



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Principais Processos para o Design de Produtos

Prof. Dr. Fausto L. Mascia

Bibliografia:
Ashby, M., Johnson, K. Materiais e Design. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011
Lefteri, C., Como se faz. São Paulo: Blucher, 2009.
Lesko, J. Design industrial. Guia de materiais e fabricação. São Paulo: Blucher, 2012.

1



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Sumário

- Resumo sobre propriedades dos materiais
- Diagramas de Michael Ashby
- Categorização de processos
 - ◆ Estágio de progressão
 - ◆ Forma obtida
 - ◆ Geometria
- Comentários

2



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Propriedades dos materiais:

- Físicas
- Químicas
- Físico químicas

3



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Atributos dos materiais:

Físicos – propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, óticas, estabilidade dimensional, densidade.

Mecânicos – elasticidade; tração; compressão; tenacidade; limite de fadiga; dureza; abrasão.

Térmicos – condutividade térmica; dilatação térmica; temperatura de fusão; temperatura máxima de uso.

Elétricos – resistividade; constante dielétrica; perda dielétrica;.

Óticos – índice de refração, transparência.

4

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

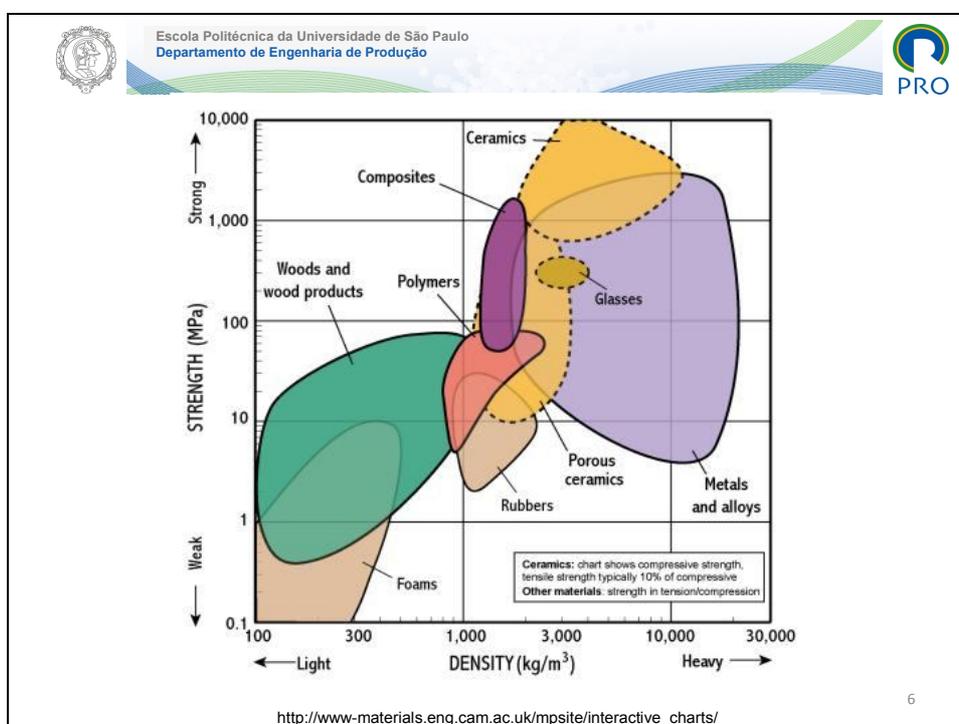
PRO

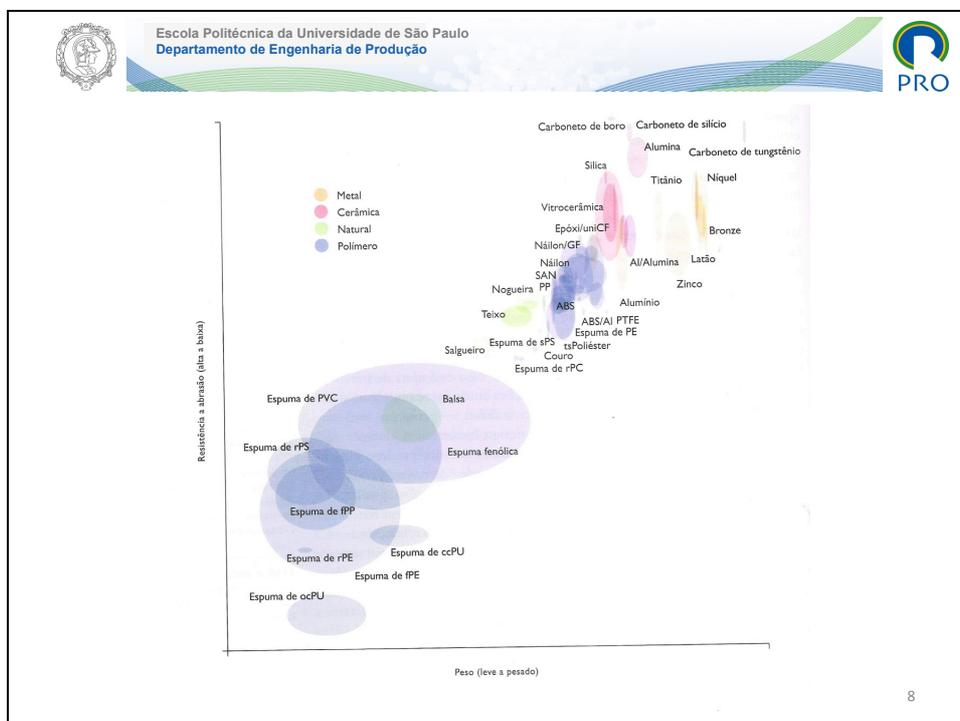
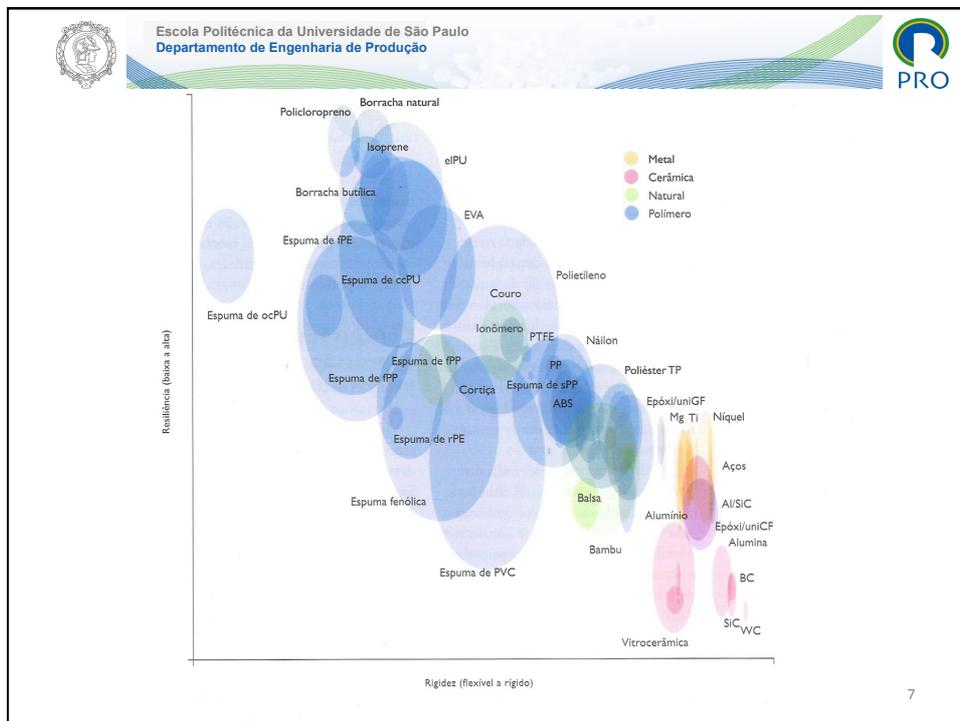
Atributos dos materiais:

Químicos
Resistência: ácidos, bases, oxidação, inflamabilidade, solventes e reagentes, radiações ultravioletas, degradação térmica.

Físico-Químicos
Permeabilidade a gases e vapores.

5





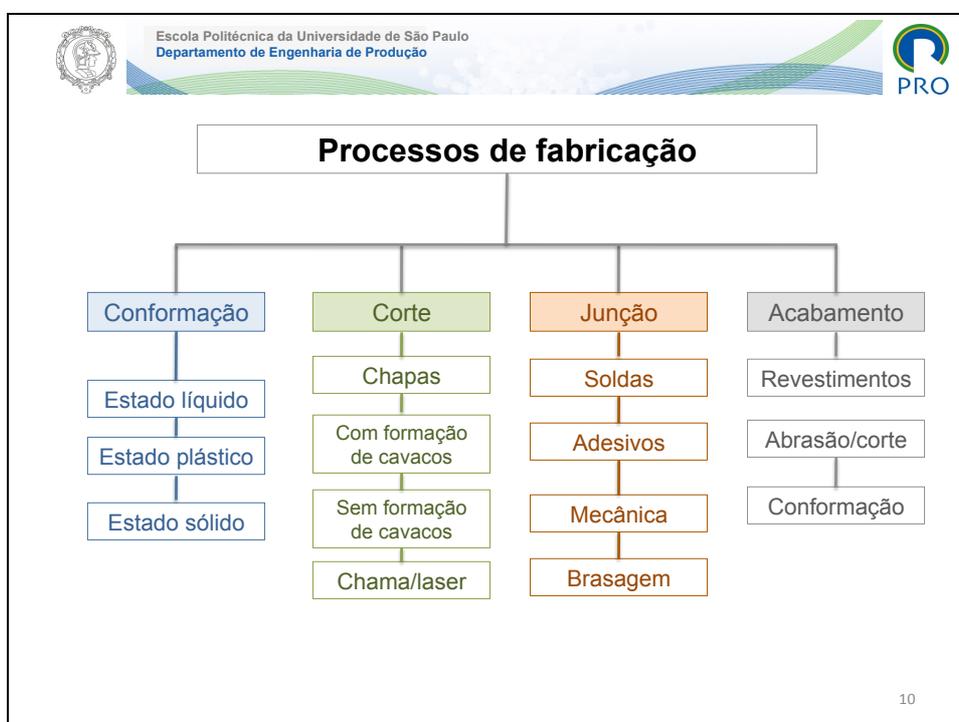
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção

PRO

Processos

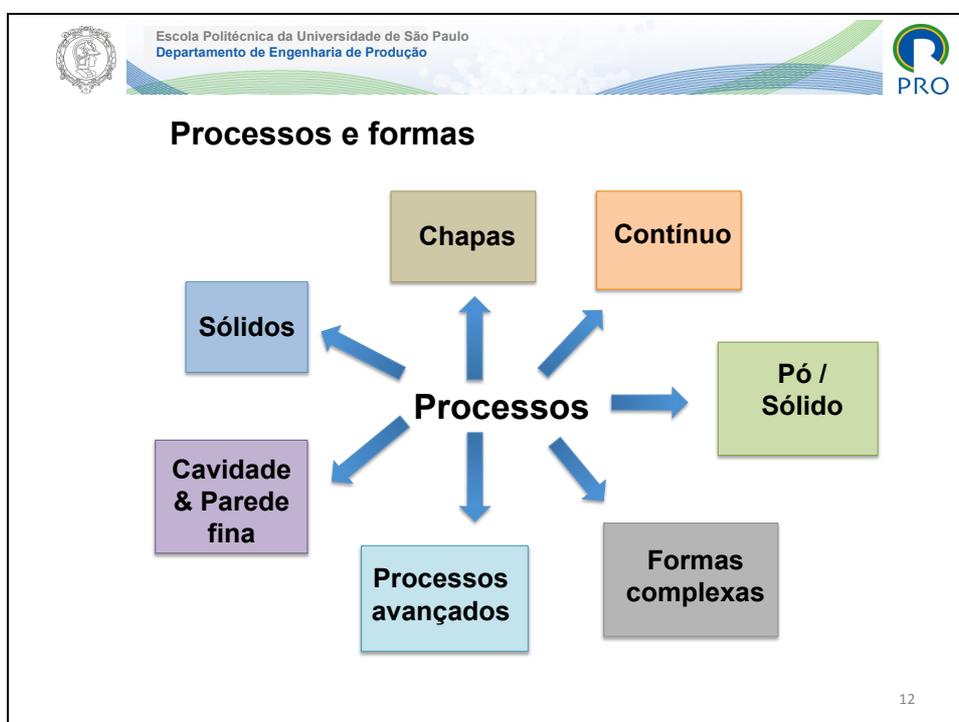
- **Conformação / corte**
- **Junção (união)**
- **Acabamento / revestimento**

9



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Produção		PRO
Processos de conformação		
Estado líquido		
Metais	Fundição	
Cerâmicas/Vidros	Fundição, Laminação, Repuxo	
Polímeros	Injeção, Extrusão, Rotomoldagem, Calandragem	
Estado Plástico		
Metais	Forjamento, Extrusão, Calandragem	
Cerâmicas/Vidros	Extrusão, Prensagem, Sopro	
Polímeros	Vacuumforming	
Estado Sólido		
Metais	Calandragem, Repuxo, Trefilação, Sinterização (pó).	
Cerâmicas/Vidros	Compressão (pó)	
Madeira	Prensagem	
Polímeros	Compressão	

11



12



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Sólidos – corte

Uso de ferramentas de corte para “esculpir” materiais:

Um dos mais antigos processos para fabricação de objetos.
Empregam ferramentas para cortar, formar e remover material.
Máquinas universais ou automáticas (CNC)

13



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Sólidos – corte

Principais processos:

- Usinagem máquinas universais/dedicadas
- Usinagem automática (CNC)
- Torneamento
- Escultura em cerâmica
- Usinagem por feixe de elétrons
- Usinagem a plasma

14



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Chapa

O Ponto de partida é um material pré preparado.

- Redução de custos de produção
- Menor custo de ferramental (matrizes)
- Ampla possibilidades de aplicações

15



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Chapa

Principais processos:

- Estampagem
- Corte (convencional, laser, chama de acetileno)
- Torneamento de repuxo
- Termoconformação
- Compensado encurvado
- Prensagem de compensado
- Vidro

16



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Contínuo

Os componentes são feitos a partir de trechos contínuos de um material.

- Material inserido em uma matriz e produção de grandes extensões com um determinado perfil.
- Processos eficientes em termos de custo
- Sempre a mesma forma transversal

17



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Contínuo

Principais processos

- Calandragem
- Extrusão
- Filme soprado
- Estampagem rotativa
- Conformação por laminação (em rolos)
- Corte de folhas de madeira

18



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Cavidade & parede fina

Processos que dão formato a formas ocas e de paredes finas.

- Extensamente empregado – escala industrial
- Diversidade de materiais (plástico, vidro, papel, barbotina).

19



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Cavidade & parede fina

Principais processos

- Moldagem por sopro de plásticos; injeção por sopro
- Rotomoldagem
- Moldagem por imersão
- Vidro soprado (artesanal)
- Vidro soprado e moldagem por sopro
- Vidro prensado e moldagem por sopro
- Conformação hidrostática de metais

20



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Cavidade & parede fina

Principais processos

- Moldagem de papel
- Moldagem por contato
- Moldagem em autoclave
- Extrusão reversa por impacto

21



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Pó - sólidos

Principais referências – metalurgia
Também aplicado a cerâmicas e plásticos
Forjamento – sólido em sólido

22



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Pó - sólidos

Principais processos

- Sinterização
- Moldagem por compressão
- Prensagem isostática a frio/quente
- Moldagem de espuma
- Forjamento

23



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Formas complexas

Processos em que geralmente a conformação ocorre em estado plástico.

- Grandes quantidades – menor custo unitário
- Investimento em ferramental

24



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Formas complexas

Principais processos

- Injeção assistida por água/assistida por gás
- Injeção com reação (resinas)
- Montagem com inserto
- Injeção de metais
- Fundição em alta pressão
- Fundição de precisão
- Prensagem de vidro
- Impressão 3D

25



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção



Processos avançados

Tecnologias recentes associadas ao CAD
Gradativamente adotadas no meio industrial

26

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Conformação - Formas geométricas

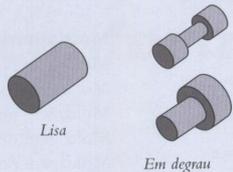
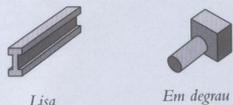
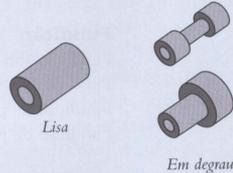
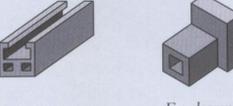
- Prismática
- Parede fina
- Assimétrica
- Sólida

27

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Conformação – formas geométricas

Prismática	CIRCULAR	NÃO CIRCULAR
SÓLIDA	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>
OCA	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>

28

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Conformação – formas geométricas

Parede fina	CURVA			PLANA
SIMÉTRICA EM RELAÇÃO AO EIXO	 <i>Rasa</i>	 <i>Funda</i>	 <i>Funda, com reentrância</i>	 <i>Com recortes</i>
ASSIMÉTRICA EM RELAÇÃO AO EIXO	 <i>Rasa</i>	 <i>Funda</i>	 <i>Funda, com reentrância</i>	 <i>Sem recortes</i>

29

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Produção




Conformação – formas geométricas

	CARACTERÍSTICAS PARALELAS		CARACTERÍSTICAS TRANSVERSAIS	
SÓLIDA	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>
OCA	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>

30