

**SELEÇÃO DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS *COMMODITIES*: FERRAMENTA
AUXILIAR PARA DESIGNERS DE PRODUTO**

Luiz Carlos Felisberto (luizcf@faac.unesp.br) - Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho - UNESP

Daniel Lisboa Sanchez (daniel_123tkd@hotmail.com) - Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Resumo

O presente projeto é resultado da pesquisa e reunião de informações sobre polímeros, para a criação de um material didático que possui linguagem e conteúdo adequados para profissionais e estudantes de design de produto.

Palavras-chave: Design; Polímeros; Termoplásticos

Área: Gestão de Desenvolvimento de Produtos

1. INTRODUÇÃO

No projeto de um produto 3D, após sua concepção inicial, deve-se ter preocupação com a escolha do material e do processo de fabricação para que ele se torne realidade.

Sem o conhecimento de materiais e de possibilidades de fabricação, os projetistas podem apenas fantasiar, limitados pela ignorância no assunto e esquecidos da variedade de possibilidades disponíveis (LESKO, 2004).

Os materiais didáticos sobre polímeros são desenvolvidos tendo como público alvo principalmente os profissionais e estudantes das áreas de química e engenharia. Por isso, possuem linguagem técnica específica para esses profissionais, gerando dificuldades para os designers, que não possuem os mesmos conhecimentos técnicos, interpretarem essas informações.

No caso do projeto de engenharia as metodologias de seleção de materiais estão mais bem estabelecidas do que no caso do projeto de design. O designer de produto tem que se valer de sua formação, de sua experiência prática e das informações que por ventura tenha acesso. Isto ocorre pela falta de acesso dos designers a informações sobre materiais que atendam suas necessidades e que ao mesmo tempo não sacrifique e até estimule a criatividade que deve ser inerente à atividade do projetista (SANT'ANNA, 2007).

1.1. Objetivos

São objetivos deste trabalho:

- Abordar e examinar o grupo de polímeros denominado Termoplásticos *Commodities*, pois a maior parte dos polímeros comerciais é constituída por esse grupo.
- Desenvolver um material didático procurando tornar mais acessível e adaptado aos designers de produto o entendimento dos polímeros termoplásticos *commodities*. Estudando e adequando as informações retiradas das fontes convencionais, voltadas para engenheiros e químicos.
- Elaborar uma maneira adequada para transmitir o conteúdo do material ao usuário, dispondo as informações de maneira que se mostrem necessárias e mais eficientes que as encontradas nos materiais convencionais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - POLÍMEROS

Polímeros são macromoléculas formadas por monômeros, unidos por reações de polimerização. Palavra originária do grego; poli (muitos) e meros (partes).

Comumente denominados de plásticos, podem substituir outros materiais com vantagem de peso, resistência, reciclagem, economia de combustível para transporte, preço e facilidade de processamento. A importância destes materiais pode ser observada olhando ao nosso redor e vendo a quantidade de objetos feitos a partir de polímeros.

Os polímeros podem ser divididos em termofixos, elastômeros (borrachas) e termoplásticos.

Termofixos são polímeros cuja rigidez não se altera com a temperatura. Uma vez processados, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado promove a decomposição do material antes de sua fusão, tornando sua reciclagem complicada.

Elastômeros não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade. Sua reciclagem também é complicada pela incapacidade de fusão. Comumente são conhecidos como borrachas.

Já os polímeros denominados termoplásticos podem ser amolecidos, o que permite a deformação destes à partir da aplicação de pressão e temperatura. Quando resfriados, tais polímeros retomam a sua rigidez inicial. O comportamento desse tipo de polímero viabiliza a produção em larga escala de artefatos através de meios como extrusão, moldagem por injeção e rotomoldagem.

Dentro dos termoplásticos temos os subgrupos dos de: consumo de massa ou *commodities*, de engenharia, de alto desempenho e de ultra alto desempenho (Figura 1).

Os chamados termoplásticos de engenharia são produzidos em escala relativamente grande, porém menor que as *commodities*. Possuem propriedades superiores às das *commodities*.

Termoplásticos de alto desempenho e ultra alto desempenho são materiais com propriedades superiores às dos de engenharia destinados à aplicações específicas que requeiram elevadas resistências. Tem alto valor agregado e são produzidos em escalas relativamente pequenas.

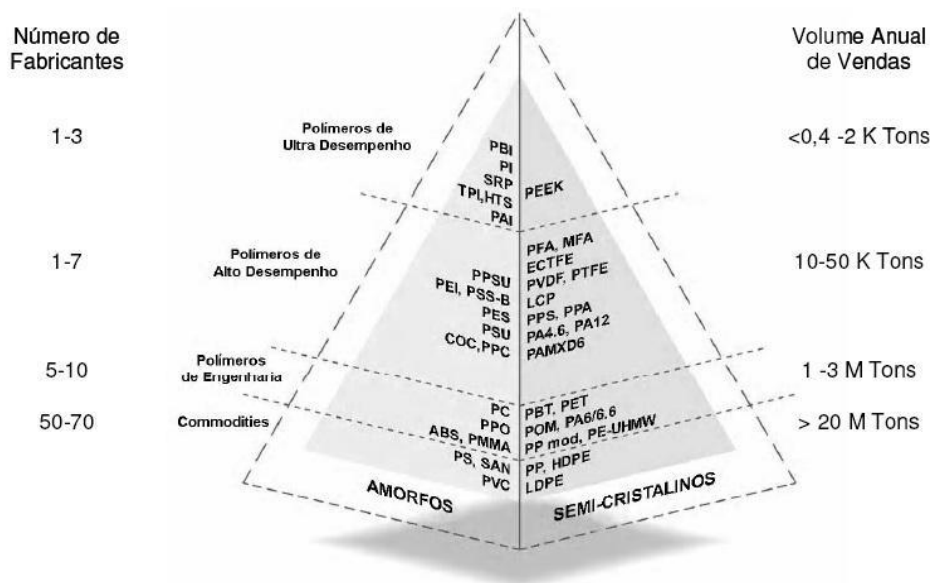
Os termoplásticos do tipo *commodities* (subgrupo abordado neste projeto) são aqueles produzidos em grande escala. Estes polímeros possuem relativo baixo custo, sendo utilizados para finalidades gerais e consumidos em grandes quantidades.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O projeto de desenvolvimento do material didático sobre termoplásticos *commodities* foi dividido em duas etapas principais.

A primeira etapa consistiu em realizar um levantamento de todos os tipos de propriedades de polímeros e selecionar as propriedades que tenham maior relevância para o design de

Figura 1 - Classificação dos termoplásticos em função de seu desempenho e volume de vendas



Fonte: Sant'Anna (2007)

produtos, e em seguida descrever as propriedades selecionadas de maneira que possam ser compreendidas pelos designers.

A segunda etapa consistiu em um levantamento dos tipos de polímeros termoplásticos *commodities*, e como na primeira fase, realizar uma seleção, pois o número de variações de tipos de polímeros é grande. Após a seleção, fazer o levantamento de dados sobre as propriedades de cada polímero (propriedades que fazem parte da lista selecionada na primeira fase da pesquisa), para que possam ser desenvolvidos gráficos comparativos entre termoplásticos.

A substituição das tabelas numéricas de propriedades dos polímeros, comumente encontradas nos livros de engenharia, por gráficos, é a parte central do projeto, pois torna possível analisar e entender as grandezas e variações das propriedades dos materiais de maneira rápida, além de tornar mais fácil a compreensão do designer sobre determinado polímero e suas características em relação a outros, facilitando no momento da escolha e análise das propriedades do material em um projeto.

Este método de comparação entre materiais é utilizado por Mano (1991), mas apresenta um número relativamente pequeno de tipos de polímeros, que aparecem nos gráficos ao lado de outros materiais, como cerâmicas e metais.

Organizando os gráficos de barras de maneira a comparar uma mesma propriedade entre diversos polímeros, cria-se um método rápido de seleção de materiais.

Selecionar polímeros de maneira convencional, através das tabelas numéricas, descrições voltadas para profissionais de outras áreas, e buscando os termoplásticos um a um, é uma tarefa demorada e que torna difícil a comparação entre polímeros devido ao grande número existente.

Esta dificuldade gerada pela falta de informação adequada faz com que no dia-a-dia de projetos, a seleção de materiais ocorra de algumas formas pouco sistemáticas: ou se faz uma pesquisa procurando que material é utilizado para determinada aplicação, ou se busca uma alternativa imediata a ele, de preferência com alguma redução de custo. Em muitos casos estas duas formas de seleção de materiais trazem apenas evoluções a um projeto já existente, dando pouca margem à inovação (SANT'ANNA, 2007).

Utilizando os gráficos de barra, pode-se comparar os materiais rapidamente, realizando uma busca pelas propriedades desejadas. O que torna possível ao designer descobrir quais polímeros atendem as exigências que determinado projeto de produto demanda, para que mais tarde, seja feita uma pesquisa mais detalhada entre esses materiais selecionados, coletando dados precisos direto dos fabricantes (pois existem variações de propriedades entre diferentes marcas de um mesmo material).

Para exemplificar, suponhamos que um projetista esteja buscando um polímero que tenha boa Dureza e Flexibilidade. Observando e comparando os gráficos de barras das Figuras 2a e 2b, o projetista pode selecionar quais polímeros possuem bom desempenho tanto em Flexibilidade (menor Módulo de Resistência à Flexão), quanto em Dureza (maior Dureza Shore D).

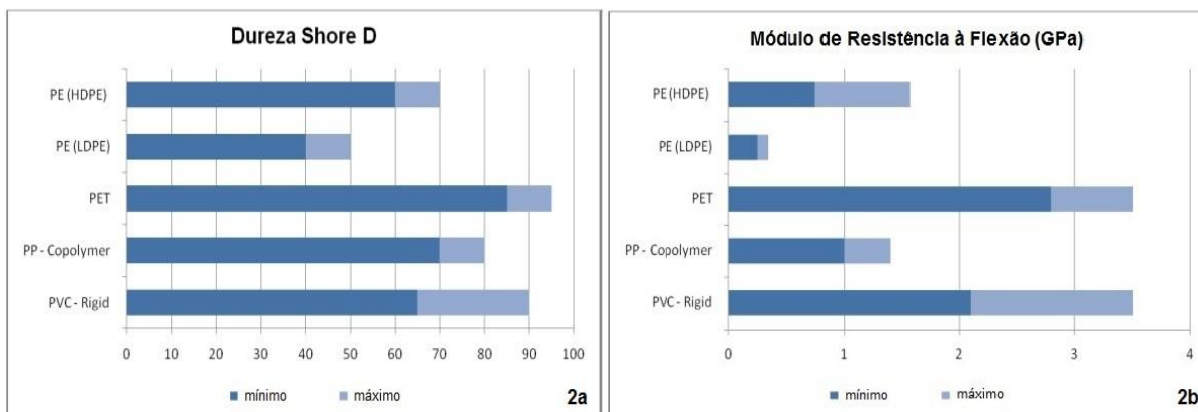
Neste caso, um bom ponto de partida seriam o PP Copolymer (Polipropileno Copolímero) ou o LDPE (Polietileno de Baixa Densidade). Mais propriamente o PP Copolymer.

4. RESULTADOS - DESENVOLVIMENTO DO MATERIAL DIDÁTICO

4.1. Propriedades

Realizou-se o levantamento das principais propriedades que caracterizam os polímeros. Foram utilizadas cinco fontes de informação diferentes: quatro grandes bancos de dados *online* especializados em polímeros (AZOM, 2011; CAMPUS, 2011; OMNEXUS, 2011; MATWEB, 2011), escolhidos por serem fontes de informações utilizadas na indústria para auxílio de seleção de materiais poliméricos, e o site do Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRG (LDSM, 2011), que possui abordagem um pouco mais prática e informações voltadas para aplicação em projetos de produto.

Figura 2 – a) Dureza Shore D. b) Módulo de Resistência à Flexão. Para cinco polímeros



Fonte: Elaboração própria

Ao fim do levantamento foram registradas 78 propriedades de Processamento, Físicas, Mecânicas, Elétricas, Ópticas, Térmicas e de Resistência à Radiação.

Estas foram refinadas e reduzidas para 24 propriedades representativas (Tabela 01). Esta seleção seguiu dois critérios, a frequência com que a propriedade é citada nas bases de dados e a relevância para o design de produtos.

Com a lista definida e um volume considerável de informações adquiridas, deu-se início a etapa de elaboração dos textos de descrição das propriedades.

Estes textos foram selecionados e elaborados de maneira que uma pessoa com relativamente pouco conhecimento na área de materiais consiga entender o significado de cada propriedade, transmitindo as informações de maneira simples, já que a intenção é de que o leitor entenda o significado das propriedades para poder comparar tipos diferentes de polímeros termoplásticos *commodities* utilizando os gráficos de barra desenvolvidos.

Algumas propriedades possuem descrição mais detalhada que outras, devido a sua complexidade ou ao grau de importância atribuído a elas. Procurou-se não utilizar linguagem técnica e matemática em demasia, e em alguns casos relacionar a propriedade com alguma aplicação de projeto.

Abaixo estão duas das 24 descrições de propriedades contidas no material didático:

Tensão de ruptura (resistência à ruptura) - *Strength at break (tensile)*

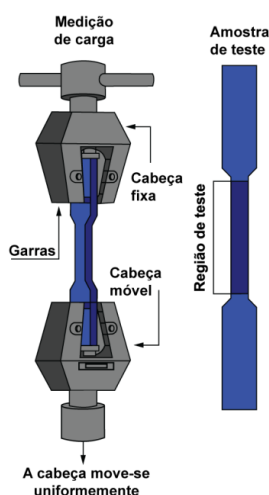
A capacidade de resistir à quebra, sob tensão de tração (Figura 3), é uma das propriedades mais importantes e amplamente medida em materiais utilizados em aplicações estruturais. Esta propriedade é avaliada pela carga aplicada ao material por unidade de área, no momento da ruptura do corpo de prova. Normalmente a unidade utilizada é MPa ou GPa.

Tabela 1 – Propriedades selecionadas para termoplásticos

Tipo	Nome
Mecânicas	<ul style="list-style-type: none"> - Alongamento até a ruptura - Alongamento no escoamento - Tenacidade (Impacto Izod com entalhe) - Flexibilidade (módulo de flexão) - Dureza Shore D - Módulo de Young - Tensão de ruptura - Tensão de escoamento
Térmicas	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de dilatação térmica linear - Temperatura de distorção ao calor - HDT 0.46 Mpa - Temperatura de distorção ao calor - HDT 1.8 Mpa - Inflamabilidade UL94 - Temperatura mínima de serviço contínuo - Temperatura máxima de serviço contínuo - Isolamento térmico (condutividade térmica)
Ópticas	<ul style="list-style-type: none"> - Refletividade (Brilho) - Transparência
Resistência à radiação	<ul style="list-style-type: none"> - Resistência à radiação UV
Físicas	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade - Absorção de H₂O em 24 horas - Contração (moldagem) - Temperatura de transição vítrea
Elétricas	<ul style="list-style-type: none"> - Resistividade volumétrica - Rigidez dielétrica

Fonte: Elaboração própria

Figura 03 - Teste de tração ilustrado



Adaptado de Lesko (2004)

Temperatura de transição vítrea - *Glass transition temperature*

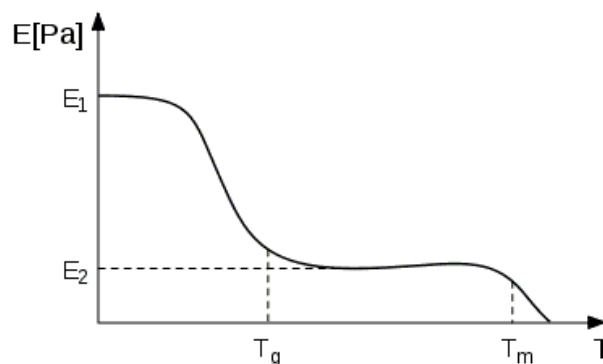
A temperatura de transição vítrea (T_g), ilustrada na Figura 4, é característica de materiais poliméricos amorfos ou com fase amorfa, sendo definida como a temperatura de transição

do estado vítreo - duro e quebradiço - para o estado elastomérico - macio e flexível (MANO e MENDES, 1999). É uma transição térmica de segunda ordem que envolve mudanças na capacidade de calor, mas não tem calor latente (MACROGALLERIA, 2012).

Nessa transição o polímero passa de um estado ordenado rígido (vítreo) para um estado desordenado, no qual as cadeias poliméricas possuem uma mobilidade maior. Essa mobilidade, no caso de algumas classes de polímeros, dá origem ao comportamento de elasticidade de borracha. (SOUZA; SILVA; AMARAL, 2004).

A temperatura de transição vítrea é um dos mais importantes parâmetros utilizados no planejamento de processos e produtos poliméricos. Ela permite prever o comportamento de um material em uma determinada temperatura, assim como designa indiretamente certas propriedades do material, como propriedades mecânicas e térmicas (PORTAL, 2011).

Figura 4 - Módulo de elasticidade (E) versus temperatura (T), onde: T_g =temperatura de transição vítrea, T_m =temperatura de fusão, E_1 =módulo de elasticidade no estado vítreo, E_2 =módulo de elasticidade no platô elastomérico. $T < T_g$ – comportamento frágil (semelhante ao vidro); $T > T_g$ – comportamento viscoso (semelhante à borracha)



Adaptado de Wikipedia (2012)

4.2. Gráficos de Barras

Para o desenvolvimento dos gráficos, foi necessário primeiro selecionar os polímeros termoplásticos *commodities* que fariam parte do material didático.

Para um bom funcionamento prático do material didático, o número de polímeros não poderia ser grande, para que cada gráfico não ocupasse mais do que uma página, sendo possível visualizar e comparar todos os termoplásticos de maneira rápida. Após alguns testes de disposição das páginas, chegou-se a conclusão de que cada gráfico seria composto por 30 polímeros.

Foi criada uma lista com aproximadamente 400 tipos de polímeros, que foram divididos em termoplásticos, termofixos e elastômeros. Os polímeros termoplásticos foram separados e

divididos nos subgrupos *commodities*, engenharia, alto desempenho e ultra alto desempenho, de acordo com o índice de custo e volume de produção.

O método de seleção utilizado para a definição da lista com os 30 polímeros (Tabela 2) foi semelhante ao realizado para selecionar as propriedades. Foram utilizadas quatro fontes de informações diferentes, sendo dois bancos de dados (IDES, 2011; OMNEXUS, 2011) e dois livros sobre polímeros (CAMPO, 2006; LESKO, 2004).

Tabela 2 – Polímeros termoplásticos *commodities* selecionados para fazer parte do material didático

Sigla	Nome
1. ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
2. ABS + PC	Acrilonitrila-butadieno-estireno + Policarbonato
3. ASA	Acrilonitrila-estireno-acrilato
4. ASA + PC	Acrilonitrila-estireno-acrilato + Policarbonato
5. CA	Acetato de celulose
6. CAB	Acetato butirato de celulose
7. CPVC	Poli(cloreto de vinila) clorado
8. EVA	Etileno-vinil-acetato
9. PAR	Poliarilato
10. PC	Policarbonato
11. PE 30% GF	Polietileno 30% fibra de vidro
12. PE(HDPE)	Polietileno de alta densidade
13. PE(LDPE)	Polietileno de baixa densidade
14. PET	Poli(tereftalato de etileno)
15. PETG	Poli(tereftalato de etileno) glicol
16. PMMA	Poli(metacrilato de metila)
17. PMP	Polimetilpenteno
18. PP - Impact Modified	Polipropileno com modificador de impacto
19. PP - Copolymer	Polipropileno Copolímero
20. PP - Homopolymer	Polipropileno Homopolímero
21. PP 30-40% GF	Polipropileno 30-40% fibra de vidro
22. PPE	Éter de polifenileno
23. PS (Crystal)	Poliestireno cristal
24. PS (HIPS)	Poliestireno de alto impacto
25. PS 30 % GF	Poliestireno 30% fibra de vidro
26. PVC 20% GF	Poli(cloreto de vinila) 20% fibra de vidro
27. PVC plasticized	Poli(cloreto de vinila) plastificado
28. PVC rigid	Poli(cloreto de vinila) rígido
29. SAN	Estireno-acrilonitrila
30. SMA	Estireno-anidrido maleico

Fonte: Elaboração própria

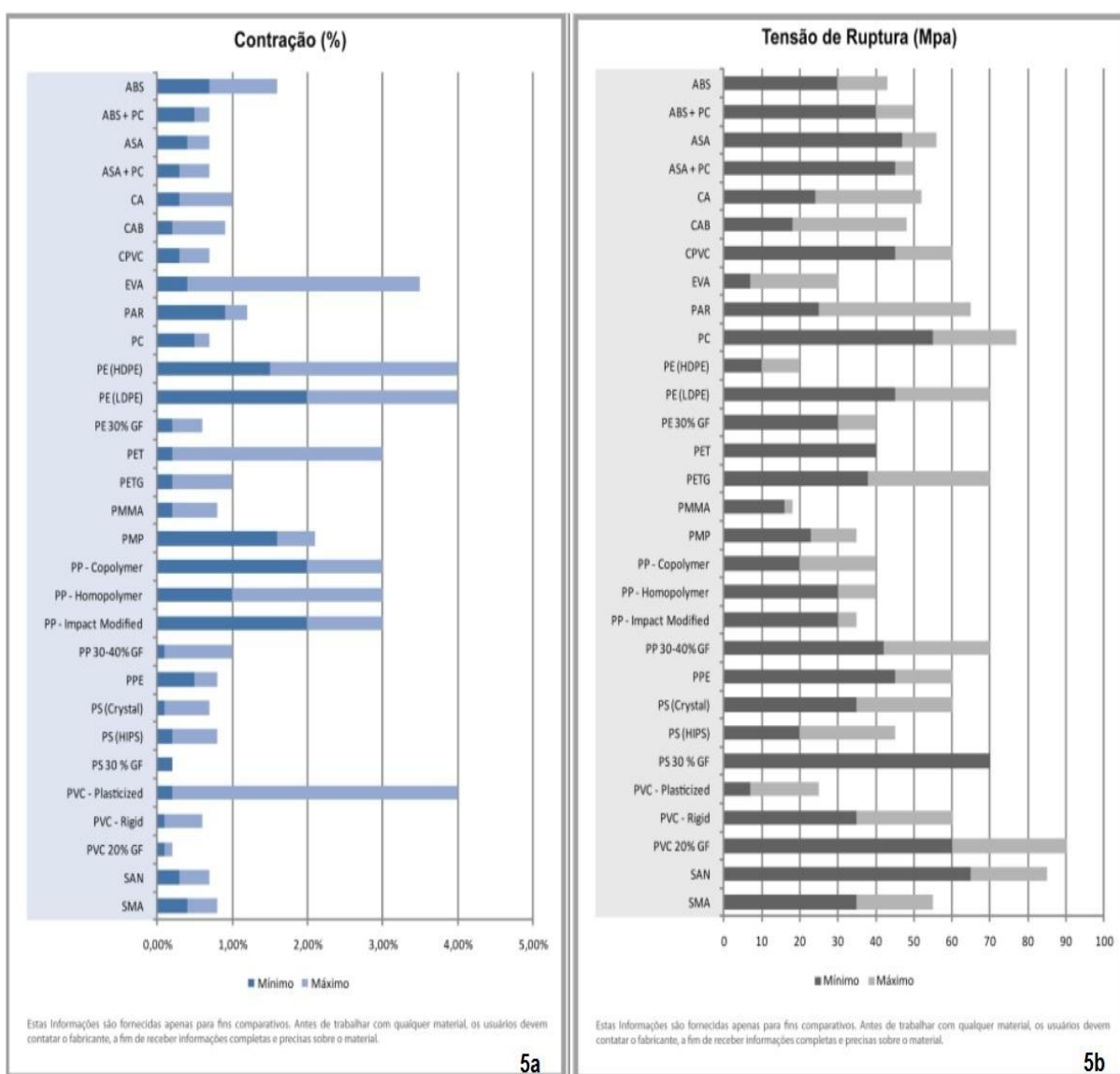
As fontes muitas vezes exibiam informações conflitantes em relação à subdivisão dos termoplásticos, pois estas são divisões para fins didáticos, não existindo uma linha bem definida entre os grupos. O que se vê é uma zona de transição entre as categorias, principalmente no que se refere aos grupos das *commodities* e de engenharia. Em termos de propriedades, estes materiais têm às vezes, desempenho semelhante, embora os seus custos possam ser bastante diferentes, o que faz com que sejam posicionados em grupos

diferentes, dependendo do critério utilizado para classificar os polímeros (SANT'ANNA, 2007).

Após a seleção, foi feito o levantamento dos dados das propriedades de cada polímero, através das folhas de dados disponibilizadas nos seletores de materiais IDES, OMNEXUS e CAMPUS.

Depois de sintetizados em tabelas, os dados foram apresentados em gráficos (Figuras 5a e 5b), com a finalidade de proporcionar ao interessado uma visão rápida do comportamento dos polímeros, representando as informações de maneira simples e interessante, tornando claros os fatos que poderiam passar despercebidos em dados apenas tabulados.

Figuras 5a e 5b: Disposição distorcida de duas das páginas de gráficos contida no material didático



Fonte: Elaboração própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aponta a necessidade de que os designers adquiram um maior conhecimento sobre polímeros e suas propriedades, e propõe um material didático em um formato dinâmico, que se compatibiliza com as características do público alvo (designers).

Por ser uma área extensa, com um número muito grande de polímeros, o material didático desenvolvido aborda apenas uma parcela dos polímeros existentes, deixando a possibilidade para que mais tipos de polímeros termoplásticos, bem como os termofixos e os elastômeros, sejam adicionados futuramente.

REFERÊNCIAS

AZOM, **The A to Z of Materials**. Global AZoSearch. Disponível em: <<http://www.azom.com>>. Acesso em: 26 maio 2011.

CAMPO, E. A. **The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics**. 2006.

CAMPUS. **The Plastics Database**. Disponível em: <<http://www.campusplastics.com/>>. Acesso em: 26 maio 2011.

IDES. Disponível em: <<http://prospector.ides.com>>. Acesso em: 29 setembro 2011.

LDSM. Disponível em: <<http://www.ndsm.ufrgs.br/>>. Acesso em: 20 maio 2011.

LESKO, J. **Design industrial: Materiais e processos de fabricação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MACROGALLERIA. Disponível em: <<http://pslc.ws/macrog/index.htm>>. Acesso em: 29 setembro 2012

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 197p.

MANO, E.B. e MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2a ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1991.

MATWEB. Disponível em: <<http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>>. Acesso em: 06 abr. 2011.

OMNEXUS. Disponível em: <www.omnexus.com>. Acesso em: 12 maio 2011.

PORTAL. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/polimeros/polimeros-10.php>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

SANTANNA, J.A.P. **Subsídios para seleção de materiais termoplásticos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo. 2007. 104p.

SOUZA, P.P.; SILVA, G.G.; AMARAL, L.O.F. **Transição vítrea: Uma abordagem para o Ensino Médio**, 2004.

WIKIPEDIA. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_transition. Acesso em: 29 setembro 2012.