



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**

# **Unidade 1**

## **CONCEITOS GERAIS DA DISCIPLINA**

**PMT 3100 - Fundamentos de Ciência e Engenharia dos Materiais**  
**2º semestre de 2017**

# Definições

- Ciência dos Materiais
  - Investigação das relações entre *composição/estrutura* e *propriedades* dos materiais
- Engenharia dos Materiais
  - Projeto, desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de técnicas de *processamento* de materiais (= técnicas de fabricação de materiais), com base nas relações entre composição/estrutura e propriedades, visando um *desempenho* desejado.
  - ...e também:
    - Desenvolvimento de formas de produção de materiais socialmente desejáveis a custo socialmente aceitável.

# Definições

- Ciência e Engenharia dos Materiais são campos intimamente interligados e interdisciplinares.
- São campos tão intimamente relacionados que existem autores que os definem como uma única área do conhecimento :
  - ***“Ciência e Engenharia dos Materiais é a área da atividade humana associada com a geração e a aplicação de conhecimentos que relacionem composição, estrutura e processamento de materiais às suas propriedades e usos.”***

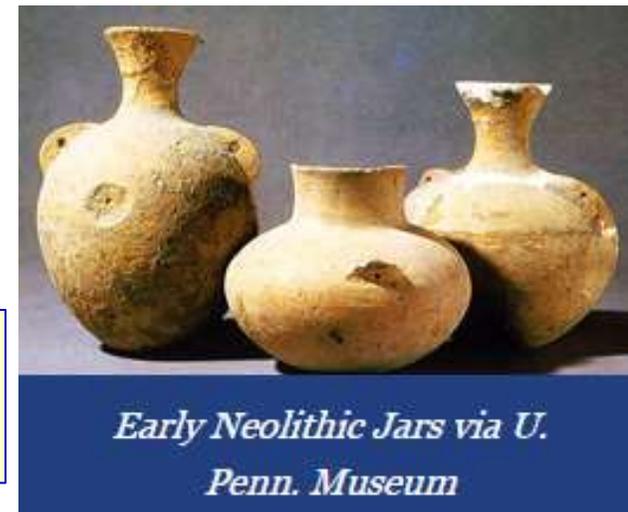
*Morris Cohen, MIT (in Padilha, A.F. – Materiais de Engenharia, Hemus, 1997, cap. 1)*
- Objetivos:
  - Desenvolvimento de materiais já conhecidos visando novas aplicações ou visando melhorias no desempenho em aplicações conhecidas.
  - Desenvolvimento de novos materiais para aplicações conhecidas.
  - Desenvolvimento de novos materiais para novas aplicações.

**Exemplo:** Desenvolvimento de materiais já conhecidos visando novas aplicações ou visando melhorias no desempenho em aplicações conhecidas

- *Material* : Vidro
- *Aplicação* : telas para *tablets* e *smartphones*
- *Exigências de desempenho* :
  - Resistência a impacto
  - Resistência a riscos
  - Transparência
  - Sensibilidade ao toque
  - Custo
- Um exemplo de desenvolvimento de materiais conhecidos visando melhoria de desempenho é o trabalho que vem sendo feito pelos fabricantes de **vidro para telas de dispositivos eletrônicos** tais como *smartphones* e *tablets* – constantemente vêm sendo apresentados ao mercado vidros mais finos e resistentes ( = *melhoria de desempenho*), com custos compatíveis.
  - O material é o mesmo (ou seja, não é um novo material que foi desenvolvido), mas o desempenho foi melhorado por meio de uma evolução no processamento.

## Exemplo: Desenvolvimento de novos materiais para aplicações conhecidas

- *Aplicação* : embalagens de bebidas, atualmente bebidas carbonatadas (cerveja e refrigerantes, por exemplo)
- *Exigências de desempenho da embalagem* :
  - Não-tóxica, nem reativa, quando em contato com o líquido contido
  - Relativamente resistente mecanicamente
  - Custo baixo
  - Impermeabilidade a gases (barreira à passagem de CO<sub>2</sub>)
  - É desejável que seja leve
  - É desejável que seja transparente
  - É desejável que possa ser decorada (colorida, estampada...)
  - É desejável que seja reciclável



*As mais antigas embalagens de bebida encontradas até hoje (cerveja? vinho?)  
Jiahu, vale do Rio Amarelo (China)*

*Early Neolithic Jars via U.  
Penn. Museum*

- Historicamente, os primeiros materiais não naturais empregados para embalagens comerciais de bebidas foram cerâmicos :
  - Potes / ânforas cerâmicas e garrafas para vinho... e para água mineral !



Ânforas utilizadas para transporte de vinho (desde a era do Bronze!)

A mais antiga embalagem de água mineral encontrada até hoje (200 anos)



© National Maritime Museum, Gdansk  
The world's oldest bottle of mineral water has been uncovered from the depths of the Baltic Sea by Polish scuba divers

Exemplos de garrafas de vinho utilizadas entre 1600 e 1800



© National Maritime Museum, Gdansk  
The 200 year-old flask has the name 'Selters' inscribed in its stoneware (left). Selters (right) is a German luxury mineral water brand, still sold today, which gained popularity with Europe's wealthy during the nineteenth century



© Selters

- Para cerveja: primeiro embalagens cerâmicas, depois latas de aço e de alumínio.



*Atividades de fabricação de cerveja (modelo de madeira – Egito Antigo)  
note as embalagens cerâmicas de cerveja...*



This 125-year-old bottle of Keith's which has been underwater for decades is still fizzy. (CBC)

*Embalagens de vidro são muito boas no quesito “impermeabilidade a gases”...*



- Mais recentemente embalagens poliméricas foram introduzidas no mercado de refrigerantes.
- Esse é um caso de aplicação conhecida há séculos para a qual foram desenvolvidos materiais clássicos de todos os tipos : cerâmicos, metálicos e poliméricos.
- Todos os materiais tem seus prós e contras...
  - Embalagens com todos esses materiais podem ser produzidas de forma a não serem tóxicas nem reagir com a bebida (*...as metálicas necessitam de um recobrimento interno...*)
  - Todos são recicláveis
  - Todos podem ser produzidos atualmente com custo baixo
  - Todos tem boa resistência → mas o vidro pode quebrar...
  - Vidros e polímeros podem ser transparentes → mas os metais não...
  - Vidros e metais são excelentes barreiras ao CO<sub>2</sub> → mas polímeros não... (*e por isso o tempo de prateleira de refrigerantes é muito menor, pois bebidas carbonatadas embaladas em polímeros “perdem o gás” em alguns meses...*)

**Exemplo:** Desenvolvimento de novos materiais para novas aplicações

**...ESSES, SÃO  
VOCÊS QUE IRÃO  
DESCOBRIR...**



# Composição <sup>(1)</sup>

- **Composição** é um conceito de Química que tem significados similares mas ligeiramente diferentes, caso se refira a uma substância pura ou a uma mistura.
- A *composição química de uma substância pura* corresponde às quantidades relativas dos elementos que constituem essa substância, podendo ser expressa por meio da fórmula química da substância. Exemplos:
  - O sal de cozinha, que é composto por sódio e cloro, numa relação de um átomo de sódio para cada átomo de cloro. É representado pela fórmula química NaCl.
  - A água, que é composta por hidrogênio e oxigênio, numa relação de dois átomos de hidrogênio para cada átomo de oxigênio. É representada pela fórmula química H<sub>2</sub>O.

# Composição <sup>(2)</sup>

- **Composição** é um conceito de Química que tem significados similares mas ligeiramente diferentes, caso se refira a uma **substância pura** ou a uma **mistura**.
- A **composição química de uma mistura** corresponde às quantidades relativas das substâncias (que são chamadas de *componentes*) que a constituem. Em outras palavras, a composição química de uma mistura é definida por meio da **concentração** de cada componente.  
Exemplo:
  - O soro fisiológico é uma mistura (uma solução) de água e NaCl contendo 0,9% em massa de NaCl – em outras palavras, 100g dessa mistura contém 0,9g de NaCl e 99,1g de água.
  - **ATENÇÃO:** como existem várias formas de se definir a concentração de um componente de uma mistura, existem também diferentes formas de se expressar a composição de uma mistura – por exemplo, a composição de uma mistura pode ser expressa em frações mássicas (como o caso do exemplo acima), molares, volumétricas, ...

# Estrutura (1)

“Structure” is at this point a nebulous term that deserves some explanation. In brief, the structure of a material usually relates to the arrangement of its internal components. Subatomic structure involves electrons within the individual atoms and interactions with their nuclei. On an atomic level, structure encompasses the organization of atoms or molecules relative to one another. The next larger structural realm, which contains large groups of atoms that are normally agglomerated together, is termed “microscopic,” meaning that which is subject to direct observation using some type of microscope. Finally, structural elements that may be viewed with the naked eye are termed “macroscopic.”

*Callister, W.D. – Materials Science and Engineering, An Introduction. 7ª Ed., pg.3 .*

- ...em resumo:

- O termo “**estrutura**”, quando relacionado a um material, se refere normalmente ao arranjo interno de seus “constituintes” – quem são esses constituintes, depende da **ESCALA** na qual estamos analisando o material.
- As escalas podem variar desde dimensões atômicas ( $A = 10^{-10}$  m) até dimensões de milímetros ou metros.



*Escala "Macro"*

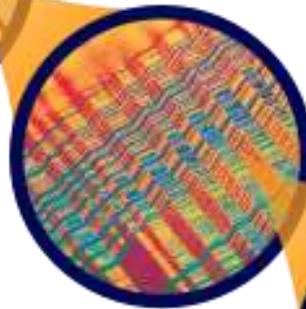
continuum

polycrystal



microstructure

*Escala "Micro"*

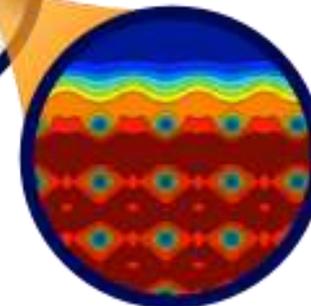


defects

*Escala "Nano"*



atoms

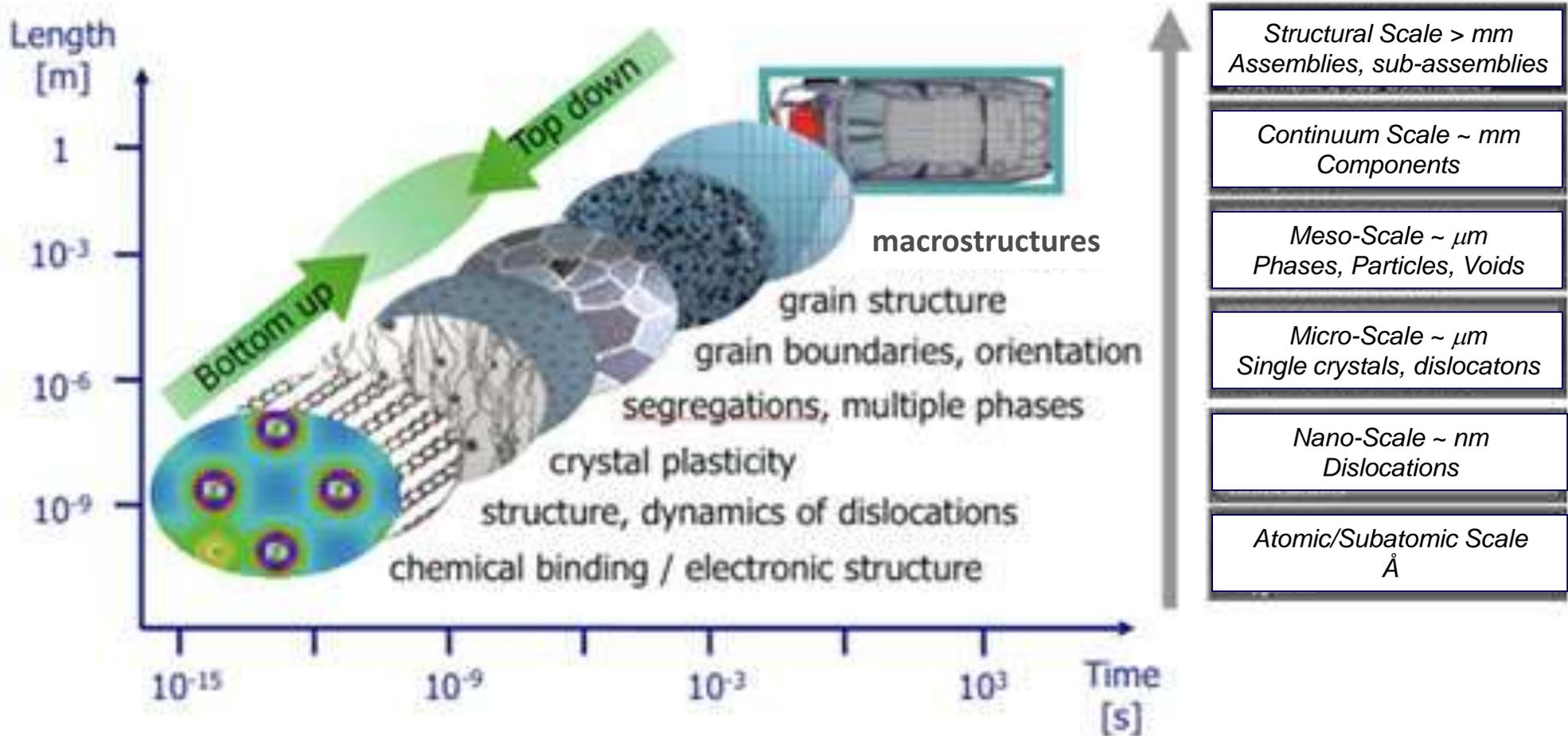


*Escala Atômica*

| Escala (m)            | Unidade    | Estrutura |
|-----------------------|------------|-----------|
| $<10^{-9}$            | Å          | Atômica   |
| $10^{-9}$ a $10^{-6}$ | nm         | Nano      |
| $10^{-6}$ a $10^{-3}$ | µm         | Micro     |
| $\geq 10^{-3}$        | mm, m, ... | Macro     |

*Estrutura  
Multi-Escala (multiscale)*

...atualmente é possível fazer modelagem “multi-escala” de materiais...



# Propriedade

- O termo **Propriedade** pode ser definido como sendo o tipo e a magnitude da resposta de um material a um estímulo específico.

Principais  
Propriedades do  
Estado Sólido

Mecânicas

Elétricas

Térmicas

Magnéticas

Ópticas

Estabilidade (temporal, dimensional,  
ambiental)

# Processamento

- **Processamento** pode ser definido como sendo o conjunto de técnicas empregadas para obtenção de materiais com formas e propriedades específicas.
  - Exemplo: óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pode ser processado por diferentes métodos, resultando em materiais com distintas propriedades (*por exemplo: distintas propriedades ópticas*).



Dispositivos Ópticos  
(uso em tecnologia de laser)



...em smartphones

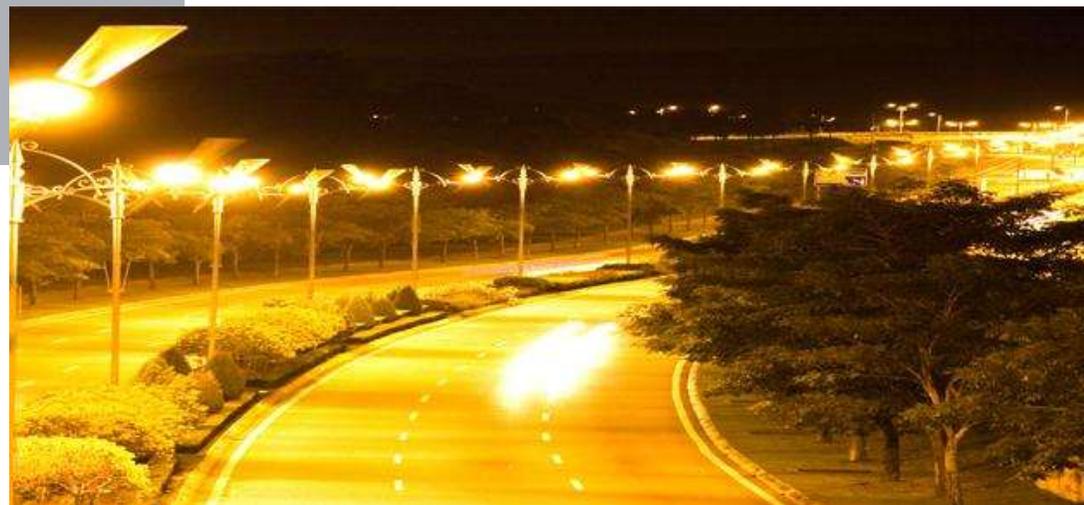
Óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  
monocristalino  
**TRANSPARENTE**  
**RESISTENTE**





Lâmpada  
de  
vapor de sódio

Óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  
policristalino e sem poros  
**TRANSLÚCIDO**  
**RESISTENTE AO VAPOR DE SÓDIO**

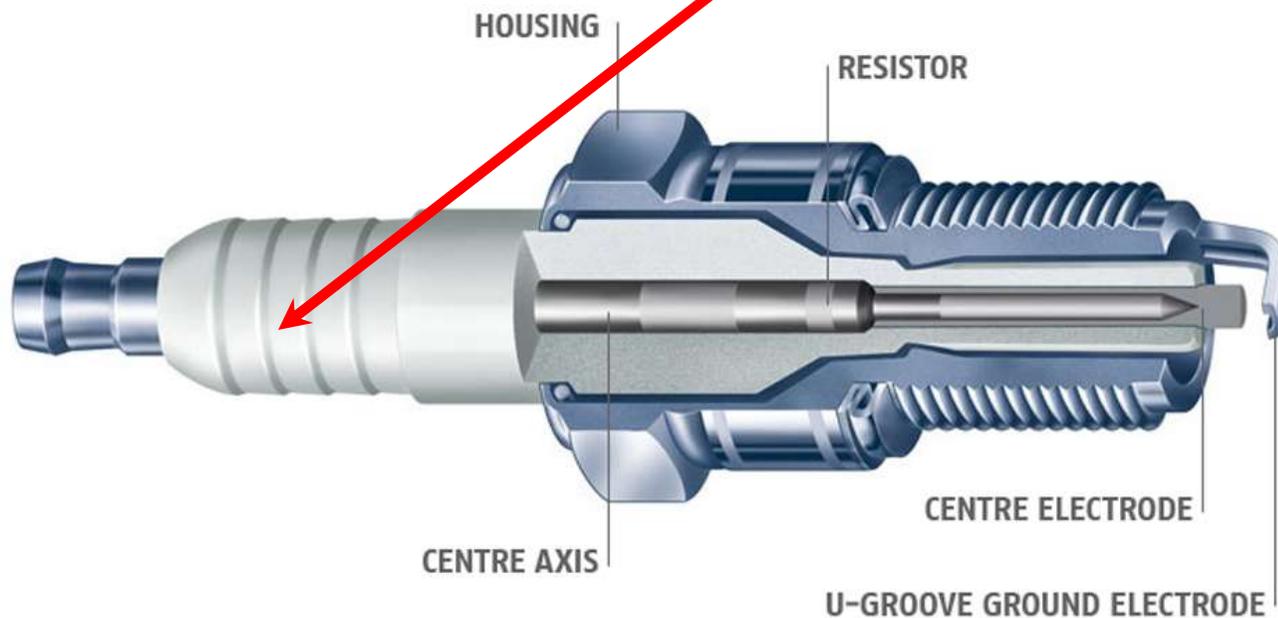


## Vela de Ignição

Óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  
policristalino e poroso  
**ISOLANTE ELÉTRICO**  
**RESISTENTE**



*...as primeiras velas eram  
de porcelana...*



# Desempenho (“Performance”)

- **Desempenho** pode ser definido como sendo o conjunto de respostas do material às múltiplas solicitações às quais ele é submetido durante o seu uso.
- O termo inglês “*performance*” pode incluir também alguns aspectos econômicos, como por exemplo o custo de produção (*custo esse que pode ser entendido em termos simplesmente financeiros ou então considerando parâmetros ambientais, tais como consumo de matérias-primas, de energia, de água, emissão de CO<sub>2</sub> , ...*) .

# Exemplo de materiais com diferentes desempenhos

## *Proteção de tela de smatphone*

*Vidro comum x Gorilla™ Glass x Alumina (“Sapphire Glass”)*



## ***Exigências de Desempenho***

*Resistência a impacto*  
*Resistência a risco*  
*Sensibilidade ao toque*  
*Custo*



CORNING

1m

Glass performance depends on device design, drop height and landing surface.

Vidro comum  
X  
Gorilla™ Glass

### Flaw populations in the surface

chemically strengthened depth of layer



Soda Lime Glass

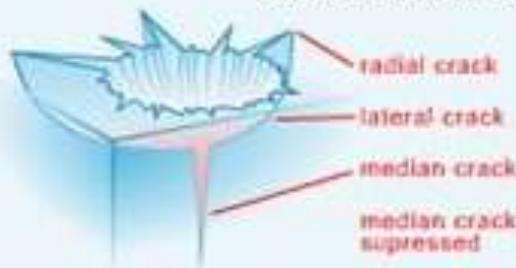


Gorilla™ Glass

chemically strengthened depth of layer

### Cross section of a chip

chemically strengthened depth of layer



Soda Lime Glass



Gorilla™ Glass

chemically strengthened depth of layer

### Cross section of a scratch

chemically strengthened depth of layer



Soda Lime Glass

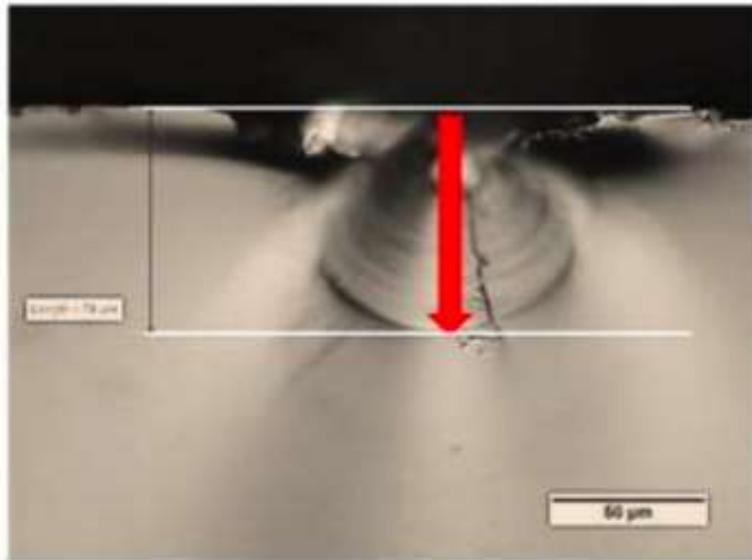


Gorilla™ Glass

chemically strengthened depth of layer

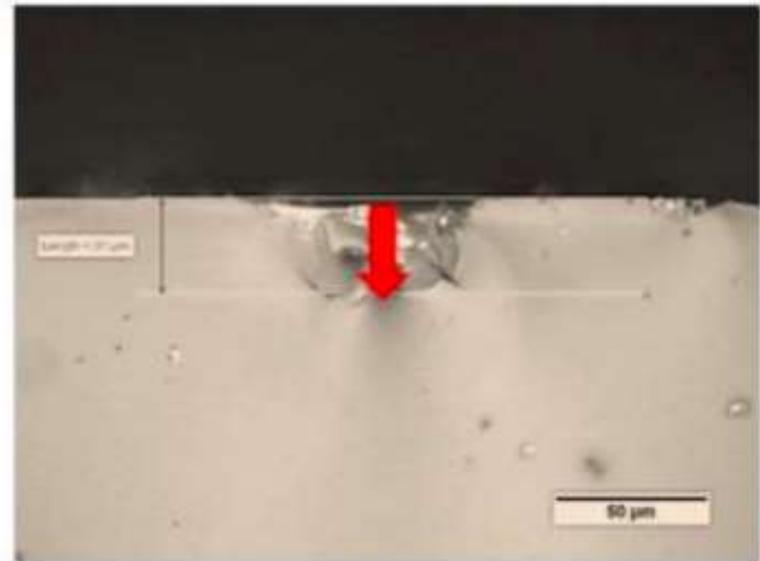


Check depth  $\sim 75 \mu\text{m}$



Corning® Gorilla® Glass 3

Check depth  $\sim 25 \mu\text{m}$



Corning® Gorilla® Glass 4

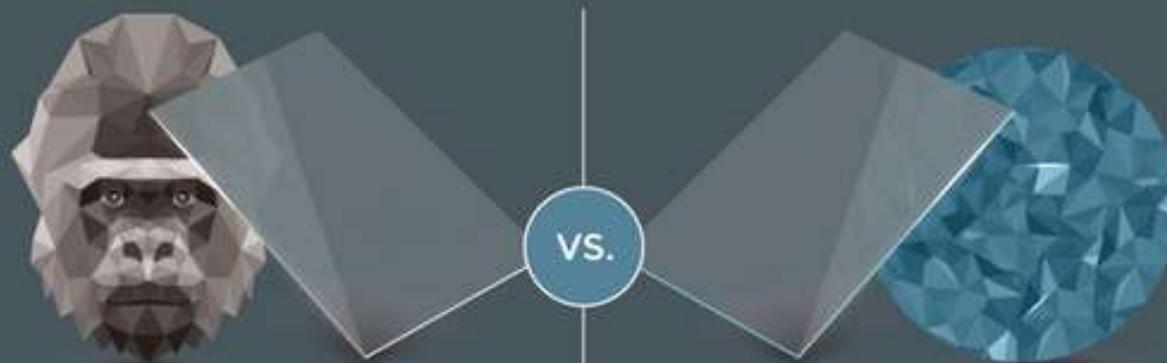
O fabricante acaba de lançar o Gorilla Glass 5, mais resistente e podendo ser mais fino que o anterior (o 4).

A competição é feroz pelo mercado dos smartphones...

...diz a Corning a respeito da safira:

“While sapphire is a very hard material and very scratchproof, there is one major problem with it that makes it questionable for use as a smartphone screen: It is much more breakable than Corning’s Gorilla Glass and even some soda lime glass that has special composites to make it tougher”.

# GORILLA GLASS VS. SAPPHIRE



## GORILLA GLASS

Toughened aluminosilicate glass 

6.8 on Mohs hardness scale 

49% market share of display glass market (2012) 

## SAPPHIRE GLASS

 Single synthetic aluminum oxide crystal

 9 on Mohs hardness scale

 Much more scratch resistant

 3-4 times more expensive to produce

 1.5 times heavier

...no entanto, para um outro nicho de mercado (certamente menor, mas mais especializado, e com potencial grande valor agregado), o Sapphire Glass ainda tem uma vantagem competitiva, como diz o seu fabricante (Schott Glass):

“As one of the hardest, most durable and scratch-resistant materials, sapphire offers a broad transmission range from UV to mid-infrared wavelengths (250 – 5,000 nm). This material is capable of withstanding extreme environmental conditions and fluctuations in temperature”.

## *...finalizando* : **Conceitos Gerais da Disciplina**

- Ao final do estudo dos conteúdos desta Unidade você deve ser capaz de:
  - descrever a relação que existe entre a Ciência e a Engenharia dos Materiais.
  - compreender qual é a definição dada no âmbito deste curso para os seguintes termos, quando aplicados a materiais:
    - Composição;
    - Estrutura;
    - Propriedade;
    - Processamento;
    - Desempenho.
  - refletir e tentar encontrar as relações que existem entre a composição, a estrutura, as propriedades, o processamento e o desempenho dos materiais que utiliza em seu dia-a-dia.

## Referências

- **Callister, W.D.** Materials Science and Engineering: An Introduction. 7<sup>th</sup> Ed. Wiley. 2007. Cap.1 .
  - Obs.: outras edições do livro do Callister existentes nas bibliotecas da EP, em inglês ou português, também cobrem o conteúdo apresentado nesta Unidade.
- **Shackelford, J.F.** Ciência dos Materiais. 6<sup>a</sup> Ed. Pearson. 2008. Cap. 1 .
- **Askeland, D.R.; Phulé, P.P.** Ciência e Engenharia dos Materiais. Cengage Learning. 2008. Cap. 1.
- **Padilha, A.F.** – Materiais de Engenharia. Hemus. São Paulo. 1997. Cap.1 .