



PME 3430

Materials para Construção Mecânica

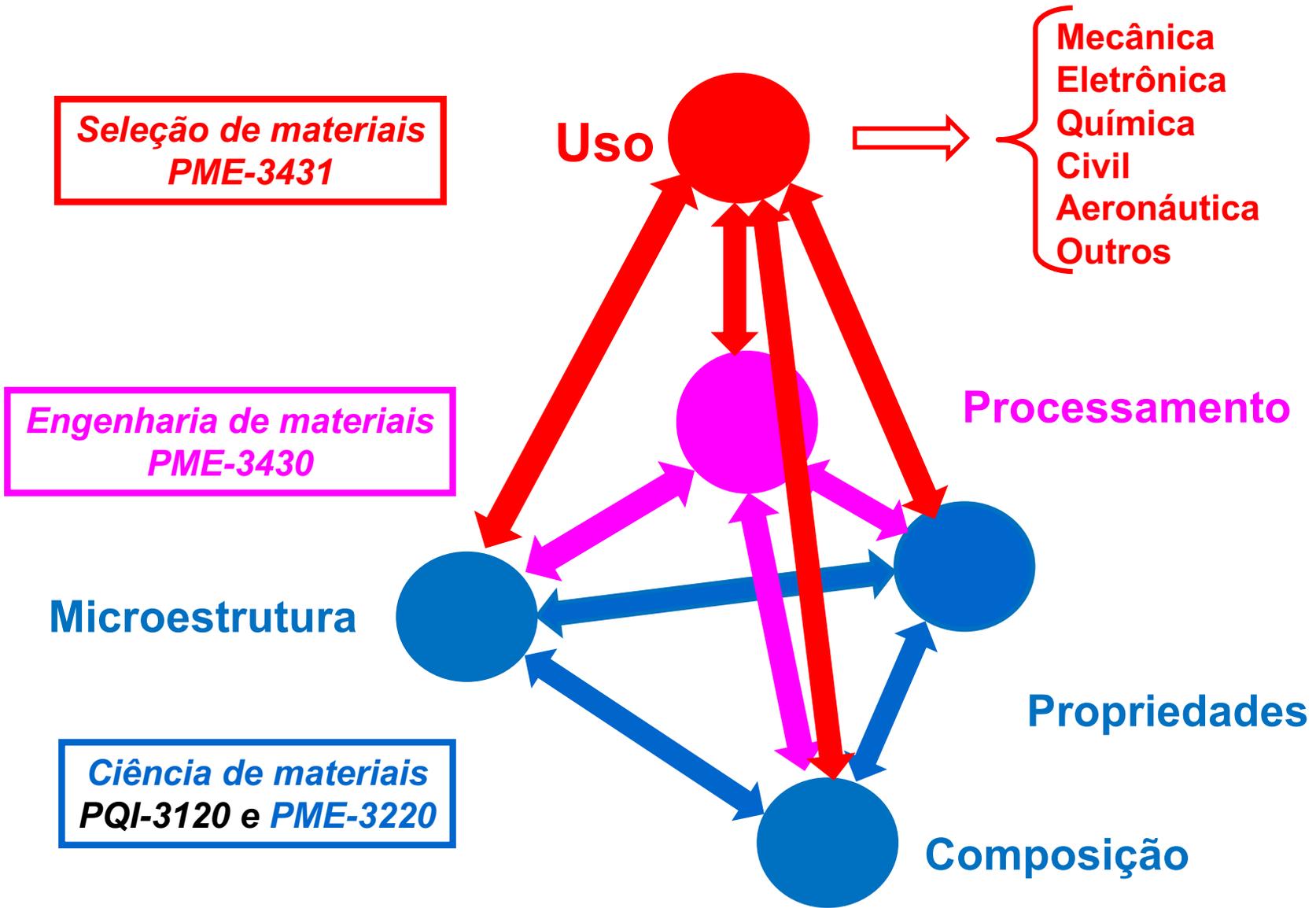
Profs. Drs.: Newton K. Fukumasu, Deniol K. Tanaka & Amilton Sinatora

Livro Texto:

CALLISTER, William D., *Materials science and engineering: an introduction*. 8ed. New York: John Wiley, 2009. 122p. ISBN-13: 978-0-471-73696-7



Ciência, engenharia e seleção de materiais



Material



Cronograma de Atividades – 1º Semestre 2017

Proposta – 2

Aula	Data	Tópico do Programa
01	08/03	Apresentação da disciplina, critérios de avaliação e revisão de conceitos
02	15/03	Definição dos temas de trabalho e revisão de conceitos
03	22/03	Processamento de ligas metálicas (fundição)
04	29/03	Processamento de ligas metálicas (laminação e forjamento)
05	05/04	Tratamento térmico de ligas metálicas (diagrama TTT)
-	12/04	SEMANA SANTA – Não haverá aula
06	19/04	Tratamento de superfícies de ligas metálicas (químico e mecânico)
07	26/04	Processamento de polímeros (polimerização, borrachas e vulcanização)
08	03/05	Polímeros avançados (vítreos, piezos)
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de cerâmicas (fundição e sinterização)
11	24/05	Processamento de cerâmicas (tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/cerâmicos (ferramentaria)
15	21/06	Compósitos polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva



Trabalho

- ❖ Trabalho em duas partes:
 - ❖ T1 entrega em 10 de maio de 2017
 - ❖ T2 entrega em 28 de junho de 2017

- ❖ Primeira parte: pesquisa de uma peça/sistema
 - ❖ A seleção de um componente é semi-aberta (depende do aval do professor)
 - ❖ Descrição funcional desse componente (Por que ele é feito com os materiais escolhidos? Quais os requisitos desse componente? Quais os carregamentos? Quais os processos de fabricação?)

- ❖ Segunda parte: ?

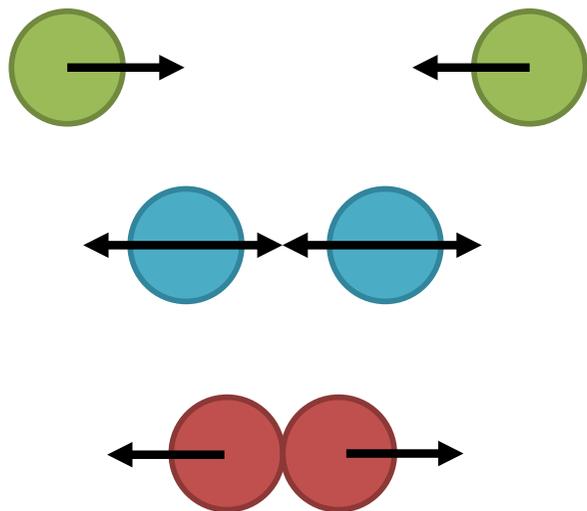


Revisão de conceitos

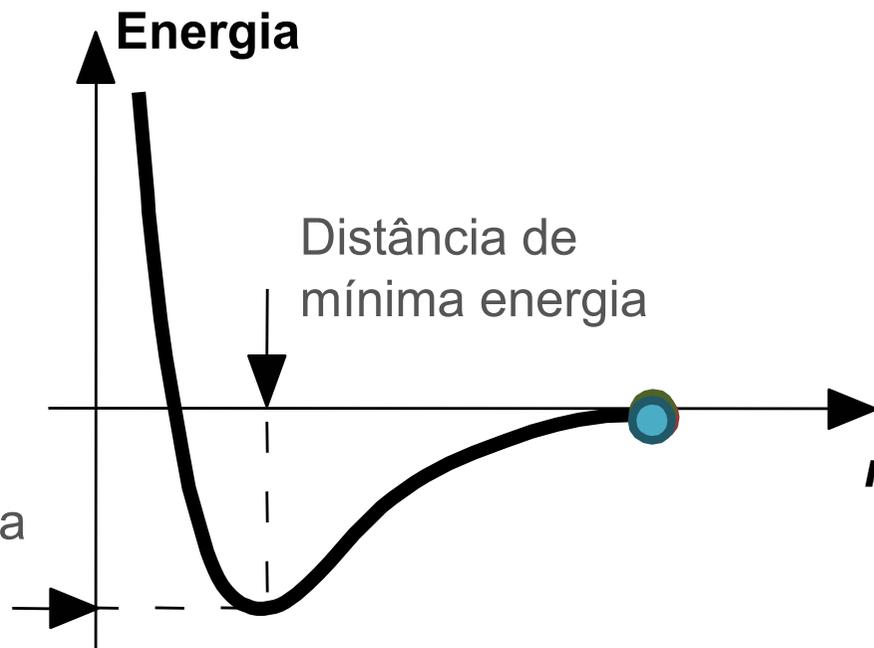
- ❖ Tipos de materiais
 - ❖ Metálicos
 - ❖ Poliméricos
 - ❖ Cerâmicos
 - ❖ Compósitos
- ❖ Ligações atômicas
 - ❖ Iônica
 - ❖ Covalente
 - ❖ Metálica
 - ❖ Van der Waals
- ❖ Estrutura dos materiais
 - ❖ Cristalina
 - ❖ Não cristalina
 - ❖ Amorfa
 - ❖ Microestrutura
- ❖ **Diagrama de fases**
 - ❖ **Microconstituintes dos materiais**
- ❖ **Propriedades dos materiais**
 - ❖ **Físicas**
 - ❖ **Mecânicas**
 - ❖ **Falha**



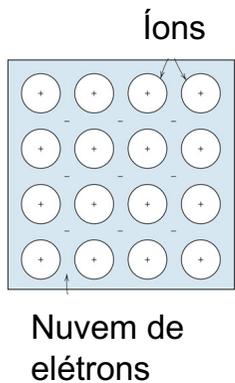
Ligações atômicas



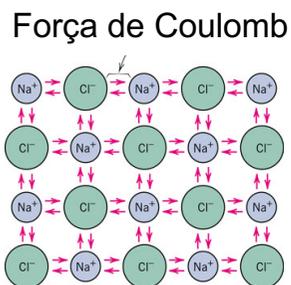
Mínima energia de ligação



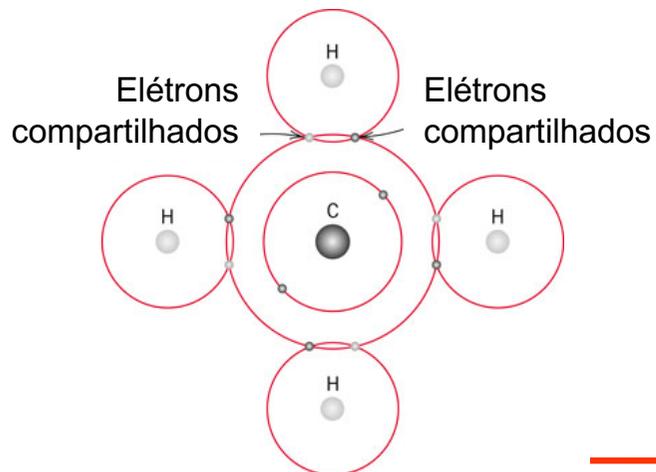
Metálica



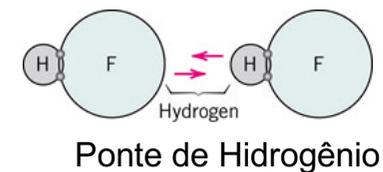
Iônica



Covalente



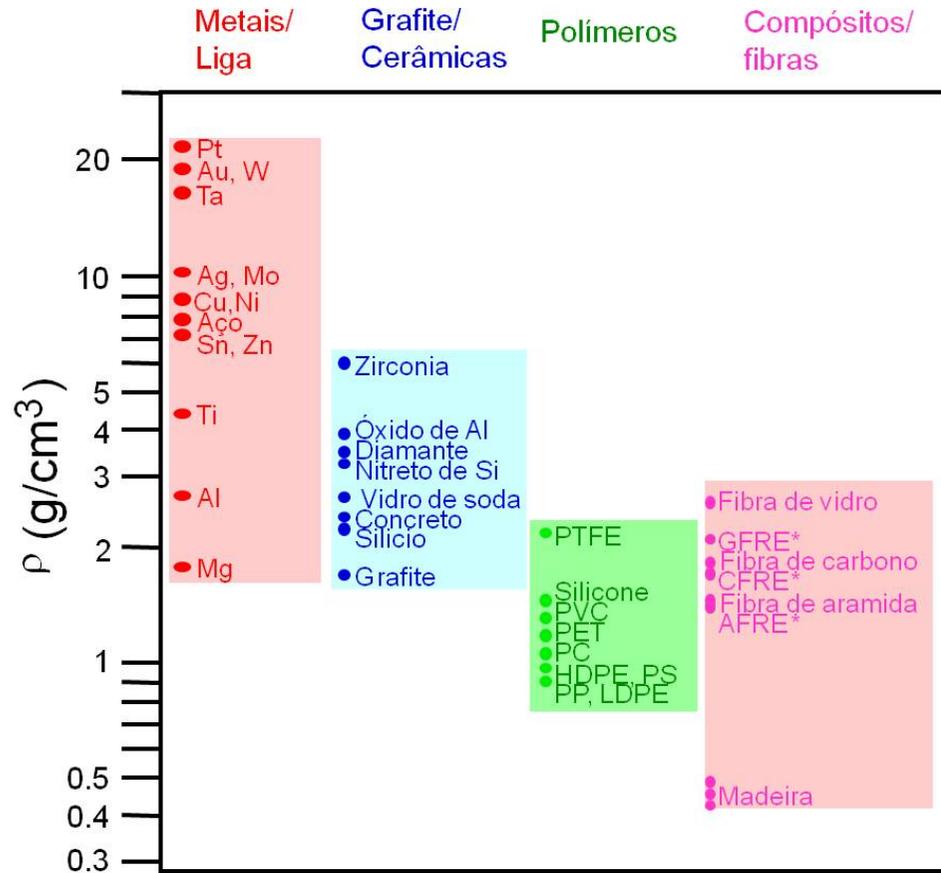
Secundárias ou de Van der Waals



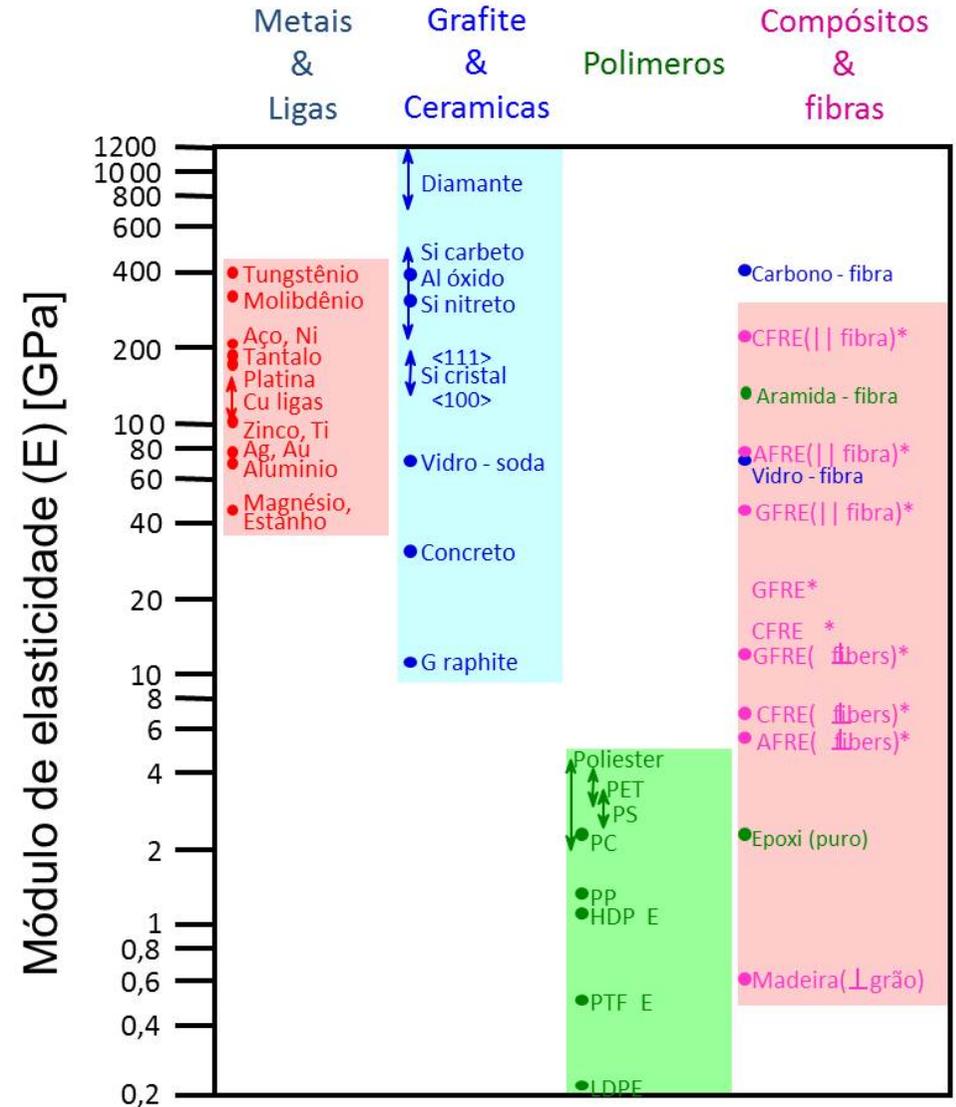


Tipos de materiais

Densidade

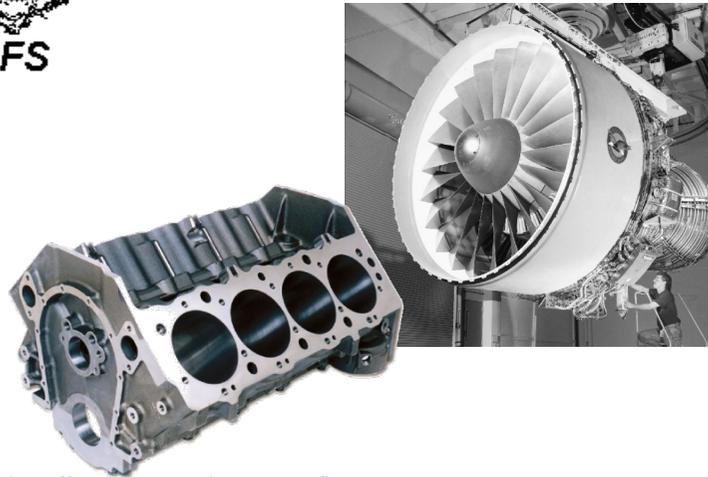


Rigidez

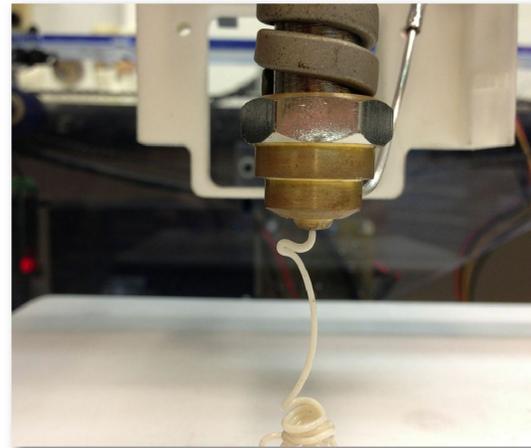




Tipos de materiais



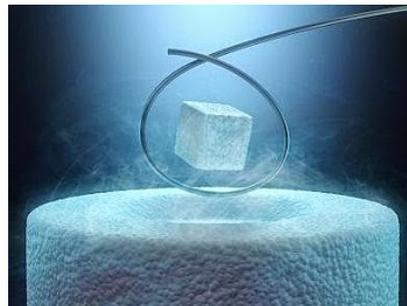
<http://www.superchevy.com/how-to/engines-drivetrain/1101chp-aftermarket-engine-blocks/#photo-01>
acessado em 03/2017



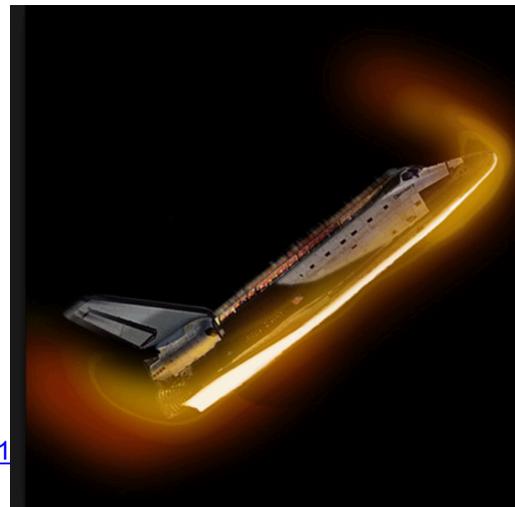
http://www.eesc.usp.br/portaleesc/index.php?option=com_content&view=article&id=1934:manufatura-aditiva-o-futuro-do-mercado-industrial-de-fabricacao-e-inovacao&catid=115&Itemid=164 acessado em 03/2017



https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/creep/other_metals.php acessado em 03/2017



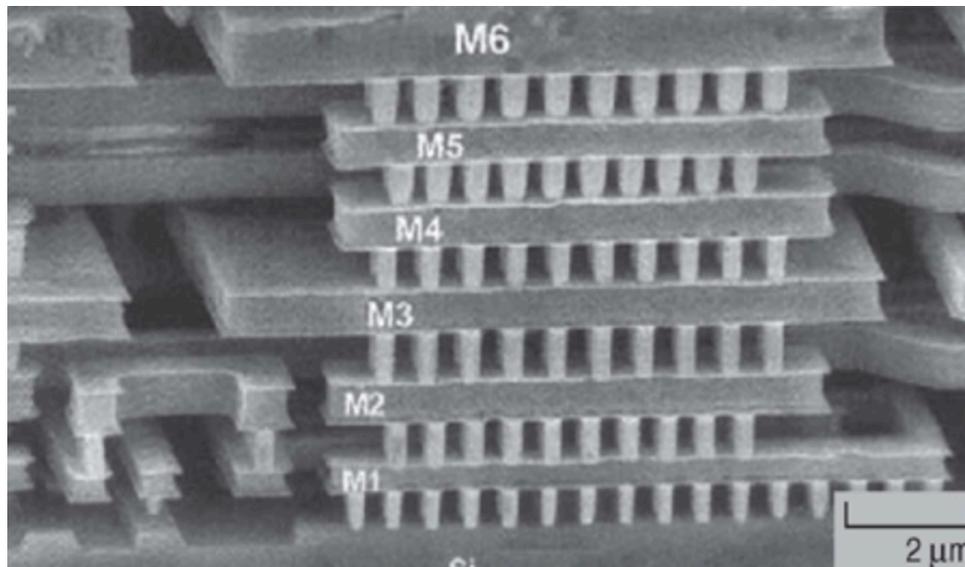
http://supercondutividade.blogspot.com.br/2015/02/01_archive.html acessado em 03/2017



https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_thermal_protection_system acessado em 03/2017



Tipos de materiais



<http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0509/chen-0509.html> acessado em 03/2017



<http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/2013/02/o-que-e-concreto-armado/> acessado em 03/2017

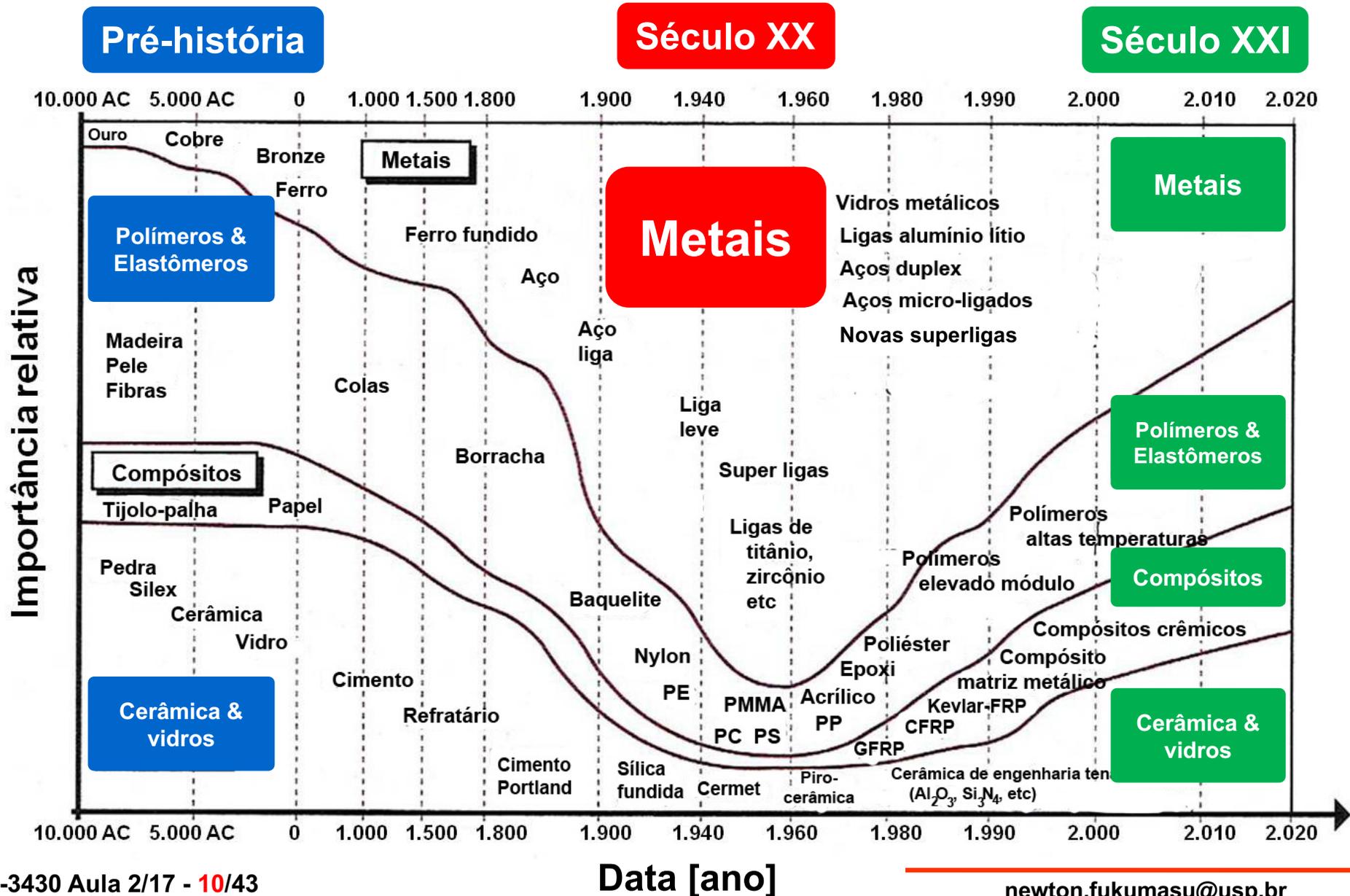


<http://goodaero.com/jsq/goodaero.nsf/Products?Open> acesso 03/2017



Uso de materiais

Materiais são substituídos em função do custo e desempenho





Uso de materiais

❖ % Massa em um automóvel (2015)

- ❖ Aço: 47%
- ❖ Ferro: 8%
- ❖ Alumínio: 8%
- ❖ Metálicos: 63%

❖ Plástico: 7%

❖ Vidro: 3%

❖ Outros: 27%



<https://www.carkeys.co.uk/news/wrc-inspired-toyota-yaris-hot-hatch-will-get-supercharged-1-8-litre-engine> acessado em 03/2017

<http://marketrealist.com/2015/02/raw-materials-biggest-cost-driver-auto-industry/> acessado em 03/2017



Estrutura dos materiais

❖ Cristalino

- ❖ Estrutura **organizada** espacialmente
- ❖ Periodicidade de **longo** alcance
- ❖ Materiais metálicos, cerâmicos e alguns polímeros

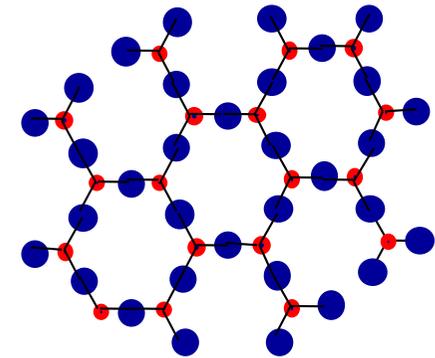
❖ Não cristalino (vítreo)

- ❖ Estruturas de **resfriamento rápido**
- ❖ Periodicidade de **curto** alcance
- ❖ Materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos

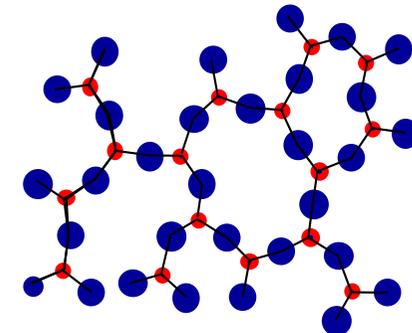
❖ Amorfo

- ❖ Estruturas **complexas**
- ❖ **Sem periodicidade** de curto ou longo alcance
- ❖ Materiais cerâmicos e poliméricos

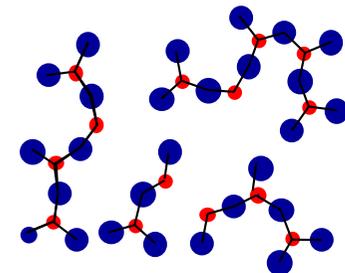
● Si ● Oxigênio



SiO₂ cristalino



SiO₂ vítreo



SiO₂ amorfo

Estrutura dos materiais

❖ Materiais cristalinos

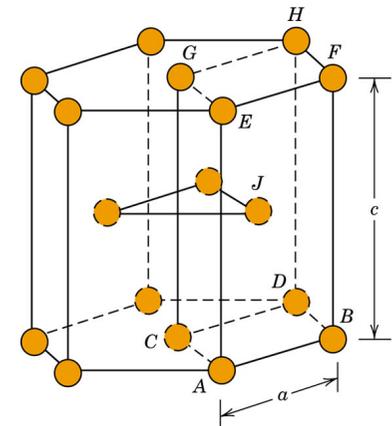
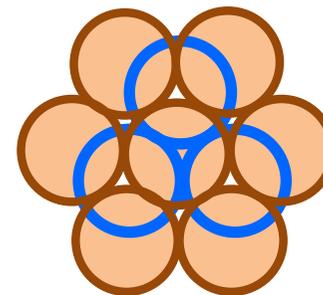
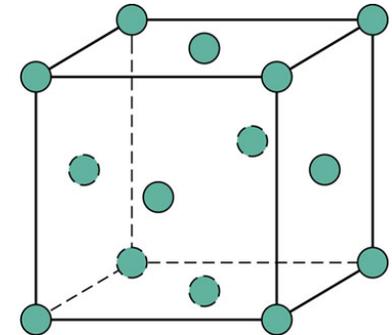
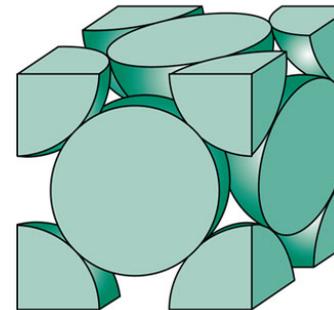
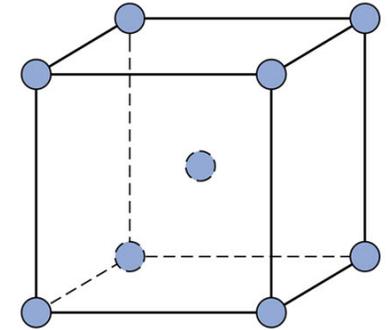
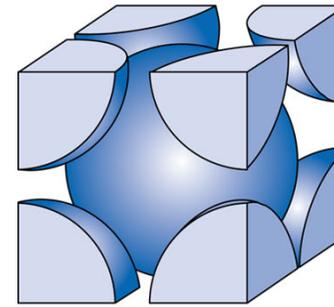
❖ Arranjos espaciais bem definidos

❖ Materiais metálicos

❖ Cúbica de corpo centrada (CCC)

❖ Cúbica de face centrada (CFC)

❖ Hexagonal compacta (HC)



Estrutura dos materiais

❖ Monocristal

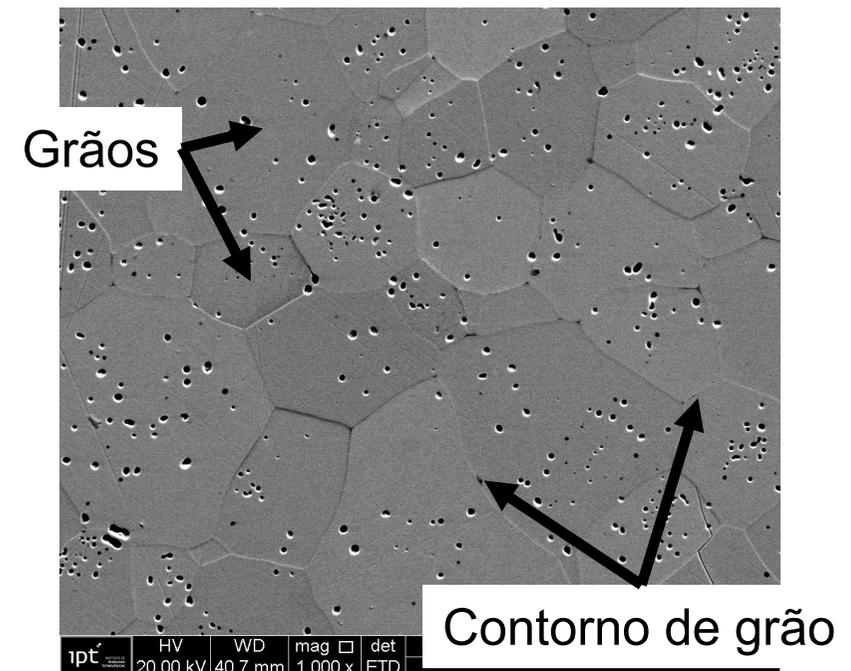
- ❖ Apresenta arranjo **periódico** e **repetição** de **longo alcance**
- ❖ **Formato** geométrico **regular**
- ❖ **Propriedades** dependem da **orientação**



<http://www.fabreminerals.com/> acessado em 03/2017

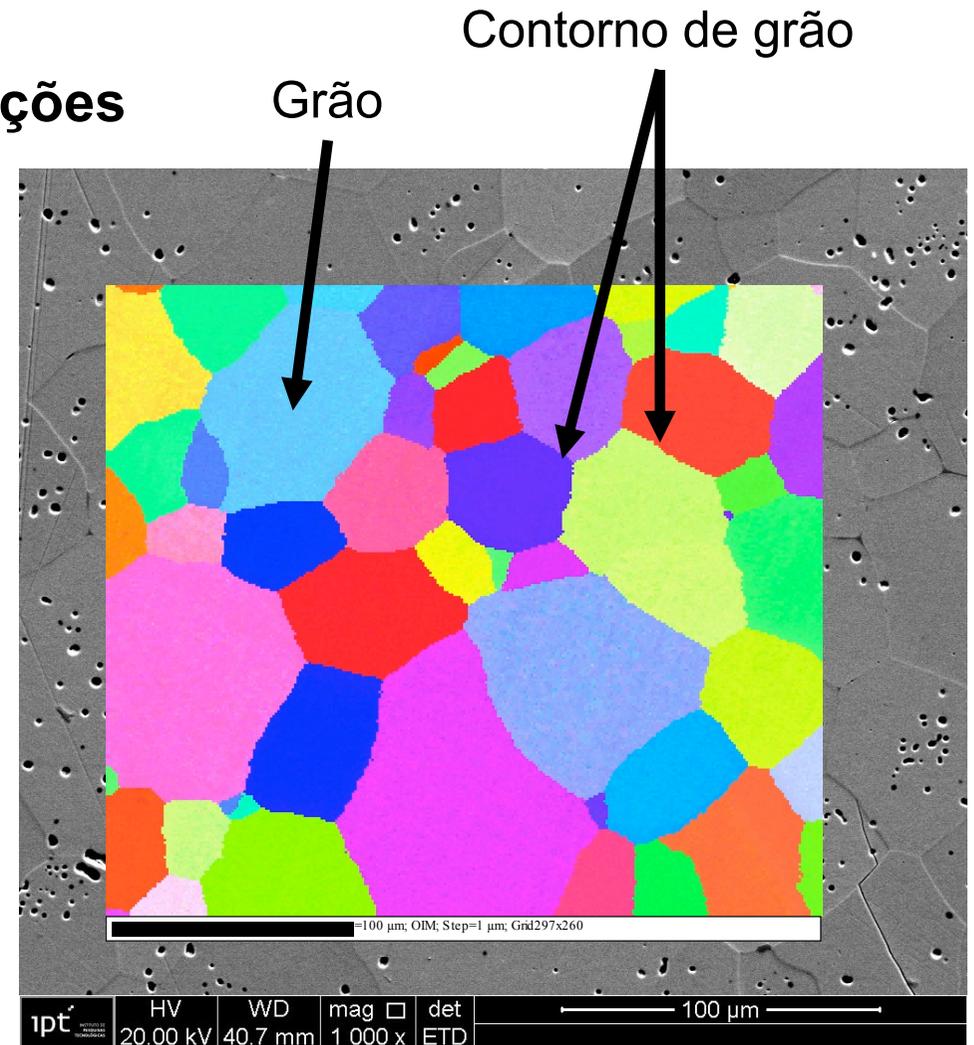
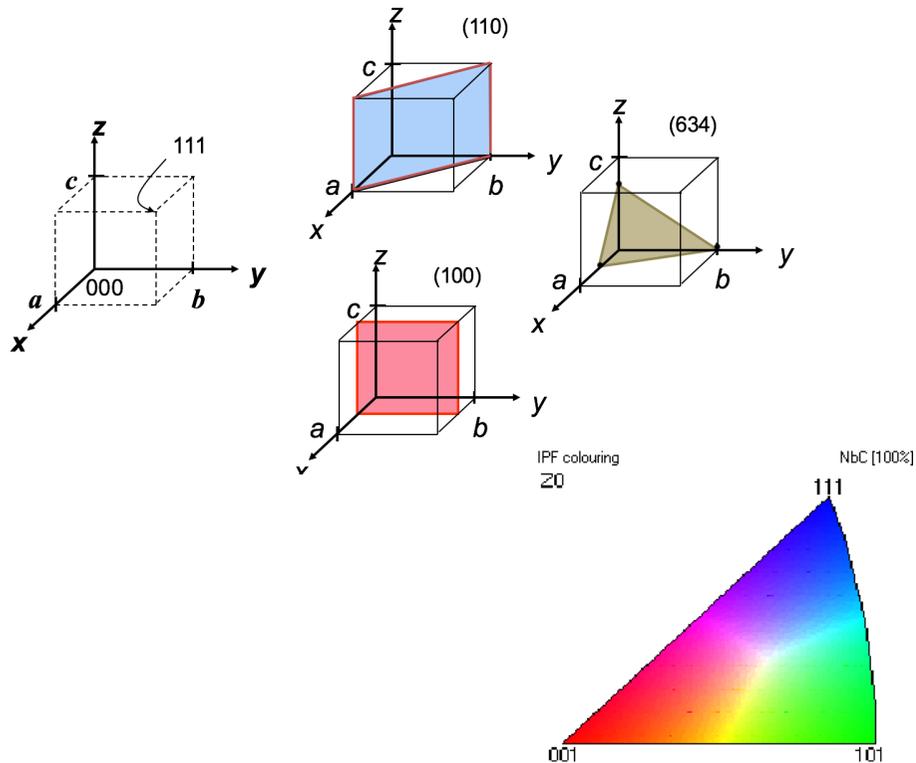
❖ Policristal

- ❖ **Aglomerado** de pequenos **monocristais** ou grãos
- ❖ Formação durante o processo de **solidificação/sinterização**
- ❖ Direções **aleatórias** induzem propriedades **isotrópicas**



Estrutura dos materiais

- ❖ Material policristalino
 - ❖ Carboneto de Nióbio cúbico
 - ❖ Sinterizado
 - ❖ Grãos com diferentes orientações

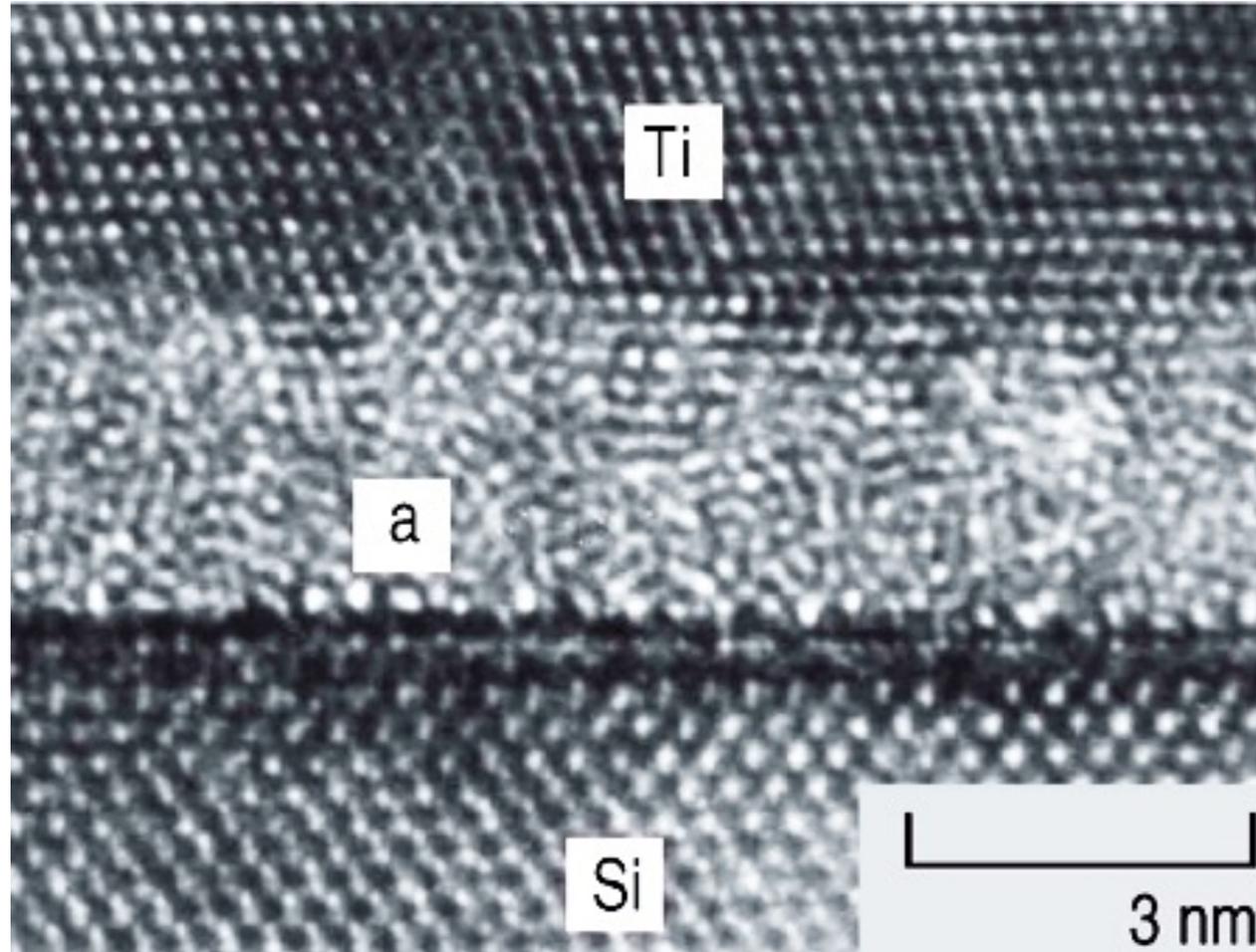




LFS

Estrutura dos materiais

❖ Materiais Cristalinos X Amorfos



<http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0509/chen-0509.html> acessado em 03/2017



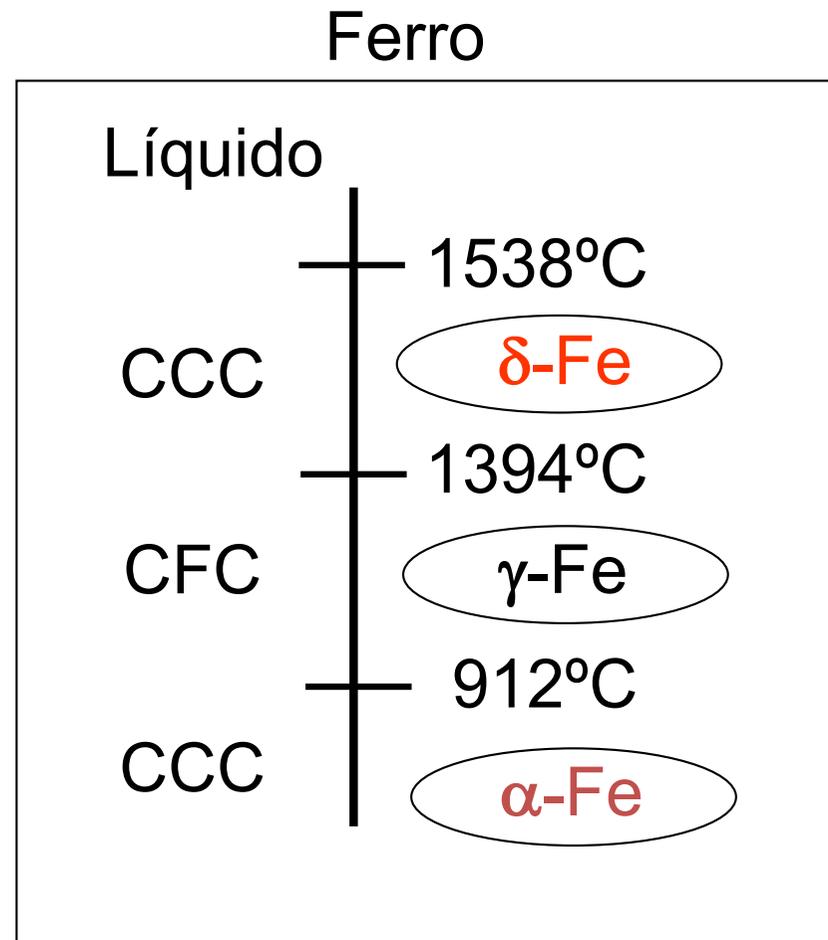
Estrutura dos materiais

❖ Alotropia ou Polimorfismo

- ❖ Mais de um arranjo possível para o mesmo elemento

Titânio
 α , β -Ti

Carbono
diamante, grafite

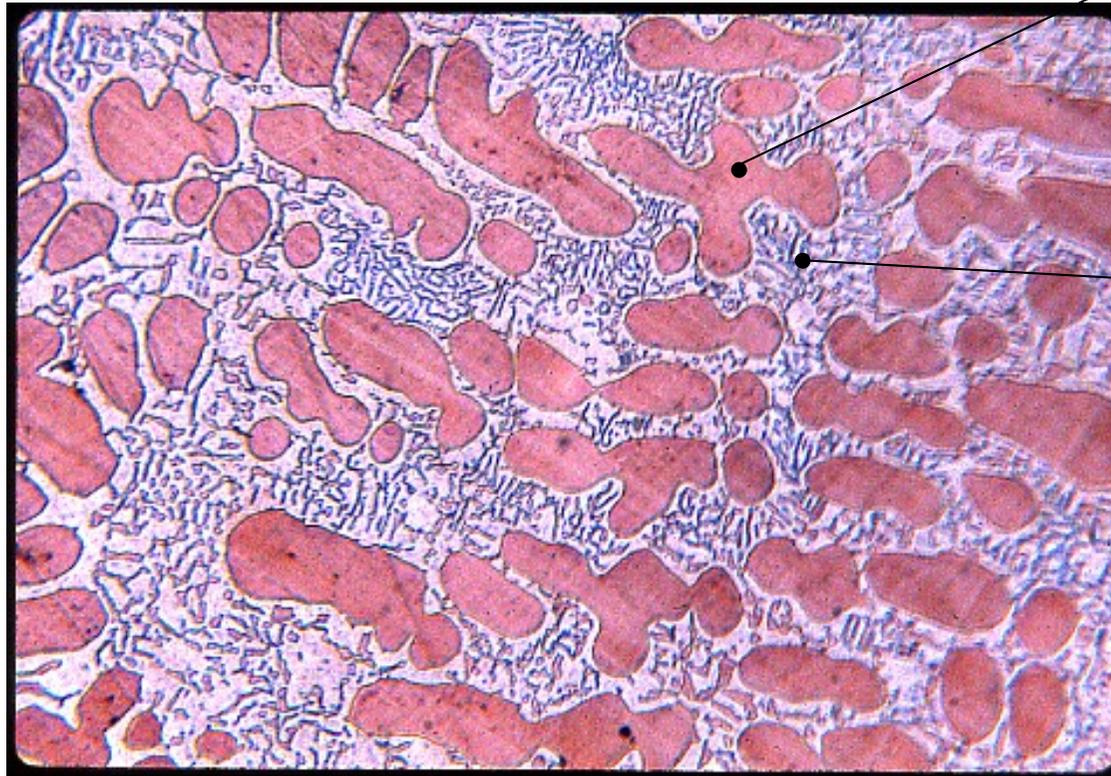




LFS

Diagrama de fases

❖ Microestrutura Cu-Ag



Área tipo 1

Fase – α

Cobre com solução
sólida de Ag

Área tipo 2

α (parte escura) +
 β (parte clara)

Duas fases α e β

Sistema
cobre-prata

50% **cobre** e 50% **prata**

Componentes

<http://www.georgesbasement.com/Microstructures/Unknowns/NonFerrous/Specimen03.htm>



Diagrama de fases

- ❖ Diagramas Pressão X Temperatura
 - ❖ Leis da termodinâmica
 - ❖ Energia livre de Gibbs
 - ❖ Componentes fixos

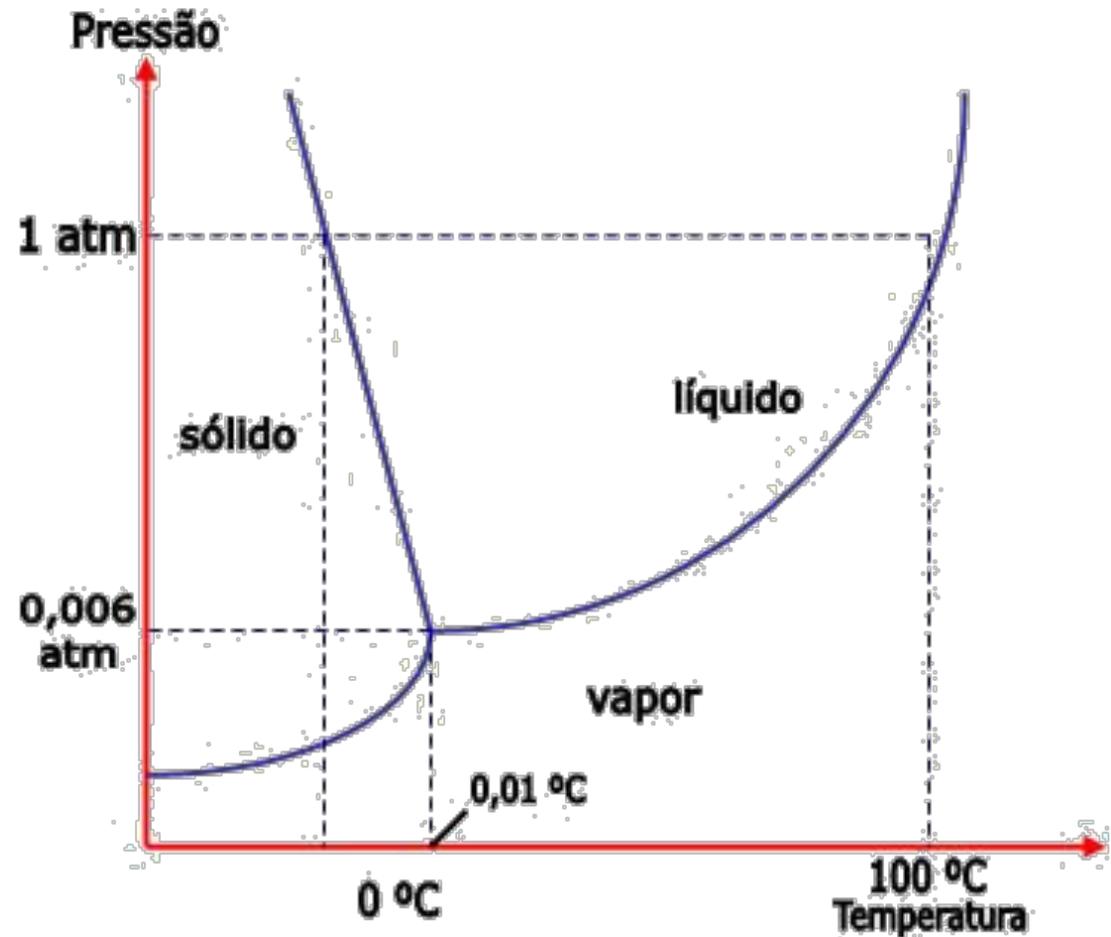




Diagrama de fases

❖ Diagramas Pressão X Temperatura

❖ Leis da termodinâmica

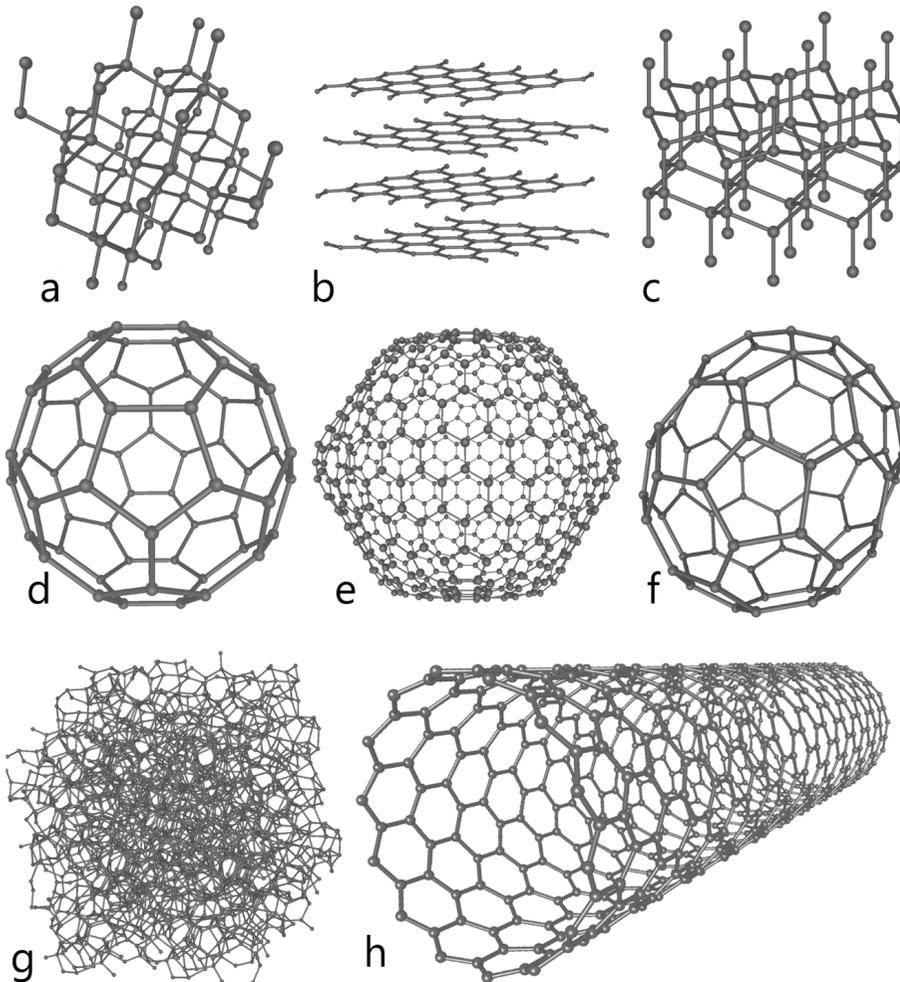
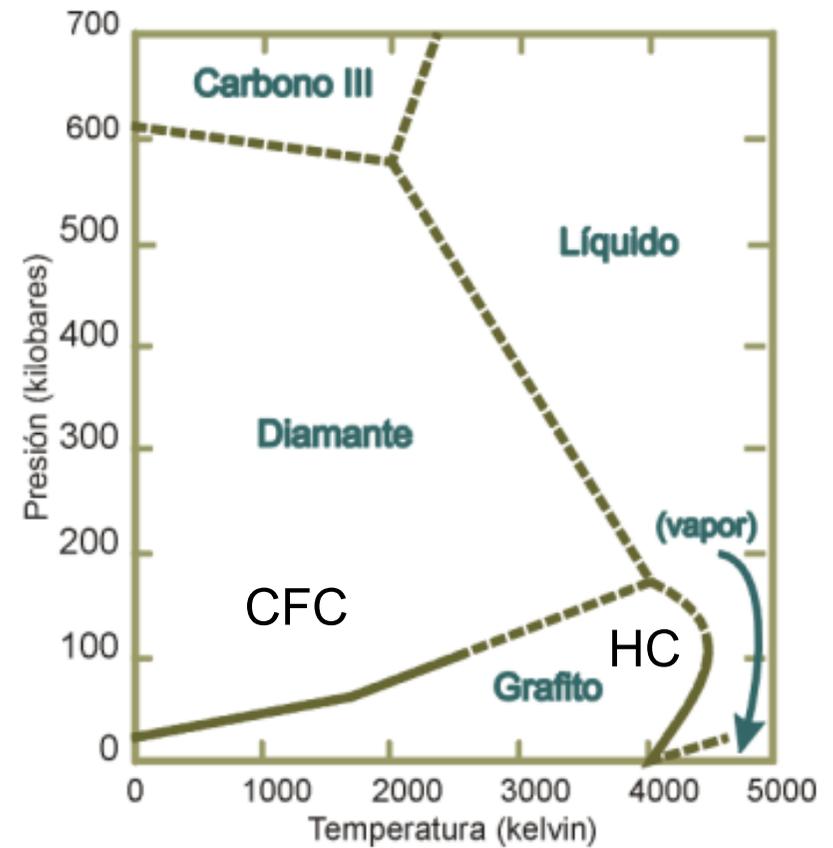


Diagrama do sistema carbono



http://www2.uned.es/cristamine/mineral/quimica/quim_term_diag.htm



LFS

Diagrama de fases

- ❖ Consideração do eixo de composição
 - ❖ Múltiplos componentes
 - ❖ Pressão constante

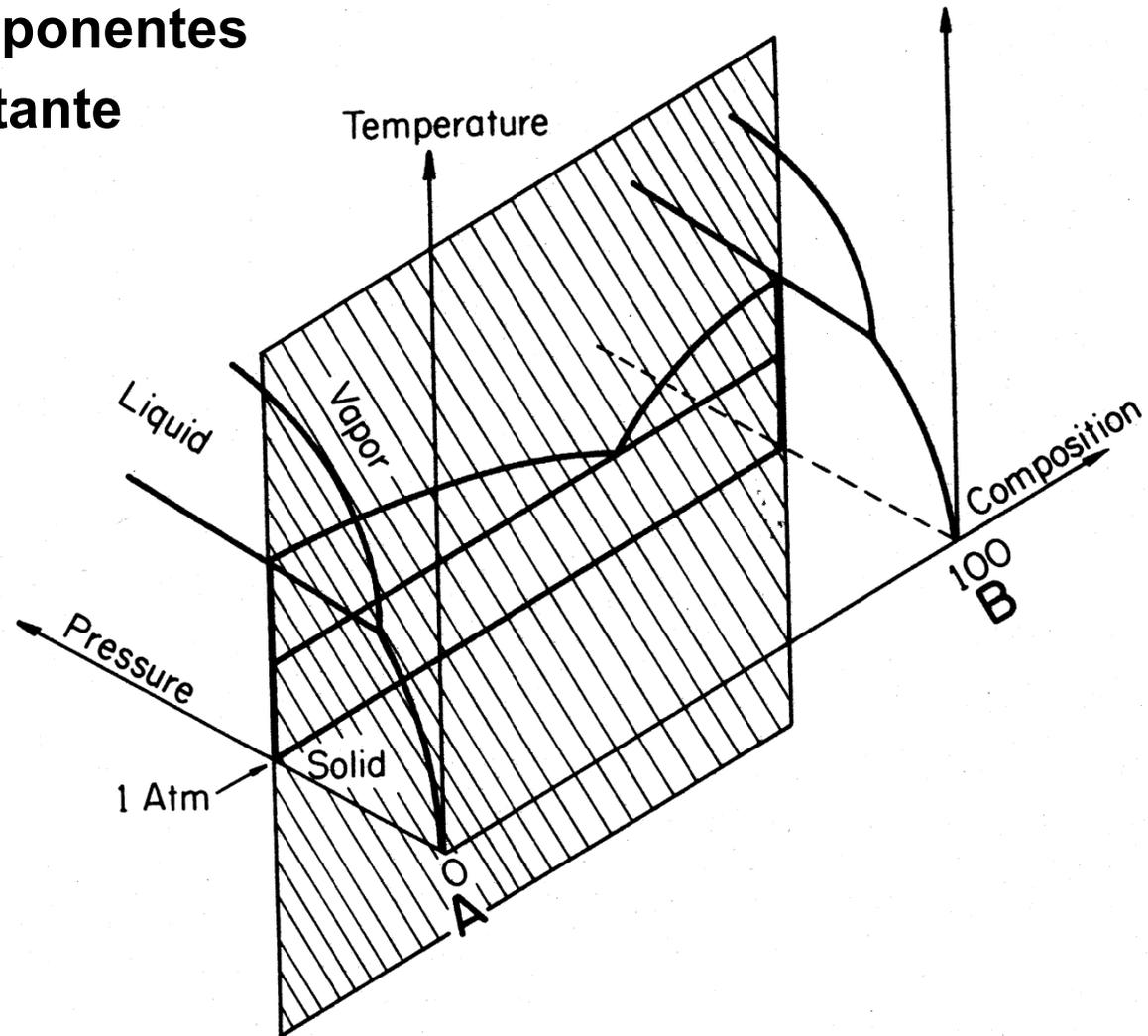




Diagrama de fases

❖ Sistema Cobre-Níquel

- ❖ 2 componentes
- ❖ Fase α – solubilidade completa
- ❖ Linha liquidus
- ❖ Linha solidus
- ❖ Utilizado para
 - ❖ Definir a concentração dos componentes
 - ❖ Definir as fases de uma liga

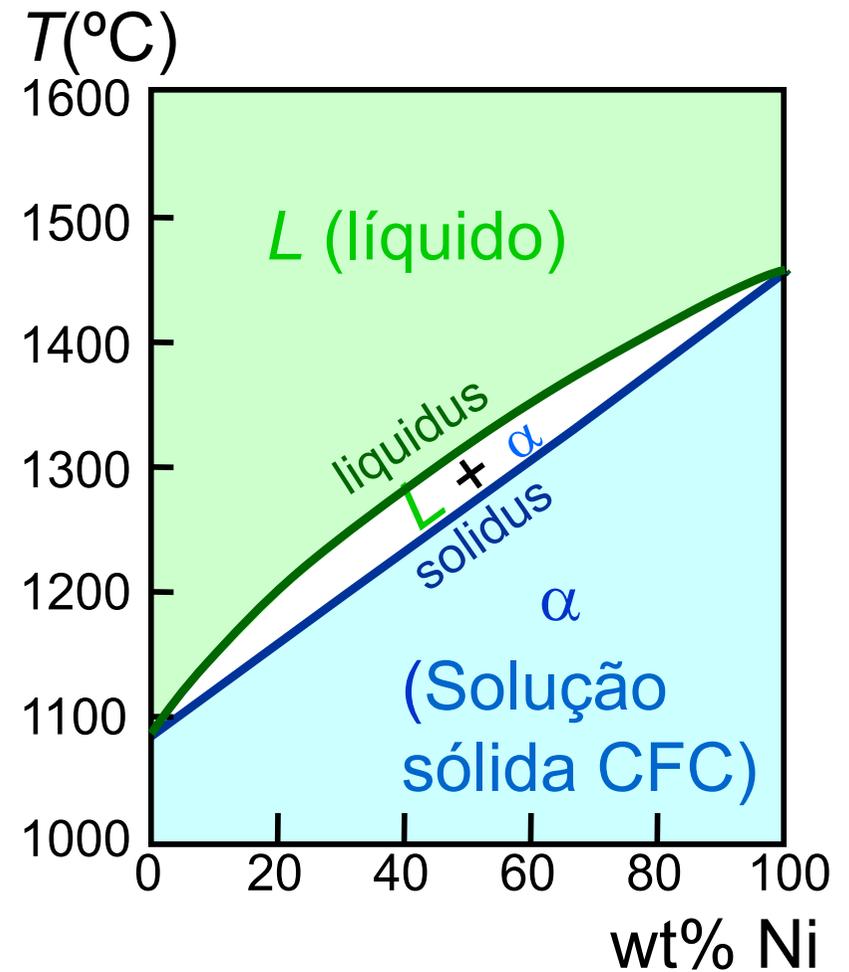
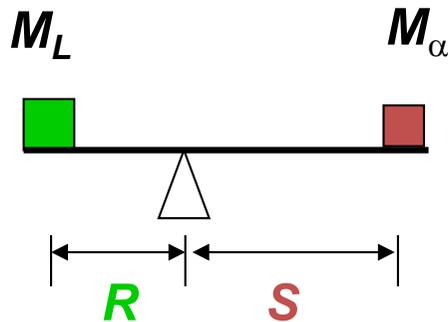




Diagrama de fases

- ❖ Sistema Cobre-Níquel
- ❖ Resfriamento em equilíbrio
- ❖ Composição e fração mássica em C?



$$W_L = \frac{M_L}{M_L + M_\alpha} = \frac{S}{R + S} = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}$$

Substituir $M_L = M_\alpha S/R$

$$W_\alpha = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

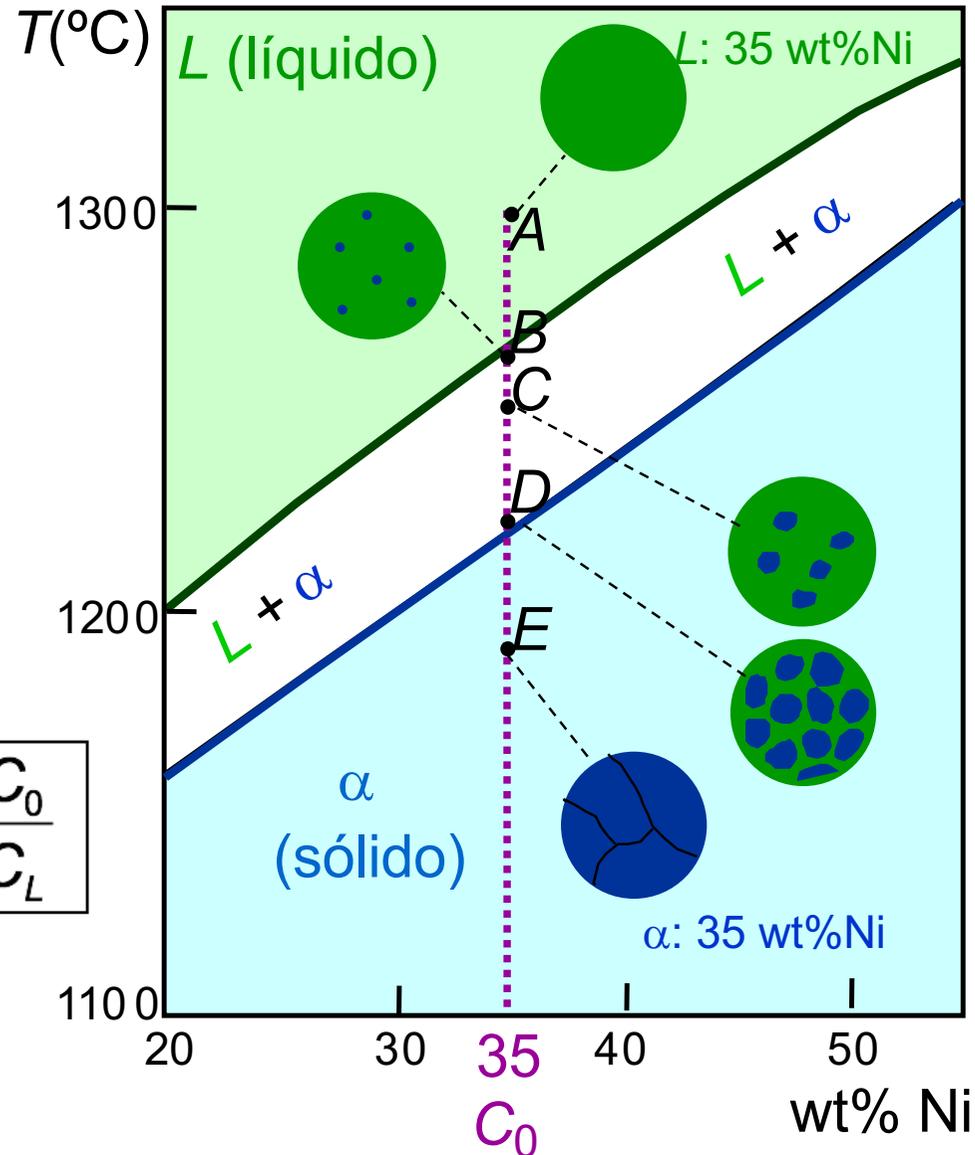




Diagrama Isomorfo Binário

- ❖ Sistema Cobre-Níquel
- ❖ Composição em C?

Considere $C_0 = 35 \text{ wt\% Ni}$

Em $T_A = 1320^\circ\text{C}$:

Só Líquido (L) presente

$C_L = C_0$ (= 35 wt% Ni)

Em $T_D = 1190^\circ\text{C}$:

Só Sólido (α) presente

$C_\alpha = C_0$ (= 35 wt% Ni)

Em $T_C = 1250^\circ\text{C}$:

α e L presentes

$C_L = C_{\text{liquidus}}$ (= 32 wt% Ni)

$C_\alpha = C_{\text{solidus}}$ (= 43 wt% Ni)

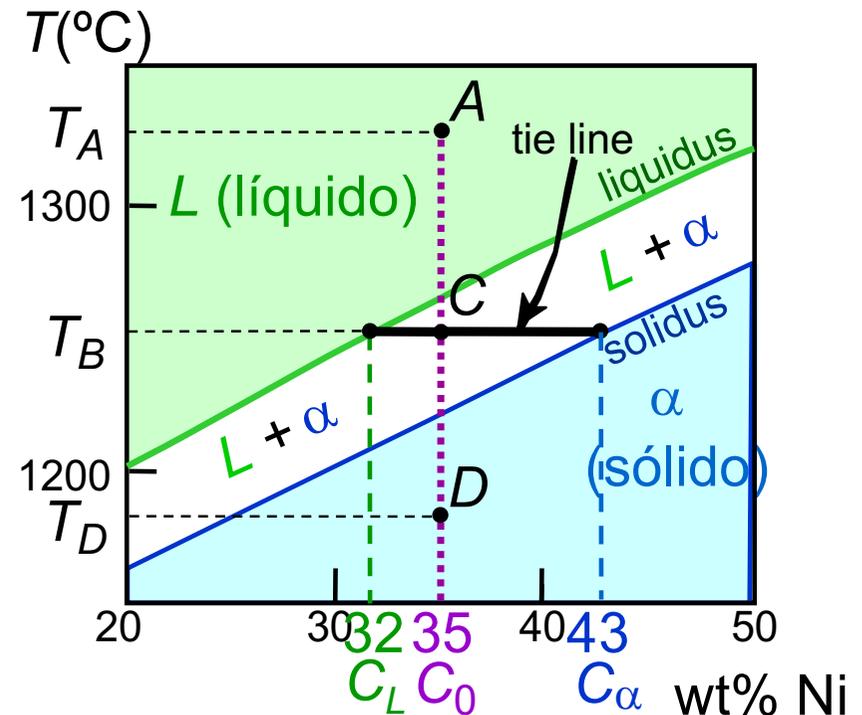




Diagrama Isomorfo Binário

- ❖ Sistema Cobre-Níquel
- ❖ Fração mássica em C?

Considere $C_0 = 35 \text{ wt\% Ni}$

Em T_A : Só Líquido (L) presente

$$W_L = 1.00, W_\alpha = 0$$

Em T_D : Só Sólido (α) presente

$$W_L = 0, W_\alpha = 1.00$$

Em T_C : α e L present

$$W_L = \frac{S}{R+S} = \frac{43 - 35}{43 - 32} = 0.73$$

$$W_\alpha = \frac{R}{R+S} = 0.27$$

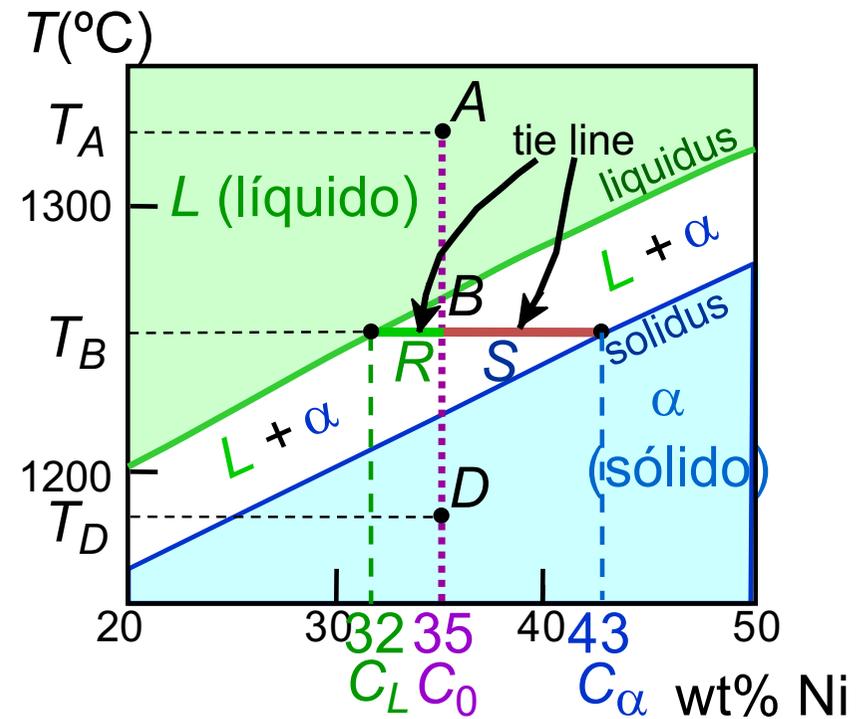




Diagrama Isomorfo Binário

❖ Sistema Cobre-Níquel

- ❖ Resfriamento em equilíbrio
- ❖ Composição das fases durante o resfriamento

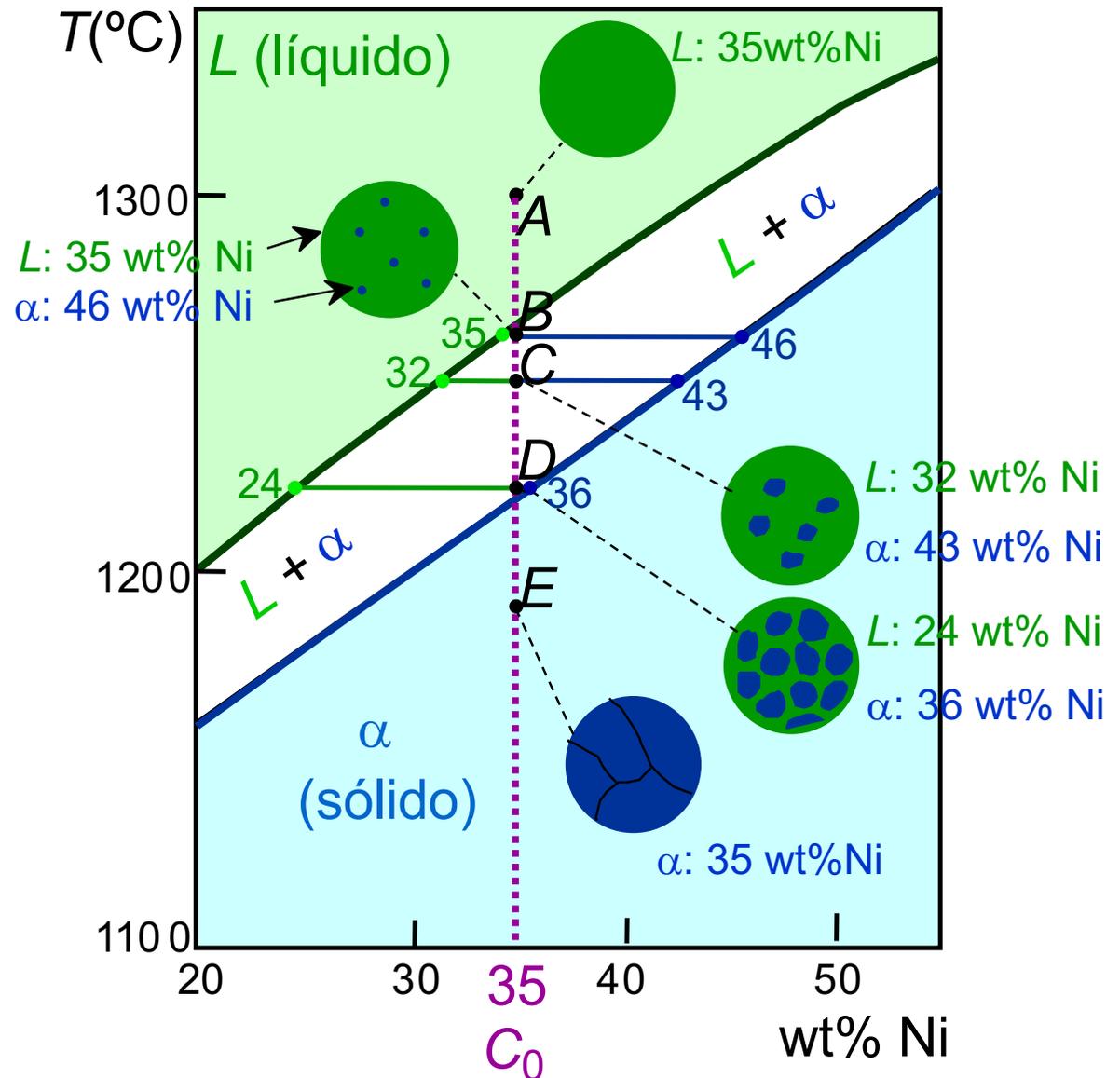
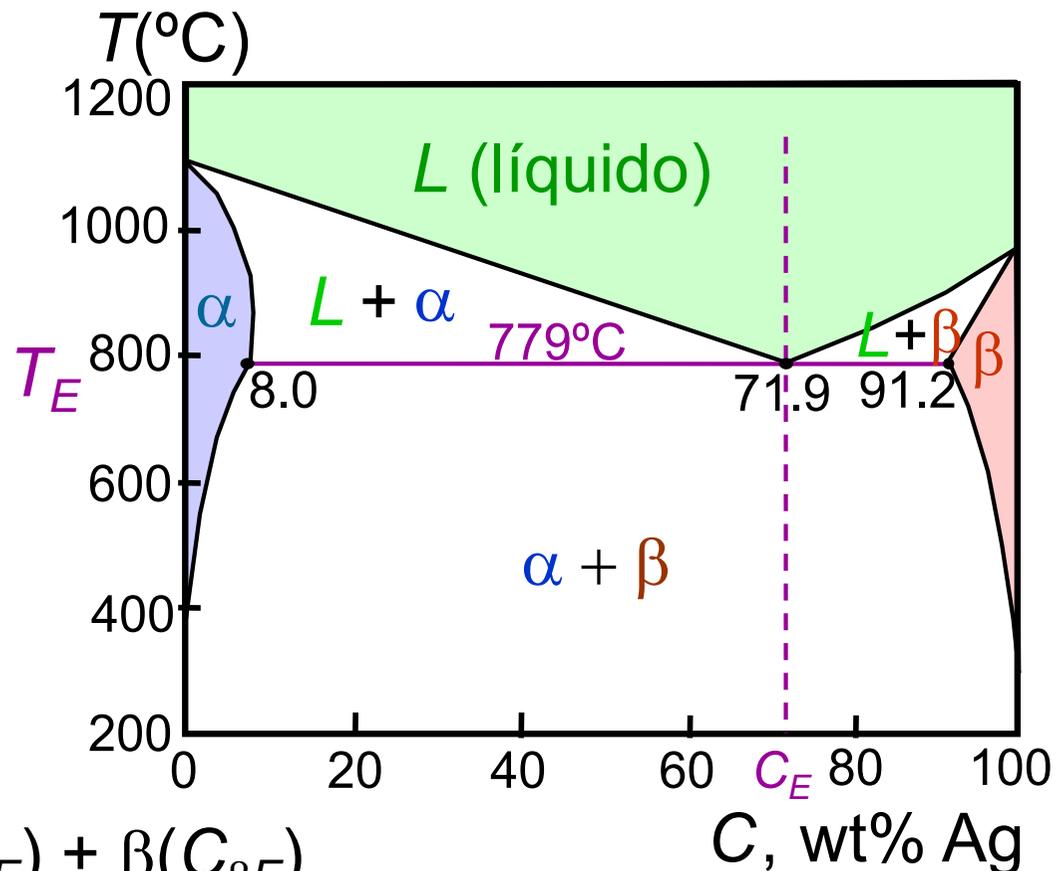




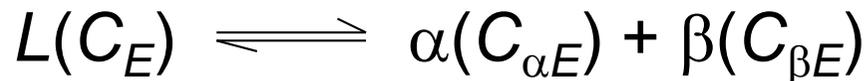
Diagrama Eutético Binário

❖ Sistema Cobre-Prata

- 3 regiões de uma fase (L , α , β)
- **Limite de solubilidade:**
 - α : Rica em cobre
 - β : Rica em prata
- T_E : Sem líquido $T < T_E$
- C_E : Composição na temperatura T_E



• **Reação Eutética**





EX 1: Sistema Eutético Chumbo-Estanho

❖ Sistema Cobre-Prata

❖ Para liga com 50 wt% Sn-50 wt% Pb a 600°C, determine:

❖ as fases presentes: α e β

❖ a composição:

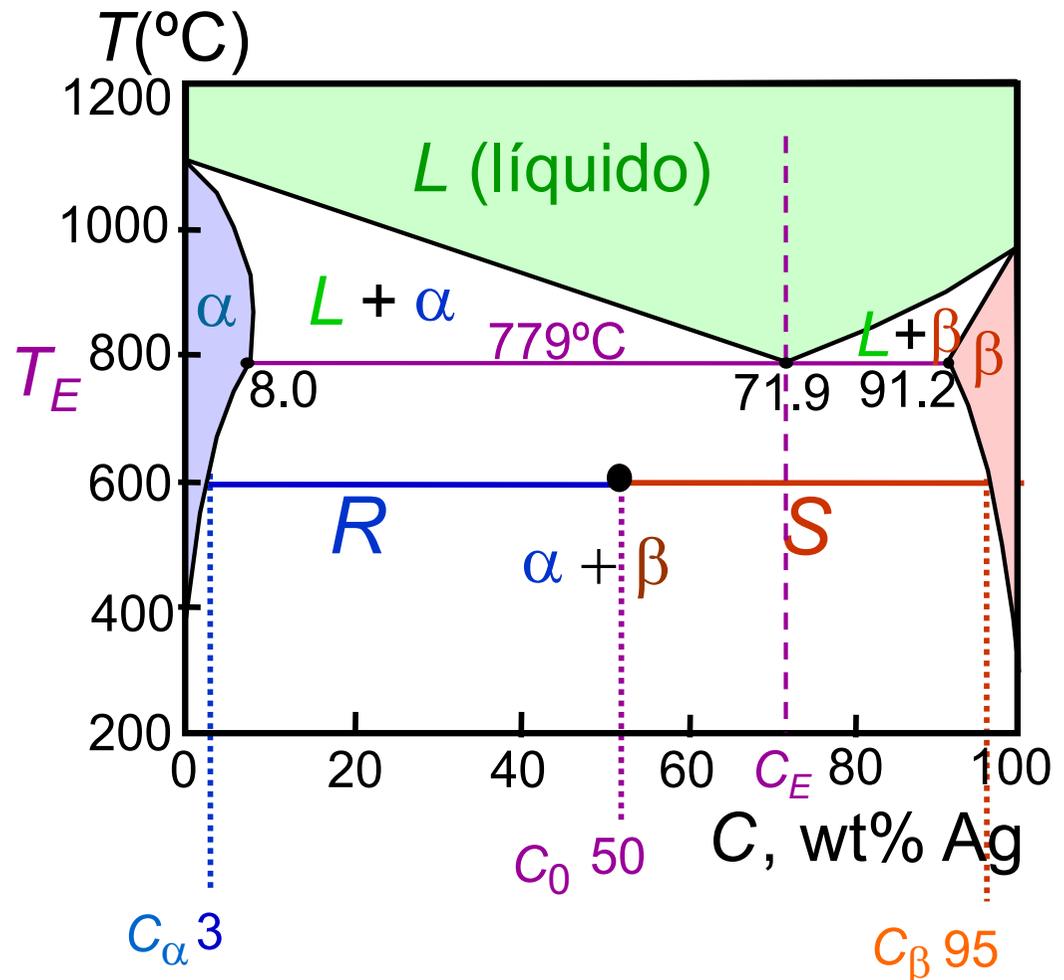
$$C_{\alpha} = 3 \text{ wt\% Ag}$$

$$C_{\beta} = 95 \text{ wt\% Ag}$$

❖ a fração mássica

$$W_{\alpha} = \frac{S}{R+S} = \frac{C_{\beta} - C_0}{C_{\beta} - C_{\alpha}}$$
$$= \frac{95 - 50}{95 - 3} = \frac{45}{92} = 0.49$$

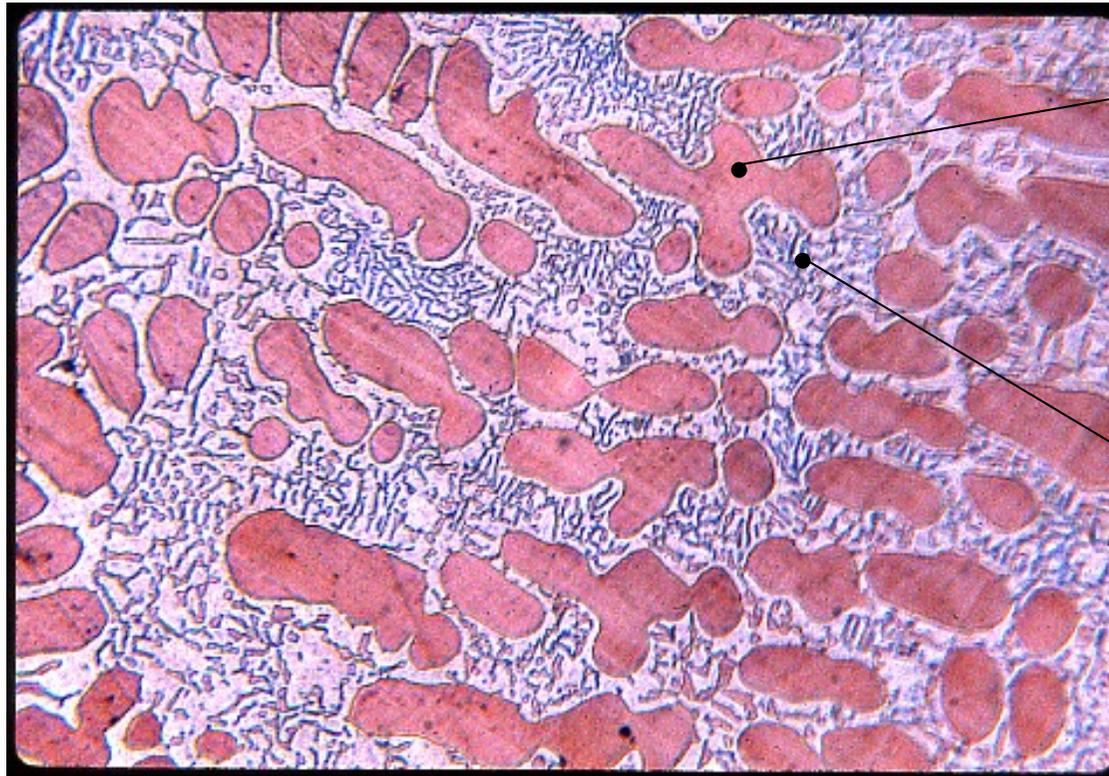
$$W_{\beta} = \frac{R}{R+S} = \frac{C_0 - C_{\alpha}}{C_{\beta} - C_{\alpha}}$$
$$= \frac{50 - 3}{95 - 3} = \frac{47}{92} = 0.51$$





Microestruturas em Sistemas Eutéticos

❖ Sistema Cobre – Prata



Área tipo 1

Fase – α

Cobre com solução
sólida de Ag

Área tipo 2

α (parte escura) +
 β (parte clara)

Duas fases α e β

50% cobre e 50% prata

<http://www.georgesbasement.com/Microstructures/Unknowns/NonFerrous/Specimen03.htm>



Diagrama de fases

- ❖ Diagramas X estrutura cristalina
 - ❖ Diagrama da Zirconia ou ZrO_2

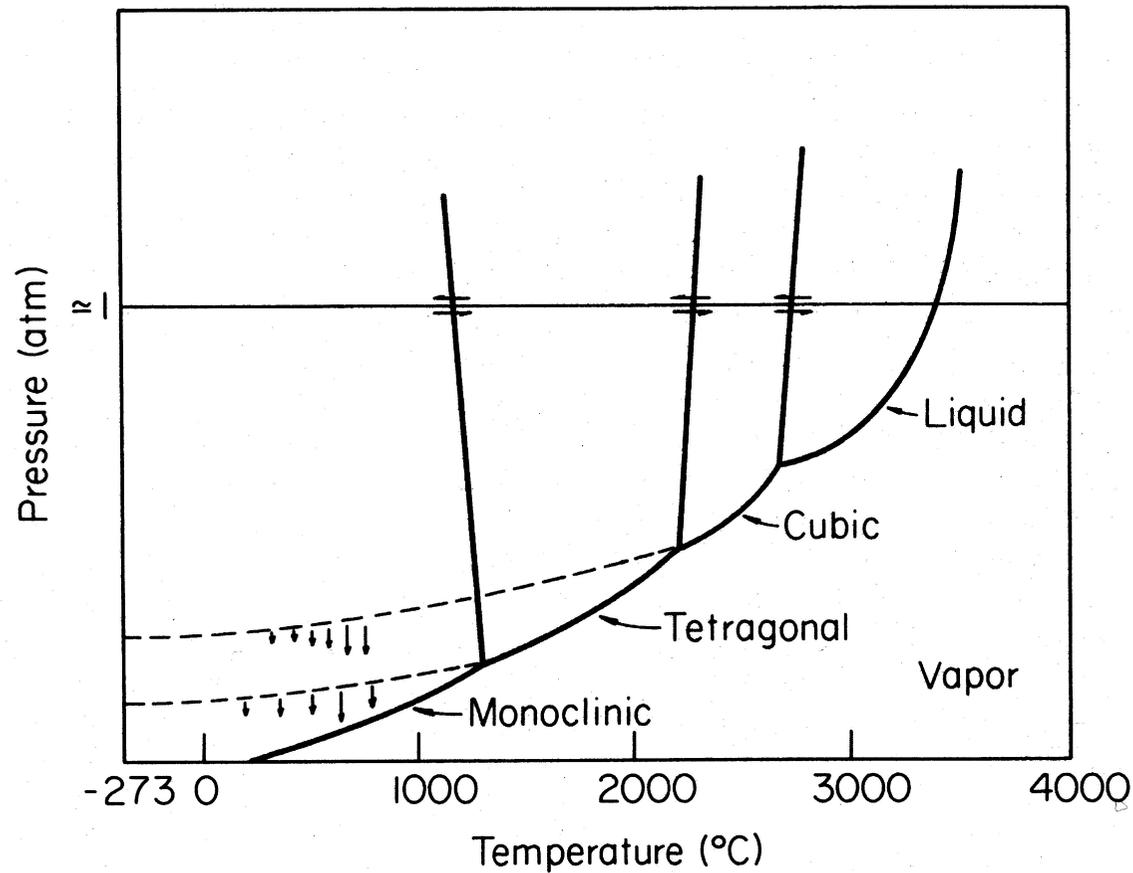
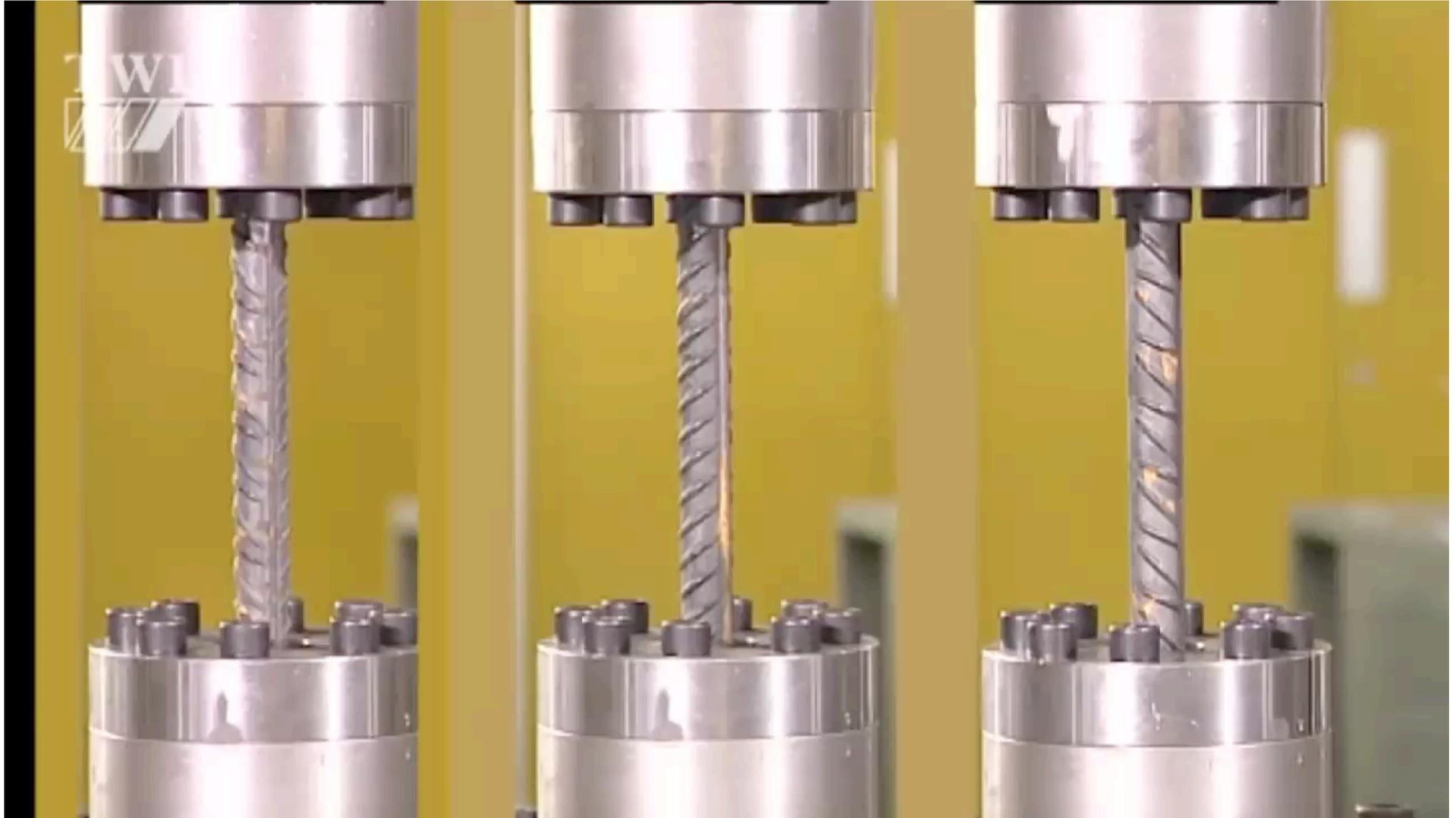


Fig. 2.10. Proposed diagram for system ZrO_2 (after R. Ruh and T. J. Rockett, *J. Am. Ceram. Soc.*, **53** [6] 360 (1970)).



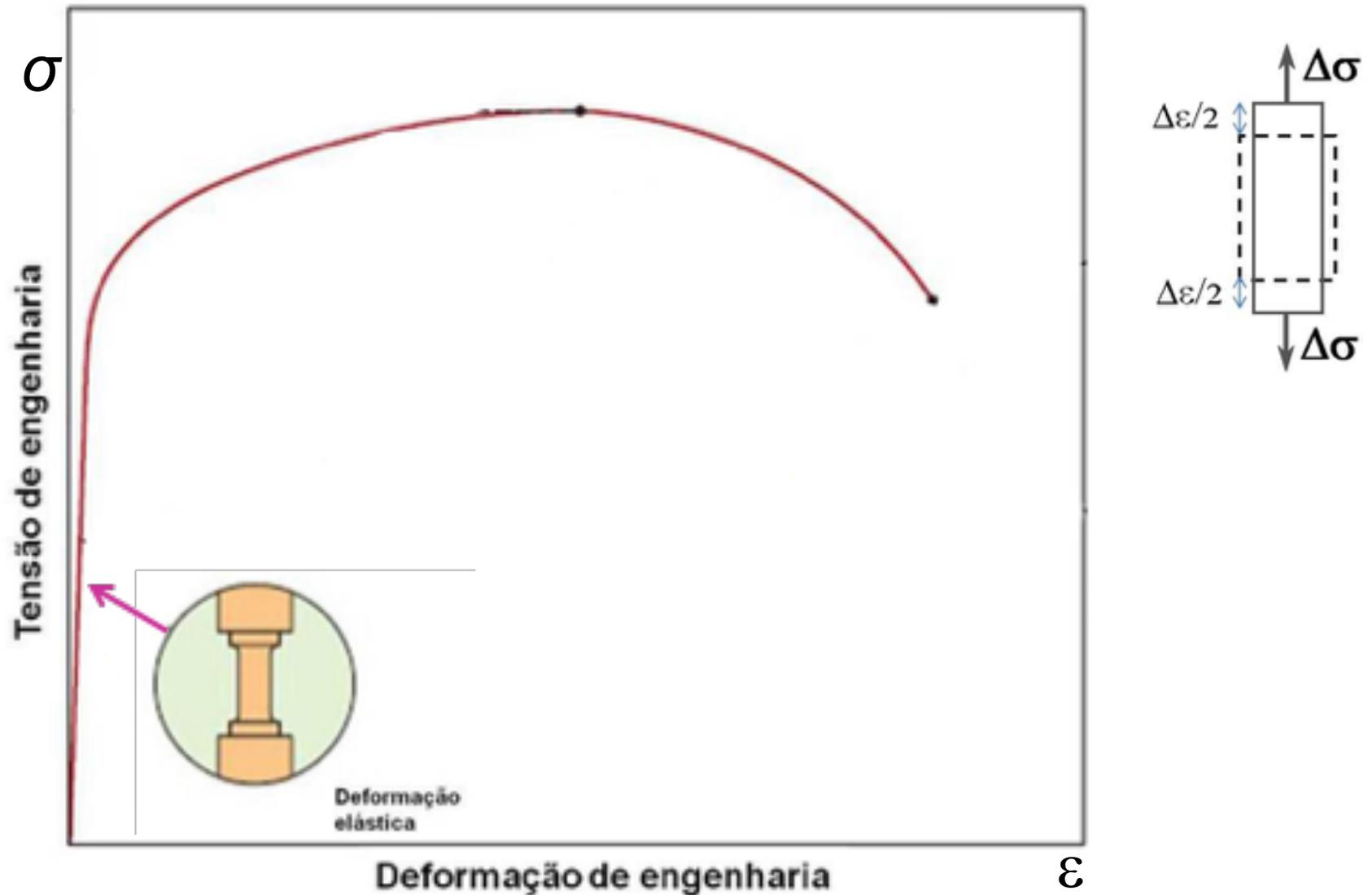
Propriedades mecânicas



https://youtu.be/ru8zXGoVRDk?list=PLTqbs6ghIP55vF37JG0Hy_kHamNYXklhU

Propriedades mecânicas

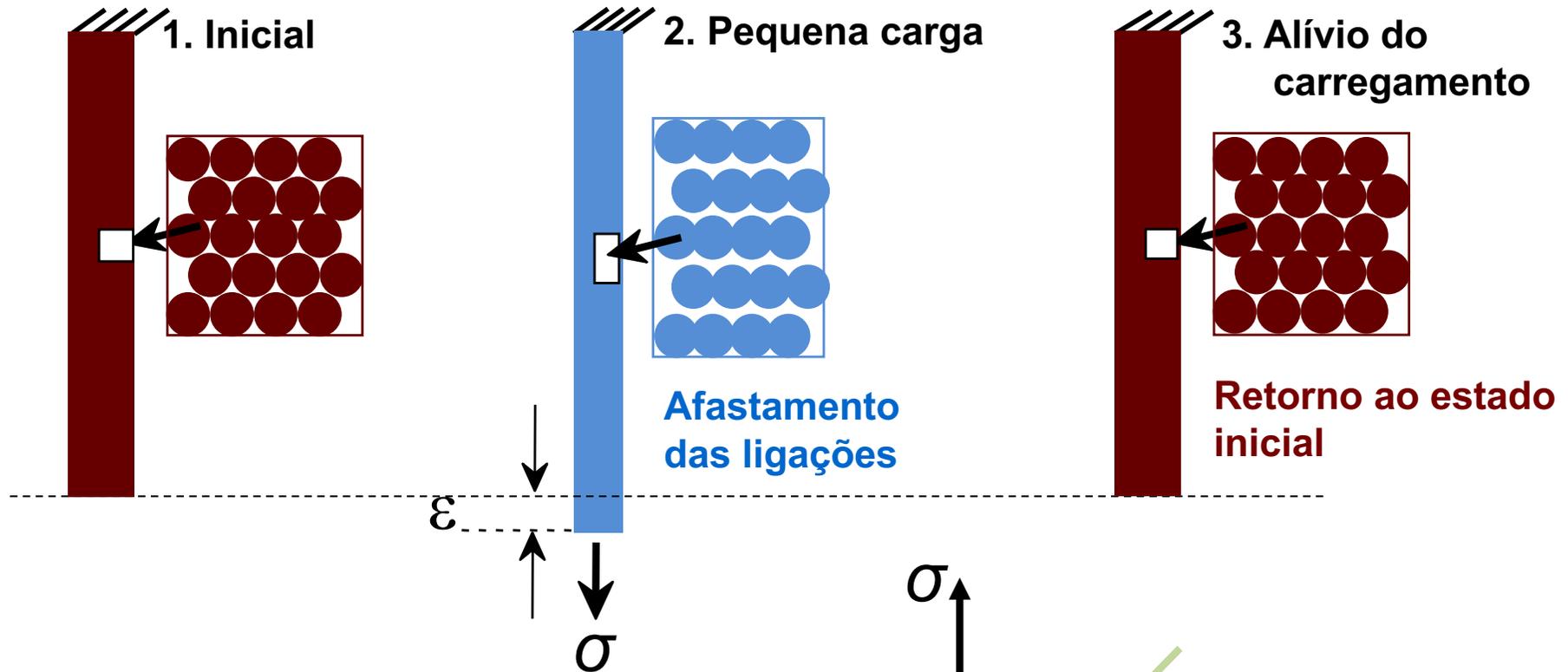
❖ Curva Tensão x Deformação



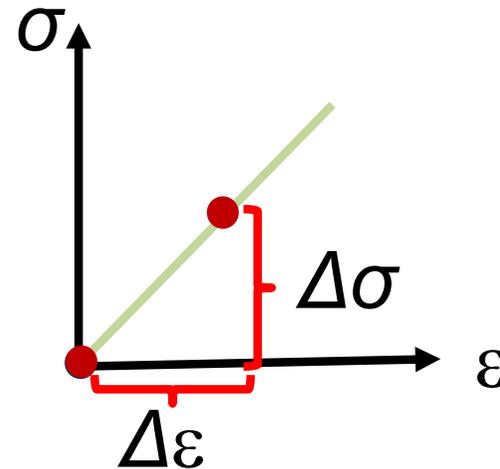


Propriedades mecânicas

❖ Propriedades elásticas

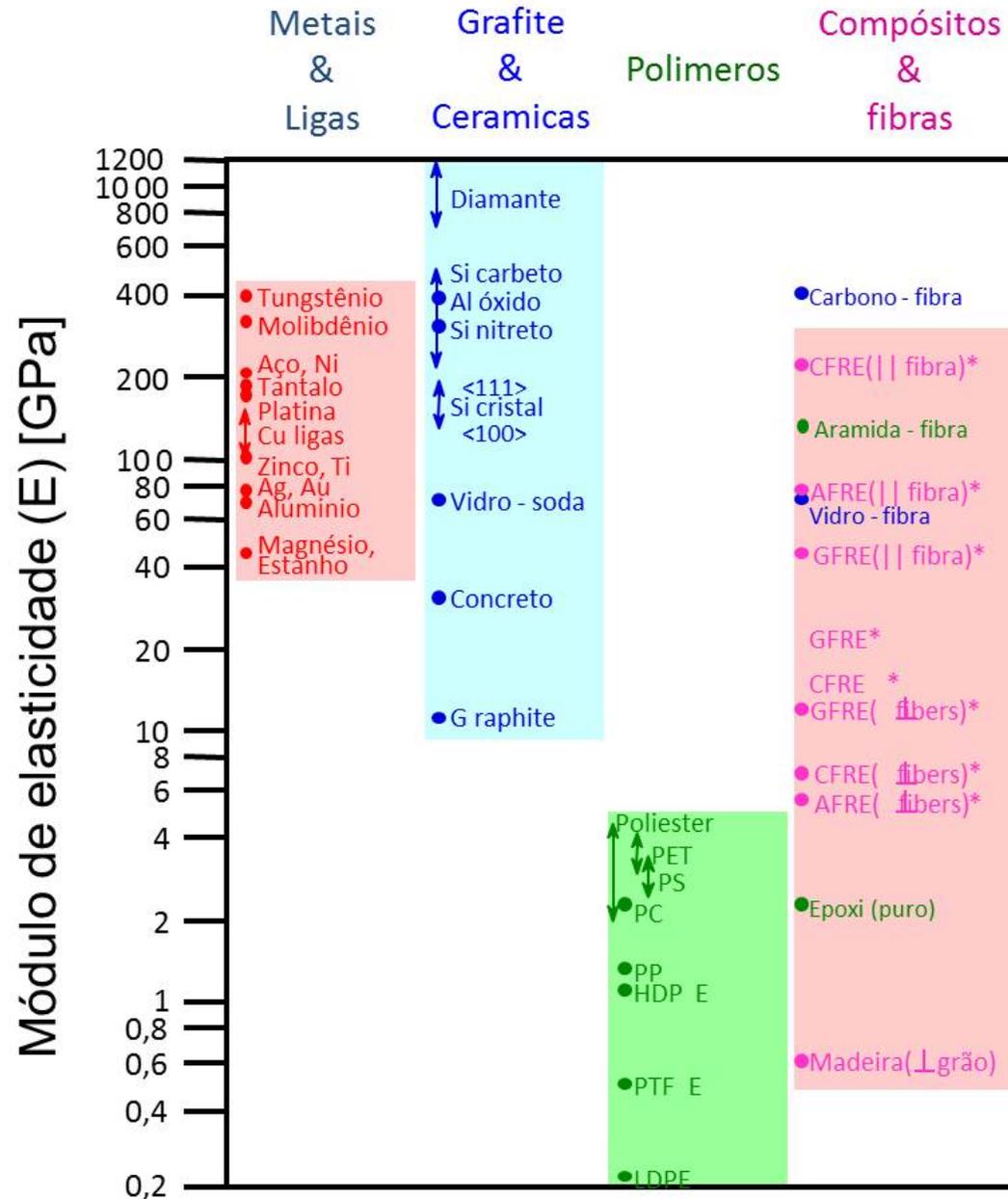


Elástico significa **reversível!**





Propriedades mecânicas



Dados baseados em compósitos com 60 % em volume de resina epóxi

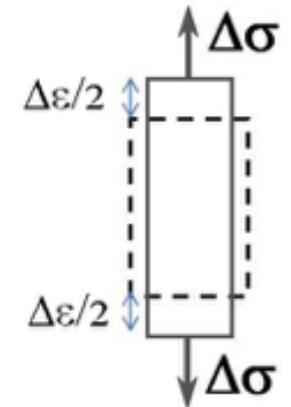
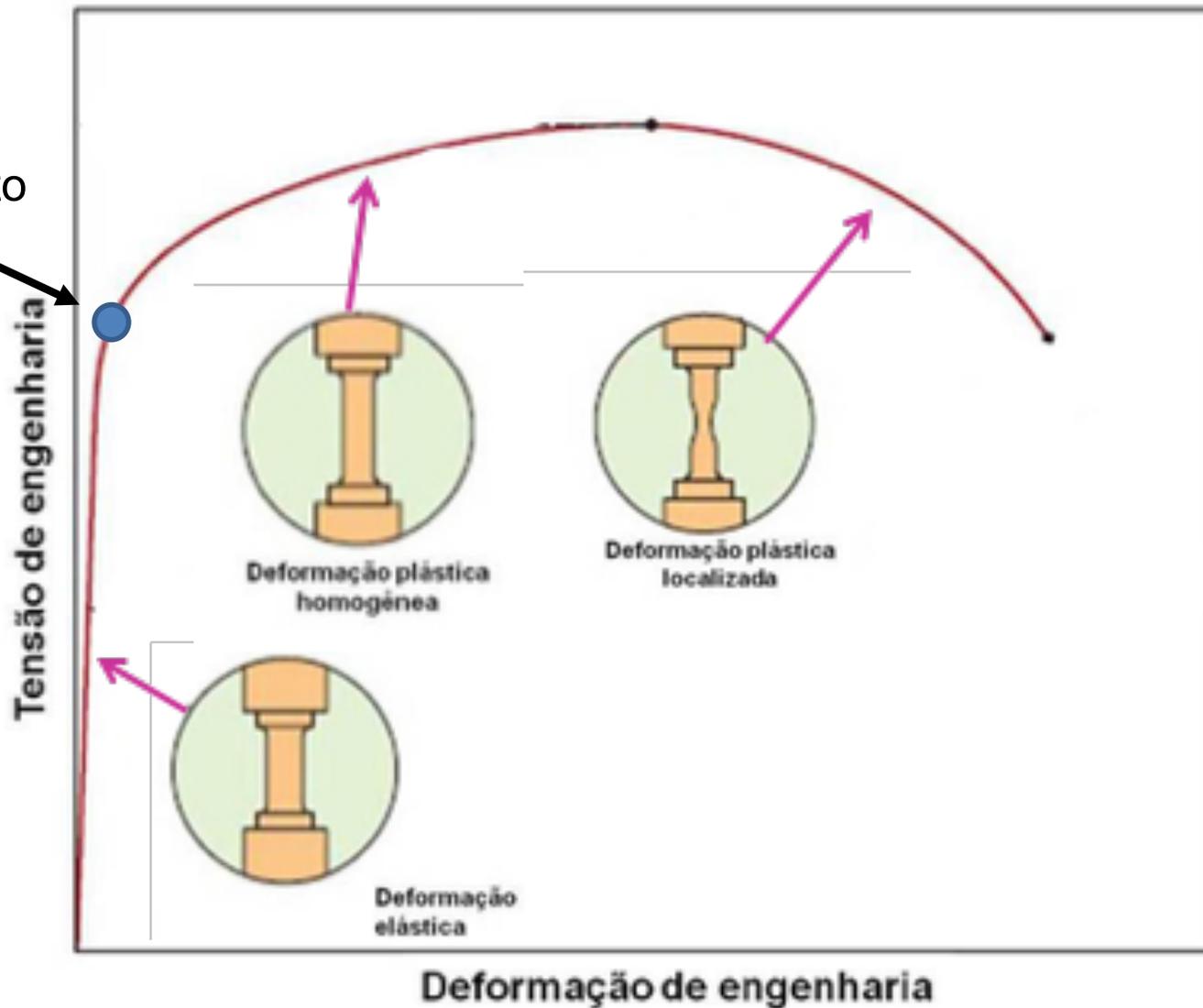


LFS

Propriedades mecânicas

❖ Curva Tensão x Deformação

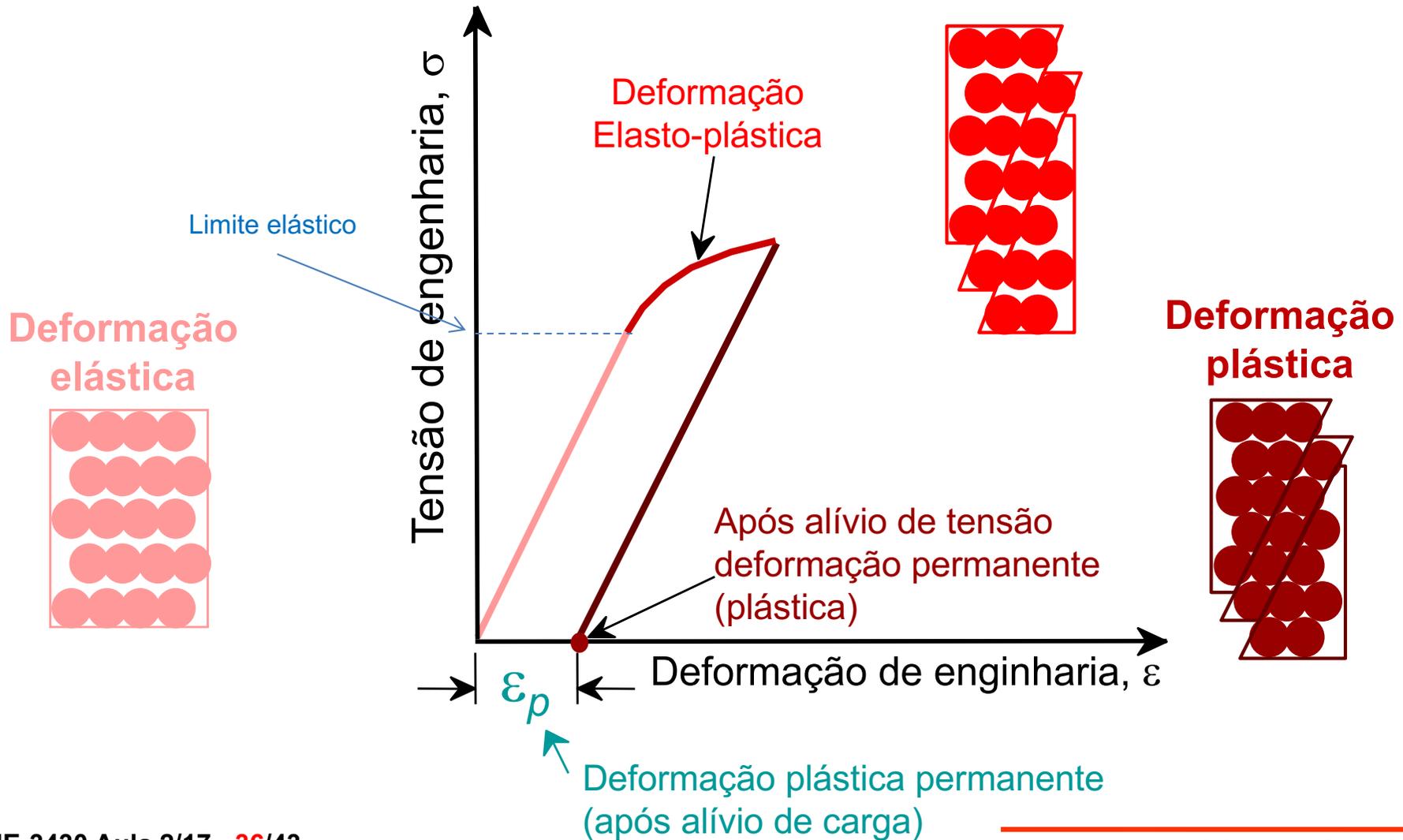
Limite de escoamento





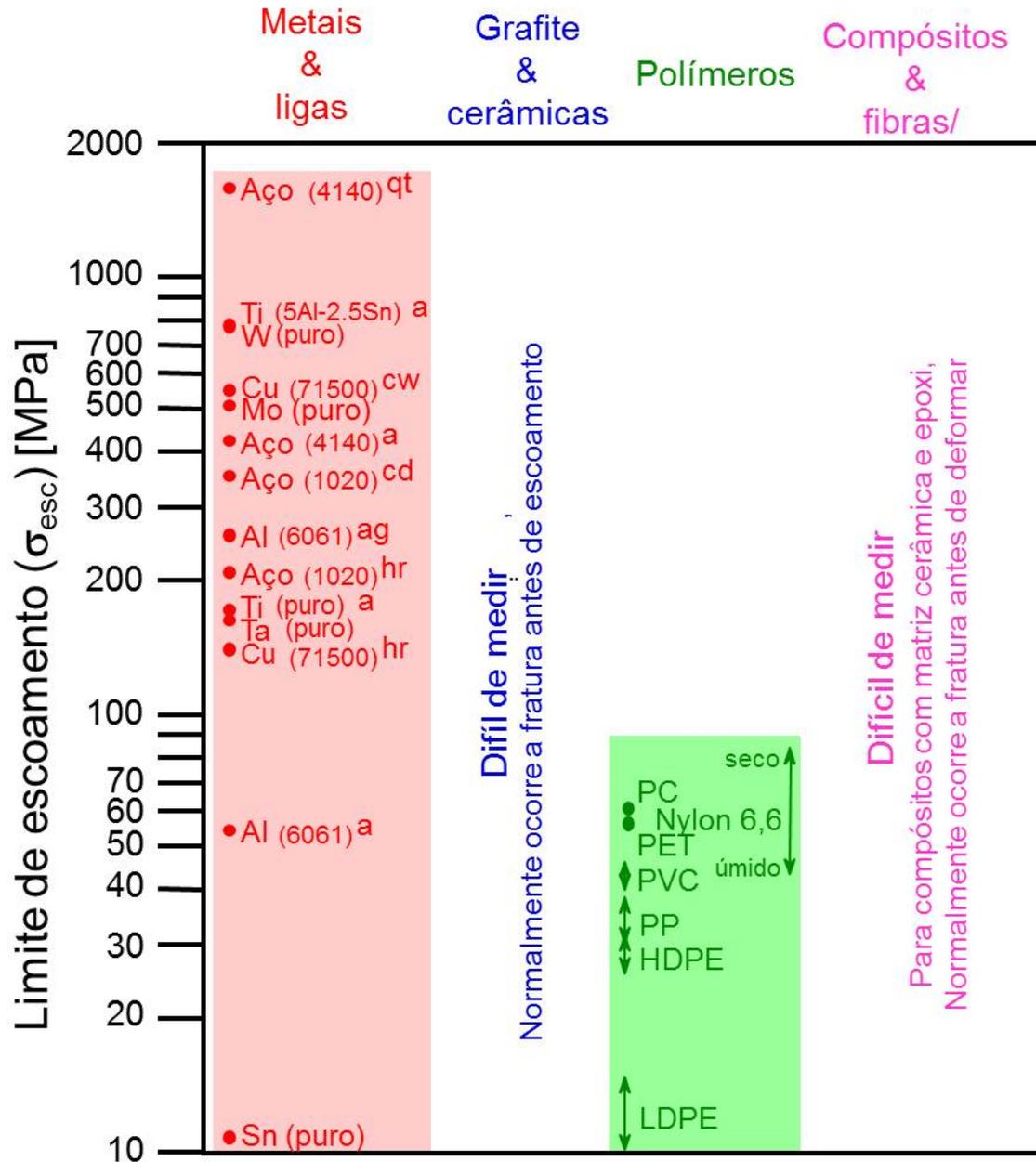
Propriedades mecânicas

- ❖ Deformação plástica em monocristal
- ❖ Temperatura ambiente





Tipos de materiais – Limite de Escoamento



Valores a temperatura ambiente

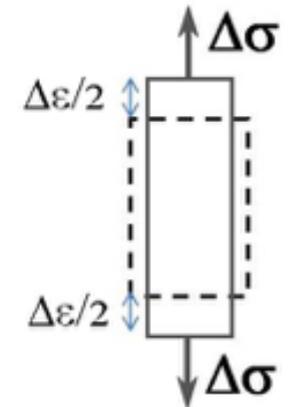
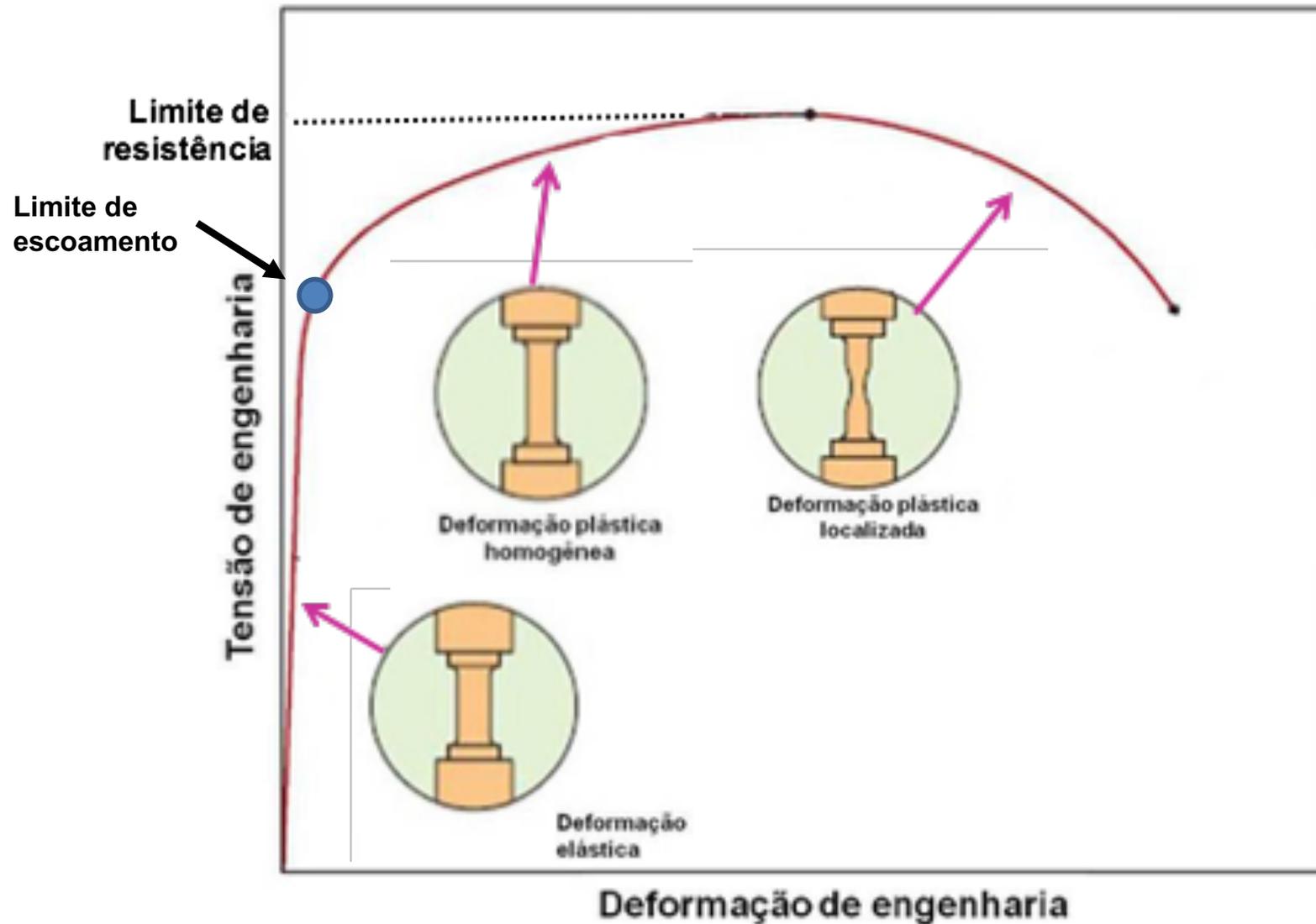
- a = recozido
- hr = laminado a quente
- ag = envelhecido
- cd = estampado a frio
- cw = deformado a frio
- qt = temperado & revenido



LFS

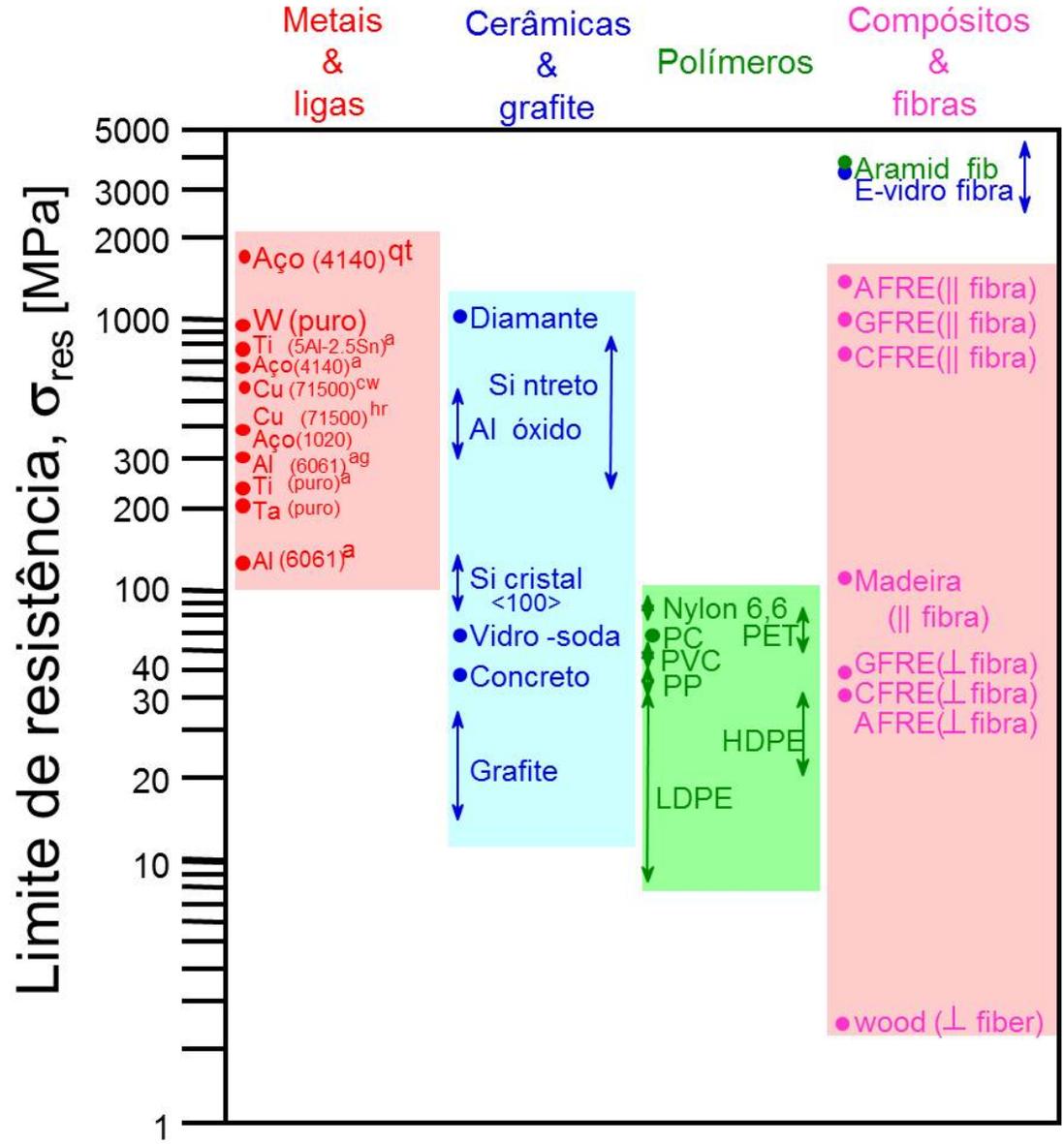
Propriedades mecânicas

❖ Curva Tensão x Deformação





Tipos de materiais – Limite de Resistência



Valores a temperatura ambiente

- a = recozido
- hr = laminado a quente
- ag = envelhecido
- cd = deformado a frio
- cw = trabalhado a frio
- qt = quenched & tempered

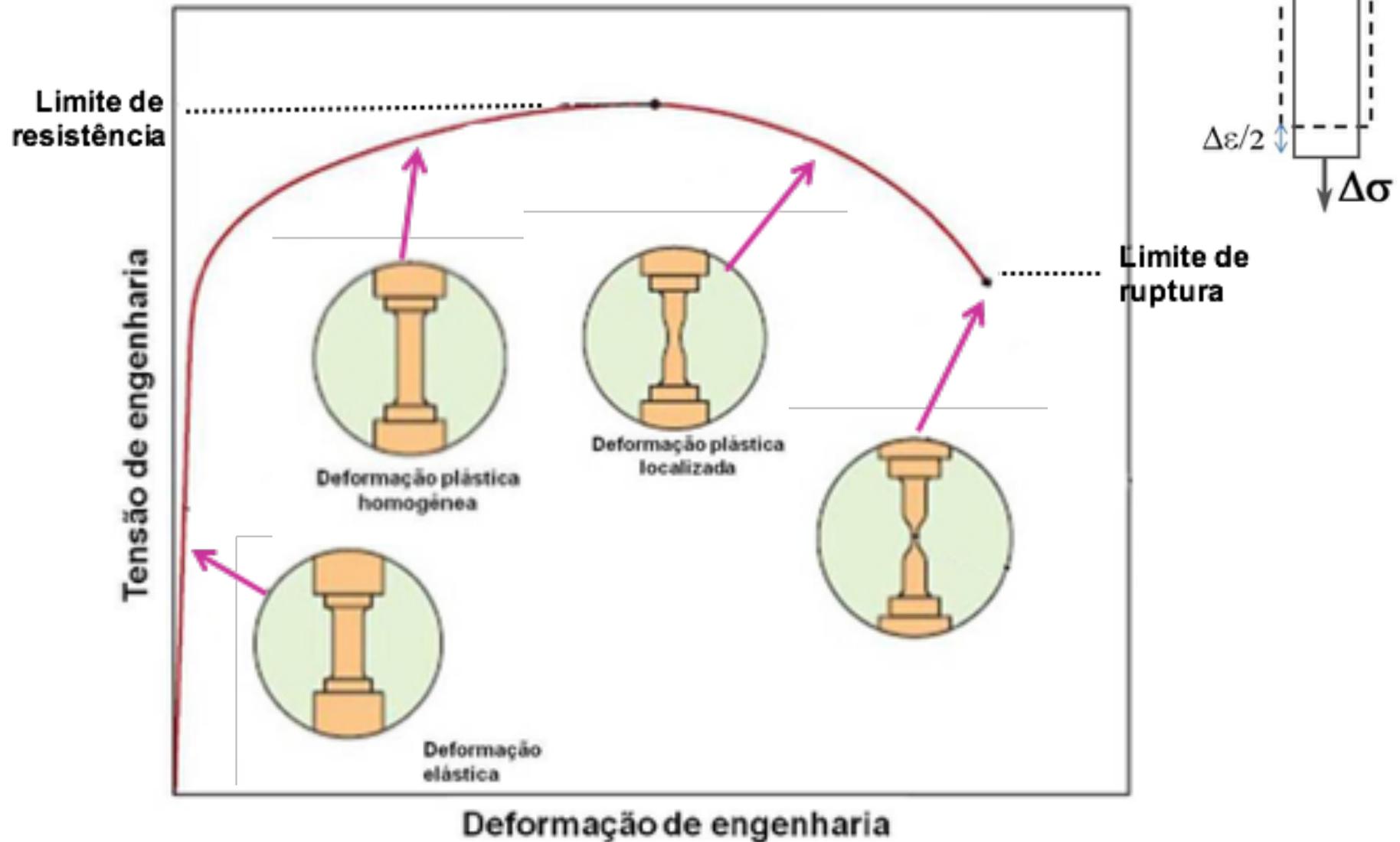
Compósitos com 60 % em volume de matriz epóxi e fibras de aramida, vidro, & carbono



LFS

Propriedades mecânicas

❖ Curva Tensão x Deformação





Propriedades mecânicas

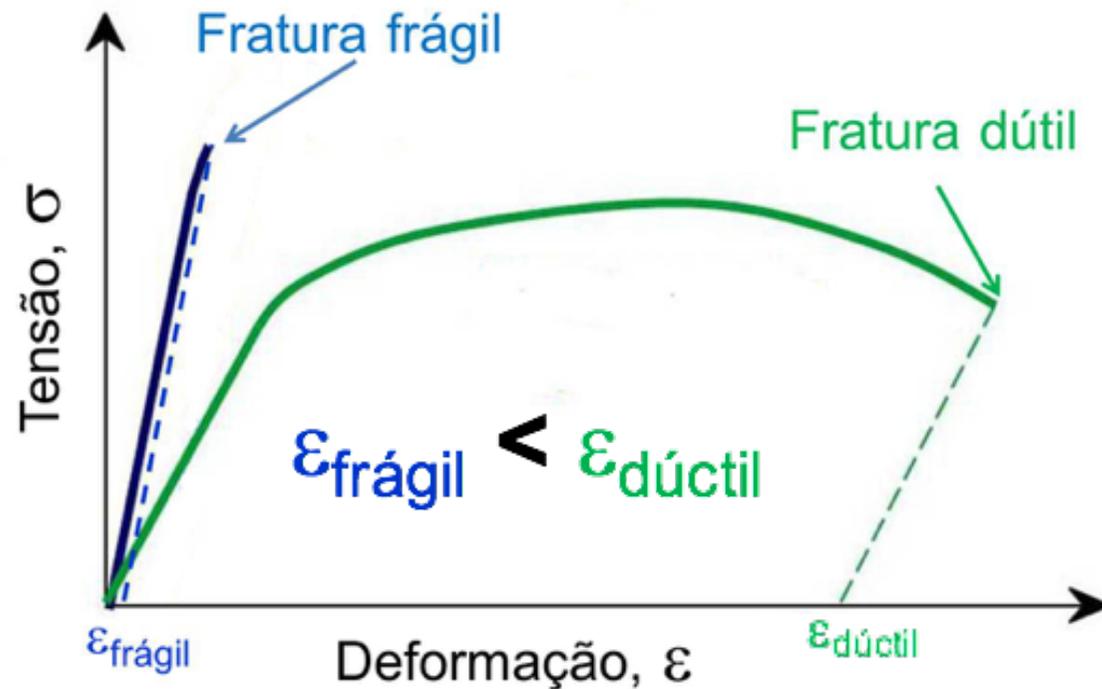
❖ Materiais dúcteis X frágeis

❖ Metálicos

❖ Polímeros

❖ Cerâmicas

❖ Compósitos





Curva tensão X deformação de metais

