresentados no trabalho e formula as suas conclusões. É colocado em destaque também propostas para estudos futuros.

2 PLÁSTICOS DE ENGENHARIA PARA AUTOMÓVEIS

2.1 HISTÓRICO

A real revolução na indústria automotiva iniciou em 1950, com o desenvolvimento de novos materiais como o ABS (acronitrila, butadieno e estireno), poliamida, poliacetal e policarbonato, e posteriormente com a introdução das blendas de vários polímeros, conforme observa-se na Figura 1. Originalmente, os materiais poliméricos foram especificados devido a suas boas propriedades mecânicas combinadas com a sua excelente aparência, incluindo a possibilidade de coloração do material (DIPAK; LALITKUMAR, 2013).

Fonte: Adaptado de ASHBY (2012)

Dipak e Lalitkumar (2013) menciona que a primeira aplicação veicular foi no modelo *Corvette* de 1953, e que desde então a aplicação dos componentes plásticos na indústria automotiva tem crescido, sendo mais expressiva nas últimas décadas como pode ser visto na Figura 2. Atualmente, os polímeros são usados principalmente para fabricação de veículos mais eficientes do ponto de vista energético devido à redução de massa, juntamente com as características

fornechas de durabilidade, resistência à corrosão, resistência a riscos, dureza do material, flexibilidade de forma, resiliência e alto desempenho a baixo custo.

Figura 2 - Tendência em longo prazo do uso de polímeros compósitos e plásticos em veículos
Porcentagem de peso total do veículo

Fonte: Adaptado de A.T. KEARNEY (2012)

2.2 DEFINIÇÃO DE PLÁSTICOS

Segundo Kalpakjian e Schmid (2001), a palavra plástico é originada do grego (palavra *plastikos*), e seu significado é “capacidade de ser moldado e formado”. E o termo “plásticos” como conhecemos foi introduzido primeiramente em 1909 e depois amplamente empregado como um sinônimo para polímeros (termo utilizado pela primeira vez em 1866).

Em vista disso, é significativo que os polímeros tenham suas particularidades especificadas de acordo com as suas classes distintas. Pois, Silva et. al. (2009) esclarece que processamento do material polimérico proveniente dos polímeros termoplásticos ou dos polímeros termofixos acarreta em processos diferentes. Portanto, Canevarolo Júnior (2006) enfatiza as características técnicas dos materiais de acordo com o grupo:

- Termoplástico – material plástico que quando submetido a um aumento de temperatura e pressão possui a capacidade de amolecer e fluir. O polímero ao ser retirado ocorre então o processo de solidificação do produto com formas definidas. O efeito equivalente ao amolecimento e fluxo pode ser

obtido novamente com a submissão do material a variações de temperatura e pressão. Logo, essa transformação física é reversível. Conhecidos também pelas características: fusível, solúvel e reciclável. Exemplos: poliamida (Náilon), poliestireno (PS), polietileno (PE), e etc.

- Termofixo (conhecido também como termorrígido ou termoendurecido) – material plástico que quando submetido ao aquecimento, sofre uma transformação química irreversível no processo de cura, com a formação de ligações cruzadas, tornando-se rígido. Com características infusível e insolúvel, pois mesmo que seja submetido a aquecimentos subsequentes não haverá alteração de estado físico e por conta disso, também não haverá amolecimento. Exemplos: baquelite, resina epóxi.

Neste contexto, ainda em relação ao processamento do material, cabe destaque a grande diferença existente na viscosidade do material nos dois processos mencionados anteriormente, com referência a aplicação de texturas. Pois para os termoplásticos fundidos a viscosidade varia de 100 a 106 Pa.s, enquanto os termofixos apresentam valores na faixa de 0,1 a 10 Pa.s (MORTON-JONES, 1989). A importância da texturização em polímeros se deve pelos resultados estéticos obtidos, tanto do ponto de vista, de tornar o aspecto da peça mais autêntico a materiais naturais como marfim, couro e diferentes tipos de madeira (com aplicação de texturas características), mas de também camuflar ou minimizar imperfeições superficiais e marcas de processamento, ou seja, reduzir rejeitos (SILVA et al, 2009).

Comercialmente, a distinção entre os polímeros pode ser feita também conforme o grau de diferenciação, nível de consumo, escala produtiva e por fim valor agregado. Deste modo, estes materiais poliméricos são classificados em: polímeros para usos gerais (*commodities*), polímeros para usos específicos (*quasi-commodities*) e polímeros de alto desempenho (especialidades) (HEMAIS, 2003). A representação desse mercado é disposta na Figura 3:

Figura 3 - Classificação dos polímeros

Fonte: Adaptado de BOMTEMPO, 1994 apud HEMAIS (2003)

Contudo, é importante ressaltar que polímeros classificados como *commodities* podem receber uma modificação em sua estrutura para adquirir propriedades específicas, como as de polímeros de especialidade que são mais caros e produzidos em menor escala. Um exemplo recorrente disso segundo Hemaís (2003) é a aplicação do Polipropileno (PP) que pertence ao grupo de *commodities* e possui valor bem baixo, mas que tem sido modificado para adquirir um desempenho melhorado, um exemplo disso no setor automotivo é o componente de vedação do vidro da porta, do modelo Fiat Punto, que utiliza polipropileno reforçado em talco (Ver Figura 4).

Figura 4 - Vedação do vidro da porta – FIAT Punto

Fonte: ALMEIDA JÚNIOR (2003)

Estes materiais plásticos podem ser formados, usinados, fundidos e unidos em vários formatos com relativa facilidade. E quando necessário, uma quantidade mínima de operações adicionais pode ser realizada na superfície final, o que representa uma importante vantagem em relação aos metais. Os plásticos estão disponíveis comercialmente na forma de filme, folha, chapa, haste e tubos em várias seções transversais. E por causa de suas diversas propriedades exclusivas, os polímeros estão em expansão e estão substituindo componentes metálicos em inúmeras aplicações. Essas substituições refletem as características mecânicas dos materiais (KALPAKJIAN; SCHMID, 2001).

2.3 DESAFIOS E APLICAÇÕES DE POLÍMEROS PARA AUTOMÓVEIS

No cenário atual, o uso de materiais plásticos em automóveis é visto como parte integrante fundamental do produto, pois é extenso e abrange inúmeras aplicações. A Figura 5 mostra aplicações de diferentes plásticos de engenharia no projeto veicular. De acordo com a Plastics Europe (2013), os plásticos de engenharia são o segundo material mais utilizado na manufatura de veículos, pois representam entre 12 e 15% do total de materiais utilizados em veículos médios com peso de 1500 kg. Contribuições relevantes estão presentes no projeto do veículo, através da melhora no desempenho em testes de impacto, aumento considerável na eficiência energética do produto (significante do ponto de econômico e ambiental) ou

ainda nas funcionalidades geométricas e sensoriais que reforçam o elemento de qualidade no acabamento final.

Figura 5 - Plásticos de engenharia para aplicações automotivas

Fonte: Adaptado de ELETTRONIC SPECIFIER (2015)

De acordo com a associação de fabricantes de plásticos, *Plastics Europe* (2013), o automóvel moderno têm um número superior a 2000 peças plásticas, incluindo diferentes formas e tamanhos, desde lanternas, para-choques, componentes do motor, painel de instrumentos, teto panorâmico, assentos, *airbags* e cintos de segurança.

No quesito qualidade, o emprego de materiais poliméricos possibilita a sofisticação do design, ampla possibilidade de formas e durabilidade. Além disso, de acordo com a mesma associação, *Plastics Europe* (2013), rápidas inovações de design com custo reduzido e a personalização do produto (*tailor-made*) só são possíveis de serem implementadas na linha de produção devido à versatilidade dos polímeros. Hemais (2003) menciona que no Brasil, as montadoras passaram a exigir que os produtos tivessem o mesmo nível de qualidade que as matrizes, quando a produção de veículos com plataforma global teve início no país.

No entanto, estes materiais apesar dos benefícios também possuem determinadas desvantagens, em relação à reciclagem e níveis de emissões do material, que necessitam de mais pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Segundo a NHTSA (2007), aspectos importantes relacionados a este assunto têm sido constantemente citados e representam os desafios recorrentes para o desenvolvimento futuro do uso de plásticos em automóveis:

1. Desenvolver classificações materiais, padrões de teste e especificações – Encorajar engenheiros de projeto e fabricantes de equipamentos originais (*Original Equipment Manufacturers* - OEMs) para definir plásticos de materiais concorrentes, os projetistas necessitam ser confiantes na habilidade de atingir o desempenho requerido na aplicação. Comparando aos metais, os engenheiros de projeto estão menos familiarizados com os materiais plásticos. Por isso, a indústria do plástico deve avaliar o desempenho e criar classificações materiais para caracterizar os seus produtos. Também é importante enfatizar que a indústria de polímeros é muito rápida no desenvolvimento de seus materiais em comparação aos materiais convencionais. Depois, existe a necessidade em atualizar e expandir a especificação de materiais OEM e os métodos de teste para refletir as propriedades únicas e a capacidade desses novos materiais.
2. Tornar a segurança automotiva acessível com plásticos em testes de impacto – Aperfeiçoar a seleção material para componentes de segurança automotiva irá requerer que plásticos se tornem mais acessíveis, pois o material permite ganhos de eficiência diretamente na manufatura e processo de montagem do veículo. Ao mesmo tempo, a percepção entre os clientes de automóveis necessita ser mudada para estimar o valor das funcionalidades de segurança possíveis através dos plásticos e consequentemente, aumentar sua disposição em considerar estas características.
3. Aprimorar a caracterização e modelagem preditiva de plásticos – A melhoria continua na modelagem preditiva do desempenho na colisão de componentes plásticos é vital para o fortalecimento da posição dos plásticos como material automotivo indispensável. Engenheiros automotivos também demandam de dados de caracterização extensiva de materiais para novos plásticos à

medida que estiverem disponíveis. Obtendo confiabilidade, os dados constitutivos podem exigir um esforço coordenado, em toda a indústria.

4. Melhorar o desempenho em testes de colisão com Gerenciamento de Energia Otimizado – Controlar a energia de impacto gerada durante uma colisão e proteger os ocupantes de absorverem demasiadamente essa energia é parte fundamental da segurança dos veículos. Portanto, componentes e sistemas plásticos avançados no interior, carroceria, exterior e sistemas de transmissão são utilizados para permitir que as montadoras gerenciem a energia da colisão de forma criativa e mais eficaz.
5. Oportunidades plásticas descobertas envolvendo padrões de segurança ativa, passiva e regulações de redução de peso – Compreender as necessidades tecnológicas para atender a evolução dos padrões de segurança e regulações de redução de peso, que estão relacionados à resistência ao choque e a prevenção da colisão, são elementos necessários para o planejamento de pesquisas futuras sobre plásticos. A indústria precisa determinar de maneira mais adequada, os requerimentos de desempenho dos plásticos de novos padrões de segurança e utiliza-los com novos componentes integrados, veículos com combustível alternativos, novas opções de transmissão e motor e uma infraestrutura de transporte. Considera-se que esses assuntos são oportunidades para otimizar a segurança e a redução de peso com materiais plásticos, portanto devem ser identificados.
6. Acompanhar mudanças demográficas para população idosa – Em virtude do crescimento da população de motoristas com mais idade, é necessário aumentar as medidas de prevenção de sistemas contra colisão para manter esses passageiros seguros. Pois, muitos motoristas idosos tem baixa tolerância biomecânica e requerem características de segurança especiais para evitar acidentes. Com pesquisas direcionadas, os plásticos altamente versáteis podem possibilitar importantes avanços nas características de segurança necessários para proteger a população de 65 anos ou mais, conforme dados do relatório da NHTSA.

Diante do que foi exposto anteriormente, enfatiza-se o papel do processo de desenvolvimento do produto, como sendo um dos processos-chave nas empresas líderes de mercado. O êxito nas vendas do produto acontecerá pelas empresas com capacidade de gerar valor de mercado a partir das possibilidades que o produto pode proporcionar as pessoas que irão adquiri-lo. Portanto, o processo de desenvolvimento do produto precisa identificar e compreender as necessidades do mercado (ROZENFELD et al, 2006). Sejam estas necessidades, veículos mais seguros, eficientes e confortáveis.

Dentro deste contexto, o recente panorama introduzido pela Economia de Compartilhamento (*Sharing Economy*) é visto com grande relevância devido a sua rápida transformação. Este novo segmento trouxe perspectivas inovadoras capazes de aumentar a acessibilidade das pessoas, ao mesmo tempo em que otimiza o uso de ativos já existentes (veículos que atendem ao serviço de compartilhamento de viagens ao invés da depreciação sem uso). Segundo Wallsten (2015) Uber, Lyft e Sidecar são os serviços mais proeminentes de compartilhamento de viagens. Sendo que a empresa Uber (fundada em 2009) já possuía 8 milhões de usuários em 2014, dentre 160 mil motoristas em 250 cidades (em mais de 40 países). E a mesma companhia atingiu o patamar de 40 bilhões de dólares em valor de mercado no ano de 2009.

Em vista disso, a compreensão e análise desse novo mercado, que inclui também a introdução dos carros autônomos, é mais ampla e relevante. Por isso, esse perfil de consumidor deve ser considerado para orientar o desenvolvimento de produtos futuros, de modo que os atributos de estilo, conforto e durabilidade configurem uma percepção de qualidade ao mesmo tempo em que emprega métodos para reduzir a quantidade de ferramentas no projeto.

Outro aspecto pertinente a ser avaliado é o desafio que as aplicações de polímeros representam para a venda de automóveis de fabricação nacional no exterior. Pois, o produto brasileiro sofre os efeitos da influência da imposição de normas rígidas (VDA 270, VDA 275 e VDA 278) para a redução da emissão de poluentes em peças plásticas nos mercados norte-americano e europeu. Como consequência, a indústria automobilística nacional está consolidada basicamente no mercado interno, que sofreu forte desaceleração nos anos de 2014 e 2015, de acordo com os dados do SEBRAE (2015). Enquanto o mercado externo se

concentra na Argentina, México, Comunidade Andina (Bolívia, Colômbia, Equador e Peru) e África do Sul, mas com taxas mínimas de exportações (SEBRAE, 2015).

2.4 MATERIAIS PLÁSTICOS RESISTENTES A RISCO

O uso de materiais plásticos é bastante vantajoso, entretanto implica em ter de preponderar certas dificuldades que surgem desde a escolha do material, montagem e inclusive o uso cotidiano do veículo.

Polímeros resistentes a riscos são utilizados principalmente no interior do automóvel, espaço que devido à movimentação de passageiros e cargas está exposto à geração de defeitos caracterizados como riscos e/ou arranhões. Este tipo de defeito pode ser causado pelo contato de pessoas e/ou objetos com os painéis produzidos a partir de material plástico devido a características materiais deficientes ou alguma falha na fabricação da peça. Segundo Blau (2002), a resistência a risco é definida como “a resistência de um corpo sólido a penetração por uma aresta ou protuberância em um segundo corpo que se move ao longo de sua superfície”. Normalmente, o risco inclui a deformação, mas pode envolver a fissuração, descamação e remoção do material, conforme é mostrado na Figura 6. O termo conhecido como “*marring*” tem como significado estragar e é utilizado para descrição de riscos superficiais relativamente finos, distribuído em uma área grande que tipicamente deteriora o aspecto e a aparência da superfície. Logo, pode ser conveniente considerar a resistência ao desgaste como uma propriedade de superfície, uma vez que, a resistência ao risco ou à abrasão envolve o corpo do material também (TABER INDUSTRIES, 2017).

Figura 6 - Duas diferentes configurações, (a) influência da deformação plástica e (b) influência do desgaste (perda de massa)

Fonte: SHEN; JIANG (2006)

Grande parte dos riscos e arranhões encontrados nas superfícies dos materiais podem ser classificados em cinco modos de defeitos definidos pela medição das forças críticas, conforme podem ser vistos na Figura 7. A faixa de variação está compreendida desde a aplicação da força normal com valores mais baixos na superfície (classificados como “*mar*”) até momentos que o incremento da força normal ocasione a fissuração na superfície dos revestimentos, podendo produzir a delaminação e outros danos mais severos (“*chipping*”).

Figura 7 - Cinco modos de riscos distinguíveis em uma superfície danificada de acordo com o incremento da força normal

Fonte: Adaptado de SHEN et al (2004)

Geralmente, o risco é produzido nas seguintes situações:

- Movimentar as chaves para dar partida no veículo;
- Haver contato de areia e terra com o painel;
- Haver contato da unha, arranhando o painel;
- Movimentar ou alocar cargas sobre ou próximo ao painel;
- Movimentar repetitivamente o joelho ou pé em determinada região do painel da porta ao adentrar e sair do carro.

As imagens Figura 8, Figura 9 e Figura 10 demonstram alguns defeitos descritos nas condições citadas anteriormente.

Figura 8 - Riscos próximo a ignição

Fonte: FIAT FORUM (2015)

Figura 9 - Riscos no painel

Fonte: TRIM TECHNIQUE (2015)

Figura 10 - Riscos na região da porta

Fonte: DETAILING WORLD (2009)

Além disso, materiais com baixo custo, por exemplo, como o polipropileno (conforme mencionado anteriormente, material pertencente ao grupo de commodities com valor inferior a US\$ 2/kg) cresceu rapidamente em aplicações automotivas. No entanto, mesmo com o uso de reforços como talco, com a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas, este material plástico ainda possui facilidade em ser riscado, especialmente nos carros populares, modelos em que são mais empregados.

Patty, Calhoun e Shields (2006) pontuam ainda que os fabricantes de veículos (OEM's) almejam que os materiais plásticos utilizados no interior dos veículos (consoles, portas, guarnições e painel de instrumentos) obtenham um nível muito baixo de brilho. Pois, o brilho tem a capacidade de evidenciar mais o risco. Segundo os mesmos autores, o brilho é geralmente especificado em 2.0 ou no nível de brilho Gardner menor que 60° para a maior área da primeira superfície de componentes de interior moldados em cor (MIC – *Molded in Color*), sem pintura ou em um processo secundário como manta vinílica (PATTY, CALHOUN e SHIELDS, 2006).

Neste sentido, a indústria acompanha a tendência em substituir materiais ABS por PP, devido ao menor brilho estético e menor gradiente de brilho que o polipropileno apresenta. No entanto, grandes benefícios proporcionados pelo material ABS são negligenciados, dentre eles podem ser citados, estabilidade dimensional, resistência ao impacto e a riscos. Cabe ressaltar, o impacto que esta substituição também acarreta na manufatura (processo de moldagem por injeção) para adequação do novo material as mesmas aplicações que o ABS desempenha. Pois, o PP necessita de um período maior de duração do processo de cura (pós moldagem) para elevar a sua cristalinidade, e conseqüentemente, aumentar assim a resistência a riscos e riscos relativamente finos (*mar resistance*) (PATTY; CALHOUN; SHIELDS, (2006).

Logo, pesquisas têm sido desenvolvidas para evitar esses danos ao produto através de mecanismos para eliminar as deficiências materiais, e elevar a resistência ao risco. Pois este é um dos maiores desafios para os especialistas dessa área na indústria.

2.5 INFLUÊNCIA DE ADITIVOS EM MATERIAIS RESISTENTES A RISCO

Primeiramente, com o intuito de atender aos requerimentos do consumidor, design da qualidade e a competitividade nos custos, as indústrias tiveram a

necessidade de otimizar os seus processos produtivos. Adicionalmente, as regulamentações que envolvem questões ambientais tem exercido grande influência nesse processo. Logo, a redução da quantidade de tinta, permitiria minimizar os custos de manufatura ao eliminar a etapa de pintura dos plásticos de produtos eletrônicos. Consequentemente, iniciou-se uma nova tendência com materiais sem pintura com design negro de alto brilho de produtos moldados por injeção. E a utilização de ABS e posteriormente PMMA (poli metil metacrilato) para dispositivos eletrônicos foi expandida. Entretanto, esses produtos não pintados tem pior desempenho nas propriedades relacionadas ao risco, em contrapartida das peças pintadas, o que representa um grande problema para a indústria (KIM et al, 2011).

Em segundo, também é crescente o interesse em substituir o ABS pelo polipropileno na indústria automotiva para facilitar o processo de reciclagem (CHU; RUMAO; COLEMAN, 1998). Todavia, um fator limitante para a substituição é a susceptibilidade do polipropileno a danos na superfície, como riscos e deterioração como foi evidenciado por pesquisadores (BRISCOE et al, 1996).

Segundo Dasari et al (2002), a visibilidade do risco é relacionado a fatores como tamanho (profundidade e largura), o fenômeno de embranquecimento sob tensão (dano conhecido como *stress whitening*) e o mecanismo de deformação do risco. É importante ressaltar que riscos também atuam como concentradores de tensão e podem reduzir a força mecânica do material polimérico por fadiga. Zokaei, Lesan Khosh e Bagheri (2007), afirmam que foram introduzidos vários métodos com a finalidade de avaliar a resistência de polímeros a riscos (SR – *Scratch resistance*). As maiorias dessas técnicas usadas possuem como base riscar um polímero com um indentador com ponta de diamante sob uma carga e determinada velocidade (ver Figura 11), e então a medição de uma das dimensões de risco é definida como critério para avaliação da resistência ao risco.

Figura 11 - Imagem do equipamento de teste de riscos

Fonte: ZOKAEI; LESAN KHOSH; BAGHERI (2007)

Zokaei, Lesan Khosh, Bagheri (2007), dizem que a resistência dos polímeros também é influenciada por vários fatores em relação aos danos de risco. Alguns deles estão relacionados a tribologia do material, comprimento da cadeia molecular, dureza, módulo de elasticidade e produção de tensão. Fatores extrínsecos que influenciam o desempenho do risco incluem a taxa de esforço, temperatura, a geometria do indentador e o coeficiente de atrito.

De acordo com a normatização da ASTM (*American Society for Testing and Materials*), o número de dureza ao risco em largura, H_s é expresso em termos de força por unidade área, que caracteriza a resistência de uma superfície sólida para penetração de um indentador sob uma constante de força normal e velocidade. A largura do risco é usada para medir o tamanho do dano. Com referência a esta norma, H_s é calculada conforme a equação 1 (ASTM STANDARD, 2009):

$$H_s = \frac{8F}{\pi(S_{W1})^2} \quad (1)$$

Onde F é a força, L é a carga no indentador e $SW1$ é a largura do risco, conforme a Figura 12 ilustra.

Figura 12 - Contorno do comprimento do risco referente à resistência do risco. A magnitude de L é obtida utilizando a técnica de perfilometria.

Fonte: ZOKAEI; LESAN KHOSH; BAGHERI (2007)

Misra et al (2004), consideram que a relação entre a largura do risco e a profundidade (indentador piramidal com ângulo cônico de 120°), utilizado no risco profundo visa avaliar as propriedades de polímeros, conforme a Equação 2:

$$HD = \frac{F}{3\pi(S_D)^2} \quad (2)$$

Onde HD é a dureza do risco em profundidade, S_D é a média de S_{D1} e S_{D2}, profundidades do risco em relação a superfície do material.

Inúmeros pesquisadores identificaram a melhora da resistência ao risco devido ao preenchimento de compósitos na matriz de polímeros, como CaCO₃, talco, wollastonite e silicone (WANG; ZHANG; TIAN, 2012, LIN; GAO; LI, 2006, YOUXI; CHENGHUI; YUAN, 2007 e ZOKAEI; LESAN KHOSH; BAGHERI, 2007)

Chu et al (2000), evidenciou no entanto, que o talco aumenta a visibilidade do risco (especialmente em profundidade), mas o mineral wollastonite tendo as mesmas características de fratura na superfície da amostra, induz menor deformação plástica que consequentemente conduz a menos *stress whitening*. Isto foi mostrado por Hadal e Misra (2005) que usaram agentes de acoplamento para aumentar o desempenho das propriedades envolvendo o risco, principalmente quando utilizadas finas partículas de wollastonite.

A relação linear entre a resistência ao risco (*Scratch resistance* - SR) e taxa de tensão tem sido também confirmada por alguns pesquisadores, ao incorporar

diferentes reforços em polipropileno, como pode ser constatada a resistência a risco aumenta com a taxa de tensão e uma menor deformação ocorre no material (MISRA et al, 2004).

A relação entre a resistência ao risco e as propriedades mecânicas, envolve o fato de que o módulo pode ser melhorado pela adição de aditivos rígidos ou aumentando a cristalinidade como demonstrou Dasari et al (2002), este fato permite que a matriz com reforços seja mais resistente a penetração do indentador.

Polímeros macios são mais sensíveis a risco que alguns plásticos mais duros. O uso de silicone no nível de 2% até 10% ajuda a reduzir o coeficiente de atrito (COF) e correspondentemente melhora a resistência a risco. Por exemplo, a resistência a risco de TPOs com preenchimento de talco e modificados com acréscimo entre 2 – 3% de silicone na matriz, é significativamente melhorada e visível clareamento é suprimido sob condições em que o mesmo TPO teria dano sem a presença de silicone em sua estrutura. A pintura necessita ser verificada, mas um baixo nível de silicone (por exemplo 2,5%) não afetará a pintura, e a resistência as intempéries aumenta apresentando menos mudança no aspecto que o controle sem silicone. O tratamento da superfície com resina dura também é utilizada (BIRON, 2007).

2.6 PRINCIPAIS PROPRIEDADES MATERIAIS

O conceito sobre riscos é um assunto relevante e recentemente tem ganho maior repercussão na indústria. Pois, o tema se reflete no aumento das aplicações, consequências dos avanços na ciência e tecnologia dos polímeros. Diferentemente dos materiais tradicionais como cerâmicas e metais, que possuem um longo histórico de pesquisa, o estudo de polímeros com foco em riscos continua em estágio inicial em comparação aos materiais tradicionais. Uma amostra disto é a inexistência de métodos de testes padronizados e equipamentos para conduzir experimentos de riscos em polímeros até há pouco tempo. Testes padronizados para os defeitos de riscos surgiram somente em 2003 na ASTM e no ano de 1997 para a ISO (LIM, 2005).

Portanto, este capítulo introduz as propriedades (físicas, mecânicas, entre outras) associadas ao desenvolvimento de materiais plásticos resistentes a riscos com aplicação automotiva. Primeiramente devido à amplitude do assunto, serão

relacionados os principais conceitos destas propriedades, incluindo citação dos testes mais empregados e terminologias referentes às mesmas.

O processo de desenvolvimento do produto considera que o desempenho de materiais plásticos resistentes a risco está relacionado a características importantes do material, as propriedades materiais e ao processo de fabricação também. A Figura 13 ilustra a inter-relação de diversos materiais plásticos e suas propriedades, vale ressaltar Rosato et. al. (2004) diz que os materiais presentes na Figura 13 não possuem reforços em sua matriz e que o uso de reforços pode alterar significativamente o desempenho do material e suas propriedades materiais, conforme já foi citado anteriormente. Portanto, do ponto de vista do projeto de materiais resistentes a riscos, é necessário destacar o balanço essencial entre a rigidez e a alta resistência ao impacto que deve existir.

Figura 13 - O plástico com modificações pode ser movido para qualquer posição na figura atendendo a diferentes requisitos.

Fonte: Adaptado de ROSATO; ROSATO; ROSATO (2004)

Quando se fala em materiais plásticos resistentes a riscos com ótimo desempenho e qualidade, segundo Brydson (1999) estes devem apresentar rigidez, dureza, resistência à deformação em longo prazo (*creep*), recuperação da deformação ao aliviar o stress e resistência à degradação térmica.

Claramente existem outras propriedades materiais que necessitam ser consideradas dependendo da região de aplicação da peça. No interior do veículo, por exemplo, a resistência ao impacto, resistência a riscos e rigidez são demandadas, todavia, baixo brilho, boa resistência à abrasão e resistência química,

toque suave, níveis baixos de odor, excelente solidez na coloração também são desejáveis. Ademais a possibilidade de moldar a peça na cor desejada é perseguida, pois gera economia devido à eliminação do processo de pintura.

A avaliação de condições climáticas da mesma forma é especialmente importante para peças plásticas no interior do veículo, pois além da resistência ao risco o bom desempenho do material ao longo do tempo faz parte dos requisitos de qualidade esperados pelo usuário.

Régula (2004) diz que parte destas condições inclui o uso de estabilizantes UV, que evitam os desvios de tonalidade, a resistência do material ao calor, ou ainda o enfoque em materiais com baixa emissão de formaldeídos (predominantemente empregados no interior do veículo) e o uso de agentes para evitar o efeito *fogging* (nebulização).

A Tabela 1 sumariza as propriedades que serão descritas neste capítulo, conforme as suas normas e aplicação no veículo.

Tabela 1 - Tabela de propriedades materiais

Item	Requisitos Técnicos		Todas as peças	Somente para peças visíveis	Somente peças em contato com o ar circulante na cabine de ocupantes	Peça exposta a condições climáticas	Peça sujeita a transferência de energia
	Propriedades	Normas					
2.6.1	Dureza superficial	ASTM D785, ISO 2039		x			
2.6.2	Resistência a impacto	ASTM D 256, ASTM D6110, ISO 179, ISO 180	X				
2.6.3	Módulo de flexão	ASTM D790, ISO 178	X				
2.6.4	Módulo de elasticidade	ASTM D638, ISO 527					x
2.6.5	Contração no molde	ASTM D955, ISO 294-4	X				
2.6.6	Absorção de umidade	ASTM D570, ISO 62		x			
2.6.7	Índice de Fluidez	ASTM D1238, ISO 1133	X				
2.6.8	Deflexão sob ação de cargas	ASTM D648, ISO 75		x			
2.6.9	Resistência UV, Intemperismo	ASTM D2565, ASTM D4329, , ISO 4892				x	
2.6.10	Brilho (Brilho Especular)	ASTM D523, ISO 2813				x	
2.6.11	Colorimetria		x				
2.6.12	Resistência a odor	SAE J1351, VDA 270			X		
2.6.13	Emissão de Formaldeídos	VDA 275			X		
2.6.14	Emissão de Fogging, Componente Orgânico Volátil	ISO 6452, SAE J1756, VDA 278			X		
2.6.15	Flamabilidade	ASTM D635, FMVSS 302	X				
2.6.16	Resistência Química	ASTM D543, ISO 22088		x			
2.6.17	Densidade	ASTM D1505, ASTM D792, ISO 1183	X				
2.6.18	Resistência a Fadiga	ASTM D7774, ISO 13003	X				
2.6.19	Resistência à deformação em longo prazo	ASTM D2990, ISO 899	x				

Fonte: Autor (2017)

2.6.1 Dureza superficial

A definição aceita de dureza que se refere ao plástico é a resistência à penetração ou indentação por outro corpo. Logo, a dureza geralmente é usada para descrever a resistência da superfície do material a indentação, riscos ou *marring* (riscos relativamente finos). Estes fenômenos são considerados estreitamente relacionados (PROGELHOF; THRONE, 1993).

No entanto, de acordo com Dorneles Filho (2006) ao envolver a fluência e resiliência para determinar a dureza, não é coerente comparar a dureza entre diferentes materiais plásticos com este indicador somente. Segundo o mesmo autor, a Dureza Rockwell deve ser analisada como parâmetro de resistência a risco e não como métrica para condições de uso de material ou de resistência à abrasão. O valor de dureza Rockwell, segundo a norma ASTM D785 (2015), está diretamente relacionado à dureza de endentação de um material plástico, ou seja, quanto maior o valor medido mais duro é o material.

Inúmeros instrumentos diferentes podem ser utilizados para medir a dureza de indentação. Eles diferem na forma e tamanho do indentador e na magnitude e duração da força aplicada. A penetração e deformação da superfície é fortemente dependente da natureza viscoelástica do polímero. Vários testes de dureza podem ser citados e as amostras são condicionadas de acordo com a norma ASTM D618. Cabe destacar que cada sistema de medição possui vantagens e desvantagens, portanto, a escolha por um método em particular, forma do indentador e natureza do indicador irá depender principalmente do módulo do plástico (PROGELHOF; THRONE, 1993).

O teste de Dureza Rockwell, descrito pelas normas ASTM D785 e ISO 2039, é um dos mais conhecidos e inicialmente foi desenvolvido para metais. O seu procedimento de indentação consiste em na adição e remoção sucessiva de cargas sobre um indentador esférico na superfície plástica por determinados períodos, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Teste de dureza

Fonte: LESKO (2004)

2.6.2 Resistência ao impacto (tenacidade)

A resistência ao impacto é um indicador da tenacidade do material e representa a resistência de um material rígido submetido à deformação a uma velocidade muito alta. O teste de resistência ao impacto se baseia na quantificação da energia de impacto, sendo expressa em J/m e em cm.kgf/cm^2 . Os métodos conhecidos para realizar o teste são Izod e Charpy, através do princípio de absorção da energia, com a energia potencial por meio de uma agulha com peso acima ou pêndulo, sendo o teste de impacto por queda livre ou teste de impacto sob tração (ver a Figura 15). Para o método de Izod, o corpo de prova injetado submete-se ao impacto do pêndulo, onde um peso ajustável cai sobre o corpo de prova sob uma altura fixa, até que a amostra seja deteriorada em 50%, então um entalhe simulando uma trinca é efetuado neste corpo de prova. Enquanto o método sob tração submete a amostra a deformação do pendulo a elevadas velocidades (CANEVALORO JÚNIOR, 2006). Os procedimentos para realizar o teste de Izod estão descritos nas normas ASTM D256 e ISO 180 e para o teste Charpy as normas são as ASTM D6110 e ISO 179.

Figura 15 - Testes de Izod e Charpy

Fonte: LESKO (2004)

A Figura 16 apresenta a influência do raio do entalhe em relação à resistência ao impacto para vários materiais. Neste gráfico é possível observar a susceptibilidade dos materiais Náilon e PVC ao entalhe em comparação aos outros. O entalhe gerado na amostra representa a ação de uma força em um canto vivo de uma peça.

Figura 16 - Influência do raio da ponta do entalhe na resistência ao impacto de alguns termoplásticos (observar a escala logarítmica utilizada para expressar o raio).

Fonte: CANEVAROLO JÚNIOR (2006)

A resistência ao impacto deve ser utilizada na seleção de materiais em conjunto a outros requisitos, mas não como requisito único, pois Dorneles Filho (2006) cita como exemplo, os materiais de Náilon e Poliacetal que possuem menor resistência ao impacto (são sensíveis ao entalhe no método Izod), mas que, entretanto, possuem excelentes propriedades mecânicas. Canevarolo Júnior (2006), também recomenda para o processo de seleção de materiais a realização de ensaios com solicitações sob impacto em materiais poliméricos que incluam choques mecânicos em quedas ou batidas, assim como também a detecção de tendência à fratura frágil sob impacto, pois agentes de concentração de tensão podem existir devido a defeitos ou ao próprio projeto da peça, mesmo que estes mesmos materiais sejam considerados dúcteis em testes em que taxas de deformação são baixa ou moderada.

Brydson (1999) expõe como ponto relevante, o modo como a tenacidade é influenciada pelo projeto do produto e pelo método de manufatura, assim como pela temperatura também. Portanto, a propriedade não é simplesmente uma função da estrutura do polímero ou um modo de tensão. Por exemplo, considerando dois produtos A e B em que as moléculas estão randomicamente dispostas como em A e alinhadas como em B, conforme a Figura 17. Na amostra A não há indícios de fraqueza, enquanto B ao ser atingido por um impacto no ponto P é mais provável que uma falha ocorra ao longo de XY do que em outro ângulo em relação a essa linha. Logo, para obter uma resistência considerada desejada, deve-se minimizar essa orientação pelo fabricante, condições com concentração de tensão devem ser evitadas desde o projeto até a sua fabricação.

Figura 17 - Orientação de moléculas, (A) randomicamente dispostas e (B) alinhadas

Fonte: BRYDSON (1999)

Enfatizando que a concentração de tensão tende a acontecer com a presença de entalhes ou ângulos agudos ou de vazios ou orifícios, assim como com a inclusão

de partículas. E a sensibilidade ao entalhe varia bastante conforme o polímero como já foi mostrado na Figura 16 anteriormente. O fenômeno também pode propiciar a propagação de trinca ou o aparecimento de fraturas por fadiga.

2.6.3 Módulo de flexão (rigidez)

Segundo Dorneles Filho (2006), grande parte das peças automotivas estão expostas a esforços de flexão. O módulo elástico na flexão, normalmente retratado como módulo inicial na deflexão da curva de carga, ocorre quando uma peça sofre uma deflexão entre dois apoios, em grande parte dos casos o componente possui secção transversal retangular, e durante este fenômeno é possível identificar determinada superfície do material deformada em tração e a outra superfície sob compressão, até o instante em que o eixo neutro ou linha de tensão zero é atingida.

O ensaio do módulo de flexão é importante para definir um material que possua elevada rigidez mecânica, pois é fundamental preponderar o módulo elástico, que corresponde a uma medida da rigidez material (DORNELES FILHO, 2006).

O procedimento para os ensaios de flexão é descrito nas normas ASTM D790 e ISO 178. Neste ensaio utiliza-se uma barra do plástico a ser testado e, após apoiar o material utilizando-se um aparato com três pontos de fixação, aplica-se uma força no meio da amostra até quebrá-la ou dobrá-la à uma distância específica, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Teste de flexão.

Fonte: APM TESTING (2017).

Em adição é importante destacar que a quantidade, o tipo de reforços ou carga irá influenciar na rigidez mecânica do material, pois Dorneles Filho (2006) cita

que a rigidez mecânica será maior mediante a elevada presença de cargas ou reforços.

2.6.4 Módulo de elasticidade (resistência à tração)

Conhecida também como resistência a tração na ruptura, os métodos de ensaio para resistência à tração seguem as normas ASTM D638 e ISO 527 e os valores são expressos em MPa, Pa, N/m^2 , kgf/mm^2 . No teste de resistência à tração é avaliada a tenacidade do material, pela carga aplicada ao material por unidade de área, no instante da ruptura. Em relação aos polímeros é interessante salientar que estes possuem valores de resistência à tração que são considerados baixos, quando comparados aos metais (MANO, 1991).

A resistência à tração abrange 3 diferentes fenômenos, a tensão de escoamento (N/mm^2), a tensão no ponto de ruptura para fratura em zona plástica (tenacidade) e a máxima tensão para a fratura instantânea (DORNELES FILHO, 2006).

De acordo com Dorneles Filho (2006), a relação entre a tensão aplicada e a deformação resultante no corpo de prova, conhecida como o módulo de tração ou módulo elástico se apresenta de modo linear e proporcional à tensão. Este módulo é uma medida de rigidez do material polimérico e indica alta resistência mecânica. Logo, o comportamento esperado para polímeros para aplicação automotivas deve ser semelhante ao módulo medido na Figura 19, em que a resistência é maior quando o módulo apresenta valor maior também.

Figura 19 - Significados do ensaio de tração

Fonte: TICONA (2006 apud DORNELES FILHO, 2006)

2.6.5 Contração no molde

No molde por injeção a diferença entre as dimensões da cavidade do molde e a peça moldada pode variar de acordo com o projeto do molde e a operação do processo de moldagem. Fatores como molde, temperatura de fusão, tempo de preenchimento e condições de embalagem são conhecidos por afetar a contração significativamente. No molde por compressão, a diferença entre as dimensões da cavidade do molde e a peça moldada pode variar de acordo com o projeto do molde e operação do processo de moldagem. Conforme ASTM D955 (2014), fatores como a quantidade de material em carga, tempo de resfriamento e pressão de aplicação são conhecidos por afetar significativamente a contração. O procedimento para avaliar a contração dos plásticos está descrito nas normas ASTM D955 e ISO 294.

Com base nos dados mencionados anteriormente, Lokensgard (2004) também afirma que a manutenção das tolerâncias dimensionais da peça está intimamente relacionada com o fenômeno de contração. Tolerâncias dimensionais de única cavidade de elementos moldados devem ser mantidos em $\pm 0,05$ mm/mm [$\pm 0,002$ in./in.] ou em valores ainda menores para os plásticos selecionados. Erros em ferramental, variações na contração entre multicavidades das peças, incluindo

diferenças em temperatura, carga e pressão de cavidade a cavidade podem aumentar todas as tolerâncias dimensionais dos moldes multicavidades. Por exemplo, na hipótese de o número de cavidades aumentar para 50, a tolerância prática mais próxima pode ser então de $\pm 0,025$ mm/mm [$\pm 0,010$ in./in.]. De acordo com MortonJones (1989), polímeros semicristalinos contraem entre 1 a 4% e polímeros amorfos apresentam valores na faixa de 0,3 a 0,7%.

Dentro desta perspectiva, padrões de tolerância tem sido estabelecidos por moldadores técnicos especializados e pelo Comitê de Normas da Sociedade da Indústria Plástica (*Standards Committee of Society of the Plastics Industry, Inc.*). Essas normas estabelecidas são usadas somente como um guia para a definição do material plástico e o projeto. Sendo assim, existem três classes de tolerâncias dimensionais para peças plásticas moldadas (expressas em in./in. ou mm/mm), a primeira é a tolerância fina, definida como o limite possível mais estreito da variação possível. A segunda é conhecida como tolerância padrão, que representa a dimensão de controle médios que podem ser obtidos no processo de manufatura. E por fim, a tolerância grosseira em que peças não consideram a precisão dimensional como fator crítico ou primordial (LOKENS GARD, 2004). A Tabela 2 retrata a classificação mencionada anteriormente, exibindo valores de contração no molde de vários materiais plásticos.

Tabela 2 - Considerações de projeto

Plásticos	Contração Molde Linear, mm/mm	Fina	Tolerância Dimensão Prática mm/mm (Única Cavidade)		Fina	Graus	
			Padrão	Grosseira		Padrão	Grosseira
ABS	0.127-0.203	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Acetal	0.508-0.635	0.102	0.152	0.229	0.50	0.75	1.00
Acrílico	0.025-0.102	0.076	0.127	0.178	0.25	0.75	1.25
Alquídico (preenchimento)	0.102-0.203	0.051	0.102	0.127	0.25	0.50	1.00
Amino (com preenchimento)	0.279-0.305	0.051	0.076	0.102	0.125	0.50	1.00
Celulósico	0.076-0.254	0.076	0.127	0.178	0.125	0.50	1.00
Poliéter clorado	0.102-0.152	0.102	0.152	0.229	0.25	0.50	1.00
Epóxi	0.025-0.102	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Fluoroplástico (CTFE)	0.254-0.381	0.051	0.076	0.127	0.25	0.50	1.00
Ionômero	0.076-0.508	0.076	0.102	0.152	0.50	1.00	2.00
Poliamida (6.6)	0.203-0.381	0.127	0.178	0.279	0.125	0.25	0.50
Fenólico (com preenchimento)	0.102-0.229	0.038	0.051	0.064	0.125	0.50	1.00
Óxido de fenileno	0.025-0.152	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Policarbonato	0.127-0.178	0.076	0.152	0.203	0.25	0.50	1.00
Poliéster (termoplástico)	0.076-0.457	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Poliétileno (alta densidade)	0.508-1.270	0.076	0.127	0.178	0.50	0.75	1.50
Polipropileno	0.254-0.635	0.076	0.127	0.178	1.00	1.50	2.00
Poliestireno	0.025-0.152	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Polissulfona	0.152-0.178	0.102	0.127	0.152	0.25	0.50	1.00
Poliuretano	0.254-0.508	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Poli vinil (PVC) (rígido)	0.025-0.127	0.051	0.102	0.152	0.25	0.50	1.00
Silicone	0.127-0.152	0.051	0.102	0.152	0.125	0.25	0.50

Fonte: Adaptado de LOKENSGARD, 2004

2.6.6 Absorção de umidade

A higroscopia é a capacidade de que determinados materiais possuem de absorver água. As normas ASTM D570 e ISO 62 descrevem o procedimento de teste para quantificar a taxa de absorção de água, sendo este valor expresso em porcentagem.

Bielecki, Chang e Poorman (2004) afirmam ser conhecido o fato de que plásticos expostos à atmosfera estão propensos à umidade desde o processo de moldagem dos produtos plásticos. Como consequência disso, a etapa de secagem é fortemente recomendada para o processo de moldagem plástica por injeção. E quando este processo é insuficiente ou mesmo omitido, pode ser atribuída à umidade a responsabilidade das imperfeições nas peças finais.

De acordo com a norma ASTM D570 (2010), a quantidade de água absorvida por um plástico está intimamente relacionada com o desempenho de suas propriedades como isolamento, perdas dielétricas, força mecânica, aparência e dimensões. Um dos processos de degradação material é conhecido como hidrólise, processo em que a quebra das cadeias de polímeros é provocada pela presença da água, que por fim diminui o peso molecular médio e as propriedades mecânicas. Desta forma, a condição de degradação hidrolítica necessita ser observada em projetos em que exista prolongada exposição à umidade, pois longos períodos de exposição em elevadas temperaturas e/ou cargas intensificam o ataque hidrolítico (LESKO, 2004).

Logo, a minimização do vapor de água em peças automotivas é importante para os fabricantes de veículos, pois peças como as lâmpadas automotivas, são afetadas em seu desempenho fotométrico e na aparência apresentada ao cliente final. Deste modo, é considerada a quantidade máxima absorvida de água de 0,4% pela maioria dos plásticos em condições de equilíbrio (BIELECKI; CHANG; POORMAN, 2004).

2.6.7 Índice de fluidez

O índice de fluidez é um parâmetro empiricamente definido e é muito útil para classificar termoplásticos e seu controle de qualidade, por exemplo, em determinar muita consistência da resina. O índice de fluidez opera em taxa baixa de cisalhamento, para baixo índice de fluidez valores na taxa de 0.3 a 20, correspondendo a taxa de cisalhamento iniciando de 1 a 50 s^{-1} . (MATHUR; BHARDWAJ, 2003)

As normas ASTM D1238 e ISO 1133 descrevem os métodos de teste disponíveis para medição do índice de fluidez. Neste teste a resina plástica é extrudada através de um forjado com um comprimento e diâmetro de orifício específicos e sobre condições pré-determinadas de temperatura, carga e posição do pistão (ver Figura 20).

Figura 20 – Equipamento para teste do índice de fluidez.

Fonte: ASTM D1238 (2013)

2.6.8 Deflexão sob ação de cargas

Este parâmetro é um dos mais importantes para especificação de material em várias aplicações e, em especial para veículos, pois o automóvel fica exposto aos raios solares durante a sua utilização ou quando se encontra estacionado, podendo atingir temperaturas de até 70 °C, conforme demonstraram os trabalhos de McLaren, C.; Null, J.; Quinn, J. (2005), Fedoruk^a; Kerger^b (2003) e Grundstein, Meentemeyer e Dowd (2009).

O teste de temperatura de deflexão sob ação de cargas (*Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load - DTUL*) foi originalmente chamado de *Heat Distortion Test*, Teste de Distorção do Calor. A proposta era fornecer uma forma de o projetista obter uma classificação de polímeros para aplicações de altas temperaturas (PROGELHOF; TRHONE, 1993).

Segundo Lesko (2004), o teste é relativamente simples, onde uma barra de teste é apoiada sobre suportes e é carregada até uma determinada tensão. Enquanto a câmara de teste eleva a sua temperatura em 2 °C por minuto, até o momento em que a carga flexione a barra em 0,010 polegada adicional, de acordo com a Figura 21.

Figura 21 - Teste de deflexão

Fonte: LESKO (2004)

Os procedimentos para realizar o teste estão descritos nas normas ASTM D648 e ISO 75. Contudo, deve-se destacar que os resultados do método proposto pela ASTM D648 não deve ser comparado com os resultados obtidos através da ISO 75.

2.6.9 Resistência a radiação ultravioleta (intempérismo)

A habilidade de um material plástico de resistir à deterioração das propriedades elétrica, mecânica e ópticas causadas pela exposição à luz, calor e água pode ser muito significativa para várias aplicações. Essa prática é desejada com a finalidade de induzir mudanças de propriedades associadas com as condições do uso final do produto, incluindo os efeitos da luz solar, absorção de umidade e calor (ASTM D2565, 2016).

Materiais com estabilizante para radiação ultra-violeta (UV) diminuem e desaceleram o processo de degradação produzida pela radiação UV ao longo do uso do produto. Rabello (2011) enfatiza que esta é a mais nociva aos polímeros.

Peças plásticas veiculares estão expostas especialmente à condições adversas do ambiente, por exemplo, longos períodos de exposição aos raios solares em elevadas temperaturas, que podem afetar negativamente o desempenho do material. Em virtude disso, Rabello (2011) explica que os fenômenos de

envelhecimento provenientes dessa exposição à radiação UV (comprimento de onda mínimo de 290 nm já resultante do filtro da camada de ozônio) produzem uma excitação eletrônica em grupos específicos dos polímeros, que podem provocar uma cisão molecular. Logo, o processo de fotooxidação (processo com características similares ao da oxidação, com exceção da etapa inicial) inicia-se na presença de oxigênio como pode ser verificado na Figura 22.

Figura 22 - Representação esquemática da etapa de iniciação da fotooxidação

Fonte: Adaptado de RABELLO (2011)

A absorção de radiação UV do material é dependente da sensibilidade espectral. Portanto, um comprimento de onda específico irá incidir sobre cada material e conforme a quantidade de energia absorvida haverá a cisão homolítica da cadeia polimérica nos pontos em que houver maior susceptibilidade para isto (RABELLO, 2011). A Tabela 3 reúne alguns polímeros comerciais e sua respectiva sensibilidade espectral.

Tabela 3 - Sensibilidade espectral de alguns polímeros comerciais

Polímero	Sensibilidade espectral (nm)
PET	<315
PE	<250
PC	280-305; 330-360
PP	<250
PA aromática	<470
PPO	370

Fonte: DAVIS e SIMS (1983 apud RABELLO, 2011)

Rabello (2011) diz que além da sensibilidade espectral do polímero, outro fator determinante na degradação fotooxidativa é a temperatura de exposição da superfície do material, que é influenciada pela cor da superfície, ou seja, do pigmento utilizado, pois existem pigmentos que trabalham como absorvedores de radiação UV (por exemplo, o azul de ftalocianina) e aumentam a vida útil do material,

enquanto outros pigmentos como o vermelho de manganês no polietileno, agilizam o processo de degradação.

Convém mencionar os principais fatores que influenciam na velocidade da fotodegradação, segundo Rabello (2011):

- Condições ambientais (intensidade e composição espectral da radiação solar UV, temperatura, umidade e outros componentes atmosféricos);
- Estrutura física e química do material (sensibilidade espectral, reatividade, difusão de oxigênio e outras espécies reativas, etc);
- Composição (Inibidores de fotooxidação e aditivos fotosensíveis)
- Degradação oxidativa anterior;
- Condições de síntese (resíduos de catalisadores e outros grupos cromóforos);
- Transmissão de radiação UV por meio de amostrar espessas (delimita o perfil de degradação).

Contudo, as mudanças nas propriedades de materiais plásticos podem ser amenizadas pela adição de aditivos com a finalidade de proteção do polímero. Estes estabilizantes são denominados como fotoestabilizantes, sendo classificados em:

- Absorvedores de UV;
- Antioxidantes primários;
- Antioxidantes secundários;
- Desativadores de estados excitados;
- Bloqueadores de UV;
- Desativadores de metais.

Existem duas fontes de luz para simular o espectro de luz natural para teste de intempéries acelerado: lâmpada fluorescente, descrito pelas normas ASTM D4329 e ISO 4892, ou de xenônio, padronizados pelas normas ASTM D2565 e ISO 4892.

Lâmpadas de xenônio são indicadas para reproduzir o espectro de luz visível e comprimentos de ondas mais longos. Em contraste, a lâmpada fluorescente é mais eficaz para reproduzir o espectro de ondas menores do que 365 nanômetros. Como a região do espectro que causa maiores danos para os polímeros é a de ondas curtas, é esperado que o método que utiliza lâmpada fluorescente é o mais indicado para simular os efeitos da radiação UV (FEDOR; BRENNAN, 1996).

2.6.10 Brilho (brilho especular)

A percepção do brilho está associada a forma como um objeto reflete luz branca em vários ângulos de observação, particularmente a luz refletida próxima ao ângulo especular (MIRJALILI; MORADIAN; AMERI, 2014).

Nanna (1997) expõe as dificuldades relacionadas ao brilho e reflexo de superfícies de interior automotivas. Pois quando este possui níveis fora da especificação, representa problemas aos usuários e para os fabricantes. Por exemplo, os reflexos no parabrisa podem variar desde irritações menores (cansaço nos olhos) até preocupações maiores de segurança. Outro ponto significativo refere-se também a adequação (*matching*) dos inúmeros componentes de interior produzidos por diferentes empresas, podendo gerar problemas.

O brilho é medido com o equipamento chamado glossímetro, suas unidades são expressas em GU (unidades de brilho), conforme a Figura 23. E as condições ambientais (intempéries), riscos ou abrasividade da superfície podem impactar no brilho. As normas ASTM D523 e ISO 2813 guiam os testes de medição da taxa de brilho. Quatro variáveis afetam diretamente o brilho, sendo estas, a superfície topográfica (ou textura), o comprimento de onda, o ângulo incidente de luz e o índice de refração do material. São três ângulos de incidência (20° , 60° e 85°) para medição de brilho (PISCIOTTI, BOLDIZAR; RIGDAHL, 2005).

Figura 23 - Diagrama esquemático de um glossímetro (a) e micro-TRI-gloss, glossímetro (b)

Fonte: STREITBERGER; DOSSEL (2008)

2.6.11 Colorimetria

A cor é percebida pela emissão, reflexão ou transmissão da radiação eletromagnética, na faixa visível de 380 a 780nm, de um objeto. Com base nas

mediações visuais ou de percepção, as cores configuram um sistema de ordenação de cores apresentado em três características: a tonalidade ("*hue*"), a luminosidade ("*value*") e a saturação ou croma ("*chroma*"). A averiguação das cores é muito importante, pois pode ocorrer alteração da cor ao longo do tempo. Isso dependerá dos corantes, pigmentos ou substrato, além da forma de armazenagem, que pode acarretar em mudanças perceptíveis após semanas, meses ou anos. Esse exame das cores pode ser de forma visual ou instrumental e em ambos os casos existe a necessidade de comparação (RÉGULA, 2004).

Régula (2004) diz que no controle visual, deve-se observar que a amostra real considerada como padrão não é permanente. Além disso, existe uma dificuldade em sua reprodução em quantidade adequada e com reprodutibilidade aceitável. E apesar do uso de coleções de cores padrões nas indústrias, pode haver ainda uma diferença entre amostras inclusive da mesma edição. Enquanto, no controle virtual se faz necessário definir o efeito da estrutura da amostra (não apresentada pelos valores de refletância) na cor percebida e os limites de tolerância permissíveis na iluminação primária, a luz do dia, assim como nas iluminações fluorescente e incandescente.

A influência do fenômeno da Metameria também afeta a tolerância colorimétrica, por conta disso, a indústria da cor tenta reduzir os seus efeitos. Segundo Régula (2004), a metameria é definida como o fenômeno que ocorre quando duas superfícies coloridas são consideradas semelhantes sob o mesmo iluminante, mas diferentes sob outro iluminante. Um exemplo do fenômeno descrito é mostrado logo na Figura 24.

Figura 24 – Fenômeno da metameria

Fonte: BASF (2017)

Existem diversas causas que contribuem para o aparecimento da metameria. Por exemplo, se a composição da cor base e/ou pigmento não corresponde ao pigmento da composição da tinta original, ou a mistura de uma sombra de cor

desconhecida (onde nenhuma fórmula da mistura está disponível) sem avaliar a sombra sob diferentes formas de luzes antes do uso, ou ainda o tingimento de uma cor sem a referência da base de cores usadas na formulação original da cor (BASF, 2017).

2.6.12 Resistência a odor

Vários fabricantes de veículos na Europa necessitam avaliar a qualidade do ar no interior do automóvel (*Vehicle interior air quality* - VIAQ), examinando os níveis de emissões de materiais de acordo com as normas pertinentes. Emissões oriundas de peças plásticas utilizadas no interior do veículo podem contribuir para um odor intenso.

O teste de odor baseado na norma VDA 270 é realizado para avaliar as características de odor sob a influência de temperatura e clima. A norma VDA 270 (1992) diz que o teste é realizado nos materiais do interior de um veículo motorizado e também nas peças em contato com o ar introduzido para o interior do automóvel. Como o odor é uma propriedade difícil de quantificar, os resultados deste teste são distinguidos de acordo com a seguinte escala, 1 (não perceptível) até 6 (não aceitável), como a Tabela 4 ilustra.

Tabela 4 - Escala do teste olfativo

Escala de Avaliação	
Grau 1	Não perceptível
Grau 2	Perceptível, não perturbador
Grau 3	Claramente perceptível não perturbador
Grau 4	Perturbador
Grau 5	Fortemente perturbador
Grau 6	Não aceitável

Fonte: VDA 270 (1992)

A taxa média da intensidade de odor deve ser inferior a 3 (claramente perceptível, mas não perturbador) para estar dentro dos limites de aceitação nos testes (HENNEUSE-BOXUS; PACARY, 2003).

Outro teste olfativo similar é conduzido conforme a norma SAE J1351. As montadoras também possuem suas normas internas relacionadas ao assunto, VW/Audi – PV 3900, GM/Opel – GME 60276/GMW 3205, Ford – BO 131-01, PSA – D10 5517, Toyota – TSM 0505G.

2.6.13 Emissão de formaldeído

A norma VDA 275 refere-se à propriedade sobre os níveis de emissões de formaldeído, com a finalidade de delimitar esse gás de odor penetrante. O *National Center for Biotechnology Information* - NCBI (2010) evidenciou que este gás causa os seguintes efeitos na saúde: alergia, asma, irritação das vias aéreas, irritação dos olhos, inflamação, efeitos pulmonares, entre outros.

De acordo com Callis (2003), existe uma tendência grande em eliminar o odor na cabine do carro, que incluem medidas como filtros de odor ou a restrição de odor a determinadas peças. No entanto, este odor é proveniente do processamento do material, como o poliacetal, por exemplo. Neste processo o formaldeído residual liberado pelo poliacetal permanece na peça. A pigmentação influencia na emissão de formaldeído, especialmente para cores de interior, a paleta de cinzas. Então é necessário um processamento avançado para evitar esse inconveniente.

O teste padronizado pela norma VDA 275 consiste em medir o teor de formaldeído residual de uma peça moldada. A amostra é colocada em um frasco com água e devido a enorme solubilidade do formaldeído com a água, ocorre uma transferência para o líquido. De acordo com os requisitos do teste é realizada a medição do teor que ainda está presente no corpo de prova. (CALLIS, 2003).

Testes similares ao VDA 275, também são encontradas na condição de norma interna nos seguintes fabricantes de veículos, GM (GMW 15635), VW/Audi (PV 3925) e BMW (AA 0061). Enquanto outras grandes empresas como Daimler Chrysler e FORD consideram a própria VDA 275 como norma obrigatória.

2.6.14 Emissão de FOG, componente orgânico volátil (VOC)

A quantidade de emissões de gases de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC - *Volatile Organic Compound*) e substâncias condensáveis (FOG) também devem ser controladas e são avaliadas conforme a VDA 278.

Segundo Henneuse-Boxus e Pacary (2003), a técnica de dessorção térmica é utilizada para determinar VOCs, em que a amostra é fechada em um tubo de vidro vazio e aquecida por 30 minutos em 90°C. E depois um novo ciclo se inicia para verificar o potencial de condensação, a amostra é aquecida por 60 minutos a uma temperatura de 120°C. Os gases voláteis desorvidos são coletados então e transferidos para quantificação e identificação pela espectrometria de massa.

Além da VDA 278, as normativas SAE J1756, ISO 6452, DIN 75201 também são referentes à determinação de características de nebulização nos materiais. Nos testes realizados, a quantidade de partículas condensáveis a partir das leituras do glossímetro é realizada, a perda de peso da amostra de teste é calculada.

2.6.15 Resistência a chamas (flamabilidade)

Os automóveis são o tipo de veículo mais propensos a queima, sendo considerado como causas primárias do fogo, defeitos mecânicos e falhas no projeto. Portanto, é necessário entender previamente como funciona a reação química do fogo, que requer três componentes, calor, oxigênio e combustível. Sendo o calor mais conhecido como a fonte da ignição, seja por faísca elétrica ou calor radiante, enquanto o oxigênio é fornecido pela atmosfera e o combustível é o plástico. Então, durante o processo de queima (conhecido como pirólise) o plástico se quebra em pequenas moléculas (monômeros) tornando-o mais inflamável. Logo, o retardante de chamas é uma substância que surge com a finalidade de interferir no processo de queima pela remoção de um ou mais de três componentes necessários para sustentar a combustão (EDENBURN, 2001).

A capacidade de resistir ao fogo é melhorada pela incorporação de aditivos na matriz, com a exceção de poucas resinas resistentes a chamas. É importante salientar a atenção devida a especificação do grau de retardo a chamas, pois isto acarreta em custos maiores e problemas de moldagem e ainda em uma menor resistência mecânica (LESKO, 2004).

De acordo com Edenburn (2001), existem três tipos de retardadores de chamas químicos em uso comercial, halogênios (bromo, cloro, flúor), fósforo (normalmente combinados com nitrogênio) e inorgânicos (minerais contendo água ligada quimicamente em sua estrutura).

Uma das normas automotivas pertinente a resistência a chamas é a FMVSS 302, em que o teste executado se baseia em submeter uma amostra a uma chama, e a taxa de propagação da chama é determinada ao longo do comprimento medido. Neste teste, o material será avaliado como resistente a chamas se a taxa máxima permitida de propagação da chama não exceder 101,6 mm/min (FMVSS, 1972 apud RAULT; GIRAUD; SALAUN; ALMERAS, 2015).

Outra norma utilizada é a ASTM D635. Essa norma foi desenvolvida para materiais poliméricos e o resultado é uma indicação preliminar da aceitabilidade

com relação a flamibilidade. O procedimento estabelecido pela ASTM D635 compara a taxa de propagação da chama ou o tempo de queima ou ambos.

2.6.16 Resistência química

Polímeros frequentemente são considerados para aplicações em ambientes agressivos, onde metais, cerâmicas ou materiais naturais como a madeira ou fibras orgânicas naturais podem ter um desempenho inadequado, às vezes sendo muito custosas ou também muito pesadas.

Dentro deste contexto, um dos pontos fortes dos polímeros é o fato de serem impermeáveis ao solvente, destacando que a solvência é um efeito físico primário, que consiste na separação das moléculas de polímeros por pequenas moléculas de solvente. Contudo, é importante evidenciar a existência de alguns solventes que são suficientemente tão agressivos que podem até mesmo romper a estrutura do polímero. Estes reagentes podem estar presentes em agentes de limpeza, tintas e lubrificantes, por exemplo. E o efeito da ação destas substâncias químicas é o ataque na estrutura polimérica, resultando na redução do peso molecular do polímero e, portanto reduzindo o seu desempenho mecânico (PROGELHOF; THRONE, 1993).

Cabe enfatizar que a sistemática adotada por grande parte dos usuários de veículos é de realizar a sua limpeza com produtos abrasivos e com silicone. Devido a isso é relevante assegurar à resistência química dos materiais plásticos utilizados nos automóveis. Além disso, Lesko (2004) também declara que variações mesmo que reduzidas nos níveis de tensão em uma peça, como as produzidas pela redução no raio de curvatura podem provocar falhas quando esta peça é exposta a um ataque químico.

Portanto, o teste de resistência química tem por finalidade avaliar o comportamento do material quando exposto a diferentes reagentes químicos, a fim de simular as condições de uso do material plástico. Logo, são verificados alterações de peso, dimensões, resistência mecânica, deformações sob carga em função do tempo para determinar se o polímero é resistente ao ataque ou não (DORNELES FILHO, 2006).

As normas utilizadas como referência para realizar o ensaio de resistência química são a ASTM D543 e a ISO 22088. Contudo, vale ressaltar que, apesar das normas terem o mesmo objetivo, os resultados desses dois métodos não devem ser

comparados. Como resultados para materiais com boa resistência química são esperados que nenhuma alteração no grau de brilho se desenvolva ou então que não apareçam manchas que não possam ser removidas com um pano molhado.

2.6.17 Densidade

Rosato et al (2001) definem a densidade absoluta como sendo, a massa de qualquer substância por unidade de volume de um material. Geralmente, essa propriedade é expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3) ou quilograma por metro cúbico (kg/m^3). É frequentemente usada como atributo integrante dos requisitos de especificação para materiais plásticos. Enquanto, que a gravidade específica de acordo com os mesmos autores (ROSATO et al, 2001) é a taxa da massa no ar de um dado volume comparado a massa de mesmo volume na água.

Tanto a densidade como a gravidade específica são medidas de acordo com a temperatura da sala (23°C). A gravidade específica é adimensional e a mesma é utilizada extensivamente para a determinação de custos de produtos versus espessura média do produto, peso do produto, controle de qualidade e etc.

A taxa de valores para gravidade específica para plásticos é extensa, o polipropileno por exemplo é de 0,9 e termofixos com cargas de fibra de vidro ou mineral podem exceder 2,0. (MUCCIO, 1997).

Sendo assim, a escolha por materiais plásticos que possuem baixa densidade é considerado um ótimo atributo, pois resultará em menor peso e logo, em menor consumo de combustível também.

Além disso, mudanças na densidade podem também afetar algumas propriedades mecânicas. Em materiais como polietileno (PE), a densidade tem um efeito direto em propriedades como rigidez e permeabilidade a gases e líquidos.

A ASTM D792 fornece a relação de densidade e gravidade específica em 23°C , conforme se apresenta na Equação 3 (ROSATO et al, 2001).

$$\text{Densidade, g/cc} = \text{Gravidade específica} \times 0,9975 \quad (3)$$

Outra norma equivalente a ASTM D792 é a ISO 1183. Todavia, a fim de realizar uma medição mais precisa ($< 0,05\%$), a densidade pode ser determinada conforme a norma ASTM D1505.

2.6.18 Resistência à fadiga

Mano (1991) menciona que a resistência à fadiga ou resistência à flexão dinâmica representa a tensão máxima atingida alternadamente como tração e compressão que determinado material é capaz de resistir quando o corpo de prova é submetido a dobramentos e desdobramentos sucessivos.

Muitos estudos foram realizados para determinar a vida em fadiga de componentes metálicos. No entanto, há pouca pesquisa com foco nas características em fadiga dos plásticos, apesar da larga aplicação desse material na indústria. De acordo com a norma ASTM D7774 (2017), a resposta em fadiga não é idêntica para todos os plásticos. Por exemplo, se um plástico não tem uma região elástica, onde a tensão é reversível, a deformação do plástico irá ocorrer durante o teste de fadiga, causando uma amplificação da carga programada ou deformação durante o ensaio. Neste caso, deve-se tomar cuidado na análise dos resultados pois geralmente não é um indicativo da propriedade em fadiga do material.

As normas ASTM D7774 e ISO 13003 estabelecem os procedimentos a serem utilizados para realizar os testes de fadiga. Entretanto, os resultados da ASTM D774 e ISO 13003 são distintos e não devem ser comparados. Além disso, a norma ASTM D7774 possui dois procedimentos de teste diferentes: com 3 pontos (ver Figura 25) ou 4 pontos, Figura 26, de flexão.

Figura 25 – Teste de fadiga com 3 pontos de flexão.

Fonte: ASTM D7774 (2017)

Figura 26 - Teste de fadiga com 4 pontos de flexão.

Fonte: ASTM D7774 (2017)

Outro ponto que dificulta a análise do comportamento dos materiais em fadiga é o elevado número de fatores que podem afetar essa propriedade. Segundo a *ASM International* (2008), uma fratura por fadiga pode ocorrer bem no começo da vida em serviço do componente através da formação de uma pequena trinca, geralmente em um ponto na superfície externa, devido à presença de defeitos como rugosidade superficial ou existência de pontos de concentração de tensão, que se originam devido à forma geométrica da peça ou do processo de manufatura, como por exemplo, tensões residuais introduzidas pelo tratamento térmico. Além disso, outro fator que contribui para propagação da trinca é a formação de corrosão.

Logo, como os componentes mecânicos possuem uma variedade grande de fatores geométricos que podem gerar um espectro amplo de gradientes de tensão, o ideal é que se realizem testes com a peça a ser utilizada para se estabelecer o comportamento em fadiga do material selecionado.

2.6.19 Resistência à deformação em longo prazo (fluência ou *creep*)

Canevarolo Júnior (2006) diz que a interdependência das propriedades mecânicas ao longo do tempo é uma particularidade substancial dos polímeros. Esta relação ocorre através do fenômeno conhecido como fluência, em que um corpo de prova de material polimérico é sujeito a um peso constante, neste processo haverá uma deformação continua ao decorrer do tempo, seja sob tração, flexão ou compressão.

Termoplásticos são particularmente propensos a problemas de fluência que é o fluxo do polímero sólido por períodos longos de tempo. Os reforços reduzem a fluência de polímeros sólidos. Os melhores tipos de preenchimentos que reduzem a fluência são aqueles que são altamente anisotrópicos e também aqueles que são bem ligados ao polímero. A boa interação pode ser devido a alta superfície de área, como nanopartículas ou através de interação intrínseca entre o polímero e o preenchimento da superfície, ou por último pelo uso de agentes de acoplamento. A efetividade do acoplamento é especialmente importante para prevenir a fluência em elevadas temperaturas e quando o modo está presente, como estes fatores tendem a interferir na adesão do preenchimento ao polímero (BRYDSON, 1999).

Para o ensaio de fluência, o corpo de prova é sujeito a uma tensão constante, então a deformação produzida pode ser constatada. No caso dos polímeros a melhor identificação do fenômeno de fluência é obtida pelo emprego do modelo de Voigt (conforme a Figura 27). A fim de relaxar a tensão aplicada, as moléculas ao serem requisitadas, escoam umas sobre as outras por causa de sua mobilidade natural, o que produz em um aumento de deformação continua ao longo do tempo. O emprego deste modelo produz a curva de fluência da Figura 28, que expõe a relação exponencial entre a deformação ϵ e o tempo t (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006). É importante mencionar que as curvas de fluência não dependem da temperatura, umidade e presença de solventes na atmosfera, além da tensão.

Figura 27 - Modelo de Voigt-Maxwell

Fonte: LESKO (2004)

Figura 28 - a) Curvas de fluência calculadas segundo o modelo de Voigt, apresentadas em escala linear e logarítmica

Fonte: Adaptado de CANEVAROLO JÚNIOR (2006)

As normas ASTM D2990 e ISO 899 estabelecem as condições e procedimentos para medir a deformação sob carregamento constante durante período mínimo de 1000 horas.

2.7 PROCESSOS

Os processos de fabricação de materiais plásticos constituem relações complexas que englobam desde a análise de custo, dificuldades relacionadas a manufatura, ao volume produtivo e ainda questões ambientais referentes ao material também. Além disso, a indústria automobilística possui uma série de critérios e legislações que devem ser atendidos, que permeiam requisitos de desempenho, segurança e qualidade do produto.

Em adição, é essencial dizer que a seleção final do produto às vezes irá considerar os melhores processos de fabricação para o produto em questão. Algumas necessidades de determinados elementos no produto como fina seção, encaixes longos e delicados, requisitos de concentricidade exata, transparência e/ou extrema precisão de dimensões, torna certa técnica de fabricação mais desejável que outras. Portanto, alterar o procedimento usual de seleção é frequentemente necessário para determinar o material a ser usado e especificar o processo e a técnica a ser empregada antes do projeto final do produto (ROSATO; ROSATO; ROSATO, 2004).

E como mencionado, Ghassemieh (2011) indica que a escolha específica de um método depende do custo e dos requisitos do componente a ser produzido. Deste modo, para garantir métodos com taxa produtiva elevada, pode-se buscar ciclos com menor duração ou a maior integração de peças. Além disso, outro fator a ser preponderado é a possibilidade de conceber um projeto com uma quantidade menor de componentes no veículo, visando custos menores associados ao ferramental, ou ainda aproveitar as mesmas ferramentas para outros modelos.

Plásticos normalmente são encaminhados às plantas de fabricação na forma de pastilhas, pós, grânulos e são fundidos (para termoplásticos) previamente ao processo de modelagem. E plásticos líquidos que curam em forma sólida são usados especialmente na fabricação de termofixos e de peças plásticas com reforços. Com o aumento da consciência sobre o meio ambiente, as matérias-primas também podem consistir de plásticos reciclados ou picados obtidos nos centros de

reciclagem. Como esperado, contudo, a qualidade do produto não é elevada para estes materiais (KALPAKJIAN; SCHMID, 2001).

Assim, o processamento dos plásticos envolve operações similares aos empregados para os metais. *Forming* é o termo denominado para o material que já possui forma e será extrudido enquanto *shaping* é o termo que representa o processo que dá forma ao grânulo polimérico na injeção. Segundo Kalpakjian e Schmid (2001), o fluxograma apresentado na Figura 29, descreve os processos básicos e econômicos de plásticos para *shaping* e *forming*, considerando elastômeros, termoplásticos e termofixos, conforme a representação na legenda. Também descrevem técnicas de processamento para a matriz-metal e compósitos para matriz-cerâmica, que tem aumentado a sua importância em várias aplicações com requisitos críticos.

Figura 29 - Esboço de processos de conformação e moldagem de plásticos, elastômeros e materiais compósitos. (TP = Termoplástico, TS = Termofixo, E = Elastômero)

Fonte: KALPAKJIAN; SCHMID (2001)

De acordo com Kalpakjian e Schmid (2001) é conhecido que o ponto de fusão e cura de termoplásticos e termofixos ocorre em baixas temperaturas. Deste modo, diferentes dos metais, eles são relativamente fáceis de manipular e requisitam muito menos força e energia para processá-los. Os plásticos em geral podem ser moldados, fundidos, formados e usinados em formas complexas em poucas operações, com relativa facilidade e em taxas produtivas elevadas. Eles também podem ser unidos de vários modos e pintados (geralmente para melhorar a aparência) através de diversas técnicas. Plásticos podem ser modelados em produtos discretos ou em folhas, chapas, haste e tubos que podem então ser formados por processos secundários em uma variedade de produtos discretos. Deve-se acrescentar que as propriedades de polímeros, a forma e complexidade de componentes produzidos são influenciados em grande parte pelos métodos de manufatura e parâmetros de processo.

E com ênfase maior nas técnicas de manufatura aplicadas aos componentes automotivos, se nota uma significativa demanda pelos procedimentos de adição de cores e aplicação de texturas, pelo fato de conseguirem reproduzir os anseios do *Design* com maior fidelidade reproduzindo materiais naturais como couro, marfim, diferentes tipos de madeira, entre outros. Vale destacar que as técnicas possuem grande relevância devido a aplicação das mesmas nas áreas de acabamento no interior do automóvel. Ademais, Silva et. al. (2009) expõe a existência do benefício econômico, pois a texturização como já foi mencionado no início do capítulo 2, diminui a visibilidade de defeitos como imperfeições superficiais e marcas de processamento (marcas de fechamento de molde ou pequenos “rechupes”). No entanto, a viscosidade do material detém atenção, sendo decisiva para a realização da texturização em polímeros. Em razão de que, esta variável é que define a capacidade do material em fluir para reentrâncias menores (textura na superfície do molde) que serão reproduzidas na superfície do produto. E pelo fato de que há uma grande diferença de valores de viscosidade entre materiais termoplásticos e termofixos (com faixa de variação entre 0,1 Pa.s e 106 Pa.s).

Logo, conforme os aspectos citados anteriormente, Silva et. al. (2009) declara que a texturização será eficaz ao ser implementada em larga escala produtiva e pela fabricação de produtos em série, o que reflete a realidade da cadeia produtiva automobilística. Portanto, a Figura 30 mostra o custo relativo unitário em relação a

produtividade (unidades/hora), considerando diversos processos produtivos de polímeros.

Figura 30 - Relação entre custo relativo por unidade fabricada e produtividade dos principais processos de fabricação de produtos poliméricos

Fonte: SILVA et al (2009)

De um modo geral, a partir da Figura 30, Silva et. al. (2009) realizaram algumas considerações sobre as técnicas de processamento para polímeros termoplásticos e termofixos em relação a texturização. Então, destaca-se os custos menores por unidade associados a um índice de produtividade maior aos processos de termoplásticos (injeção, sopro e termoformagem), do que quando comparados aos termofixos (representados por injeção reativa e "casting"). O mesmo autor, ressalta ainda a questão ambiental destes materiais, apoiado no fato de que os termoplásticos são recicláveis e produzidos em maior volume, portanto mais sustentáveis do que os termofixos que apresentam grandes limitações em relação a reciclagem.

Como parte relevante dos materiais plásticos resistentes a risco é processada nas técnicas, extrusão e injeção. As mesmas serão explicadas mais especificamente a seguir.

2.7.1 Injeção

Segundo Kalpakjian e Schmid (2001), a moldagem por injeção possui algumas características como tamanhos diversos e formas complexas, espessura fina, taxa produtiva elevada e boa precisão dimensional. É conhecida por ser um processo em que as pastilhas ou grânulos são introduzidos no cilindro aquecido e a fusão é forçada para dentro do molde por um êmbolo hidráulico ou pelo sistema de parafuso rotativo de uma extrusora. Tal como na extrusão de plástico, o cilindro é aquecido externamente para promover a fusão do polímero. Em máquinas de moldagem por injeção, contudo, uma porção muito maior de calor é transferida para o polímero devido ao aquecimento por atrito.

As máquinas mais atuais são do tipo de parafuso alternativo ou de plastificação, com taxas de pressão desenvolvidas geralmente entre 70 a 200 MPa (Ver Figura 31). À medida que a pressão se acumula na entrada do molde, o parafuso de rotação começa a mover-se para trás sob pressão até uma distância pré-determinada. Este movimento controla o volume de material a ser injetado. E o parafuso então para de girar e é empurrado para frente hidraulicamente, forçando o plástico fundido na cavidade do molde. (KASPAKJIAN; SCHMID, 2001).

Figura 31 - Esquema de moldagem por injeção (a) por êmbolo e (b) parafuso rotativo alternativo

Fonte: KALPAKJIAN; SCHMID (2001)

Ainda de acordo com Kalpakjian e Schmid (2001), para os termoplásticos, os moldes são mantidos relativamente frios em 90°C. Enquanto, as peças termofixas são moldadas em moldes aquecidos em 200°C, onde a polimerização e a reticulação ocorre. Depois que a peça esfria suficientemente (para os termoplásticos) ou ocorre à cura (para os termofixos), os moldes são abertos e os ejetores são usados para remover a peça do molde. Os moldes são então fechados e o processo automaticamente é repetido. Elastômeros também são moldados por injeção em produtos discretos por esses processos. Por causa do material que é fundido quando injetado no molde, podem ser obtidas formas complexas com boa precisão dimensional. Contudo, devido ao arrefecimento irregular da peça no molde, desenvolvem-se tensões residuais.

Os moldes com deslocamento e mandris desenroscados são também utilizados na moldagem por injeção, eles permitem o molde de peças com múltiplas cavidades ou características de roscas internas e externas. Para acomodar o projeto da peça, os moldes tem tido inúmeros componentes, incluindo núcleos, cavidades, canais de arrefecimento, insertos, pinos *knockout* e ejetores (KALPAKJIAN; SCHMID, 2001).

É preciso mencionar também o uso da técnica de texturização no processo de injeção, devido a sua utilização na indústria no acabamento de produtos e pelo fato de grande parte dos termoplásticos poderem ser texturizados, se as condições do molde e processamento forem adequadas. Dentro deste contexto, é importante dizer que a qualidade final do produto sofre influência da pressão imposta no molde, assim como pela viscosidade do polímero. De tal modo, que as melhores condições de processo têm como premissa, uma pressão maior e viscosidade menor (deve-se lembrar de que a viscosidade de cada material sofre influência da mudança de temperatura de processamento). Pois, quanto maior for a pressão mais rápida será a injeção e, portanto, a duração do processo também será menor. Contudo, o surgimento de rebarbas poderá ocorrer se houver excessos tanto no aumento da pressão quanto na diminuição da viscosidade, por conta do fluxo do plástico nas bordas do molde (Silva et al, 2009).

A fim de ilustrar melhor a relação entre pressão e viscosidade, na Figura 32 um mapa apresenta uma correspondência entre as faixas de viscosidades com as faixas de pressão para moldagem, de acordo com o material polimérico.

Figura 32 - Relação entre a faixa de pressões para moldagem por injeção e viscosidade aparente dos polímeros nas suas respectivas faixa de temperatura de processamento.

Fonte: Silva et al, 2009 apud CES Edupack (2005)

A seguir foram reunidas em forma de tabela (Tabela 5) as características específicas relativas à técnica de injeção para materiais termoplásticos.

Tabela 5 - Técnica de injeção - características

Características	Injeção Valores
Peso (kg)	0,01 a 25
Espessura mínima (mm)	0,3 a 10
Complexidade (perfil)	Alta
Tolerância (mm)	0,05 a 1
Rugosidade superficial (μm)	0,2 a 1,6
Lote econômico	10 mil a 1 milhão

Fonte: Adaptado de MIGUEL et al (2010)

Conforme citado no início deste capítulo, o molde por injeção possui taxa produtiva considerada elevada, conforme demonstrado na Tabela 5. Consequentemente, isto representa um custo menor por peça produzida, enquanto, a boa superfície de acabamento e precisão dimensional acarreta em uma mínima necessidade de arremate. E o motivo pelo qual a qualidade obtida nas peças injetadas é superior se dá pela diferentes forças de compactação e taxas de pressão

maiores do que no processo de extrusão. No entanto, existem outros fatores que necessitam ser avaliados, pois Lokensgard (2004) destaca o elevado custo do equipamento e ferramental ao comparar este processo em relação a outros.

2.7.2 Extrusão

O processo de extrusão é conhecido pelas altas taxas de produtividade (lote econômico de 10 a 1 milhão), relativo custo baixo com o ferramental e por ser um processo contínuo, além de outras características.

Na extrusão, é produzido um grande volume de plásticos. Matérias-primas em forma de pastilhas termoplásticas, granulados ou pós são colocados em um funil e introduzidos no barril de um extrusor de parafuso (Figura 33). O barril é equipado com parafuso helicoidal que mistura as pastilhas e os transporta para baixo no barril. Os aquecedores de barril e o atrito interno de uma ação mecânica do parafuso aquece as pastilhas e liquefazem elas. A ação do parafuso também acumula pressão no barril (KALPAKJIAN; SCHMID, 2001).

Figura 33 - (a) Esquema de um parafuso extrusor típico (b) geometria de um parafuso extrusor

Fonte: KALPAKJIAN; SCHMID (2001)

Kalpakjian e Schmid (2001) citam as três seções distintas dos parafusos:

1. Seção de alimentação: Transporta o material do funil para a região central do barril.

2. Seção de fusão (também chamada de seção de compressão ou de transição): Onde o calor gerado pelo cisalhamento viscoso dos grânulos de plástico e pelos aquecedores externos faz com que a fusão comece.
3. Seção de medição ou de bombeamento: Onde ocorre o cisalhamento adicional (a uma taxa elevada) e a fusão ocorre, com a pressão aumentando.

Kalpakjian e Schmid (2001) dizem que os comprimentos dessas seções individuais podem ser alterados para acomodar as características de fusão de diferentes tipos de plásticos. O plástico derretido é então forçado para o molde em processo similar ao da extrusão de metais. Uma tela de filtro de fio de metal normalmente é instalada antes do molde a fim de filtrar resina solidificada ou não derretida. A tela também ajuda aumentar a contrapressão no barril e é substituído periodicamente. Existe também um mecanismo com inúmeros furos para ajudar na mistura do polímero no molde. O produto extrudido é em seguida refrigerado, normalmente ocorre pela exposição a sopro de ar ou pela passagem de água através de um canal. O controle da taxa de uniformidade da refrigeração é importante para minimizar os efeitos de contração e distorção no produto.

Por causa da alimentação contínua de material do funil, produtos longos (como hastes sólidas, seções, canais, folhas, tubos, tubulações e componentes arquitetônicos) podem ser extrudidos continuamente. Formas complexas com seção constante cruzada pode ser extrudida com relativo custo ferramental baixo. Além disso, parâmetros importantes que afetam o mecanismo de extrusão do polímero tem impacto direto na qualidade do produto no projeto do extrusor, devido a essas razões têm sido estudados extensivamente. Parâmetros como velocidade rotacional do parafuso extrusor, temperatura da parede do barril, projeto do molde e taxa de refrigeração são importantes para garantir a integridade do produto e precisão dimensional uniforme (KALPAKJIAN; SCHMID, 2001).

Materiais poliméricos em geral (termoplásticos) processados com a técnica de extrusão estão de acordo com as seguintes características apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Técnica de extrusão - características

Características	Extrusão Valores
Peso (kg)	1 a 1000
Espessura mínima (mm)	0,1 a 900
Complexidade (perfil)	Baixa
Tolerância (mm)	0,2 a 2
Rugosidade superficial (μm)	0,5 a 12,5
Lote econômico	10 mil a 1 milhão

Fonte: Adaptado de MIGUEL et al (2010)

Em relação a extrusão, as necessidades do projeto da peça devem considerar fatores como a baixa complexidade obtida com a utilização desse processo, e os requisitos de acabamento, uma vez que as características da extrusão (conforme apresentado na Tabela 6) como tolerância e rugosidade superficial não proporcionam o mesmo nível de precisão que a injeção, outro processo amplamente utilizado.

Ao analisar os fatores econômicos associados a este processo identifica-se o lote com taxas de produtividade tão elevadas quanto as de injeção. No entanto, diferentemente da injeção, a extrusão possui um custo menor para o ferramental (Lokensgard, 2014).

3 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A seleção de materiais é uma atividade que se relaciona com todas as áreas e é de extrema importância para o processo de desenvolvimento do produto. Segundo SAPUAN (2001), isto pode ser identificado através do conceito de engenharia simultânea, em que a definição de materiais influencia o modelo de projeto, desde a investigação de mercado (devido à especificação do produto), a forma do produto, a análise do projeto, a manufatura e montagem. A Figura 34 ilustra o fluxo do processo descrito, por meio de um modelo de projeto global existente para qualquer produto.

Figura 34 - Importância da seleção de materiais no desenvolvimento do produto

Fonte: Adaptado de SAPUAN (1998)

Além das inter-relações expostas no parágrafo anterior, Azevedo (2011) diz que para executar de forma satisfatória o projeto de um produto, os engenheiros necessitam demonstrar as seguintes características:

- Adquirir uma perspectiva maior dos materiais e processos.
- Entender as propriedades dos materiais e suas origens.
- Ter habilidade de selecionar os melhores materiais e processos de acordo com os requerimentos do projeto.
- Acessar informações e ferramentas para comparação e seleção.

No entanto, a seleção de materiais não é uma tarefa simples, baseia-se na análise racional do problema. E às vezes é dificultada por dados de propriedades insuficientes ou imprecisos, mas tipicamente se torna uma decisão tomada em frente

de múltiplas restrições sem que tenha sido definida uma função objetiva. Geralmente, a questão que envolve a seleção de materiais abrange as seguintes situações (DIETER, 1991):

1. A seleção de materiais para um novo produto ou novo design.
2. Reavaliação de um produto existente ou projeto para reduzir custo, aumentar a confiabilidade, aumentar o desempenho e etc.

Ressaltando que a substituição de um material por outro não explora todo o potencial do material e que a escolha do material envolve também o processo. Neste contexto, Ashby (2012) afirma que o projetista deve considerar as propriedades materiais e a forma da seção para otimizar o desempenho de um componente durante o processo de desenvolvimento do produto. E a principal questão em realizar a seleção de materiais é que a definição do material não ocorre independentemente da escolha do processo, pois existe uma interação entre função, material, forma e processo (ver Figura 35).

Figura 35 - Problema central da seleção de materiais no projeto mecânico: a interação entre função, material, forma e processo.

Fonte: Adaptado de ASHBY (2012)

Deste modo, como pode ser visto na Figura 35, ao optar por um material, os processos são influenciados em função da capacidade de um material ser manufaturado. Enquanto, as propriedades geométricas e tolerâncias são determinadas conforme o processo. E assim a especificação do processo delimita a opção do material e as formas possíveis, da mesma forma, que a especificação da forma demarca a seleção do material e processo (ASHBY, 2012).

No caso de polímeros, em um projeto, ao utilizar material compósito, é necessário analisar o mesmo. Pois, a escolha não representa simplesmente substituir um material metálico por um novo, mas sim redefinir o projeto da peça e selecionar o tipo de tecnologia de produção que será usada na manufatura do componente. Sendo esta uma decisão que afetará profundamente o desempenho estrutural, o custo e a taxa produtiva (CAMPBELL, 2004).

Somadas as dificuldades oriundas das relações existentes entre forma, material, processo e função, há outro problema considerável a cerca da imensa quantidade de materiais que tem aumentado a cada dia. Ashby (2012) cita a existência de mais de 240 mil materiais e consequentemente devido a esta enorme quantidade de materiais disponíveis, houve a necessidade de utilizar outra forma de classifica-los, pois pesquisar individualmente os materiais de forma enciclopédica se torna inviável.

De acordo com Assunção et al (2013), uma forma de classificação que pode ser utilizada, conhecida como fenomenológica, associa a composição e a estrutura dos materiais em relação a suas propriedades e usos (taxonomia evolutiva). Então, deste modo os materiais são qualificados em três grupos principais, em conformidade com as estruturas atômicas, tipos de ligações químicas predominantes e conforme a necessidade em até mais três grupos adicionais que englobam características de fabricação ou utilização, conforme pode ser visto na Figura 36.

Figura 36 - Taxonomia dos materiais, da esquerda para a direita, classificados por reinos (*kingdom*), famílias (*family*), classes e tipos de membros (*class & member*) e atributos dos materiais.

Fonte: ASHBY (2012)

3.1 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE MATERIAIS

Como foi exposta na seção anterior a atividade de definição do material envolve vários fatores e no campo de pesquisa já foram desenvolvidas diferentes metodologias para este assunto:

- Assunção et al (2013) afirmam que o trabalho desenvolvido pelo engenheiro Michael Ashby tem sido relevante para a comunidade acadêmica e para a indústria também. Sua metodologia para seleção de materiais se diferencia devido à elaboração de mapas de seleção de materiais em função de propriedades mecânicas (dureza, módulo de elasticidade) e ao conceito de índice de mérito. Nesta sistemática são definidos requisitos de projeto, para posteriormente determinar funções que estão relacionadas a propriedades mecânicas e delimitadas por restrições também. Ashby ainda disponibilizou a sua metodologia para aplicação na forma de software, *CES Selector (Granta Design)*. Segundo Azevedo (2011) inúmeras empresas, *Airbus, Boeing IDS, GE Aviation, Honeywell Aerospace, NASA Glenn Research Center, NASA Marshall Space Flight Center, Parker Aerospace, Raytheon Rolls Royce* e inclusive instituições do governo norte-americano como *US Army Research Laboratory, US Naval Surface Warfare Center Williams International* têm feito uso do software devido a sua funcionalidade, custo e redução de tempo.
- Dieter apud Assunção (1999) desenvolveram outro modelo para seleção de materiais bastante relevante e que vem sendo aplicado no meio acadêmico e em várias empresas. Seu modelo é bem estruturado e se baseia no seguinte processo: primeiramente na análise de requisitos funcionais para os materiais, na subtração de materiais e processos que não atendem os requisitos e seleção de materiais com potencial em termos de desempenho, custo, fabricação e por fim verificar experimentalmente o material especificado em condições de serviço a fim de se obter dados estatísticos confiáveis.
- Callister (2008) expôs alguns casos para demonstrar o processo de seleção de materiais que se baseia nos requisitos de projeto e gráficos para a seleção prévia de materiais potenciais, para posteriormente realizar uma análise técnica mais depurada em relação às propriedades materiais. Callister também considera uma abordagem econômica sobre a escolha do material, e análise de falha assim como Dieter.

As técnicas mais tradicionais para a seleção de materiais foram mencionadas e pode-se dizer que todas possuem aspectos positivos, mas também dificuldades em relação a sua aplicabilidade quando existe uma quantidade imensa de materiais disponíveis ou uma grande limitação no projeto (como restrição diversas propriedades materiais). Portanto, é necessário conceber um novo processo capaz de empregar as melhores práticas possíveis para plásticos de engenharia em automóveis. Para isto, a viabilidade deste método dependerá de sua facilidade em ser utilizado, assim como a assertividade dos resultados encontrados a partir dele.

Deste modo, algumas questões precisam ser analisadas, como a complexidade da tarefa. Ferrante (2000) compara o processo de seleção de materiais a um funil, pois em um primeiro momento, oportunidades coerentes são consideradas, mas à medida que as restrições são aplicadas o procedimento se torna mais específico e minucioso. Como pode ser visto na Figura 37.

Figura 37 - O “afunilamento” de um típico procedimento de seleção de materiais e alguns critérios de decisão ao longo do evento

Fonte: FERRANTE (2000)

Este cenário complexo inclui múltiplos objetivos e capacidades técnicas diversas que irão resultar em uma quantidade de materiais candidatos. Para que isto ocorra, várias atividades estão vinculadas a metodologia, como reunir e ordenar os dados de propriedades materiais. Estas atividades apesar de serem trabalhosas são

fundamentais para a obtenção do banco de dados. E caso o primeiro filtro não aconteça a partir de um banco de dados (tabela em Excel ou busca computadorizada), a seleção também poderá ocorrer através dos mapas das propriedades de materiais (técnica desenvolvida por Ashby, representada na Figura 38). No entanto, a melhor opção levará em conta a quantidade de propriedades a terem os seus dados comparados, pois apesar da praticidade e fácil solução encontrada pelo uso dos mapas de propriedades, a mesma pode ser dispendiosa quando se tem muitas restrições a serem avaliadas (FERRANTE, 2000).

Figura 38 - Um exemplo dos Mapas das Propriedades dos Materiais como inicialmente desenvolvidos (mapa módulo de Young versus densidade)

Fonte: ASHBY (2012)

Além disso, embora a metodologia desenvolvida por Ashby seja considerada a melhor até o momento, a mesma encontrou dificuldades em ser utilizada na indústria, pois não pondera diversos fatores desejados pelas empresas e também

determina somente um material como escolha final do processo (como pode ser visto na Figura 39).

Figura 39 - Processo sistemático de seleção ASHBY

Fonte: Adaptado de ASHBY (2012)

Entende-se que o balanço desses fatores é mais bem efetuado ao se fazer uso de técnicas de ponderação, pois critérios estéticos e de custos também podem ser avaliados.

De acordo com Ferrante (2000), as matrizes de decisão representam a importância numérica relativa dos critérios. Enquanto a atribuição da proporcionalidade ou pesos pode ser influenciada por fatores:

- Mercadológico – escala produtiva, custo, estética, durabilidade, etc.
- Técnico – análise dos efeitos de propriedades mecânicas e físicas nas condições de operação.
- Industriais e corporativos – disponibilidade de materiais na entrada do processo (insumos), reciclabilidade, impacto ambiental e existência de normalização.

Como pode ser observada, a seleção de materiais transpõe diversas áreas da engenharia. Logo, o procedimento de matriz de decisão é o mais amplo e competente para classificar os requisitos do produto. Em vista disso, o pesquisador Ferrante (2000) diz que a matriz de decisão desenvolvida por Pahl & Beitz, é considerada a mais qualificada nesta área. No entanto, existem outras metodologias de decisão conhecidas, como a de Pugh, considerada inteiramente qualitativa e por tanto o seu uso é aconselhado somente no início do projeto. Existe também a metodologia de Dominic que permite certo grau de quantificação/atribuição de notas, assim como Pahl & Beitz. Por sua vez Ferrante et al (2000) ampliaram a possibilidade de quantificação do método de Pahl & Beitz ao empregarem valores de índices de mérito em vez de utilizar notas.

4 MÉTODO PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS RESISTENTES A RISCOS

Estabelecer um procedimento para selecionar os materiais mais adequados para determinada aplicação no projeto automotivo pode produzir inúmeros benefícios. Contudo, essa é uma atividade árdua, pois existem milhares de materiais disponíveis para utilização. Deste modo, uma forma de se reduzir os riscos de definir um material que não seja a melhor opção, ou até mesmo, que não atenda os requisitos do produto em desenvolvimento, é estabelecer um processo estruturado que tem por objetivo facilitar a seleção do material.

Este processo de seleção de materiais plásticos resistentes a riscos foi gerado a partir da estratégia de seleção desenvolvida por Ashby, um método que evoluiu e se aperfeiçoou ao longo do tempo e é tido como referência na área. Além deste, outros conceitos pertinentes ao tema serão utilizados, como matriz de ponderação de Pahl & Beitz e índice de mérito, todos já introduzidos no capítulo anterior.

Com o objetivo de tornar o procedimento formulado mais praticável aos propósitos da pesquisa, o mesmo sofreu modificações em relação ao método de Ashby. Como contribuições da pesquisa foram acrescentados o índice de mérito na segunda etapa e a matriz ponderacional no terceiro passo, que possibilitaram uma avaliação mais adequada aos objetivos do trabalho. Portanto, as próximas seções descreverão a estratégia de seleção de materiais plásticos resistentes a riscos desenvolvida para esta pesquisa. Para isto, um modelo de processo de decisão tem como base os seguintes aspectos:

- Condições de serviço da peça, propriedades materiais mais críticas, a análise comparativa de materiais com maior potencial de atender as especificações.
- Análise do material classificado com as melhores características para exposição de dados relacionados a custo, manufaturabilidade e disponibilidade.
- É proposta ainda uma busca mais detalhada de informações dos materiais selecionados.

Para melhor explicar o procedimento, este foi dividido em quatro partes conforme é apresentado no fluxograma a seguir (ver Figura 40) que corresponde ao processo descrito.

Figura 40 - A estratégia para seleção de materiais

Fonte: Autor (2016)

4.1 ETAPA 1 – ANÁLISE DOS REQUISITOS DO PROJETO

A primeira etapa do processo consiste em determinar as condições de serviço que o produto (componente ou peça) possui como atribuições. A seguir, devem-se ser especificadas as propriedades críticas dos materiais e certificar quais materiais plásticos possuem os requisitos necessários para atender as condições requeridas na faixa de operação da peça.

Para isso Azevedo (2011) diz que primeiramente é necessário avaliar a função da peça, ou seja, o que o componente faz. Deste modo, para realizar a

abordagem funcional neste sistema, a elaboração das funções terá como base a metodologia proposta por Miles apud Mercuri (2005), ou seja, “verbo” + “substantivo”, com a forma verbal no infinitivo. Sendo assim, as funções serão estabelecidas a partir de requisitos de desempenho (características de desempenho material) que por sua vez estão associados à especificação funcional do produto.

Dieter (1991) diz que o desempenho ou os requisitos funcionais de um material normalmente são expressos em termos físicos, mecânicos, térmicos, elétricos ou de acordo com as propriedades químicas. Logo, as propriedades materiais estão ligadas com a estrutura básica, ou seja, a composição do material e o desempenho de uma peça, conforme a Figura 41 ilustra.

Figura 41 - Propriedades materiais – a ligação entre a estrutura e o desempenho

Fonte: Adaptado de DIETER (1991)

Em geral, as especificações são definidas através de propriedades materiais, podendo ser registradas como requisitos de desempenho que tem como base a especificação funcional do produto, bem como os parâmetros básicos que podem ser desenvolvidos no projeto com a finalidade de atender a satisfação do cliente e evitar riscos e consequentes falhas. Ou ainda pelas condições de projeto que informará como os componentes serão comprados ou manufaturados (ASHBY, 2012).

A Tabela 7 a seguir exemplifica as características de desempenho material que podem constituir a lista de especificações por desempenho.

Tabela 7 – Características de desempenho material

Características de desempenho material		
Propriedades Físicas:	Propriedades Mecânicas:	Propriedades Térmicas:
Estrutura cristalina	Dureza	Condutividade
Densidade	Módulo de elasticidade	Calor específico
Ponto de fusão	Tensão	Coefficiente de expansão
Pressão de vapor	Compressão	Emissividade
Viscosidade	Coefficiente de Poisson	Absortividade
Porosidade	Curva de Tensão e deformação	Taxa de ablação
Permeabilidade	Limite de escoamento	Resistência ao fogo
Refletividade	Tensão	
Transparência	Compressão	Propriedades Químicas:
Propriedades Ópticas	Cisalhamento	Posição de
Estabilidade Dimensional	Resistência à ruptura	Series eletromotriz
	Tensão	Corrosão e degradação
Propriedades Elétricas:	Cisalhamento	Atmosférica
Condutividade	Rotativa	Água salina
Constante dielétrica	Propriedades de Fadiga	Ácidos
Força coercitiva	Suave	Gases quentes
Histerese	Entalhado	Ultravioleta
	Corrosão Fadiga	Oxidação
Propriedades Nucleares:	Contato de Rolamento	Estabilidade térmica
Meia vida	Desgaste	Estabilidade biológica
Seção cruzada	Temperatura de Transição Charpy	Corrosão sob tensão
Estabilidade	Tenacidade à fratura (K_{IC})	Fragilização por hidrogênio
	Alta temperatura	Permabilidade hidráulica
	Fluência	
	Tensão de ruptura	Propriedades de Fabricação:
	Propriedades de amortecimento	Fundibilidade
	Propriedades de desgaste	Tratabilidade do calor
	Severo	Endurecimento
	Abrasão	Formabilidade
	Erosão	Usinabilidade
	Cavitação	Soldabilidade
	Fadiga de contato	
	Impacto balístico	

Fonte: Adaptado de DIETER (1991)

A Tabela 7 engloba somente uma amostra das características de desempenho material disponíveis, pois além destas existem outras mais. E conforme discutido no capítulo anterior, com foco na especificação de materiais plásticos resistentes a riscos as principais propriedades definidas são vistas na Tabela 8.

Tabela 8 - Requisitos técnicos

Item	Funções	Requisitos Técnicos		Todas as peças	Somente para peças visíveis	Somente peças em contato com o ar circulante na cabine de ocupantes	Peça exposta a condições climáticas	Peça sujeita a transferência de energia
		Propriedades	Normas					
2.6.1	Resistir a riscos	Dureza superficial	ASTM D785, ISO 2039		X			
2.6.2	Suportar impactos	Resistência a impacto	ASTM D256, ASTM D6110, ISO 179, ISO 180	x				
2.6.3	Suportar montagem	Módulo de flexão	ASTM D790, ISO 178	x				
2.6.4	Suportar deformação	Módulo de elasticidade	ASTM D638, ISO 527					x
2.6.5	Apresentar estabilidade geométrica	Contração no molde	ASTM D955, ISO 294	x				
2.6.6		Absorção de umidade	ASTM D570, ISO 62		X			
2.6.7		Expansão térmica	ASTM D696, ASTM E831, ISO 11359	x				
2.6.8		Índice de Fluidez	ASTM D1238					
2.6.9	Suportar carga em temperaturas elevadas	Deflexão sob ação de cargas	ASTM D648, ISO 75		X			
2.6.10	Aumentar beleza	Resistência acelerada às intempéries UV	ASTM G154				x	
		Resistência acelerada às intempéries Arco de xênon	ASTM D2565, ASTM D4459, ASTM G155, ISO 4892				x	
		Brilho (Brilho Especular)	ASTM D523, ISO2813				x	
2.6.12	Eliminar odor	Resistência a odor	VDA 270			x		
2.6.13	Minimizar emissões	Emissão de Formaldeídos	VDA 275			x		
2.6.14		Emissão de <i>Fogging</i> , Componente Orgânico Volátil (VOC)	VDA 278			x		
2.6.15	Retardar chamas	Resistência a chamas	FMVSS 302			x		
2.6.16	Resistir a solventes	Resistência Química	ASTM D543		X			
2.6.17	Aumentar Vida Útil	Resistência à Fadiga	ASTM D7774	x				
2.6.18		Resistência à Deformação a Longo Prazo	ASTM D2990	x				
2.6.19	Reduzir Peso	Densidade	ASTM D792, ISO 1183	x				

Fonte: Autor (2017)

Posteriormente, devem-se aplicar os limites das propriedades definidas pelos requisitos do produto. Segundo Ashby (2012) essa triagem pode ser realizada aplicando os limites dos atributos graficamente através de diagramas de seleção de materiais, conforme o exemplo da Figura 42. Nestes diagramas de seleção de materiais o objetivo principal é determinar a chamada região de busca, que representa a janela enquadrada pela restrição dos limites.

Figura 42 – Módulo Diagrama esquemático E- ρ que apresenta um limite inferior para E e um limite superior para ρ

Fonte: ASHBY (2004).

O exemplo ilustrado na Figura 42 apresenta a região de busca que tem como propósito identificar materiais plásticos com maiores valores de módulo de elasticidade (E) e baixa densidade (ρ). Sendo a redução de massa no veículo um dos principais objetivos na indústria automotiva.

Neste processo, Ashby (2012) demonstra que a utilização dos mapas de seleção de materiais proporciona uma grande vantagem, possibilita eliminar inúmeros materiais que não correspondem à limitação determinada pelas restrições. Entretanto, a técnica será mais útil quando a quantidade de propriedades a serem examinadas não for numerosa.

4.2 ETAPA 2 – FILTRO DOS MATERIAIS CANDIDATOS

Nesta etapa deve-se analisar a resistência dos polímeros a risco. Através da análise de um banco de dados de materiais plásticos deve-se selecionar alguns que atendam os critérios definidos na etapa anterior e tenham um potencial promissor para aplicação desejada. Para realizar essa seleção será utilizado o Índice de Mérito (IM).

De acordo com Ferrante et al (2000), o IM é uma fórmula algébrica que, no contexto de determinado requisito, identifica um compromisso entre duas características ou propriedades. O IM é uma fração, tendo no numerador a propriedade que se quer maximizar e no denominador a que se deseja minimizar ou também pode ser um produto, quando as propriedades devem ser maximizadas.

Ferrante et al (2000) enfatiza que a metodologia de dedução do IM adequado a uma situação particular é a seguinte:

- Estabelecimento da função do produto ou componente
- Identificação da restrição
- Estabelecimento do objetivo principal

A função, conforme Ferrante et al (2000), pode ser estabelecida a partir do conhecimento de sua finalidade, enquanto que a restrição identifica-se com a função e a propriedade que a controla. Logo, devido ao foco deste trabalho, a restrição escolhida será a resistência ao risco (*Scratch resistance* - SR).

Ferrante et al (2000), define o objetivo como um requisito a ser imposto para seleção do material. Para este estudo será adotado a resistência a risco como objetivo, pois este é o ponto central para o trabalho, principalmente ao considerar a exposição ou mobilidade que o componente apresenta no veículo.

A Tabela 9 mostra um exemplo de IM de cinco modos de carregamento para duas condições de projeto: elasticidade e resistência mecânica. Para elasticidade o numerador é representado pelo módulo de elasticidade (E) e para resistência mecânica a resistência (σ). Em ambos os casos o objetivo principal é a redução de peso e, com isso, o denominador é representado pela densidade (ρ).

Tabela 9 – Índices de mérito para projetos regidos por rigidez e resistência mecânica.

Modo de Carregamento	Forma	Índice de Mérito	
		Rigidez	Resistência
Flexão	Barra, Tubo	$E^{1/2} / \rho$	$\sigma^{2/3} / \rho$
	Chapa	$E^{1/3} / \rho$	$\sigma^{1/2} / \rho$
Tração	Barra	E / ρ	σ / ρ
Flambagem	Coluna, Tubo	$E^{1/2} / \rho$	-
	Chapa	$E^{1/3} / \rho$	-
Torção	Barra, Tubo	-	σ / ρ
Pressão Interna	Vaso de Pressão Cilíndrico	E / ρ	σ / ρ

Fonte: Adaptado de Ferrante et al (2000)

Com base nisso, neste estudo o IM adotado tem no numerador o índice de fluidez e no denominador a dureza superficial, de acordo com a Equação 4.

$$IM = \frac{\text{Índice de Fluidez}}{\text{Dureza Superficial}} \quad (4)$$

A propriedade de Índice de fluidez foi utilizada por estar diretamente relacionada com a viscosidade do material. Pois, quanto maior a viscosidade do material, este aceitará uma quantidade menor de pigmentos. Enquanto um material com menor viscosidade, ou seja, maior índice de fluidez aceitará uma quantidade maior de pigmentos. Isto se refletirá na profundidade da cor alcançada no material plástico e pode até eliminar o processo de pintura. Além de proporcionar uma maior qualidade no acabamento da peça no molde.

A propriedade de dureza superficial foi utilizada por representar a resistência que um corpo possui a penetração de outro material.

Deste modo, foram considerados os aspectos de manufatura e resistência ao risco do material. No entanto, outras escolhas para o índice de método também podem ser adotadas. Isto dependerá principalmente da finalidade do projeto, podendo englobar perspectivas de custo, redução de massa, entre outros.

4.3 ETAPA 3 – SELEÇÃO DOS MATERIAIS CANDIDATOS

Neste passo o objetivo é realizar a análise (termo conhecido como *trade off* em que se define uma escolha em situações em que existe o conflito de escolhas) para comparar os materiais selecionados na etapa anterior e definir o melhor material para aplicação desejada.

Segundo Pahl et al (2007), para casos em que a avaliação será conduzida durante a fase conceitual do projeto e que, nesse caso, se tem poucas informações em relação aos critérios que serão utilizados, o mais indicado é fazer uma avaliação qualitativa dos critérios pois ao se estimar valores numéricos para as variáveis pode-se introduzir um falso senso de convicção para análise.

Sendo assim, para este trabalho será adotado o método qualitativo proposto por Pahl et al (2007), o qual possui os seguintes passos:

- i) Identificação dos critérios de avaliação: Compilar as características técnicas e as demandas mínimas (restrições) do projeto;
- ii) Análise do peso dos critérios de avaliação: Determinar fator de peso se houver diferença significativa de importância entre os critérios de avaliação. Uma vez que o peso seja necessário, a soma dos pesos de todos os critérios deve ser igual a 1;
- iii) Determinação do parâmetro dos critérios de avaliação (ver Tabela 10): Classificar cada critério com base em uma solução ideal;
- iv) Comparação dos materiais candidatos: Comparar a classificação dos diferentes materiais propostos.

Para o primeiro passo, de acordo com Pahl et al (2007), a avaliação para selecionar o material não deve ser baseada em um aspecto individual e deve considerar todos aspectos em um balanço apropriado. Desta forma, além do desempenho (propriedade mecânica) do material, será considerado o custo, a manufacturabilidade e a disponibilidade do material.

Conforme descrito no passo ii, o uso de peso para os critérios é opcional e só deve ser utilizado caso a influência do critério seja significativa. Ao contrário, Pahl et al (2007) recomenda dispensar a adoção de peso para os critérios. Desta forma, o passo ii do procedimento só será realizado nos casos em que o time que estiver realizando a seleção do material entenda que um ou mais critérios tenham uma importância significativa para a avaliação.

Para determinação do parâmetro de magnitude dos critérios em avaliação Pahl et al (2007) indica a adoção de pontos para os valores em uma escala de 0 à 4, conforme mostrado na Tabela 10. A vantagem dessa escala é que, como o conhecimento em relação aos critérios em análise é pouco, avaliações mais simples são suficientes e com significado mais apropriado.

Tabela 10 – Escala de valor

Magnitude	Pontos
Insatisfatório	0
Tolerável	1
Adequado	2
Bom	3
Ideal	4

Fonte: Pahl et al (2007)

Para finalizar, deve-se obter uma classificação dos materiais candidatos através da soma dos valores apurados para cada critério aplicando o peso respectivo, se for o caso. Um padrão da matriz de decisão a ser utilizada é apresentado na Tabela 11:

Tabela 11 – Matriz de decisão para avaliação de produto

FATOR PESO DE CADA ELEMENTO

CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DO PRODUTO

MATERIAIS CANDIDATOS

PONDERAÇÃO DO MATERIAL EM RELAÇÃO AO CRITÉRIO

ESCALA DE VALOR

INSATISFATÓRIO = 0
TOLERÁVEL = 1
ADEQUADO = 2
BOM = 3
IDEAL = 4

QUANTIDADE DE CRITÉRIOS

SOMATÓRIA DE TODAS AS NOTAS

O MAIOR VALOR REPRESENTA A MELHOR NOTA

	FATOR PESO	CRITÉRIO	SR-0330M (INJEÇÃO)	SR-0340M (INJEÇÃO)	SL-0100 (EXTRUSÃO)
DESEMPENHO	1	AUMENTAR BELEZA	0 5	4 5	0 5
		ELIMINAR ODORES	0 5	0 5	0 5
		ELIMINAR EMISSÕES	0 5	0 5	0 5
		RETARDAR CHAMAS	4 5	4 5	4 5
		RESISTIR A SOLVENTES	0 5	0 5	0 5
MANUFATURABILIDADE	1	PESO	4 6	4 6	4 6
		ESPESSURA MÍNIMA	4 6	4 6	4 6
		PRECISÃO DIMENSIONAL	4 6	4 6	1 6
		COMPLEXIDADE	1 6	1 6	4 6
		RUGOSIDADE SUPERFICIAL	4 6	4 6	2 6
		TAXA DE PRODUÇÃO	4 6	4 6	4 6
DISPONIBILIDADE	1	AMÉRICA LATINA	4 1	4 1	4 1
CUSTO	1	PREÇO (EUR)/Kg	2 1	2 1	2 1
TOTAL			10,30	11,10	9,97

Fonte: Autor (2017)

Supondo que o material tenha sido selecionado na etapa de triagem, o mesmo será avaliado neste momento conforme a matriz de decisão exibida na

Tabela 11. Deste modo, os critérios serão ponderados primeiramente conforme o critério desempenho:

- (a) **Aumentar beleza.** Este critério compreende as propriedades de Resistência acelerada às intempéries UV e Arco de Xênon, além do Brilho especular. Caso a ficha do material analisado não conste o preenchimento do critério em relação a nenhuma das 3 propriedades, a nota será 0 (insatisfatório). Se uma das propriedades atender o índice, a nota será 1 (tolerável). Na hipótese de duas propriedades satisfazerem o critério, a nota será 2 (adequado). E na condição de três propriedades cumprirem os requisitos, a nota será 3 (bom). E quando as três propriedades superarem muito os índices determinados, então receberá nota 4 (ideal).

- (b) **Eliminar odor.** Quando o material não satisfizer o índice referente à norma da Resistência a odor, sua nota será 0 (insatisfatório). Caso a norma seja atendida o material será avaliado com nota 2 (adequado). E quando o polímero exceder bastante o índice da norma, o mesmo pode ser pontuado com nota 4 (ideal).
- (c) **Minimizar emissões.** Refere-se às propriedades de Emissão de Formaldeídos, FOG e Componente Orgânico Volátil. Para o material que não satisfizer os índices de nenhuma das 3 propriedades, receberá a nota 0 (insatisfatório). Caso uma das propriedades seja atendida, a nota será 1 (tolerável). Na condição de duas propriedades atingirem os índices das normas, então a nota atribuída será 2 (adequado). E na hipótese das três propriedades cumprirem os requisitos, a nota concedida será 3 (bom). Ao ultrapassar os índices das três propriedades, logo a nota será 4 (ideal).
- (d) **Retardar chamas.** Está relacionada com Resistência a chamas. Se o material não satisfizer o índice referente à norma associada à Resistência a chamas, sua nota será 0 (insatisfatório). Quando a norma for atendida a nota será 4 (ideal).
- (e) **Resistir a solventes.** Está associada à propriedade de Resistência química. Caso o material não atinja o índice relacionado ao índice de Resistência química, então receberá nota 0 (insatisfatório). Se o material avaliado atender o critério, a pontuação será 2 (adequado). E na condição de o polímero exceder consideravelmente o índice, o mesmo pode ser avaliado com nota 4 (ideal).
- (f) **Reduzir peso.** Está correlacionado a propriedade Densidade. A nota 4 (ideal), será atribuída quando o material avaliado possuir densidade entre 850 e 1025 kg/m³. Ao compreender valores de densidade na faixa de 1025 até 1200 kg/m³, o material receberá nota 3 (bom). Caso a amostra apresente valores entre 1200 e 1370 kg/m³, a pontuação pode ser 2 (adequado). Quando a densidade do polímero estiver entre 1370 e 1550 kg/m³, então a nota concedida será 1 (tolerável). Para valores acima de 1550 kg/m³, a nota atribuída será 0 (insatisfatório).

Neste momento, a manufaturabilidade são enquadrados conforme:

- (a) **Peso.** Comporta peso até 25 Kg para injeção e 1000 Kg para extrusão. Para atender o critério a nota a ser atribuída será 4 (ideal). Caso não satisfaça a nota será 1 (tolerável).
- (b) **Espessura mínima.** Compreende valores de espessura mínima até 10 mm (injeção) e 900 mm (extrusão). A nota 4 (ideal) será dada quando o critério for atendido, do contrário a nota será 1 (tolerável).
- (c) **Precisão dimensional.** Tolerância de 0,05 a 1 mm (injeção) e 0,2 a 2 mm (extrusão). Peças com elevada precisão dimensional conceder nota 4 (ideal), peças com baixa precisão dimensional avaliar como 1 (tolerável).
- (d) **Complexidade.** Complexidade alta (injeção) ou baixa (extrusão). Peças com complexidade baixa classificar como 4 (ideal), peças com elevada complexidade avaliar como 1 (tolerável).
- (e) **Rugosidade superficial.** Faixa de valores de 0,2 a 1,6 (μm) para injeção e 0,5 a 12,5 (μm) para extrusão. Considerar nota 4 (ideal) ao atender o critério e nota 1 (tolerável) para valores fora do especificado.
- (f) **Taxa de produção.** A taxa produtiva é equivalente para ambos, sendo entre 10 mil a 1 milhão. Quando o índice for atendido a nota concedida é 4 (ideal), em hipótese contrária receberá nota 1 (tolerável).
- (g) **Contração no molde.** Na ausência de dados do polímero e para valores superiores ao índice determinado pontuar com nota 0 (insatisfatório). E considerar nota 4 (ideal) para materiais com contração no molde dentro da especificação.
- (h) **Absorção de umidade.** Na ausência de dados do material e para valores acima do índice considerar nota 0 (insatisfatório). E para valores abaixo do índice de absorção de umidade avaliar com nota 4 (ideal).

A disponibilidade é estabelecida de acordo com o critério:

- (a) **América latina.** Para materiais disponíveis geograficamente na América latina a nota concedida é 4 (ideal). Enquanto a indisponibilidade do mesmo na região resulta em nota 0 (insatisfatório).

Enquanto, o custo é determinado a partir do seguinte critério:

- (a) **Preço.** Preços de polímeros estimados com referência na tabela de preços da empresa Plasticker (2017). Preços compreendidos entre 0,40 e 0,55 EUR/kg terão atribuição de nota 4 (ideal). Valores na faixa entre 0,55 e 0,70 EUR/kg receberão nota 3 (bom). Será considerada nota 2 (adequado) para preços na

faixa de 0,70 e 0,85 EUR/kg. Enquanto que para valores de 0,85 até 1,00, os materiais serão avaliados com nota 1 (tolerável). Acima de 1,00 EUR/kg os polímeros serão pontuados como 0 (insatisfatório).

4.4 ETAPA 4 – PROCURAR DOCUMENTAÇÃO

Para finalizar deve-se procurar informações disponíveis dos materiais indicados como melhor escolha, incluindo aspectos referentes a seu histórico, utilização em outras aplicações, comportamento em ambientes relevantes, dados experimentais, de forma a se estruturar um perfil detalhado do material selecionado.

5 ESTUDOS DE CASO

Como resultado, do conhecimento obtido a cerca dos tópicos que envolvem a falha de deformação no material plástico (conhecida como risco), incluindo a metodologia elaborada para seleção de materiais que será aplicada nesta dissertação, conforme os conteúdos desenvolvidos nos capítulos 2 e 3. Neste momento, as seguintes etapas serão colocadas em prática:

- Analisar os requisitos do projeto
- Filtrar os materiais candidatos
- Selecionar materiais candidatos
- Procurar documentação

Portanto, neste capítulo foram realizados dois estudos de caso para ilustrar o método de seleção de materiais plásticos resistentes a riscos. O primeiro componente é a tampa do porta-luvas e a segunda aplicação foi realizada com a peça conhecida como base do espelho lateral do veículo. Os estudos de caso se desenvolveram a cerca dos requisitos de projeto estabelecidos a partir das propriedades críticas e operacionais das peças.

5.1 PROPOSTA DA PEÇA – TAMPA DO PORTA-LUVAS

O porta-luvas está presente em quase todos os automóveis, geralmente localizado no painel do veículo, em frente ao passageiro. Existem desde modelos simples até compartimentos climatizados que possibilitam a refrigeração de bebidas. Outra opção que varia conforme o veículo é ter vários compartimentos instalados para maximizar a capacidade de armazenamento no veículo. Sendo assim, a tampa do porta-luvas tem por objetivo permitir a abertura e fechamento do compartimento, de modo que os objetos (por exemplo, manual do automóvel, documentos e chaves) estejam acondicionados no interior do porta-luvas e se mantenham protegidos. Seu mecanismo de funcionamento se baseia na utilização de dobradiças, pinos de retenção e/ou alças para abrir e travar a porta. A peça também está sujeita a movimentação, exposição a elevadas temperaturas, além da radiação ultravioleta e substâncias químicas durante a limpeza, e necessita também suportar possíveis impactos durante o fechamento e/ou contra objetos. O componente descrito pode ser visualizado na Figura 43.

Figura 43 - Tapa do porta-luvas (modelo Peugeot 107)

Fonte: PREMIER PEUGEOT (2017)

5.1.1 Identificação das funções e definição dos requisitos – tapa do porta-luvas

Para atingir os propósitos da pesquisa, é essencial garantir que os atributos corretos do componente sejam conhecidos. Logo, após determinar qual peça será estudada, nesta fase pode-se dar início a análise de funcionalidade. É importante afirmar que devido à localização (sujeita a fatores climáticos) e também por possuir grande apelo estético, a tapa do porta-luvas deve:

- “Apresentar estabilidade geométrica”;
- “Aumentar beleza”;
- “Eliminar odor”;
- “Minimizar emissões”;
- “Reduzir peso”;
- “Resistir a riscos”;
- “Resistir a solventes”;
- “Retardar chamas”;
- “Suportar impactos”;
- “Suportar montagem”;
- “Suportar carga em temperaturas elevadas”.

A fim de tornar mais claro o significado destas funções, as relações existentes entre funções e requisitos técnicos (propriedades) da tapa do porta-luvas são expostas na Tabela 12.

Tabela 12 - Especificações por desempenho (tampa do porta-luvas)

Item	Funções	Requisitos Técnicos		Índice
		Propriedades	Normas	
2.6.1	Resistir a riscos	Dureza superficial	ASTM D785, ISO 2039-2	<60 (Escala R)
2.6.2	Suportar impactos	Resistência a impacto	ASTM D256, ASTM D6110, ISO 179, ISO 180	1,5 – 60 kJ/m ²
2.6.3	Suportar montagem	Módulo de flexão	ASTM D-790, ISO 178	≤ 1700 MPa
2.6.5	Apresentar estabilidade geométrica	Contração no molde	ASTM D955, ISO 294	0,4%
2.6.6		Absorção de umidade	ASTM D570, ISO 62	Máximo 3%
2.6.7		Índice de Fluidez	ASTM D1238	Maior valor possível
2.6.8	Suportar carga em temperaturas elevadas	Deflexão sob ação de cargas	ASTM D648, ISO 75	Acima de 60° C
2.6.9	Aumentar beleza	Resistência acelerada às intempéries UV	ASTM G154	Sem alteração significativa na aparência (amarelamento, bronzeamento, manchas de água ou aderência)
		Resistência acelerada às intempéries Arco de xênon	ASTM D2565, ASTM D4459, ASTM G155, ISO 4892	Alterações de cor não devem exceder ΔE de 3 unidades (Não deve exibir aderência superficial, fragilização, alteração na dureza, bolhas)
2.6.10		Brilho especular	ASTM D523, ISO 2813	60° <i>gloss</i> (0-10 GU)
2.6.12	Eliminar odor	Resistência a odor	VDA 270	≤ 3
2.6.13	Minimizar emissões	Emissão de Formaldeídos	VDA 275	< 10 mg/kg
2.6.14		FOG	VDA 278	≤ 100 µg/g (ppm) (2 mg máx. de substâncias condensáveis)
		Componente Orgânico Volátil (VOC)	VDA 278	≤ 250 µg/g (ppm)
2.6.15	Retardar chamas	Resistência a chamas	FMVSS 302	+ (101,6 mm/min)
2.6.16	Resistir a solventes	Resistência química	ASTM D543	Sem alteração no grau de brilho ou manchas
2.6.17	Reduzir peso	Densidade	ASTM D792, ISO 1183	Menor valor possível

Fonte: Autor (2017)

Neste ponto, é efetuada uma triagem inicial dos materiais disponíveis em um banco de dados de materiais plásticos com aplicação automotiva. Neste contexto, foram selecionados somente os materiais capazes de atender tecnicamente as funções da tampa do porta-luvas conforme a especificação das propriedades de

módulo de flexão (≤ 1700 MPa), resistência ao impacto (entre 1,5 – 16 kJ/m²) e temperatura de deflexão (Acima de 60 °C). Os materiais selecionados nessa fase inicial são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Propriedades mecânicas (tampa do porta-luvas)

Polímero	Fabricante	Classe	Aplicação	Módulo de Flexão 23 °C 2mm/min [MPa] (ISO 178)	Resistência ao impacto com entalhe IZOD 23°C, 4mm [kJ/m ²] (ISO 180/A)	Temperatura de deflexão sob ação de cargas [°C] (ISO 75-2)
PP	BRASKEN	HOMO (H 202HC)	Aplicações de interior automotivo	1950	(1.6 - 6.5) ¹	127
		HOMO (H 502HC)	Aplicações de interior automotivo	2200	3.3	130
		HECO (CP 202XP)	Interior automotivo, peças com elevada rigidez	1700	4.6	65
	TRINSEO	INSPIRE™ TF7000 ES	Painel de instrumentos, componentes inferiores e outras aplicações de acabamento inferior	2400	29	61
	BOREALIS	DAPLEN (EF188AI)	Painéis de instrumentos, painéis das portas, outras peças no interior automotivo	1900	(2.0 - 51) ¹	100
		DAPLEN (EF198HP)	Painéis de instrumentos, revestimentos de assentos, painéis das portas, consoles de centro, revestimentos dos pilares e aplicações de interior automotivo	2000	(2.0 - 51) ¹	95
		DAPLEN (RC101)	Acabamento interior, grades, molduras	2900	3.2	70
		DAPLEN (EG265HP)	Painel de instrumentos, painéis das portas, peças interiores automotivas	1800	(2.0 - 51)*	97
ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	STAREX Heat Resistant (SR-0340M)	Aplicações no interior do veículo	2500	14	70

¹Valores típicos de Resistência ao impacto com entalhe IZOD para materiais PP

Fonte: Autor (2017)

Convém mencionar que para alguns dados referentes à propriedade de Resistência ao impacto, foram considerados os valores médios da família do material devido à dificuldade em se obter todos os dados junto ao fabricante do material.

5.1.2 Filtro dos materiais candidatos – tampa do porta-luvas

Como descrito no capítulo 4, o índice de mérito (IM) é calculado através da razão das variáveis das propriedades de Índice de Fluidiez e Dureza Superficial, conforme é mostrado na Tabela 14.

Tabela 14 - Índice de mérito (tampa do porta-luvas)

Polímero	Fabricante	Classe	Aplicação	Índice de Fluidiez 230 °C/2.16 kg (cm ³ /10 min) ISO 1134	Índice de Fluidiez 220 °C/10 kg (cm ³ /10 min) ISO 1134	Dureza Superficial Rockwell [R scale] (ISO 2039-2)	IM (Índice de Fluidiez / Dureza)
PP	BRASKEN	HOMO (H 202HC)	Aplicações de interior automotivo	23	-	109	0.211
		HOMO (H 502HC)	Aplicações de interior automotivo	3.3	-	110	0.03
		HECO (CP 202XP)	Interior automotivo, peças com elevada rigidez	(1.80 - 135) ¹	-	97	(0.018 – 1.391) ⁴
	TRINSEO	INSPIRE™ TF7000 ES	Painel de instrumentos, componentes inferiores e outras aplicações de acabamento inferior	27	-	(60 - 88) ³	(0.306 - 0.45) ⁴
	BOREALIS	DAPLEN (EF188AI)	Painéis de instrumentos, painéis das portas, outras peças no interior automotivo	(7.85 – 18.1) ¹	-	(90 - 98) ³	(0.080 – 0.201) ⁴
		DAPLEN (EF198HP)	Painéis de instrumentos, revestimentos de assentos, painéis das portas, consoles de centro, revestimentos dos pilares e aplicações de interior automotivo	(7.85 – 18.1) ¹	-	(90 - 98) ³	(0.080 – 0.201) ⁴
		DAPLEN (RC101)	Acabamento interior, grades, molduras	22	-	102	0.215
		DAPLEN (EG265HP)	Painel de instrumentos, painéis das portas, peças interiores automotivas	21	-	(90 - 98) ³	(0.214 – 0.233) ⁴
ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	STAREX Heat Resistant (SR-0340M)	Aplicações no interior do veículo	-	(1.30 - 41.2) ²	110	(0.011 – 0.374) ⁴

¹Valores típicos de Índice de Fluidiez para materiais PP

²Valores típicos de Índice de Fluidiez para materiais ABS

³Valores típicos de Dureza Superficial para materiais PP

⁴Índice de Mérito estimado com base na faixa de valores do Índice de Fluidiez e/ou Dureza Superficial

Fonte: Autor (2017)

É necessário evidenciar que as propriedades foram escolhidas para estimar o IM com o objetivo de obter os materiais com menor viscosidade, ou seja, maior índice de fluidiez e, por conseguinte ofereçam menor resistência ao fluxo no

processo de fundição, como também determinar materiais que detenham melhores propriedades de resistir ao risco.

A partir dos quocientes determinados previamente na Tabela 14, os materiais com os melhores índices de mérito foram identificados:

- HECO CP 202XP (BRASKEN) – 0.704
- DAPLEN EG265HP (BOREALIS) – 0.223
- DAPLEN RC101 (BOREALIS) – 0.215
- Homo H 202HC (BRASKEN) – 0.211
- STAREX Heat Resistant SR-0340M (Samsung) – 0.192

Em relação aos materiais HECO CP 202XP, DAPLEN EG265HP e STAREX *Heat Resistant* SR-0340M foram calculados o valor médio para os IMs a fim de identificar os quocientes com melhores pontuações.

5.1.3 Seleção do material – tampa do porta-luvas

O próximo passo no mecanismo de seleção de polímeros com resistência a riscos consiste no acréscimo das funções “aumentar beleza”, “eliminar odor”, “minimizar emissões”, “retardar chamas”, “resistir a solventes” e “reduzir peso”. Até o momento, as mesmas não haviam sido incluídas na análise preliminar, no entanto, serão inseridas nesta fase como requisitos constituintes do fator desempenho na matriz ponderacional (ver Tabela 15). A estratégia da pesquisa assegura o exame de funções ainda não avaliadas, relacionadas à estética do produto e a requisitos legais (ainda não vigentes em nosso país) para que sejam consideradas características contribuintes para um maior desempenho do material.

Sendo assim, os melhores materiais identificados no processo de atribuição de índice de mérito, HECO CP 202XP, DAPLEN EG265HP, DAPLEN RC101, Homo H 202HC, STAREX *Heat Resistant* SR-0340M, serão avaliados neste momento de acordo com a técnica ponderacional. A decisão sobre o material final a ser escolhido será caracterizada pelo exame dos elementos de desempenho, manufaturabilidade, disponibilidade e custo, conforme é demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 - Técnica ponderacional (tampa do porta-luvas)

	FATOR PESO	CRITÉRIO	HECO CP 202XP (Injeção)	HOMO H 202HC (Injeção)	DAPLEN EG265HP (Injeção)	DAPLEN RC101 (Injeção)	STAREX Heat Resistant SR-0340M (Injeção)
DESEMPENHO	1	AUMENTAR BELEZA	1/6	1/6	2/6	1/6	2/6
		ELIMINAR ODOR	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6
		MINIMIZAR EMISSÕES	0/6	0/6	4/6	0/6	2/6
		RETARDAR CHAMAS	0/6	0/6	4/6	4/6	4/6
		RESISTIR A SOLVENTES	1/6	4/6	1/6	1/6	2/6
		REDUZIR PESO	4/6	4/6	3/6	3/6	3/6
MANUFATURABILIDADE	1	PESO	4/8	4/8	4/8	4/8	4/8
		ESPESSURA MÍNIMA	4/8	4/8	4/8	4/8	4/8
		PRECISÃO DIMENSIONAL	4/8	4/8	4/8	4/8	4/8
		COMPLEXIDADE	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
		RUGOSIDADE SUPERFICIAL	4/8	4/8	4/8	4/8	4/8
		TAXA DE PRODUÇÃO	4/8	4/8	4/8	4/8	4/8
		CONTRAÇÃO NO MOLDE	0/8	0/8	4/8	4/8	4/8
		ABSORÇÃO DE UMIDADE	0/8	0/8	0/8	0/8	4/8
DISPONIBILIDADE		AMÉRICA LATINA	4/1	4/1	4/1	4/1	4/1
CUSTO	1	PREÇO (EUR)/Kg	4/1	4/1	4/1	4/1	3/1
TOTAL			11,63	12,13	13,46	12,63	12,79

Fonte: Autor (2017)

Baseado nos dados obtidos na Tabela 15, têm destaque os critérios “Eliminar odor” e “Minimizar emissões” associados ao elemento Desempenho, pois apresentaram notas insatisfatórias em geral. Quanto as funções “aumentar beleza”, “retardar chamas” e “resistir a solventes”, estas não atingiram notas elevadas, com exceção do material HOMO H 202HC (a função “Resistir a solventes”). Ou seja, dentro quesito desempenho todos os materiais candidatos não atendem plenamente os requisitos.

Para o elemento de manufaturabilidade, não há distinção de pontuação entre os materiais, porque todos são obtidos pelo processo de injeção. Entretanto, sabe-se que as técnicas mais empregadas para este tipo de aplicação são principalmente injeção e extrusão em menores quantidades. Quanto à disponibilidade, verificou-se que todos os materiais são comercializados na região da América Latina. E que a condição do polímero STAREX *Heat Resistant* SR-0340M, é menos competitiva financeiramente que os demais, por este ser de material ABS.

É importante dizer que embora o elemento custo, seja um fator substancial em qualquer processo de seleção de materiais, neste caso, o mesmo teve a mesma atribuição de peso que os demais elementos (desempenho, manufaturabilidade, disponibilidade). A ponderação foi realizada com base na estimativa do custo relativo dos materiais, devido ao impedimento em conseguir os valores específicos junto aos fabricantes. Em vista disso, o custo do material ABS foi estimado com base nos valores obtidos a partir do relatório da BVSE (2017).

Com isso, a somatória da pontuação designada aos materiais candidatos destacou o material DAPLEN EG265HP como sendo uma das melhores escolhas dentre os que foram examinados. O resultado superior nos critérios relacionados ao elemento desempenho determinou que este material como uma boa escolha. É importante expor também que o DAPLEN EG265HP é um material indicado para aplicação no interior do veículo (Painel de instrumentos, painéis das portas, entre outras), conforme pode ser visto na Tabela 13.

Enquanto que o gráfico de bolhas (Gráfico 1) evidencia além do material DAPLEN EG265HP, o HECO CP202XP como um material com melhor desempenho na resistência ao risco, além de ter um bom desempenho na ponderação também. Planilha e gráficos gerados a partir dos dados de materiais plásticos filtrados para a peça tampa do porta-luvas, aplicando a metodologia de seleção de materiais descrita no trabalho.

Gráfico 1 – Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos – Tampa do porta-luvas
Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos - Tampa do porta-luvas

Fonte: Autor (2017)

5.1.4 Documentação dos materiais selecionados – tampa do porta-luvas

Ao analisar os resultados obtidos com o emprego da ponderação determinou-se que os polímeros que obtiveram maior pontuação foram o DAPLEN EG265HP e o Starex SR-0340M, respectivamente, com pontuações de 13,46 e 12,79 (de até 16,00 pontos possíveis). Nessa abordagem a diferença mais significativa nos resultados surgiu devido ao critério de custo, pelo fato de o polipropileno ter custo inferior ao ABS. Ambos possuem valores semelhantes de Dureza superficial, Temperatura de deflexão sob ação de cargas, todavia, o material com maior pontuação detém também a menor densidade, aspecto relevante para análises com foco na redução de peso.

Nota-se ainda que o material DAPLEN EG265HP é o único entre 5 candidatos que atende ao critério referente a emissões. Contudo, o mesmo não satisfaz o critério relativo a odor. Outro aspecto atrativo neste polímero se deve ao conceito ecológico, pois este plástico é reciclável.

A Figura 44 apresenta outras propriedades do DAPLEN EG265HP em comparação com um plástico polipropileno genérico, em um gráfico de radar.

Figura 44 - Balanço de propriedades

Fonte: Ultraprosector (2017)

O uso de mineral no nível de 20% demonstra melhora expressiva no desempenho do material na resistência ao impacto com o teste Charpy, como pode ser visto na Figura 44. Em termos de processo, um significativo aumento no índice de fluidez pode ser observado também. O que reflete diretamente no bico da injetora, como uma oposição que um plástico mais viscoso ofereceria para escorrer. Com relação a preço, o gráfico de radar coloca os dois materiais com valores similares.

No entanto, dentro da análise da capacidade de resistência maior ao risco o HECO CP202XP, também de polipropileno sai-se melhor, conforme a representação gráfica de desempenho dos materiais no Gráfico 1.

Agora em outra perspectiva, o material DAPLEN RC101 pode ser uma alternativa viável também em comparação com o STAREX SR-0340M, uma vez que os dois obtiveram pontuações próximas, sendo o primeiro 12,63 e o material ABS 12,79. Em termos de desempenho o material STAREX SR-0340M possui um desempenho relativamente um pouco melhor, mas considerando custos, o DAPLEN RC101 se mostra mais competitivo. Logo, conclui-se que para aplicações de interior o polipropileno pode ser empregado.

5.2 PROPOSTA DA PEÇA – BASE DO ESPELHO LATERAL RETROVISOR

A base do espelho lateral retrovisor é posicionada nas portas a frente do motorista e do passageiro frontal, está sujeita a condições climáticas (intempéries), sendo exposta a elevadas temperaturas e substâncias químicas como detergentes durante a limpeza. Esta peça sustenta o conjunto do espelho retrovisor (a mesma pode ser identificada na Figura 45 e Figura 46), sendo reconhecida como parte integrante de um dos elementos de segurança ativa no veículo. O componente da base também está sujeita a movimentação deste mesmo conjunto (composto pelo protetor do espelho, invólucro do espelho, moldura, sinal de direção, unidade de ajuste e espelho) contra possíveis obstáculos, incluindo motos, outros veículos e portão.

Figura 45 - Base do espelho lateral

Fonte: BASF (2013)

Figura 46 - Vista da geometria externa do retrovisor (parte traseira)

Fonte: THOR; CHIPPA; MAJAGE (2015)

A base do espelho lateral possui importância estética e aerodinâmica também (na área frontal do veículo). Ao avaliar o segundo item, a base é responsável por produzir mínima vibração no conjunto a fim de evitar vibrações no espelho e

minimizar os ruídos produzidos pelas complicações provenientes da coluna A, área localizada entre o compartimento do motor e a porta dianteira, uma região de fluxo instável e vórtices (OLSSON, 2011).

5.2.1 Identificação das funções e definição dos requisitos – base do espelho lateral retrovisor

A peça definida como objeto deste estudo é a base do espelho retrovisor, sendo caracterizada como uma peça localizada na região exterior do veículo que necessariamente deve:

- “suportar vibrações”;
- “suportar impactos”;
- “suportar montagem”;
- “apresentar estabilidade dimensional”;
- “resistir a riscos”;
- “suportar carga em temperaturas elevadas”;
- “aumentar beleza”;
- “resistir a solventes”.

Consequentemente as exigências para a escolha do material devem satisfazer as propriedades relacionadas aos requisitos funcionais da peça, através das funções declaradas anteriormente. Assim, as características de desempenho material resultaram na elaboração da Tabela 16:

Tabela 16 - Especificações por desempenho (base do espelho lateral retrovisor)

Item	Funções	Requisitos Técnicos		Índice
		Propriedades	Normas	
2.6.1	Resistir a riscos	Dureza superficial	ASTM D785, ISO 2039-2	60 - 130 (Escala R)
2.6.2	Suportar impactos	Resistência a impacto	ASTM D256, ASTM D6110, ISO 179, ISO 180	1,5 – 60 kJ/m ²
2.6.3	Suportar montagem	Módulo de flexão	ASTM D-790, ISO 178	2000 – 4000 MPa
2.6.5	Apresentar estabilidade geométrica	Contração no molde	ASTM D955, ISO 294	0,4%
2.6.6		Absorção de umidade	ASTM D570, ISO 62	Máximo 3%
2.6.7		Índice de Fluidez	ASTM D1238	Maior valor possível
2.6.8	Suportar carga em temperaturas elevadas	Deflexão sob ação de cargas	ASTM D648, ISO 75	≤60° C
2.6.9	Aumentar beleza	Resistência acelerada às intempéries UV	ASTM G154	Sem alteração significativa na aparência (amarelamento, bronzeamento, manchas de água ou aderência)
		Resistência acelerada às intempéries Xenon Arc	ASTM D2565, ASTM D4459, ASTM G155, ISO 4892	Alterações de cor não devem exceder ΔE de 3 unidades (Não deve exibir aderência superficial, fragilização, alteração na dureza, bolhas)
2.6.10		Brilho especular	ASTM D523, ISO 2813	60° gloss (0-10 GU)
2.6.16	Resistir a solventes	Resistência química	ASTM D543	Sem alteração no grau de brilho ou manchas
2.6.17	Reduzir peso	Densidade	ASTM D792, ISO 1183	Menor valor possível

Fonte: Autor (2017)

Nesta etapa, será realizada uma prévia seleção de materiais plásticos, a partir do processo de compilação realizado para gerar um banco de dados com a ficha técnica de vários materiais com aplicação no setor automotivo.

O resultado desta triagem preliminar apontou os materiais candidatos qualificados para atender as funções do produto estipuladas anteriormente. Desta forma, a especificação do produto inclui a análise de inúmeras propriedades, dentre elas, resistência ao impacto, módulo de flexão, resistência ao impacto e resistência térmica sob carga em elevadas temperaturas. Na Tabela 17, são mostrados os materiais selecionados neste primeiro estágio da aplicação da metodologia para seleção de materiais resistentes a riscos.

Tabela 17 - Propriedades mecânicas (base do espelho lateral retrovisor)

Polímero	Fabricante	Classe	Aplicação	Módulo de Flexão 23 °C 2mm/min [MPa] (ISO 178)	Resistência ao impacto com entalhe IZOD 23°C, 4mm [kJ/m²] (ISO 180/A)	Temperatura de deflexão sob ação de cargas [°C] (ISO 75-2)
PP	TRINSEO	INSPIRE™ TF7000 ES	Painel de instrumentos, componentes inferiores e outras aplicações de acabamento inferior	2400	29	61
	BOREALIS	DAPLEN (EF198HP)	Painéis de instrumentos, revestimentos de assentos, painéis das portas, consoles de centro, revestimentos dos pilares e aplicações de interior automotivo	2000	(2.0 - 51) ¹	95
ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	STAREX Heat Resistant (SR-0340M)	Aplicações no interior do veículo	2500	14	70
		STAREX Heat Resistant SR-0330M	Peças no interior do habitáculo do veículo	2350	14	96
	Sabic	CYCOLAC Resin X11	Peças automotivas	2300	25	93
	Ineos Styrolution	Novodur High heat Ultra 4000PG	Invólucro do espelho retrovisor, interior automotivo, itens de decoração no interior	2350	23	98
		Novodur P2MC	Peças automotivas	2100	23	94
		Novodur High heat H702	Espelhos retrovisores automotivos (pintados), invólucro da lanterna traseira, peças automotivas	2400	17	99
		Novodur High heat H604	Invólucro do espelho retrovisor, interior automotivo, itens de decoração no interior	2400	21	98
	ABS/PA	Terblend N NG-02 UV	Peças automotivas	2850	6	108
		Terblend N NG-02EF	Peças automotivas	2800	12	118
PC/ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	General Purpose HP-1000XA	Console central, invólucro da lanterna traseira	2100	45	102
		INFINO WP-1069	Console central, invólucro da lanterna traseira, ventilação	2300	44	105
		INFINO WP-1089	Console central, invólucro da lanterna traseira	2200	46	107
	Trinseo	PULSE™ 2100LG	Grade do para-choque, trilho do teto, spoilers, invólucro de espelho retrovisor	2300	32	106
PC/ASA	Lotte Advanced Materials	INFINO WX-7010	Grade do radiador, invólucro do espelho lateral retrovisor, rack de teto	2250	50	101

¹ Resistência ao impacto média para materiais PP

Fonte: Autor (2017)

5.2.2 Filtro dos materiais candidatos – base do espelho lateral retrovisor

Em seguida, o índice de mérito (IM) é mensurado. Este valor é obtido pela razão das variáveis de índice de fluidez e dureza superficial. A Tabela 18 apresenta os materiais encontrados na triagem inicial com seus respectivos IMs.

Tabela 18 - Índice de mérito (base do espelho lateral retrovisor)

Polímero	Fabricante	Classe	Aplicação	Índice de Fluidez (ISO 1134)	Dureza Superficial Rockwell [R scale] (ISO 2039-2)	IM (Índice de Fluidez / Dureza)
PP	TRINSEO	INSPIRE™ TF7000 ES	Painel de instrumentos, componentes inferiores e outras aplicações de acabamento inferior	27	(60 – 88) ²	(0.306 - 0.45)
	BOREALIS	DAPLEN (EF198HP)	Painéis de instrumentos, revestimentos de assentos, painéis das portas, consoles de centro, revestimentos dos pilares e aplicações de interior automotivo	(7.85 – 18.1) ¹	(90 - 98) ²	(0.080 – 0.201) ³
ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	STAREX Heat Resistant (SR-0340M)	Aplicações no interior do veículo	(1.30 - 41.2) ¹	110	(0.011 – 0.374) ³
		STAREX Heat Resistant SR-0330M	Peças no interior do habitáculo do veículo	(1.30 - 41.2) ¹	113	(0.011 – 0.364) ³
	Sabic	CYCOLAC Resin X11	Peças automotivas	(1.30 - 41.2) ¹	(97 - 117) ²	(0.011 – 0.352) ³
	Ineos Styrolution	Novodur High heat Ultra 4000PG	Invólucro do espelho retrovisor, interior automotivo, itens de decoração no interior	6	(97 - 117) ²	(0.051 - 0.061) ³
		Novodur P2MC	Peças automotivas	25	(97 - 117) ²	(0.213 - 0.257) ³
		Novodur High heat H702	Espelhos retrovisores automotivos (pintados), invólucro da lanterna traseira, peças automotivas	16	(97 - 117) ²	(0.136 - 0.164) ³
		Novodur High heat H604	Invólucro do espelho retrovisor, interior automotivo, itens de decoração no interior	8	(97 - 117) ²	(0.068 - 0.082) ³
	ABS/PA	Terblend N NG-02 UV	Peças automotivas	30	(116 - 118) ²	(0.254 - 0.258) ³
		Terblend N NG-02EF	Peças automotivas	40	(116 - 118) ²	(0.338 - 0.344) ³
PC/ABS	Samsung (LOTTE ADVANCED MATERIALS)	General Purpose HP-1000XA	Console central, invólucro da lanterna traseira	(8.00 - 26.2) ¹	113	(0.070 – 0.231) ³
		INFINO WP-1069	Console central, invólucro da lanterna traseira, ventilação	(8.00 - 26.2) ¹	113	(0.070 – 0.231) ³
		INFINO WP-1089	Console central, invólucro da lanterna traseira	(8.00 - 26.2) ¹	113	(0.070 – 0.231) ³
	Trinseo	PULSE™ 2100LG	Grade do para-choque, trilho do teto, spoilers, invólucro de espelho retrovisor	(8.00 - 26.2) ¹	(90 - 121) ²	(0.066 – 0.291) ³
PC/ASA	Lotte Advanced Materials	INFINO WX-7010	Grade do radiador, invólucro do espelho lateral retrovisor, rack de teto	30	110	0.272

¹ Valores médios para Índice de Fluidez

² Valores médios para Dureza superficial

³ Faixa de valores de índice de Mérito

Fonte: Autor (2017)

De acordo com os índices de méritos alcançados (ver Tabela 18), foram relacionados os materiais com maiores valores e com perspectivas de oferecer maior desempenho técnico ao projeto da peça. Assim sendo:

- INSPIRE™ TF7000 ES (TRINSEO) - 0,603
- Terblend N NG-02EF (Ineos Styrolution) - 0,341
- INFINO WX-7010 (Lotte Advanced Materials) - 0,272
- Terblend N NG-02 UV (Ineos Styrolution) - 0,256
- Novodur P2MC (Ineos Styrolution) - 0,235

5.2.3 Seleção do material – base do espelho lateral retrovisor

Em continuidade, o próximo passo da metodologia é avaliar os materiais candidatos já selecionados utilizando a técnica ponderacional. Dentre os critérios definidos na ponderação, as funções “aumentar beleza”, “resistir a solventes” e “reduzir peso” serão examinados neste momento, além dos elementos de manufaturabilidade (envolvendo também a função “apresentar estabilidade geométrica”), disponibilidade e custo, de acordo com os dados da Tabela 19.

Tabela 19 - Técnica ponderacional (Base do espelho lateral retrovisor)

	FATOR PESO	CRITÉRIO	INSPIRE™ TF7000 ES (INJEÇÃO)	Terblend N NG-02EF (INJEÇÃO)	INFINO WX-7010 (INJEÇÃO)	Terblend N NG-02 UV (INJEÇÃO)	Novodur P2MC (INJEÇÃO)
DESEMPENHO	1	AUMENTAR BELEZA	0 / 3	2 / 3	2 / 3	2 / 3	0 / 3
		RESISTIR A SOLVENTES	0 / 3	0 / 3	0 / 3	0 / 3	0 / 3
		REDUZIR PESO	3 / 3	3 / 3	3 / 3	3 / 3	3 / 3
MANUFATURABILIDADE	1	PESO	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8
		ESPESSURA MÍNIMA	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8
		PRECISÃO DIMENSIONAL	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8
		COMPLEXIDADE	1 / 8	1 / 8	1 / 8	1 / 8	1 / 8
		RUGOSIDADE SUPERFICIAL	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8
		TAXA DE PRODUÇÃO	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8	4 / 8
		CONTRAÇÃO NO MOLDE	0 / 8	0 / 8	3 / 8	0 / 8	3 / 8
		ABSORÇÃO DE UMIDADE	0 / 8	0 / 8	4 / 8	0 / 8	4 / 8
DISPONIBILIDADE	1	AMÉRICA LATINA	0 / 1	4 / 1	4 / 1	4 / 1	4 / 1
CUSTO	1	PREÇO (EUR)/kg	4 / 1	3 / 1	4 / 1	3 / 1	3 / 1
TOTAL			7,63	11,29	13,29	11,29	11,63

Fonte: Autor (2017)

A partir da Tabela 19 constatou-se que ao empregar a técnica por ponderação, o material INFINO WX-7010 apresentou a maior nota, sendo 13,29 pontos atingidos de até 16,00 pontos possíveis de serem alcançados. O maior destaque deste material em relação aos outros, ocorreu nos seguintes critérios, “aumentar beleza” (devido à boa resistência a intempéries) e custo do material, além dos ótimos valores para absorção de umidade e contração no molde.

O material Novodur P2MC apresentou resultado interessante graças aos critérios de contração no molde e absorção de umidade. No entanto, o mesmo material não atendeu as especificações referentes a custo e obteve nota 3, considerada satisfatória mas ainda assim inferior a outros candidatos.

Os outros materiais conquistaram notas inferiores por não satisfazerem toda a especificação do elemento manufaturabilidade, embora os materiais avaliados sejam processados pela mesma técnica de manufatura. Neste sentido, merece atenção a capacidade de absorção de umidade do polímero, pois a base lateral do espelho retrovisor está localizada na região exterior do veículo e que, portanto, pode haver uma diminuição da elasticidade e rigidez do material, caso o mesmo venha reter muito líquido.

Em relação ao custo, as estimativas são relativas considerando a tabela de preços médios da Plasticker (2017). Dentre os materiais analisados o PP e PC/ASA possuem custo relativamente inferior à família de plásticos ABS, que também é bastante utilizada para aplicações automotivas. Além do mais, são competitivos em comparação ao material ABS/PA também.

5.2.4 Documentação dos materiais selecionados – base do espelho lateral retrovisor

O INFINO WX-7010 é um material da família PC/ASA, que apresenta boa resistência às condições climáticas (intempéries). Este fator é considerado positivo ao avaliar as condições que a peça estudada está exposta. A Figura 47 ilustra bem o desempenho do material, ao mostrar o balanço de suas propriedades em relação a outro material com valores médios da mesma família, portanto, é notável a sua distinção para a resistência a intempéries e estabilidade térmica.

Figura 47 - Características PC/ASA WX-7010

Fonte: Lotte Advanced Materials (2016)

A mesma figura apresenta também dados referentes à exposição do material a luz de arco de xênon na presença de umidade a fim de reproduzir a degradação material (alteração de cor) quando expostos a efeitos climáticos (temperatura, umidade e chuva), conforme descritos na norma ISO 4892. Como pode se identificar o material WX-7010 possui índices menores de 3, sendo o maior valor alcançando próximo de 1 quando exposto a 1500 KJ.

Alternativas de diferentes composições surgiram também nesse quadro final, entre elas podem ser citadas, materiais com PP, ABS/PA e o próprio ABS. Com resultados próximos ao primeiro colocado, os polímeros N NG-02EF, N NG-02 UV e P2MC se diferenciam na resistência a intempéries, contração no molde e absorção de umidade. Uma representação gráfica que demonstra o desempenho destes materiais é mostrada no Gráfico 2 através de um gráfico de bolhas.

Gráfico 2 – Seleção de materiais plásticos resistentes a riscos – Base do espelho retrovisor

Fonte: Autor (2017)

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise proveniente dos resultados do trabalho, incluindo uma observação sobre os aspectos positivos e negativos do método proposto de seleção de materiais plásticos resistentes a riscos.

Foram avaliados 167 materiais plásticos disponíveis no mercado, de empresas diversas como BASF, BOREALIS, BRASKEN, CELANESE, EXXON Mobil, Ineos Styrolution, LG Chem Ltd., LOTTE ADVANCED MATERIALS, LyondellBasell Industries, Sabic, Saudi Basic Industries Corporation e Trinseo. Verificou-se que entre os materiais que melhor atenderam a especificação definida, alguns possuíam como informação em sua ficha técnica, o uso dos materiais candidatos em espelhos retrovisores e no interior do veículo. O que demonstra a assertividade da metodologia em selecionar os materiais adequados para a aplicação estipulada.

Vale destaque a importância da análise do requisito que se refere a emissões, mesmo não havendo a imposição do aspecto legal no Brasil. Convém esclarecer que esta condição irá contrastar com a necessidade do fabricante de veículos em

exportar estes automóveis de fabricação nacional para mercados com esta exigência em forma de lei. Por consequência, fabricantes interessados nestes mercados irão desenvolver e aplicar normas internas (variadas), que possibilitem este comércio. Portanto, um maior número de dados deve ser coletado em relação as funções “minimizar emissões” e “eliminar odor”, considerando também o mercado final do produto, uma vez que o uso de aditivos no material para inibir a emissão de odores e particulados no interior do habitáculo do veículo produz um acréscimo de despesas para o fabricante. O impacto que estes aditivos acarretaram na propriedade de resistência a risco também deve ser estudada.

Com ênfase no uso de aditivos na matriz polimérica, notou-se a presença de materiais desta classe entre os que tiveram melhores pontuações, com destaque para cargas de mineral e fibra de vidro. Estes demonstraram bom desempenho nas propriedades de resistência ao impacto e dureza superficial, conhecidas por estarem diretamente relacionadas aos danos de riscos. E realmente foram demonstrados e reconhecidos os ganhos econômicos pelo uso do PP, assim como a possibilidade de ter no portfólio do produto materiais mais sustentáveis (recicláveis), como, por exemplo, o DAPLEN EG265HP.

Embora o uso de aditivos contribua significativamente para o desempenho do polipropileno, também é relevante mensurar os impactos no custo final do material e examinar o aspecto final da peça quando houver elevadas porcentagens de carga. Pois, custos adicionais referentes a acabamento irão encarecer o preço final do produto, com a prática da texturização ou a necessidade de modificar o molde da peça devido a dificuldades de remoção ou inclinação do componente.

Cabe mencionar ainda a importância das propriedades de resistência à fadiga e resistência a deformação a longo prazo (fluência) como parte do processo de avaliação e seleção de materiais plásticos, pois contempla as observações sobre a vida útil da peça. No entanto, esta pesquisa não abrangeu esse ponto, devido à necessidade de realizar uma coleta de dados mais densa a cerca destas propriedades. Além do fato de a norma solicitar que a peça seja submetida sob carregamento constante por período mínimo de 1000h como condição de teste para a realização do ensaio de fluência, o que implica em custos significativos para a realização do mesmo.

6 ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO

O objetivo desta seção do trabalho é apresentar a eficácia e reflexões sobre as dificuldades do método proposto de seleção de materiais plásticos resistentes a riscos para componentes automotivos.

É possível afirmar que o método foi adequado para a seleção de materiais essencialmente por conta de sua simplicidade e rapidez de resposta. Logo, torna-se possível conduzir inúmeros testes para confirmação dos resultados por diferentes especialistas de uma mesma equipe.

Além disso, a variação do custo é gigantesca, quando se compara o custo de aquisição, manutenção da licença e treinamento do software de Ashby com o sistema idealizado nesta pesquisa. Portanto, existem vantagens competitivas em relação a métodos similares já existentes.

Outra vantagem é o controle sobre os critérios estabelecidos na especificação do produto, que podem abranger fatores com maior subjetividade, importantes para o cliente como estética e qualidade percebida, por exemplo. Alguns destes fatores podem inclusive fazer parte da decisão estratégica da montadora.

Através do estudo também ficou claro onde estão localizadas as dificuldades mais significativas deste método, como a falta de confiabilidade no processo. Esta pode comprometer os resultados, uma vez que o método de seleção necessita ser reproduzido em uma quantidade maior de casos para a identificação de erros.

O tempo utilizado no início do projeto para reunir os dados dos materiais junto aos fabricantes foi muito grande, em comparação com a execução dos estudos de caso. Neste sentido, como oportunidade de melhoria deve-se, portanto, avaliar outros meios de obter estas informações de modo que o tempo gasto e o desgaste para realizar essa atividade possam ser diminuídos.

Ao implementar a ferramenta em uma empresa deve-se também verificar os empecilhos que possam surgir diante de uma equipe multidisciplinar, pressionada a atender prazos curtos. Ou as situações que poderão surgir quando engenheiros que não possuam tanto conhecimento sobre materiais plásticos fizerem uso da metodologia.

Diante da complexidade que o objetivo da pesquisa impôs, definiu-se a estratégia adotada como sendo a melhor durante os estudos. Verificou-se ainda a

ausência de trabalhos práticos aplicados neste campo, pois não existem muitas referências. Contudo, no futuro, com o desenvolvimento da ferramenta pode-se identificar outra técnica ou forma mais interessante de se realizar a seleção de materiais plásticos resistentes a risco.

6.1 ASPECTOS NEGATIVOS

Dentre os pontos a serem melhorados, o método proposto possui as seguintes limitações:

- A precisão dos dados é fundamental para a efetiva aplicação da metodologia, uma vez que uma faixa de valores médios para materiais de uma família pode ser muito ampla, e desta forma comprometer a seleção dos materiais já na triagem inicial. Portanto, houve casos em que materiais com potencial deixaram de participar no processo de escolha devido à falta de dados materiais.
- Permitir que a subjetividade do avaliador interfira na ponderação da matriz de decisão.
- Compilar todos os dados de materiais plásticos no banco de dados é considerado uma tarefa trabalhosa.
- Outra dificuldade encontrada foram os diferentes padrões, normas que tratam o mesmo assunto, mas que, no entanto acabam gerando discrepâncias nos dados coletados em testes, prejudicando assim a análise, não permitindo a comparação entre os resultados.

6.2 ASPECTOS POSITIVOS

Destacam-se entre os principais pontos obtidos através do método os seguintes aspectos:

- Realizar uma análise ágil mesmo obtendo uma elevada quantidade de materiais disponíveis para o processo de seleção. Favorecendo assim, a redução da duração de tarefas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP).
- A ferramenta é capaz de guiar projetistas de modo que o tempo seja mais bem utilizado na realização dos testes dos materiais.

- O Índice de mérito permite identificar propriedades relevantes para o projeto ao se trabalhar com funções. Pois, direciona o trabalho de pesquisa para materiais com melhor desempenho e estimula a criatividade dos engenheiros envolvidos.
- A matriz de decisão de Pahl & Beitz é positiva por não ser focada somente no desenvolvimento do produto, incluindo também aspectos de manufatura, disponibilidade e custo.
- A comparação realizada através da representação gráfica dos gráficos de radar e de bolhas é de fácil entendimento.
- Detectar funções desnecessárias ao projeto da peça com mais facilidade, permitindo a proposta de novas composições materiais em conjunto com o fabricante. Avaliando somente eventuais necessidades na matriz do material para determinada aplicação ou região do veículo.
- Efetuar o processo de engenharia reverso do componente da empresa concorrente, uma vez que as funções e dados respectivos às propriedades materiais tenham sido identificados com a realização de alguns testes.

7 CONCLUSÕES

Materiais plásticos são cada vez mais utilizados, em especial na indústria automobilística, em substituição a partes metálicas. O segredo para um desenvolvimento de produto com sucesso é a escolha adequada do material, processo e requisitos apropriados. Além disso, devido à concorrência acirrada e com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos, os requisitos de projeto possuem características mecânicas bem restritivas, tendo como destaque a resistência a risco. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia que permitisse identificar, de forma ágil e estruturada, o material plástico que atenda os requisitos de projeto e, ao mesmo tempo, possuisse a maior resistência a risco possível.

Ao executar a estratégia de seleção definida, dificuldades foram identificados como a incerteza existente ao utilizar uma matriz que não é objetiva. Uma vez que os resultados podem ser comprometidos pela subjetividade do avaliador na ponderação. No entanto, não houve êxito em encontrar outra forma menos prejudicial aos objetivos propostos.

Ademais, a consolidação dos dados de propriedades materiais demandou muito tempo e grande disposição para a sua obtenção junto aos fabricantes. Este é um fator fundamental para a execução do trabalho e cabe dizer que caso não seja feita de forma apropriada pode gerar dificuldades e afetar os resultados. Para este trabalho foi utilizado o software Excel para geração do banco de dados, mas convém esclarecer que as empresas têm a acesso a mais informações e ferramentas mais robustas, facilitando dessa forma a tarefa a ser realizada.

Além disso, não foram contemplados neste estudo os efeitos dos aditivos na propriedade de resistência a riscos. Também é importante dizer que os materiais encontrados durante o processo de seleção nos dois estudos de caso não são materiais inovadores, mas sim materiais tradicionalmente já empregados pelos fabricantes. Ou seja, seria relevante para a pesquisa se entre os resultados da seleção um material novo fosse encontrado.

Sobretudo, o presente estudo não abordou com profundidade a relação existente entre a forma geométrica do componente e o material. Esta deficiência existente é explicada pelo fato que representaria em um aumento do grau de

complexidade para o estudo. Contudo, essas considerações enriqueceriam ainda mais os testes realizados.

A metodologia proposta foi aplicada para dois casos distintos, um para uma peça no interior do veículo, tampa do porta-luvas, e outra do exterior do automóvel, base do espelho lateral retrovisor. A análise dos resultados demonstrou que a ferramenta proposta tem como vantagem agilidade na seleção do material e o benefício de, ao se trabalhar com funções, facilitar a priorização de características que irão agregar valor ao produto.

Por fim, pode-se afirmar que a metodologia proposta é viável e que o potencial da ferramenta será tornar-se mais consolidado quanto melhor for o banco de dados utilizado, ressaltando com isso a necessidade de se trabalhar integrado com os fornecedores e investir em pesquisa e procedimentos para aperfeiçoar o processo de seleção de materiais. Porém, deve-se lembrar de que é necessário avançar consideravelmente no seguinte aspecto, uma quantidade maior de testes a serem realizados para que o método se desenvolva mais, adquira maior confiabilidade e diminua o seu grau de subjetividade. Pois, o mesmo não foi testado suficientemente a fim de ter a sua eficácia comprovada. Para ser validada, a metodologia necessita ser colocada em prática com um número maior de casos, diversificando as aplicações do veículo também, caso contrário os resultados obtidos talvez sejam comprometidos.

O Índice de mérito também necessita ser mais bem explorado, estudando outras propriedades, a fim de distinguir qual o melhor resultado para o objetivo do projeto. Seja utilizando propriedades como dureza superficial, resistência ao impacto, densidade, custos, entre outras.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

O método proposto não se apresenta definitivo, o tema é amplo e complexo. Portanto, poderá sofrer alterações ao longo do tempo como melhoria contínua, havendo sequência por não estar inteiramente finalizado. Logo, propõem-se algumas sugestões:

- i. Realizar novos testes com diferentes componentes para validar a metodologia proposta para seleção de materiais plásticos resistentes a riscos, pois só foram efetuados dois testes.

- ii. Realização dos ensaios de longa duração (resistência à fadiga e à deformação em longo prazo) para que se possa estimar com maior precisão a vida útil dos componentes, pois estes dados são escassos bem limitados pelos fabricantes de materiais. Com isso, também espera-se obter dados capazes de contribuir com a análise de ciclo de vida do produto.
- iii. Priorização de requisitos técnicos com o objetivo de delimitar melhor o campo de estudo, para que este não seja muito abrangente e dificulte assim a percepção de alternativas oportunas (com elevado potencial).
- iv. Outro ponto significativo e capaz de agregar valor em uma pesquisa futura é a exploração de novas técnicas de fabricação (como impressão 3D). Realizando assim, comparações destas técnicas com as mais tradicionais. Além de avaliar e detalhar mais minuciosamente os custos relativos ao molde do componente.
- v. Identificação e abordagem de propriedades elétricas que sejam relevantes para a seleção de materiais em estudos futuros, pois não fizeram parte do escopo da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, N. F. **Os TPEs no mercado automotivo mundial**. In: Polímeros do Futuro – tendências e oportunidades: palestras técnicas (II). Polímeros. Vol.13, no.1, São Carlos, Jan./Mar., 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100003>. Acesso em: 09 Jan. 2017.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. ACC. **Plastics and composites are reshaping car design, IHS report shows**. 2014. Disponível em: <https://blog.americanchemistry.com/2014/11/plastics-and-composites-are-reshaping-car-design-ihs-report-shows/>. Acesso em: 20 Dez. 2016.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. ACC. **Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles**. Economics & Statistics Department. 2016. Disponível em: <<https://plastics-car.com/lightvehiclereport>>. Acesso em: 15 Dez. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Chapter 14 – Fatigue**. ASM International. 2008. Disponível em: <http://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05224G_Chapter14.pdf> Acesso em: 12 Jul. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1238-13 Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer**. West Conshohocken: ASTM, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2565-16 Standard Practice for Xenon-arc Exposure of Plastics Intended for Outdoor Applications**. West Conshohocken: ASTM, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D570-98 Standard Test Method For Water Absorption of Plastics**. West Conshohocken: ASTM, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7774-17 Standard Test Method for Flexural Fatigue Properties of Plastics**. West Conshohocken: ASTM, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D785-08 Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials**. West Conshohocken: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D955-08 Standard Test method of Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Thermoplastics**. West Conshohocken: ASTM, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E831-14 Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis**. West Conshohocken: ASTM, 2014.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD. **Standard Test Method for Scratch Hardness of Materials Using a Diamond Stylus**. G 171, vol. 03.02. 2009.

APM TESTING. **Advanced Plastic & Material Testing Laboratory**. Disponível em: <http://www.apmtesting.com/testing-services/test-methods.php>. Acesso em: 20 Jun. 2017.

ASHBY, M. F. **Multi objective optimization in material design and selection**. Acta Mater, 48, pages 359-369. 2000.

ASHBY, M. F. **Materials selection in mechanical design**. 3rd edition. Elsevier. 2004.

ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. 4^a ed. Elsevier. 2012.

ASSUNÇÃO, R. B. **Éco-design e seleção de materiais para o mobiliário urbano**. 1999. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Redemat-UFOP/Cetec/UEMG – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto. 2000.

ASSUNÇÃO, R. B; COSTA, A. R.; CÂMARA, J. J. D. **Materialização de Projetos: Uma abordagem metodológica**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, V. 20, n.º 27. 2.º sem 2013.

A.T. KEARNEY. **Plastics. The future for automakers and chemical companies**. 2012. Disponível em: https://www.atkearney.com/documents/10192/244963/Plastics-The_Future_for_Automakers_and_Chemical_Companies.pdf/28dcce52-affb-4c0b-9713-a2a57b9d753e. Acesso em: 03 Abr. 2018.

AZEVEDO, C. R. F. **Seleção de materiais – aulas 1 a 3 – Prof. Cesar**. São Paulo: USP, 2011. Notas de Aula.

BASF The Chemical Company. **Paint Defects Advice – BASF Automotive Refinish**. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/Paint_Defects.pdf>. Acesso em: 01 Set. 2017.

BASF The Chemical Company. **Ultradur (PBT) Product Brochure**. 2013. Disponível em: <https://www.basf.com/documents/cn/en/chinaplas/Ultradur_brochure.pdf>. Acesso em: 26 Mai. 2017.

BLAU, P. J. **Lab Handbook of Scratch Testing**. Blue Rock Technical Publications, Oak Ridge, TN, p. 1.2. 2002.

BIELECKI, J. W.; CHANG, M.; POORMAN, T. **Effect of Moisture Absorption in Plastic on Automotive Lamp Venting**. SAE Technical Paper 2004-01-0663. 2004.

BIRON, M. **Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastics Users**. 1st edition, Butterworth-Heinemann, Oxford. 2007.

BOMTEMPO, J. V. **Innovation et organisation: le cas de l'industrie des polymeres**, Tese de Doutorado, L' École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris. 1994.

BRISCOE, B. J.; EVANS, P. D.; PELILLO, E.; SINHA, S. K. **Scratching maps for polymers**, Wear, 200 (1-2), pages 137-147. 1996.

BRISCOE, B.J.; PELILLO, E.; SINHA, S.K. **Scratch hardness and deformation maps for polycarbonate and polyethylene**. Polymer Engineering Science, 36 (24), pages 2996-3005. 1996.

BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. 7th edition, Butterworth-Heinemann. 1999.

BVSE - Federal Association for Secondary Raw Materials and Disposal. **BVSE Market report on plastics, June 2017**. Dr. Thomas Probst, 2017. Disponível em: <http://plasticker.de/preise/marktbericht3_en.php?id=167>. Acesso em: 07 Jul. 2017.

DE CALLIS, P. F. B. **Novas versões do poliacetal copolímero**. In: Polímeros do Futuro – tendências e oportunidades: palestras técnicas (II). Polímeros. Vol.13, no.1, São Carlos, Jan./Mar., 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100003>. Acesso em: 09 Jan. 2017.

CALLISTER Jr., WILLIAM, D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. LTC, 7ª edição, 2008.

CAMPBELL, F. C. **Manufacturing Process For Advanced Composites**, 1st edition, Elsevier, 2004.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo, 2ª edição, Artliber, 2006.

CHU, J.; RUMAO, L; COLEMAN, B. **Scratch and mar resistance of filled polypropylene materials**. Polymer Engineering & Science, Volume 38, Issue 11, pages 1906-1914, 1998.

CHU, J.; XIANG, C.; SUE, H. J.; HOLLIS, R. D. **Scratch resistance of mineral-filled polypropylene materials**. Polym. Eng. Sci., 40(4), pages 944-955, 2000.

DASARI, A.; ROHRMANN, J.; MISRA, R. D. K. **Micro- and Nanoscale Evaluation of Scratch Damage in Poly (propylene)s**. Macromolecular Materials and Engineering, Vol. 287, Issue 12, pages 889-903, 2002.

DETAILING WORLD. 2009. Disponível em: <<http://www.detailingworld.co.uk/forum/showthread.php?t=266314>>. Acesso em: 05. Jan. 2017.

DIETER, G. E. **Engineering Design A Materials and Processing Approach**, 2nd edition, McGraw-Hill, 1991.

DIPAK, A. S.; LALITKUMAR, M. J. **Design & Development of Special Automobile Interior Testing Machine**. Procedia Engineering, Vol. 64 pages 613-621, 2013.

DORNELES FILHO, A. M. L. **Crterios na seleo de plsticos de engenharia para aplicaes em veculos populares no Brasil**. 2006. Tese Mestrado Profissional. So Paulo, USP. 2006.

EDERBURN, D. L. **Flame Retardants in Automotive Plastics**. Automotive Plastics: Process, Components and Technology (SP-1575). SAE 2001 World Congress Detroit, Michigan. 2001.

ELETRONIC SPECIFIER. **Eliminate transient surges & enhance vehicle safety**. 2015. Disponível em: <<http://automotive.electronicsspecifier.com/safety/eliminate-transient-surges-enhance-vehicle-safety>>. Acesso em 20 Jul. 2017.

FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARDS. **FMVSS 302 -- Flammability of Interior Materials — Passengers Cars, Multipurpose Passenger Vehicles, Trucks, and Buses**. Washington, DC, USA, 1972.

FEDOR, G. R.; BRENNAN, P. J. **Comparison Between Natural Weathering and Fluorescent UV Exposures: UVA-340 Lamp Test Results**. 1996. Disponível em: <<https://www.q-lab.com/documents/public/bc750e56-b4d6-41fc-a5a1-2a163b4ba5a3.pdf>>. Acesso em: 10 Jun. 2017.

FEDORUK^a, M. J.; KERGER^b, B. D. **Measurement of volatile organic compounds inside automobiles**. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology. Vol. 13, pp 31-41. 2003.

FERRANTE, M. **Seleção dos materiais de construção mecânica: Estratégias e Metodologias básicas**. Simpósio Matéria; Rio de Janeiro, 2000.

FERRANTE, M.; SANTOS, S. F.; CASTRO, J. F. R. **Materials selection as an interdisciplinary technical activity: basic methodology and case studies**. Materials Research, Vol. 3, n 2, pages 1-9. 2000.

FIAT FORUM. 2015. Disponível em: <<http://www.fiatforum.com/punto/419141-gt-turbo.html>> Acesso em: 04. Jan. 2017.

FUCHS, E. R. H.; FIELD, R. F.; ROTH, R.; KIRCHAIN, R. E. **Strategic materials selection in the automobile body: Economic opportunities for polymer composite design**. Composites Science and Technology, Vol. 68, pages 1989-2002, 2008.

GHASSEMIEH, E. **Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects**, In: New Trends and Developments in Automotive Industry, Prof. Marcello Chiaberge, InTech, 2011. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/new-trends-and-developments-in-automotiveindustry/materials-in-automotive-application-state-of-the-art-and-prospects>>. Acesso em: 06 Jan. 2017.

GRANTADESIGN. **Cambridge Engineering Selector – CES - EduPack 2005**. Reino Unido: GrantaDesign, 2005. Software.

GRUNDSTEIN, A.; MEENTEMEYER, V.; DOWD, J. **Maximum vehicle cabin temperatures under different meteorological conditions**. International Journal of Biometeorology, Vol. 53, Issue 3, pp 255-261, 2009.

HADAL, R.S.; MISRA, R.D.K. **Scratch deformation behavior of thermoplastic materials with significant differences in ductility**. Materials Science and Engineering, A 398, pages 252-261, 2005.

HEMAIS, C. A. **Polímeros e a Indústria Automotiva**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Vol. 13, nº 2, p. 107-114, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v13n2/16578.pdf>>. Acesso em: 10 Nov. 2016.

HENNEUSE-BOXUS, C.; PACARY, T. **Emissions from Plastics**. Volume 161 de Report. iSmithers Rapra Publishing, 2003.

LESKO, J. **Design Industrial: materiais e processos de fabricação**. São Paulo: Edgar Blücher, 2004.

LIM, G. T. **Scratch behavior of polymers**. Dissertation of Texas A&M University. 2005.

LOKENS GARD, E. **Industrial Plastics: Theory and Applications**. 4ª edição. Delmar Learning. 2004.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing Engineering and Technology**. Prentice Hall, 4ªed., 2001.

KIM, B. C, KIM, H. J., CHOI, B. H., LEE, H. S. **An experimental study of the scratch properties of poly (methyl methacrylate) as a function of the concentration of added slip agent**. Tribology International, Vol. 44, Issue 12, pages 2035-2041, 2011.

LIN, Y., GAO, C., LI, N. **Influence of CaCO₃ whisker content on mechanical and tribological properties of polyetheretherketone composites**. Journal of Material Science Technology, 22, pages 584–588, 2006.

LOTTE ADVANCED MATERIALS. **Automotive Material Solutions: The future of automotive**. 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/\[2016%20Brochure\]%20Automotive%20\(Eng\)%20v2%20LAM-A%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/[2016%20Brochure]%20Automotive%20(Eng)%20v2%20LAM-A%20(7).pdf)>. Acesso em: 17 Jul. 2017.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 1ª edição, São Paulo, Blucher, 1991.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2ª edição, São Paulo, Blucher, 1999.

MATHUR, A. B; BHARDWAJ, I. S. **Testing and Evaluation of Plastics**. 1ª edição, New Delhi, Allied Publishers Ltd, 2003.

MCLAREN, C.; NULL, J.; QUINN, J. **Heat stress from enclosed vehicles: moderate ambient temperatures cause significant temperature rise in enclosed vehicles**. Pediatrics, Vol. 116, Issue 1. 2005.

MERCURI, E. O. **Aplicação de engenharia e análise de valor no processo de definição de fornecedores de peças novas em uma empresa do setor automotivo**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. 2005. Disponível em: http://www.automotivapoliusp.org.br/wpcontent/uploads/2013/02/mercuri_eduardo.pdf>. Acesso em: 20/12/2017.

MIGUEL, P. A. C.; ROTONDARO, R. G.; GOMES, L. A. V. **Projeto do Produto e do Processo**. Editora Atlas. 2010.

MILES, L. D. **Techniques of value analysis and engineering**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 366p. 1972.

MIRJALILI, F.; MORADIAN, S.; AMERI, F. **A new approach to investigate relationships between certain instrumentally measured appearance parameters and their visually perceived equivalents in the automotive industry**. Journal of Coatings Technology and Research, Vol. 11, Issue 3, pp 341-350. 2014.

MISRA, R. D. K.; HADAL, R.; DUNCAN, S. J. **Surface damage behavior during scratch deformation of mineral reinforced polymer composites**. Acta Mater, 52 (14), pages 4363-4376, 2004.

MORTON-JONES, D. H. **Polymer Processing**. London: Chapman and Hall, 1989.

MUCCIO, E. A.; Plastic Part Technology. 4^a edition, ASM International. 1997.

NANNA; F. P. **Reflection Characteristics of Automobile Interior Materials**. Progress with Human Factors in Automotive Design: Seating Confort, Visibility, and Safety, 970228, SAE International Congress & Exposition. 1997.

NATIONAL CENTER BIOTECHNOLOGY INFORMATION - NCBI. **Who Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants**. 2010. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138711/>>. Acesso em: 15 Jun. 2017.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. **Enhancing Future Automotive Safety with Plastics**. Paper No. 07-0451-W. 2007. Disponível em: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0451-W.pdf>>. Acesso em: 15 Dez. 2016.

NOH, W. J.; NOH, J. G.; KIM, D. S.; KIM, S. H. **Scratch resistance a challenge for PP interior parts**. Artigo baseado no paper técnico 2011-01-0461 da SAE Internacional. 2011. Disponível em: <<http://articles.sae.org/9504/>>. Acesso em: 04 Jan. 2017.

OLSSON, M. **Designing and Optimizing Side-View Mirrors. Master Thesis in Automotive Engineering.** Gotteborg, Sweden. 2011.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Engineering Design: a Systematic Approach.** 3ª edição, Springer-Verlag. 2007.

PATTY, B. S.; CALHOUN, M.; SHIELDS, N. **Low gloss ABS Advancements for Automotive Interior Components.** SAE Technical Paper 2006-01-0134. 2006.

PISCIOTTI, F.; BOLDIZAR, A.; RIGDAHL, M. **Effects of injection-molding conditions on the gloss and color of pigmented polypropylene.** *Polymer Engineering & Science*. Vol. 45, Issue 12, pp 1557-1567. 2005.

PLASTICS EUROPE. **Automotive the world moves with plastics.** 2013. Disponível em: <<http://www.plasticseurope.org/Document/automotive---the-world-moves-with-plastics-brochure.aspx?FolID=2>>. Acesso em: 20 Nov. 2016.

PLASTICKER. **Real time price list.** 2017. Disponível em: <http://plasticker.de/preise/pms_en.php?show=ok&make=ok&aog=A&kat=Mahlgut>. Acesso em: 15 Jul. 2017.

PROGELHOF, R. C.; THRONE, J. L. **Polymer Engineering Principles: Properties, Processes, Tests for Design.** 1ª edição, Hanser. 1993.

RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros.** 2ª edição, Artiber. 2011.

RAULT, F.; GIRAUD, S.; SALAUN, F.; ALMERAS, X. **Development of a Halogen Free Retardant Masterbatch for Polypropylene Fibers.** *Polymers* Vol. 7, 220-234. 2015.

RÉGULA, L. M. **Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas para textéis.** VII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro. 2004.

ROSATO, D. V.; SCHOTT, N. R.; ROSATO, D. V.; ROSATO, M. G. **Plastics Institute of America – Plastics Engineering, Manufacturing & Data Handbook. Design, Testing, Marketing, Regulations.** Volume 2, Kluwer Academic Publishers. 2001.

ROSATO, D. V.; ROSATO, D. V.; ROSATO, M. V. **Plastic Product Material and Process Selection Handbook**, 1^a edição Elsevier, 2004.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. C. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo.** 1 Edição, São Paulo, Editora Saraiva. 2006.

SAPUAN, S. M. **A concurrent engineering design system for polymeric-based composite automotive components.** 1998. Ph. D. Thesis. Leicester, UK, De Montfort University, 1998.

SAPUAN, S. M. **A knowledge-based system for materials selection in mechanical engineering design.** Materials & Design. Vol. 22, pages 687-695, 2001.

SEBRAE. **Mercado Automotivo no Brasil.** Indústria Metal Mecânico. Boletim de Inteligência, Outubro. 2015.

SHANIAN, A.; SAVADOGO, O. **TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell.** Journal of Power Sources 159, pages 1095-1104, 2006.

SHEN, W.; JIANG, B.; SCHOLTEN, A.; SCHWENKE, R.; MI, L.; SEAL, C.; WANG, P. **A quantitative index for mar and scratch resistance of materials for automotive glazing applications and quantitative evaluation of damages by different scratching modes.** Tribology Letters, Vol. 17, No. 3, 2004.

SHEN, W.; MI, L.; JIANG, B. **Characterization of mar/scratch resistance of coatings with a Nano-indenter and a scanning probe microscope**. Tribology International 39, pages 146-158, 2006.

SILVA, F. P.; ROESE, P. B.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **A texturização de produtos poliméricos e sua independência com a seleção de materiais e os processos de fabricação**. UNOPAR Cient. Exatas Tecnol., Londrina, v. 8, n. 1, p. 65-68, Nov. 2009.

STREITBERGER, H. J.; DOSSEL, K. F. **Automotive Paint and Coatings**. Wiley-VCH GmbH & Co. Weinheim. 2008.

TABER INDUSTRIES. **Scratch / Mar**. 2017. Disponível em: <<http://www.taberindustries.com/scratch-mar>>. Acesso em: 09 Jan. 2017.

THOR, S. W.; CHIPPA, S.; MAJAGE, A. **Dynamic Analysis of Outside Rear View Mirror**. SAE Technical Paper 2015-26-0220. 2015.

TRIM TECHNIQUE. **Ford Hinckley: Dashboard Repair**. 2015. Disponível em: <<http://www.trimtechnique.co.uk/index.php/ford-hinckley-dashboard-repair/>>. Acesso em: 09 Jan. 2017.

ULTRAPROSPECTOR. **Product description. Visual analysis**. 2017. Disponível em: <<https://materials.ulprospector.com/en/profile/default?E=39168~39169#T3CT0U0>>. Acesso em: 16 Jul. 2017.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE. **VDA 270: 1992 Determination of the odour characteristics of trim materials in motor vehicles**. VDA, 1992.

WALLSTEN, S. **The Competitive Effects of the Sharing Economy: How is Uber Changing Taxis?** New York, Technology Policy Institute. 2015.

WANG, L.L., ZHANG, L.Q., TIAN, M. **Mechanical and tribological properties of acrylonitrile–butadiene rubber filled with graphite and carbon black.** Materials and Design, 39, pages 450–457, 2012.

YOUXI, L., CHENGHUI, G., YUAN, L. **Effect of CaCO₃ whisker and PTFE on dry friction behavior of PEEK.** Chinese Journal of Material Research 21, pages 643–648, 2007.

ZOKAEI, S.; LESAN KHOSH, R. M.; BAGHERI R. **Study of Scratch resistance in homo- and co-polypropylene filled with nanometric calcium carbonate.** Materials Science and Engineering, A 445-446, Issue 25, pages 526-536.