

CALLISTER

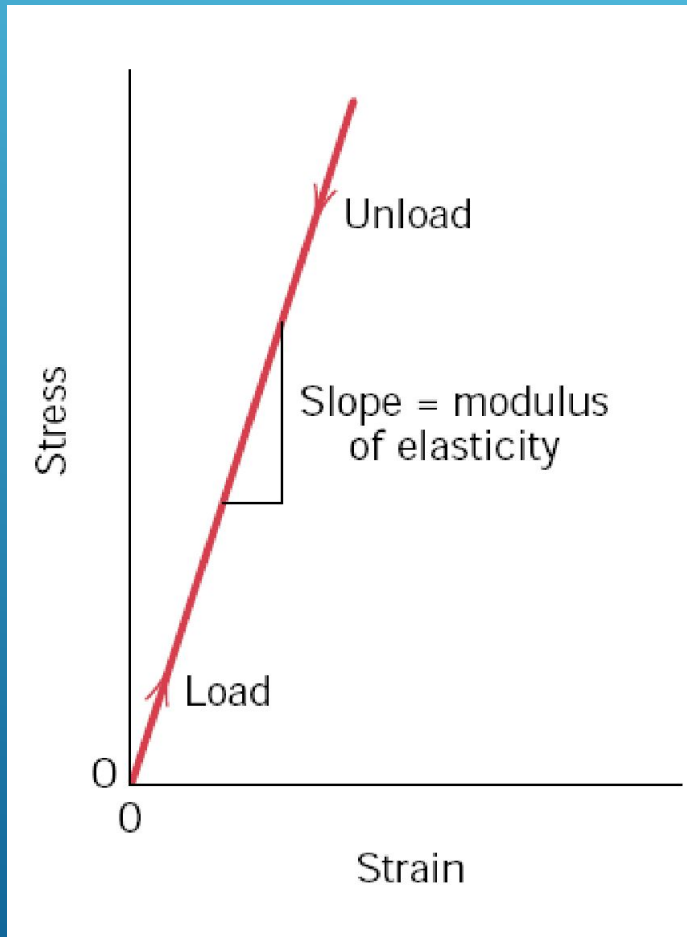
DIAGRAMAS DE FASES

Profa.Dra. Loralice Canale

DEFORMAÇÃO ELÁSTICA

- Deformação não é permanente, o que significa que quando a carga é liberada, a peça retorna à sua forma original
- Processo no qual tensão e deformação são proporcionais
- A deformação elástica é resultado de um pequeno alongamento ou contração da célula cristalina na direção da tensão (tração ou compressão) aplicada.
- Gráfico da tensão x deformação resulta em uma relação linear. A inclinação deste segmento corresponde ao **módulo de elasticidade E**

MÓDULO DE ELASTICIDADE



$$\sigma = E\varepsilon$$

E = módulo de elasticidade

σ = tensão

ε = deformação

DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

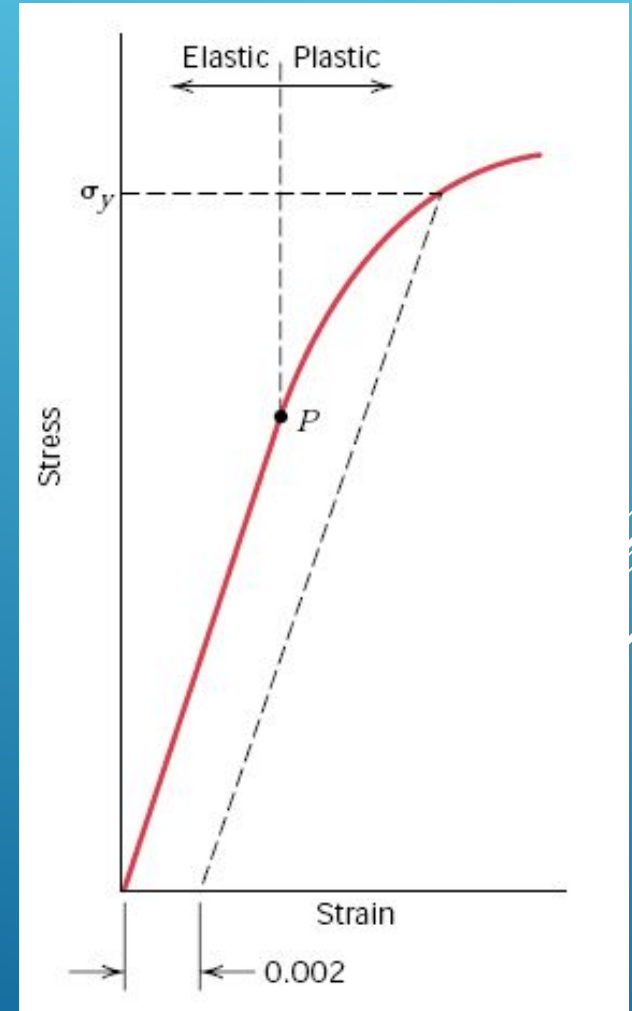
A deformação plástica corresponde à quebra de ligações com os átomos vizinhos originais e em seguida formação de novas ligações

A deformação ocorre mediante um processo de escorregamento, que envolve o movimento de discordâncias



LIMITE DE PROPORCIONALIDADE E TENSÃO LIMITE DE ESCOAMENTO

O limite de proporcionalidade pode ser determinado como o ponto onde ocorre o afastamento da linearidade na curva tensão – deformação (**ponto P**)

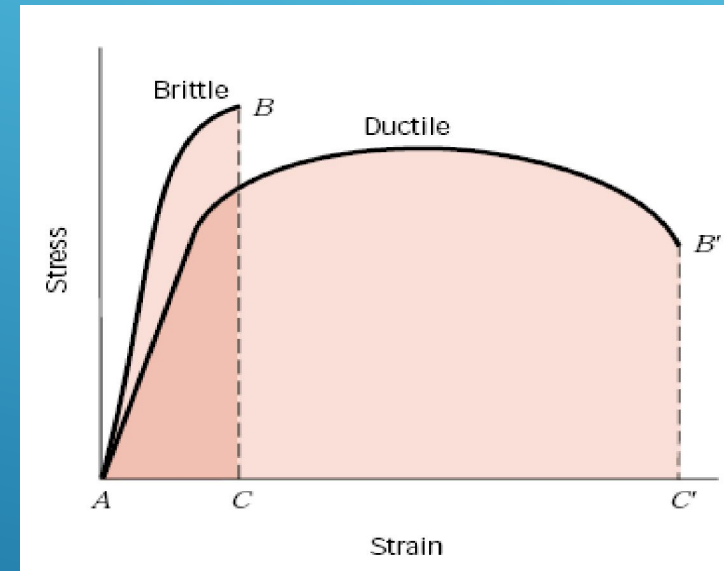


TENACIDADE

- Representa uma medida da habilidade de um material em absorver energia até a fratura

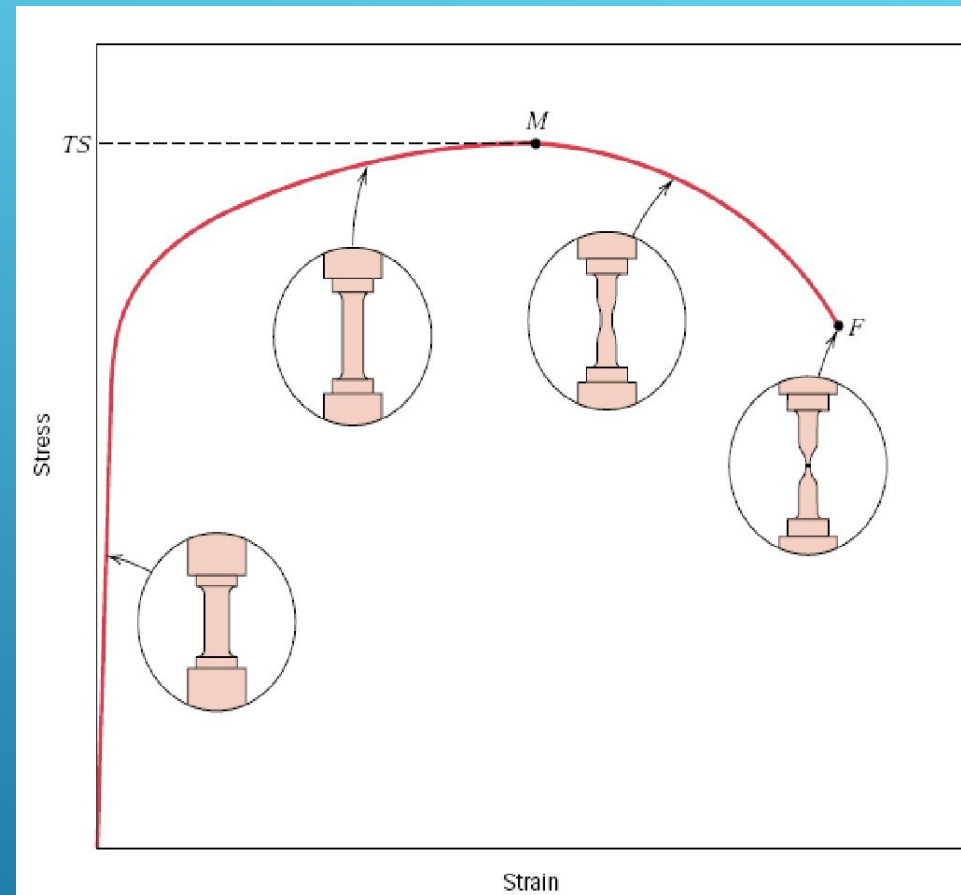
Pode ser determinada a partir da curva tensão – deformação. Ela é a área sob a curva

Para que um material seja tenaz, deve apresentar resistência e ductilidade. Materiais dúcteis são mais tenazes que os frágeis

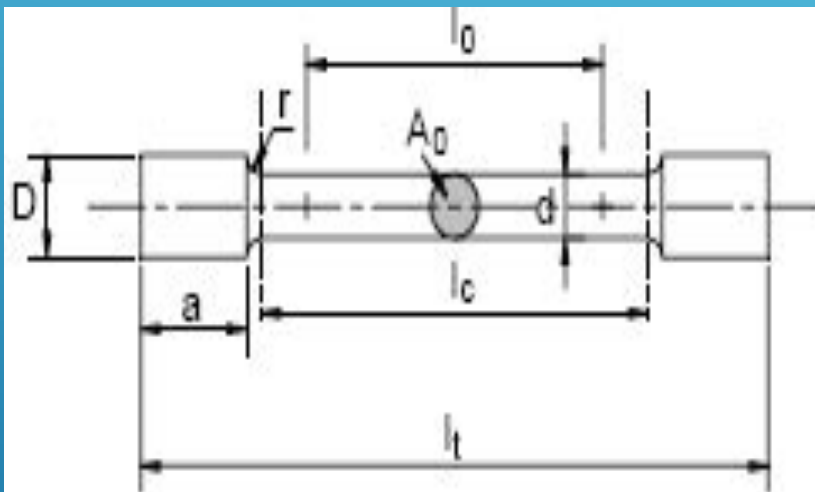


LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

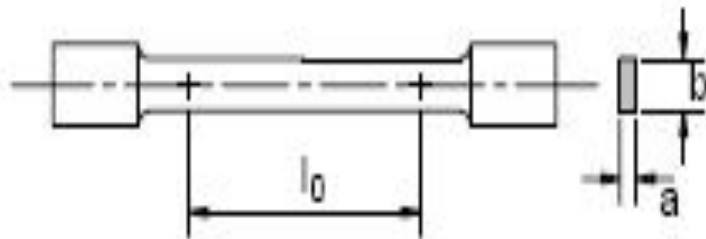
- Após o escoamento, a tensão necessária para continuar a deformação plástica aumenta até um valor máximo (ponto M) e então diminui até a fratura do material.

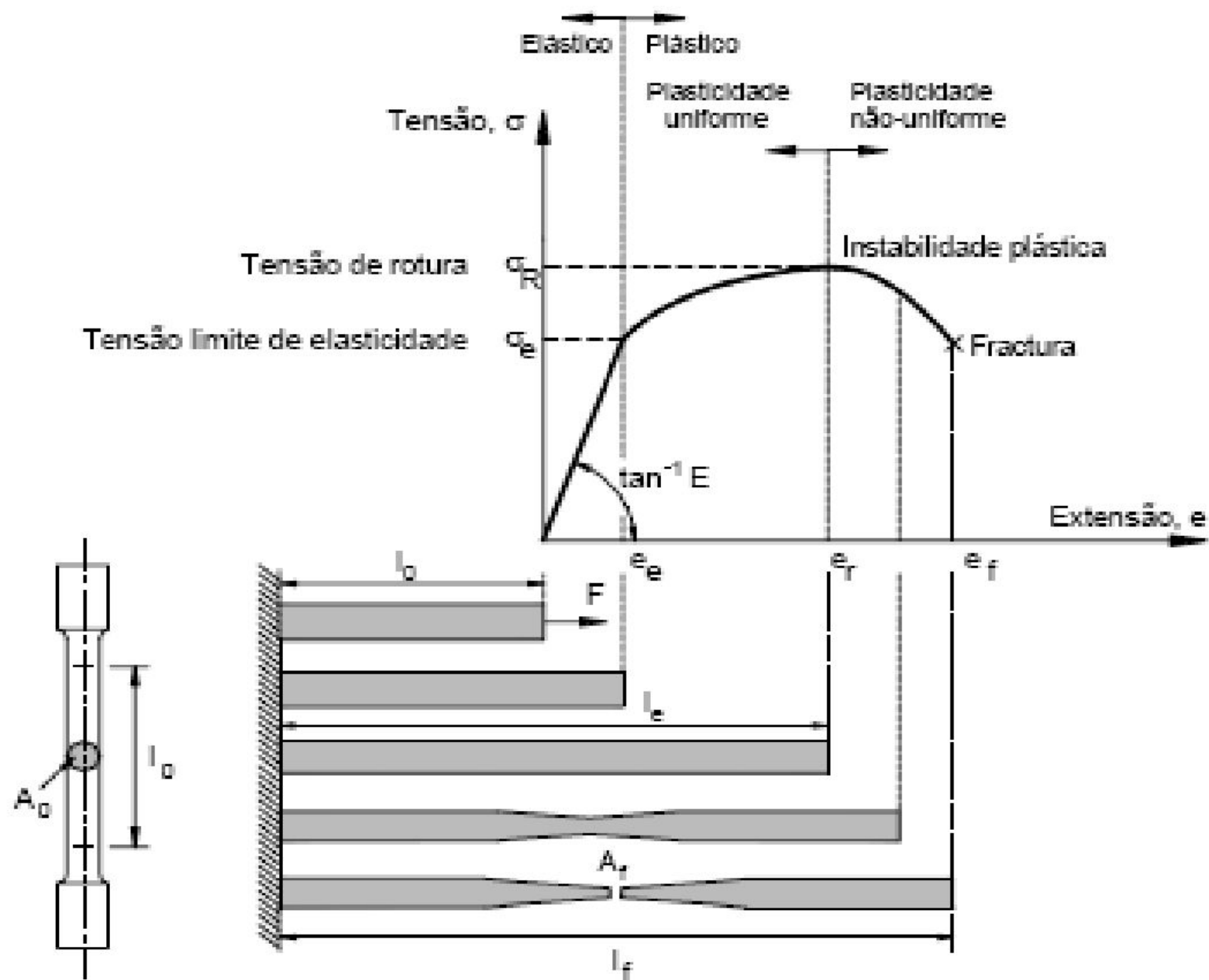


ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL



l_0 – comprimento de referência
 l_c – comprimento da zona calibrada
 l_t – comprimento total





PROPRIEDADES MECÂNICAS DA METAIS E LIGAS

Material	Yield Strength		Tensile Strength		Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)] ^a
	MPa	ksi	MPa	ksi	
Metal Alloys ^b					
Molybdenum	565	82	655	95	35
Titanium	450	65	520	75	25
Steel (1020)	180	26	380	55	25
Nickel	138	20	480	70	40
Iron	130	19	262	38	45
Brass (70 Cu-30 Zn)	75	11	300	44	68
Copper	69	10	200	29	45
Aluminum	35	5	90	13	40

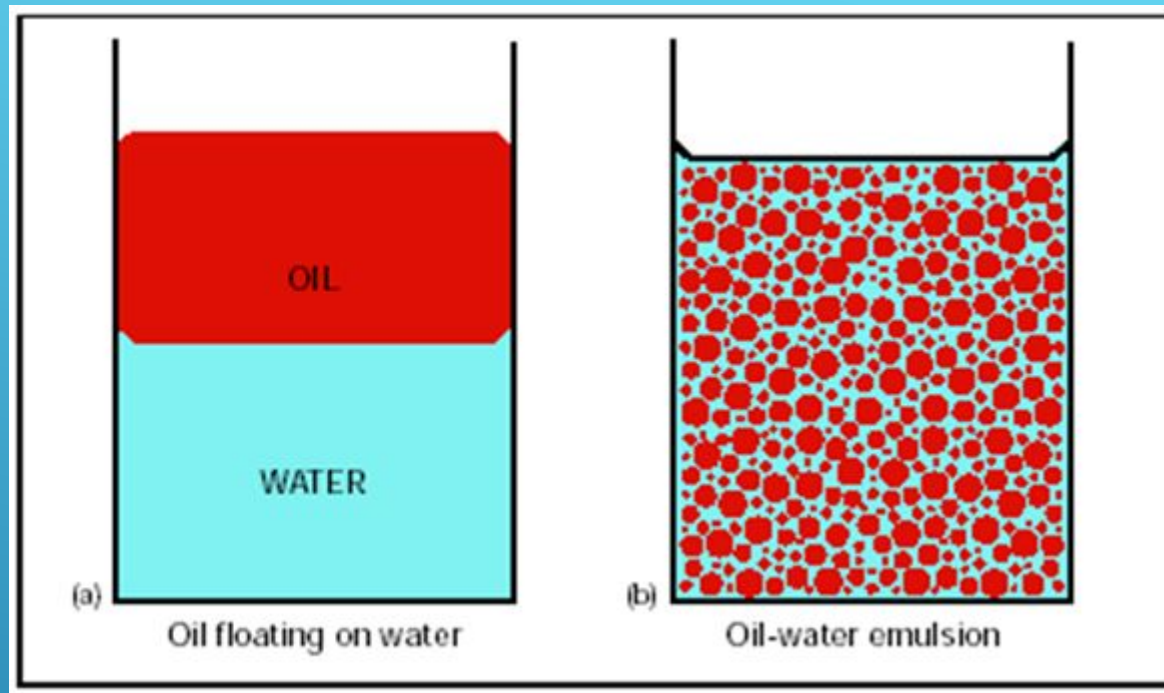
FASE

Uma fase pode ser definida como uma porção homogênea de um sistema que possui características físicas e químicas uniformes.

Se mais de uma fase estiver presente em um sistema, cada fase terá suas próprias propriedades individuais e existirá uma fronteira separando as fases, da qual haverá uma mudança descontínua e abrupta nas características físicas e / ou químicas.



FASE



Duas fases em equilíbrio (a) óleo flutuando em água
(b) emulsão de água-óleo. Ambos possuem as mesmas fases mas (a) possui um aspecto estrutural diferente de (b)

Equilíbrio é outro conceito essencial.

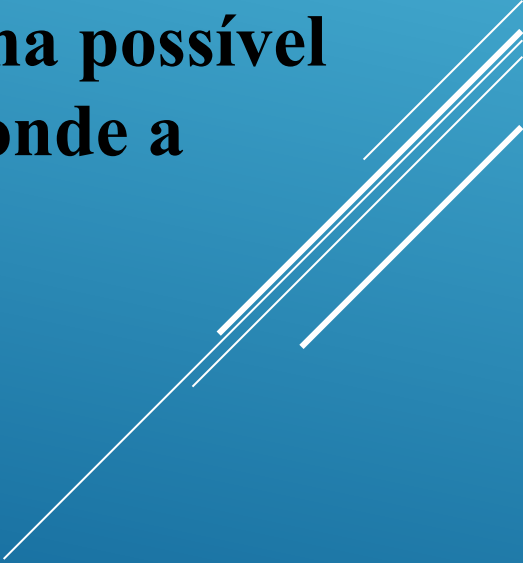
Este pode ser mais bem descrito em termos de uma grandeza termodinâmica conhecida como energia livre.

Sucintamente, a energia livre é uma função da energia interna de um sistema e também da aleatoriedade ou desordem dos átomos ou moléculas (entropia).

Um sistema está em equilíbrio quando sua energia livre se encontra em um valor mínimo para uma combinação específica de temperatura, pressão e composição.

Em um sentido macroscópico, isto significa que as características do sistema não mudam ao longo do tempo, mas persistem indefinidamente; isto é, o sistema é estável.

Uma alteração na pressão, na temperatura e/ou na composição de um sistema em equilíbrio irá resultar em um aumento na energia livre e em uma possível mudança espontânea para outro estado onde a energia livre seja reduzida.

A series of three parallel white diagonal lines in the bottom right corner of the slide.

❑ **Solubilidad** —

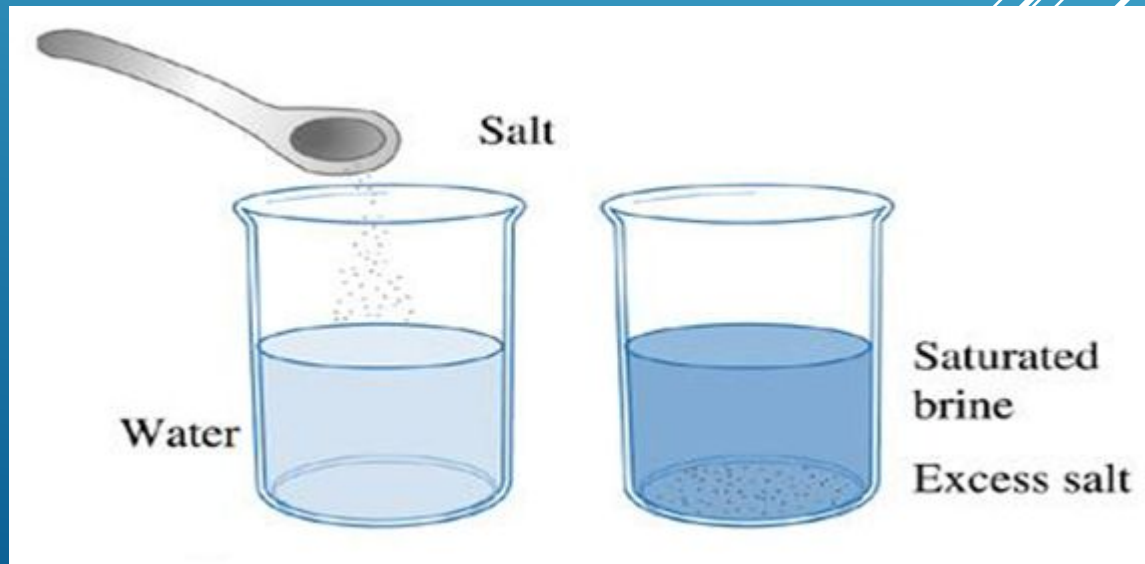
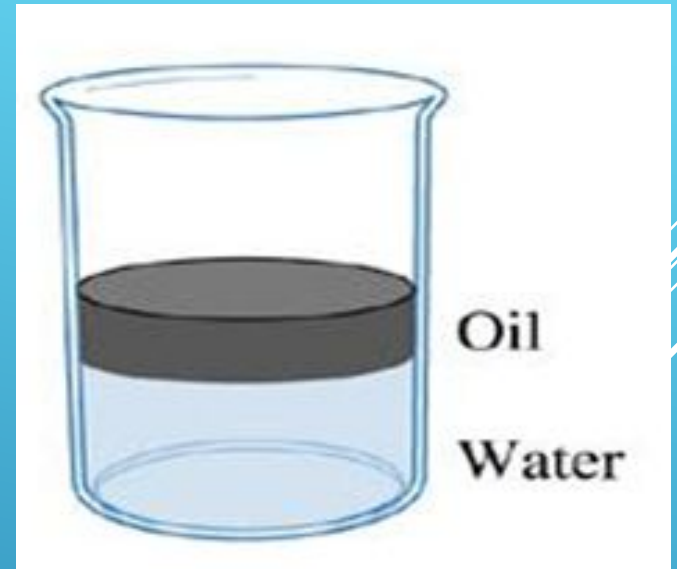
❑ A quantidade de um material que se dissolverá completamente num segundo material sem criar uma segunda fase.

❑ **Solubilidad ilimitada** —

❑ Quando a quantidade de um material, que se dissolverá no outro sem criar uma nova fase, é ilimitada.

❑ **Solubilidad limitada**—

❑ Quando existe uma quantidade máxima de um material (soluto), que poderá ser dissolvido em outro material (solvente).



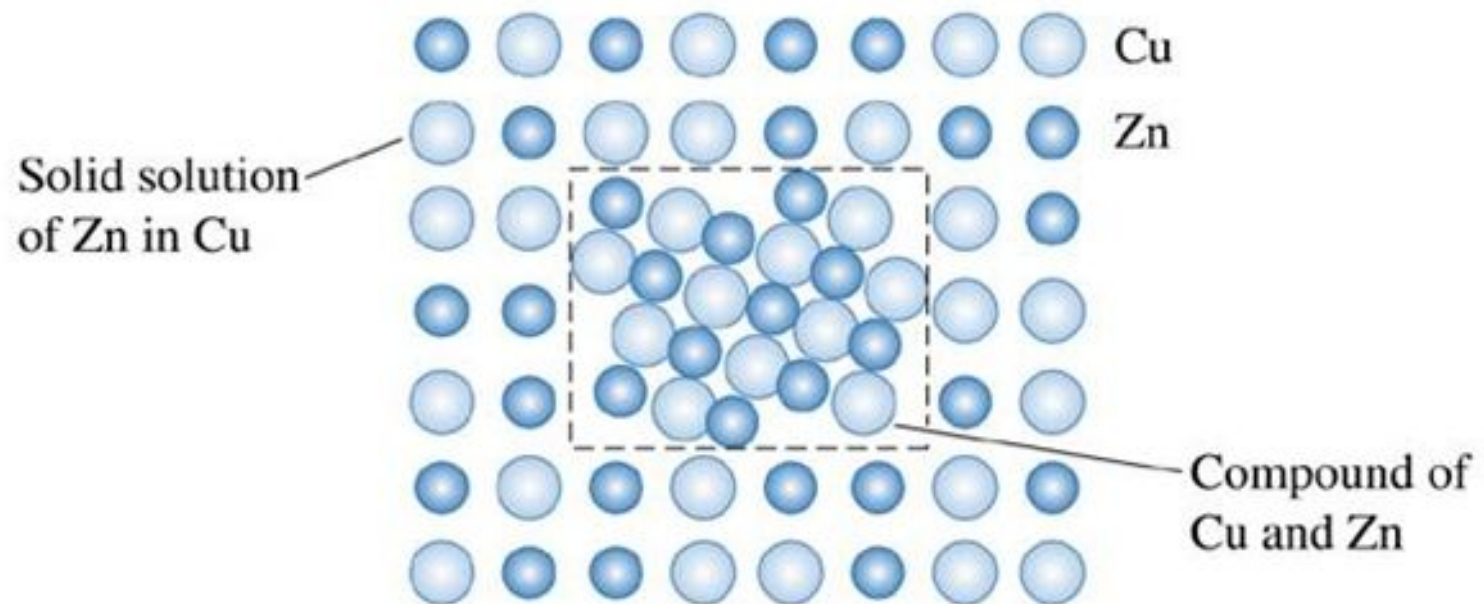
Água + Açúcar temperatura ambiente

Água + Açúcar temperatura 100° C

Uma parte do açúcar sólido irá se transferir para a solução.

Esse fenômeno prosseguirá até que a nova concentração de equilíbrio seja estabelecida à temperatura mais alta.

A series of several parallel white diagonal lines in the bottom right corner of the slide, pointing towards the top right.



(c)

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning... is a trademark used herein under license.

(a)

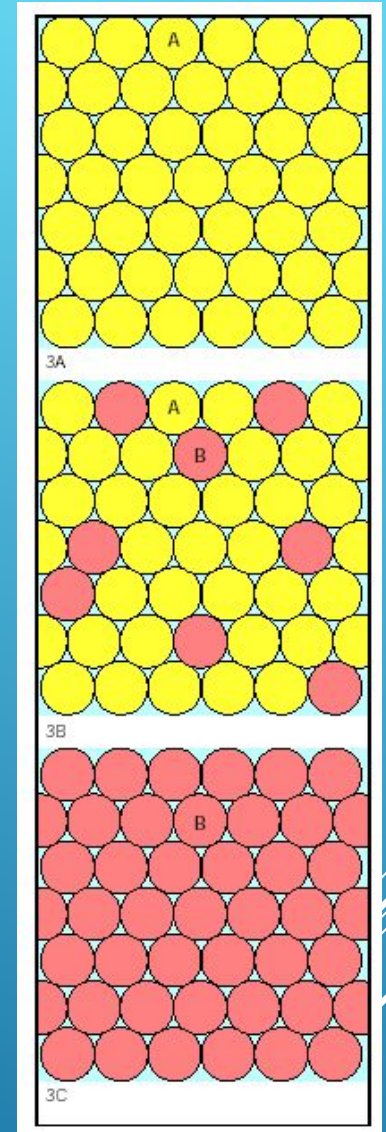
LigaCu
formação de novo. Se a solubilidade de
limitada

- Uma fase é identificada pela composição química e microestrutura
- A interação de duas ou mais fases em um material permite a obtenção de propriedades diferentes
- É possível alterar as propriedades do material alterando a **morfologia** e distribuição das fases.

EM RESUMO:

SOLUÇÕES

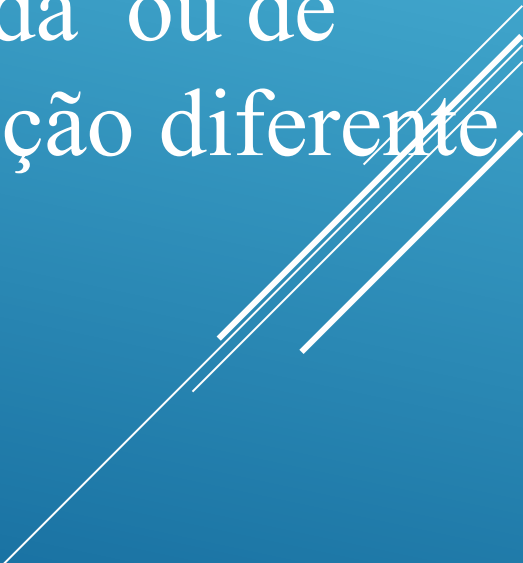
Soluções sólidas são formadas quando átomos de soluto ocupam posições substitutivas ou intersticiais formando com o solvente uma única fase



Formação de solução sólida entre dois metais : ouro e prata

A concentração máxima de soluto que pode se dissolver no solvente é chamado **limite de solubilidade**.

A adição de soluto além desse limite resulta na formação de uma outra solução sólida ou de outro composto que possui composição diferente

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, arranged diagonally in the bottom right corner of the slide.

DIAGRAMAS DE FASES

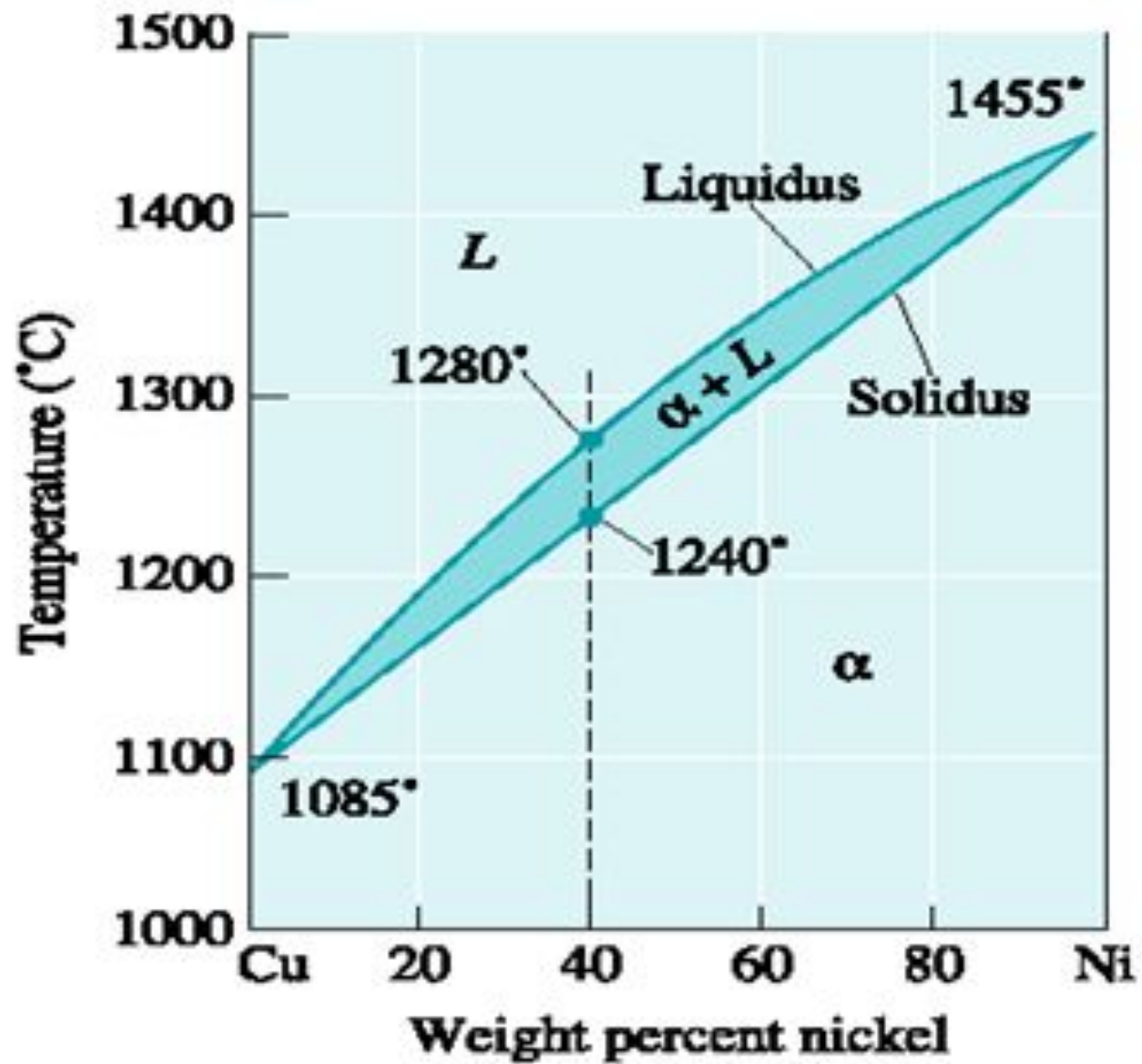
- **Muitas das informações sobre o controle da microestrutura ou da estrutura de fases de um sistema de ligas são mostrados no chamado diagrama de fases**
 - **Diagramas de fases são úteis para prever as transformações de fases e as microestruturas resultantes**
- 

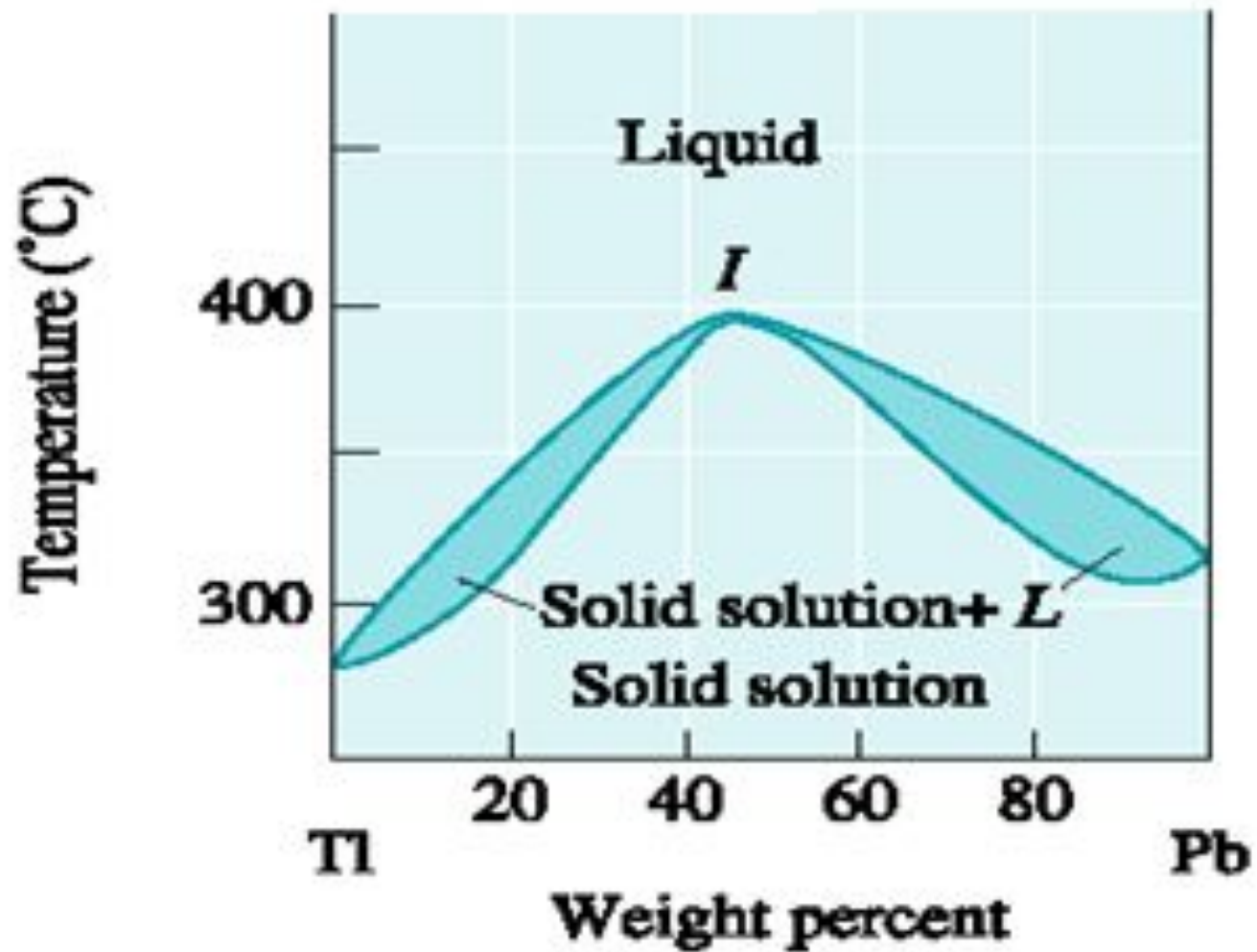
- Diagrama de fase binário –
- Diagrama de fase ternário-
- Diagrama Isomorfo- diagrama de fases com solubilidade sólida ilimitada
- Temperatura liquidus- A temperatura em que o primeiro sólido se forma durante a solidificação
- Temperatura solidus- Temperatura abaixo da qual todo o líquido está completamente solidificado.

Interpretação de diagramas de fases

Para um sistema binário com composição e temperatura conhecidas e que se encontra em um estado de equilíbrio, pelo menos três tipos de informações estão disponíveis:

- 1 – as fases que estão presentes;
 - 2 – as composições dessas fases;
 - 3 – as porcentagens ou frações das fases.
- 

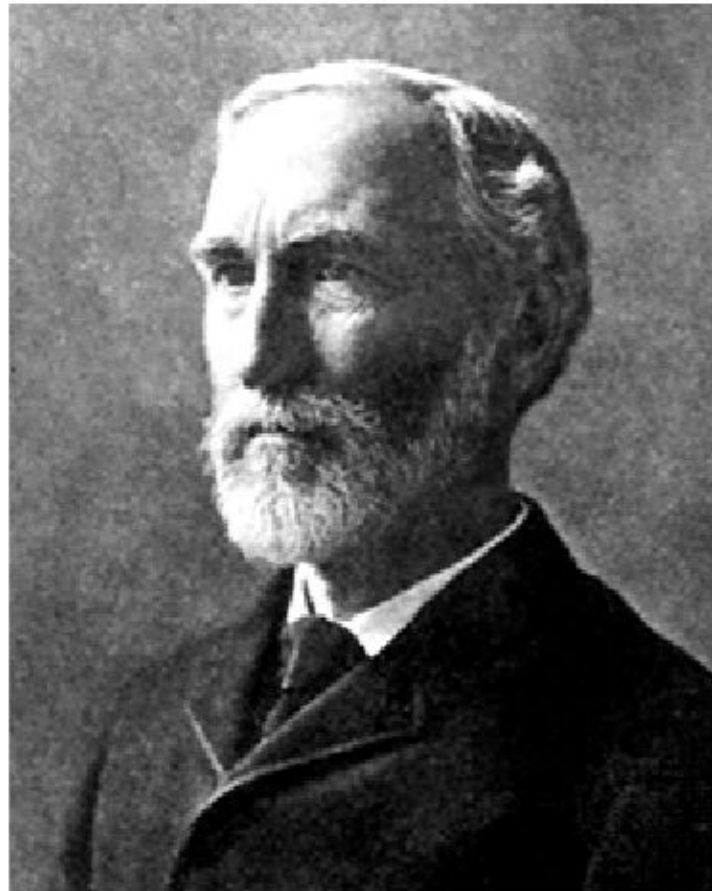




(d)

Termodinâmica

Josiah Willard Gibbs
(1839 - 1901)



REGRA DE FASES DE GIBBS

► **$F = C - P + 1$ para pressão constante**

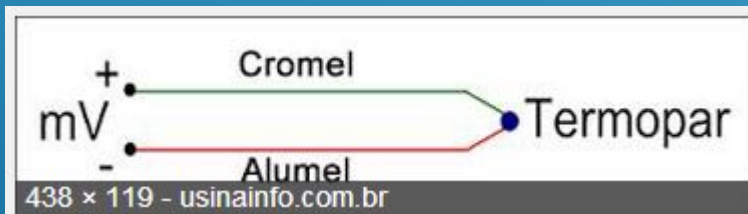
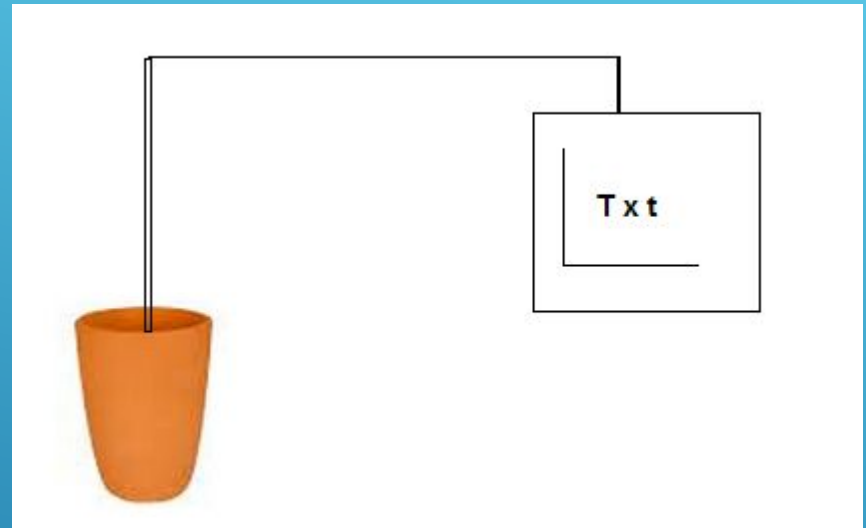
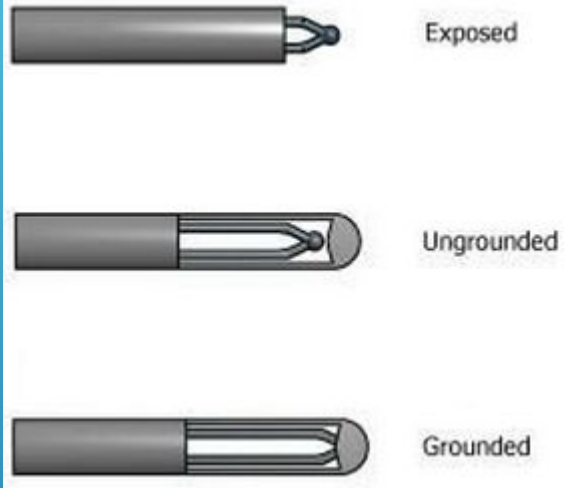
Freedom

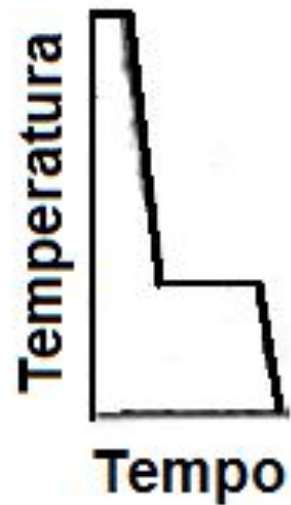
Components

Phase

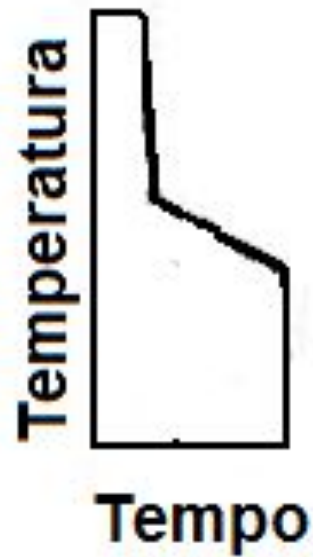
**Graus de liberdade: número de variáveis
(temperatura e composição) que podem variar
independentemente sem alterar o número de fases
em equilíbrio.**

Several white lines of varying lengths and slopes are drawn in the bottom right corner of the slide, creating a modern, abstract graphic element.

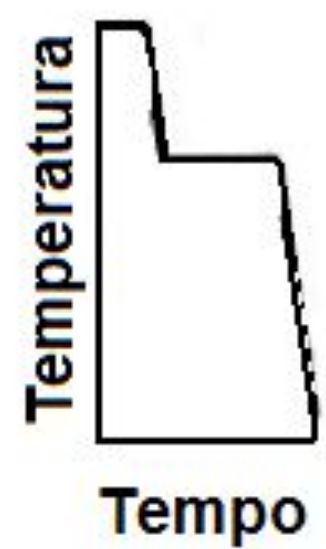




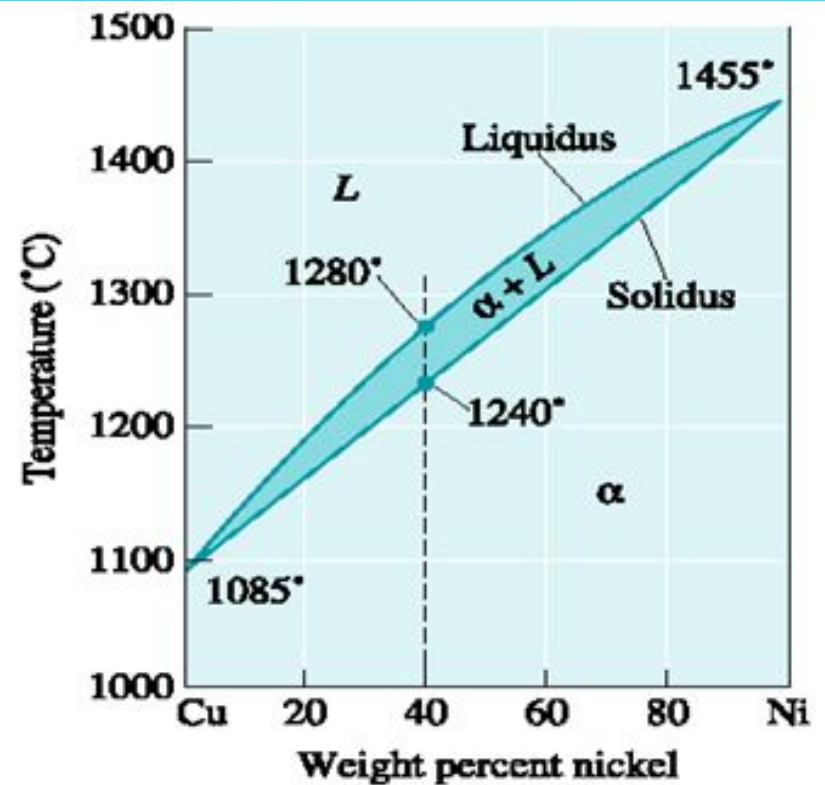
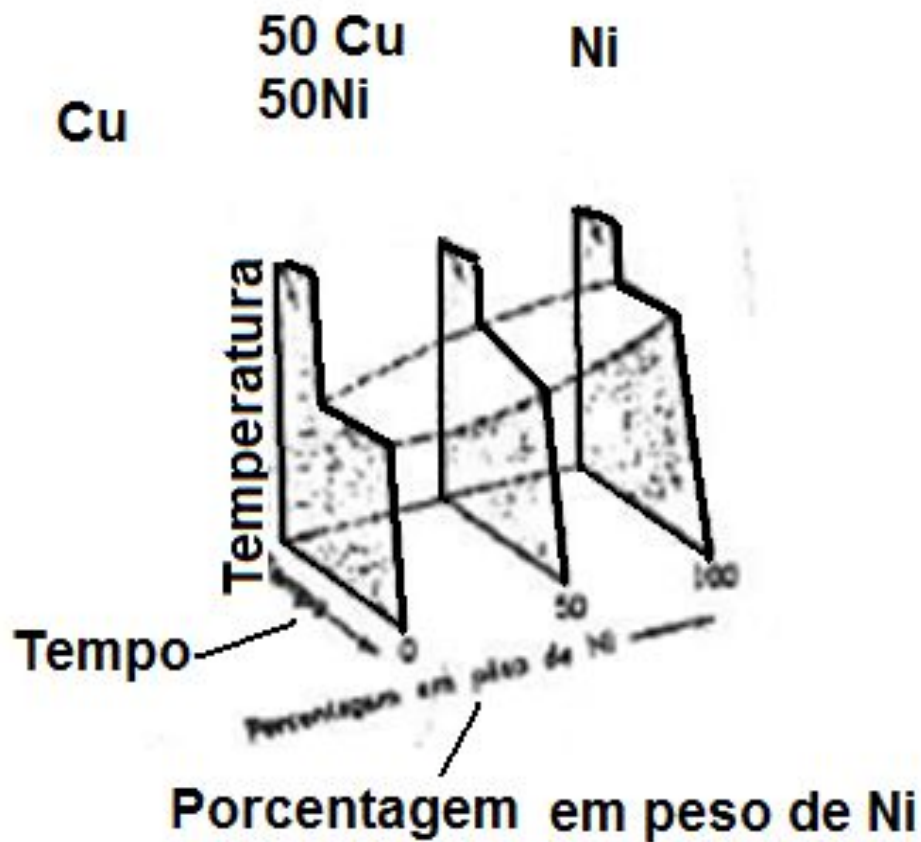
Ni puro



50% Ni
50% Cu



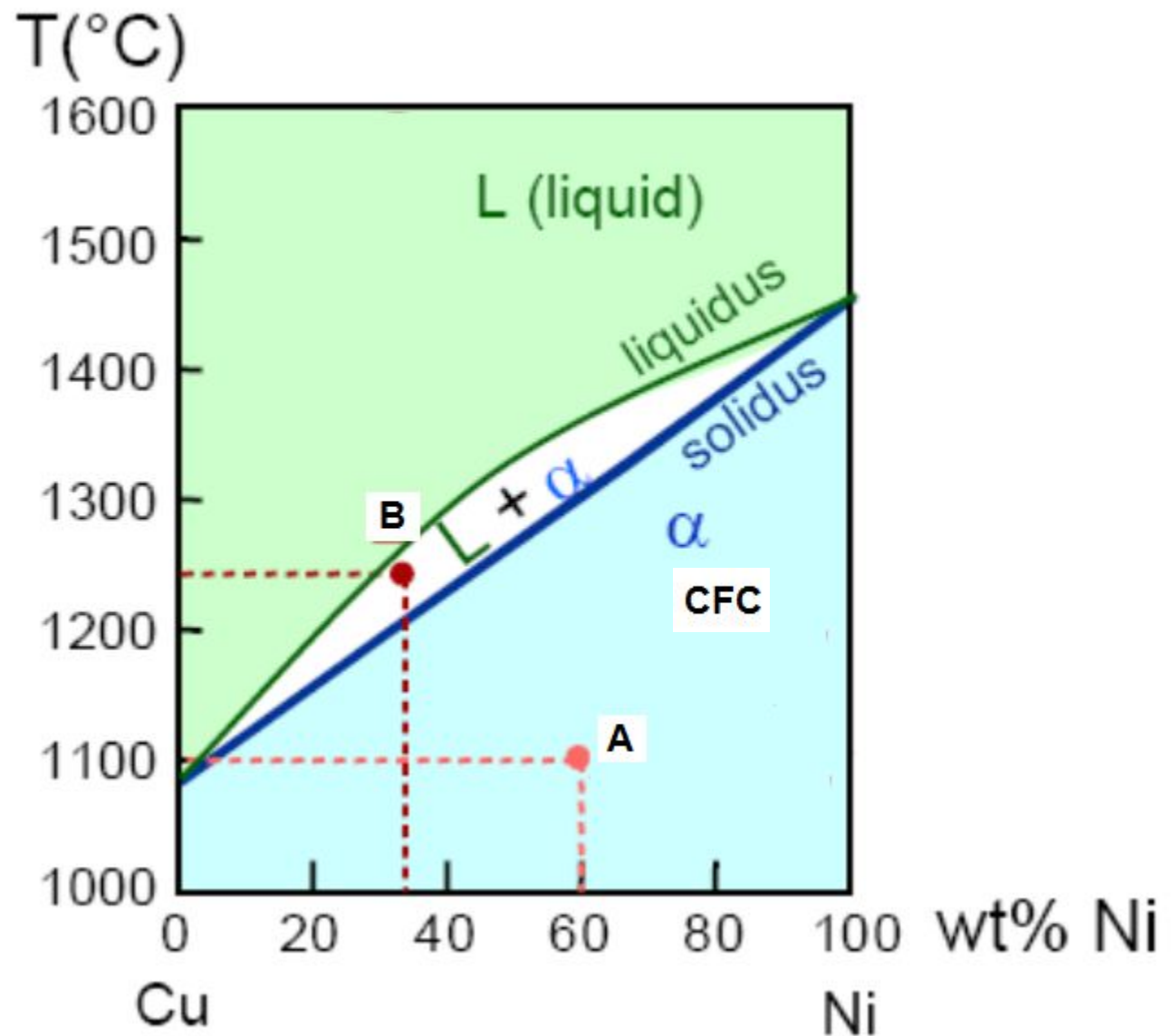
Cu puro



FASES PRESENTES

A: 60% WT , 1100° C
1 fase : α

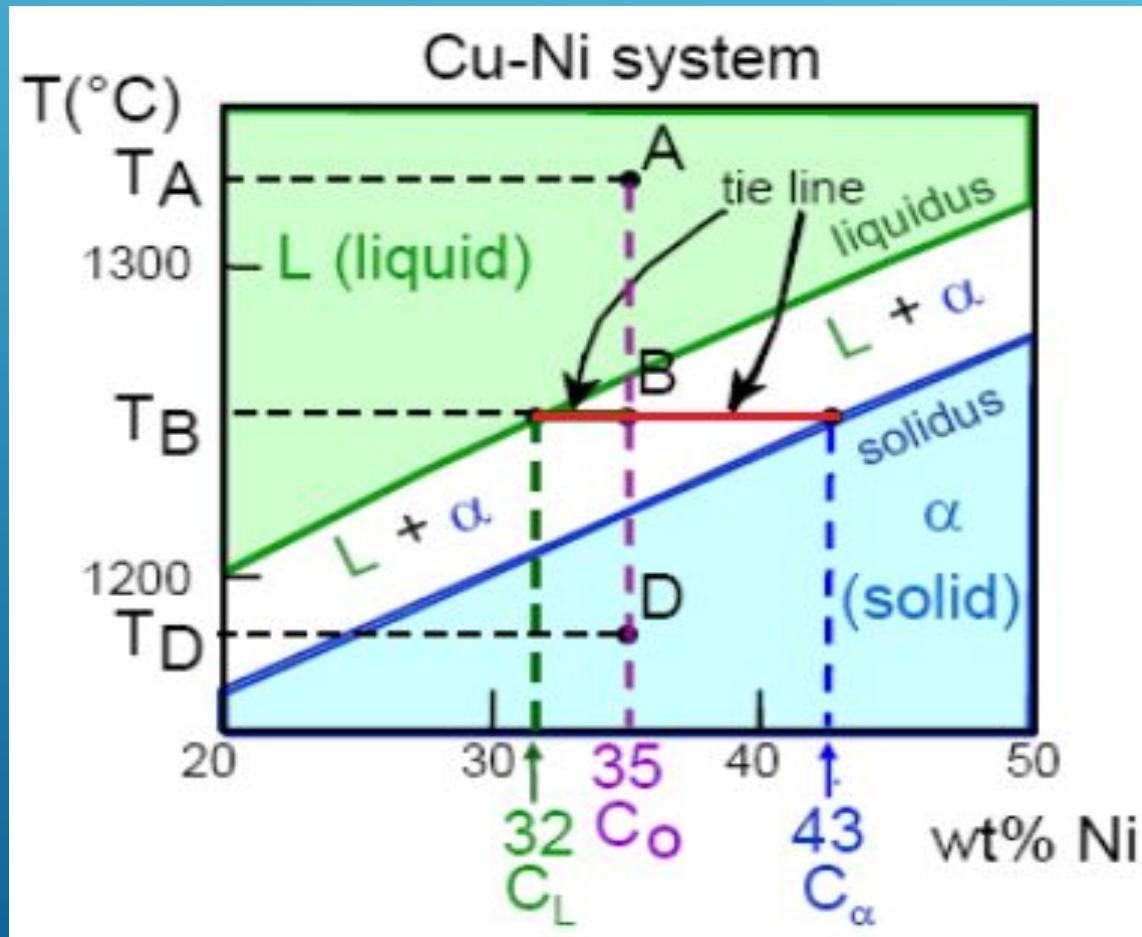
B: 35% WT, 1250° C
2 fases: L + α



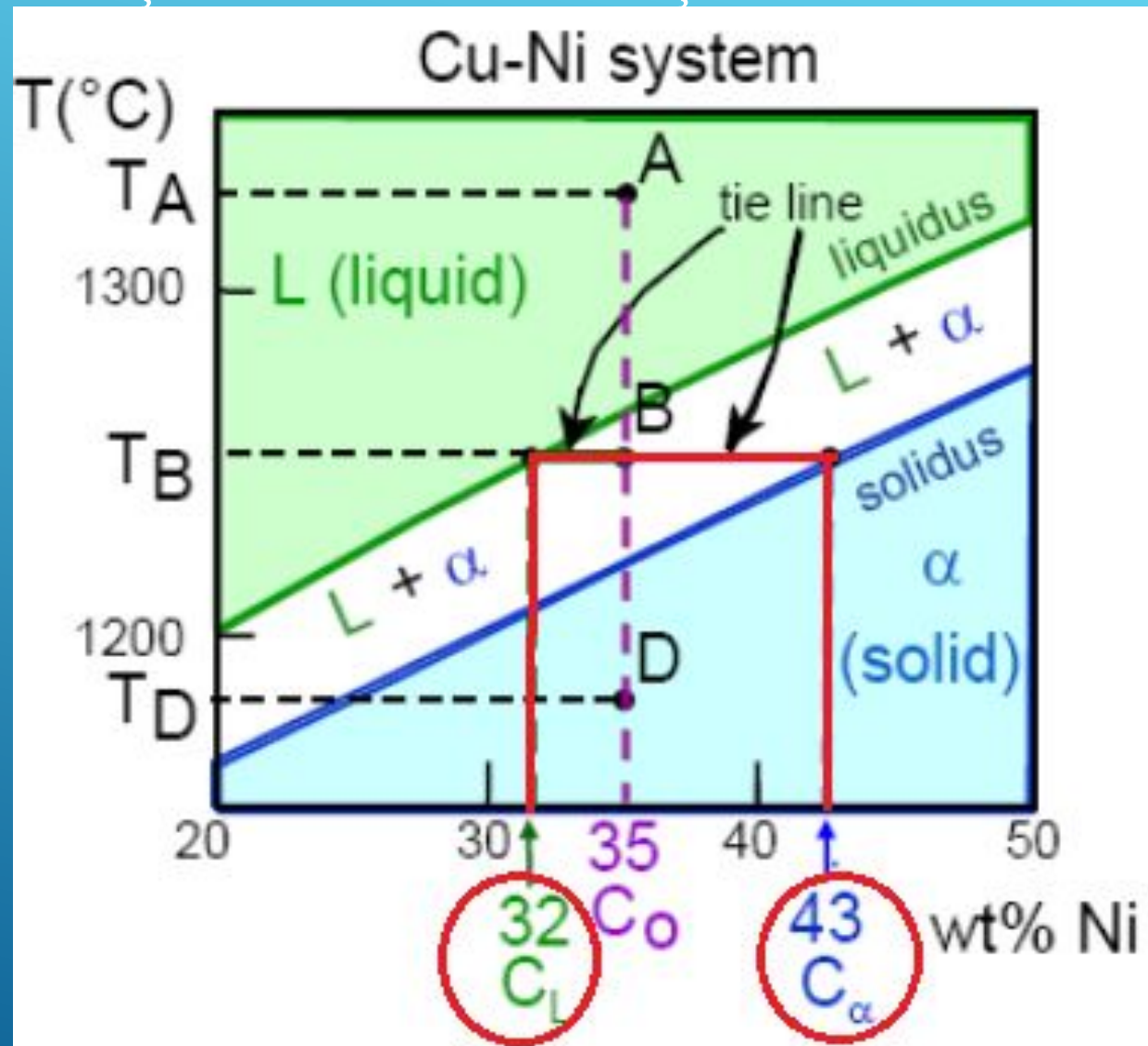
DETERMINAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DAS FASES

- **Se apenas uma fase está presente a composição dessa fase é simplesmente a mesma da composição global da liga**
- 
- Several white lines of varying lengths and slopes are drawn in the bottom right corner of the slide, creating a modern, abstract graphic element.

DETERMINAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DAS FASES

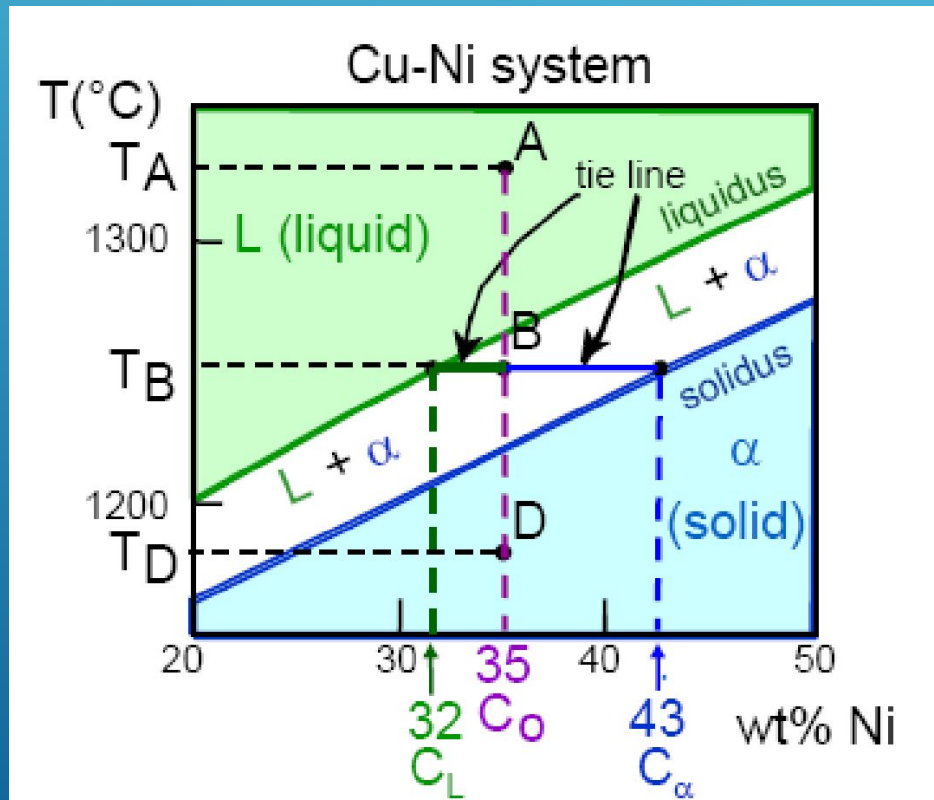


DETERMINAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DAS FASES



DETERMINAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DAS FASES

No exemplo do sistema Cu - Ni tem-se :



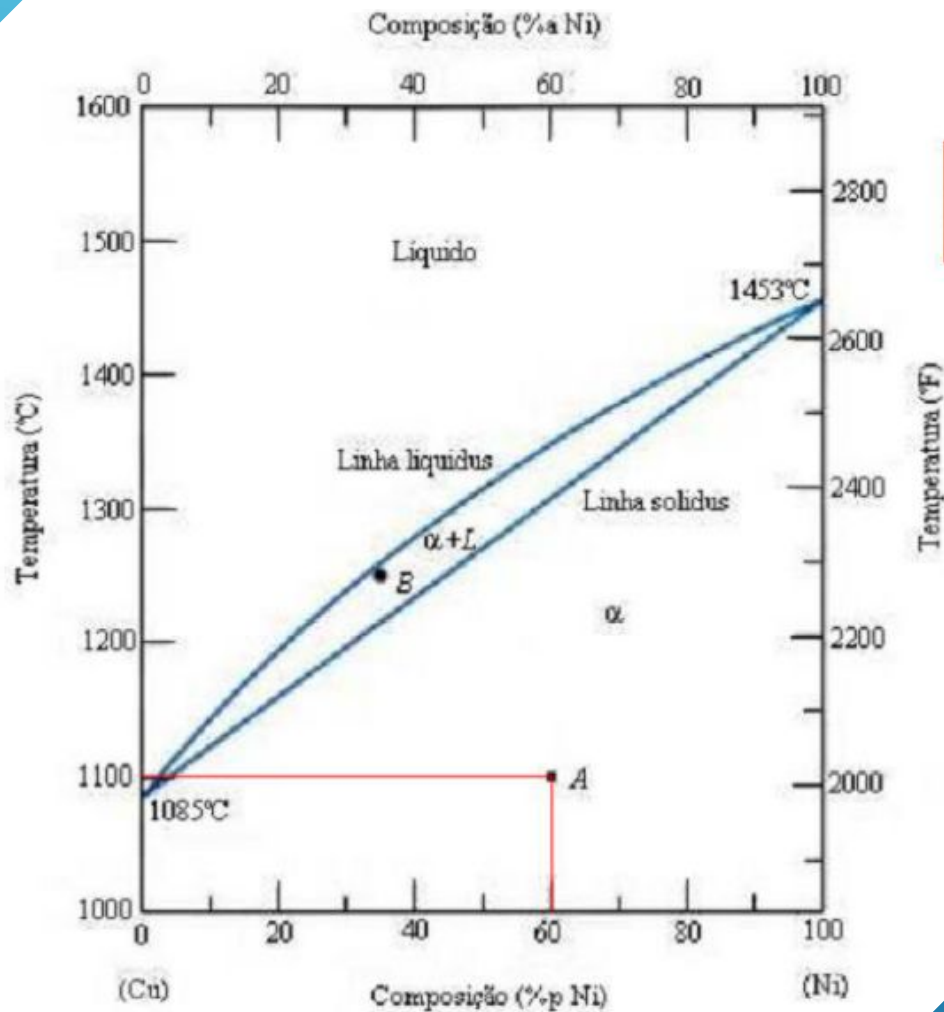
Composição: $C_0 = 35\% \text{ Ni}$

Em T_A :
Somente líquido
 $C_L = C_0$

Em T_D :
Somente sólido
 $C_{\alpha} = C_0$

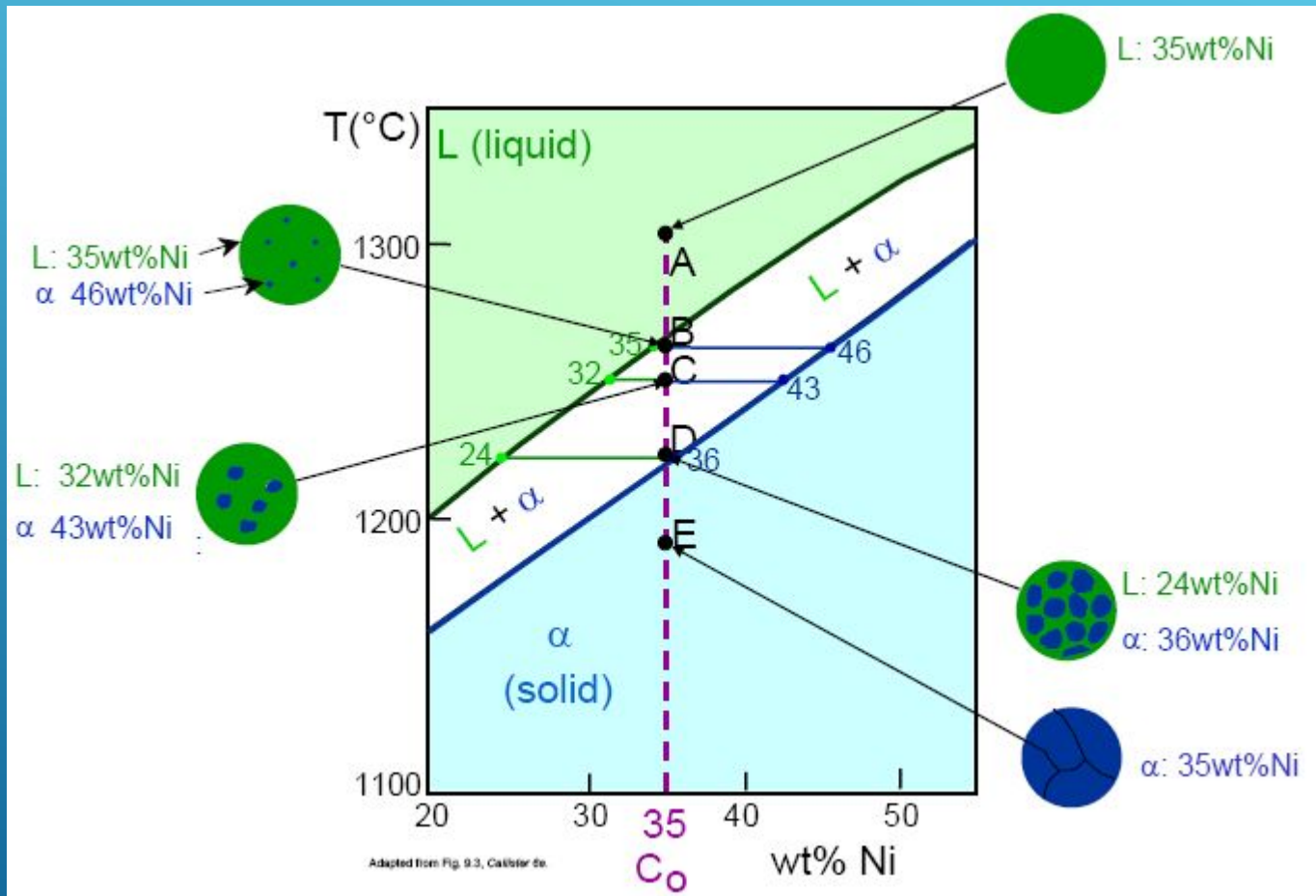
Em T_B :
 $C_L = C_{\text{liquido}} = 32\% \text{ Ni}$
 $C_{\alpha} = C_{\text{sólido}} = 43\% \text{ Ni}$

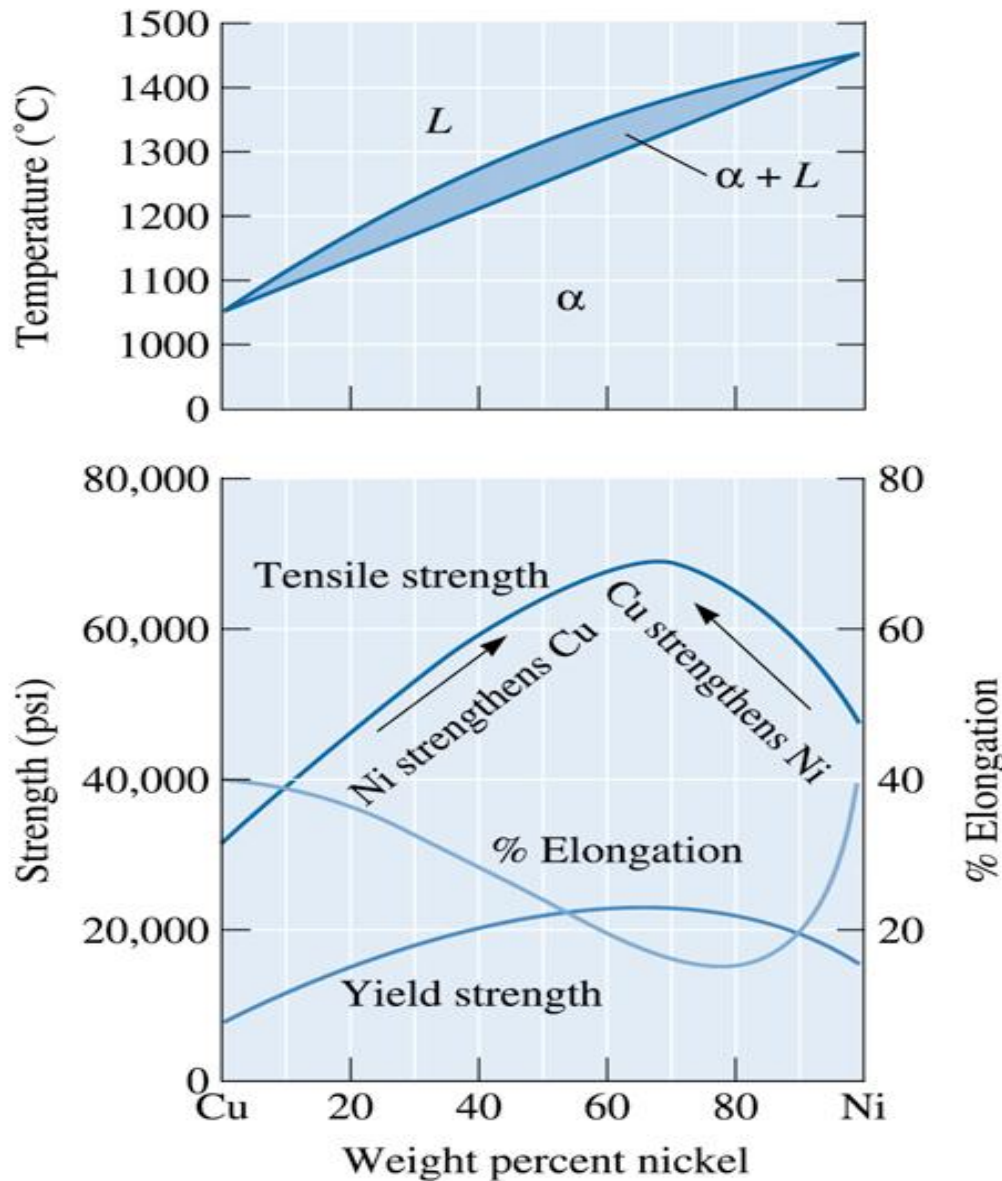




- ▶ Uma liga cobre-níquel com composição de 70%p Ni-30%p Cu é aquecida a partir de uma temperatura de 1300°C
- ▶ a. A qual temperatura se forma a primeira fração de fase líquida?
- ▶ b. Qual a composição dessa fase líquida?
- ▶ c. A qual temperatura ocorre a fusão completa da liga?
- ▶ d. Qual é a composição da última fração de sólido que permanece no meio antes da fusão completa?

Desenvolvimento da microestrutura em ligas isomorfas





Propriedades mecânicas de ligas Cu Ni.

O Cu aumenta linearmente a resistência com a adição de até 60% Ni.

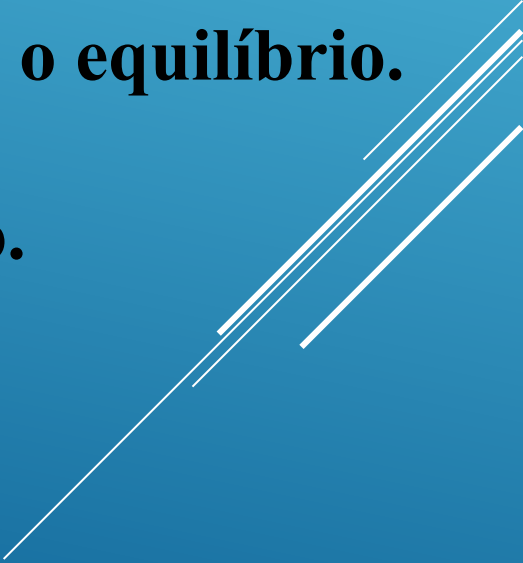
O Ni com até 40% de Cu.

Para atingir o equilíbrio na estrutura final, a taxa de resfriamento deve ser extremamente baixa.

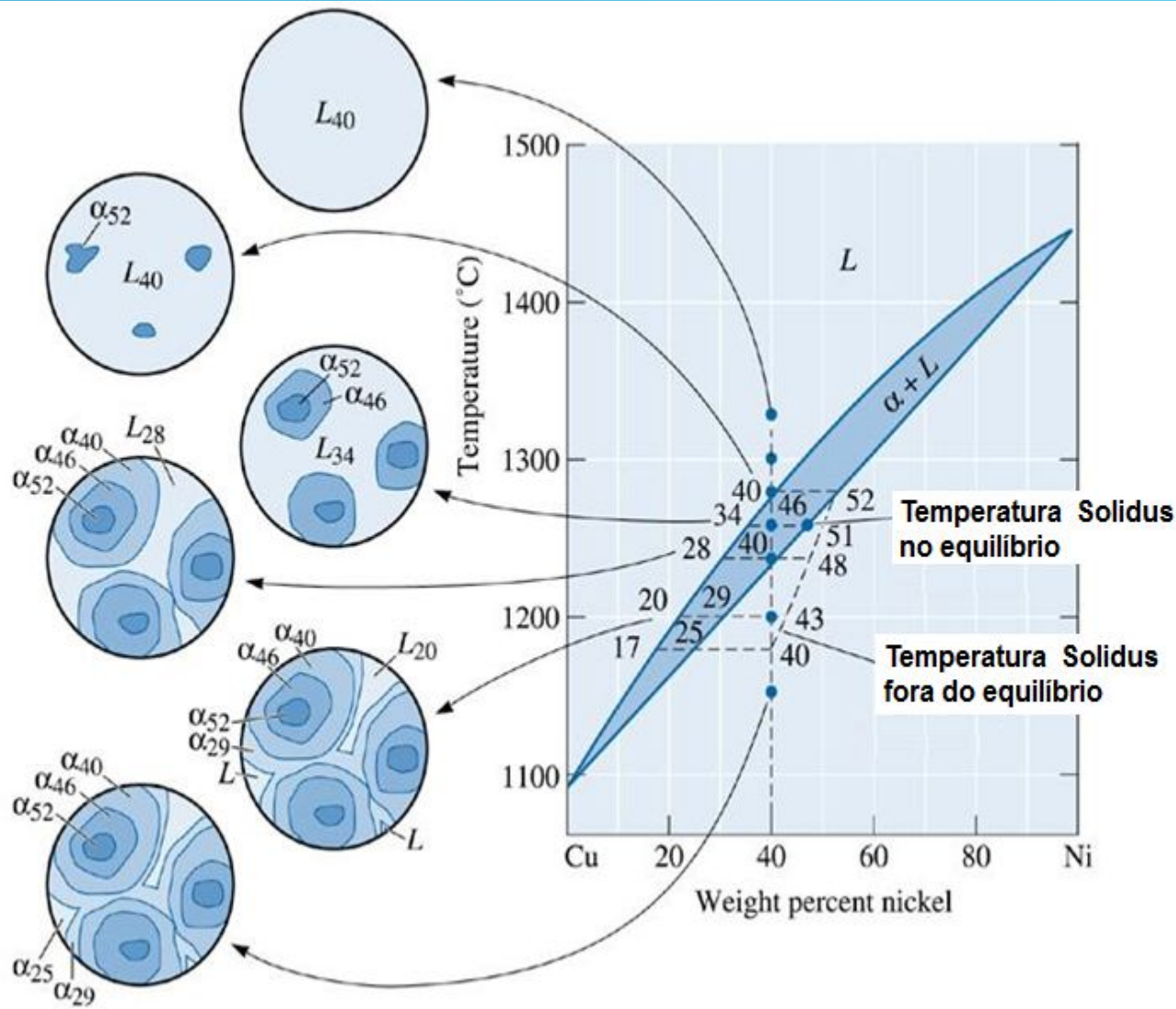
Deve haver tempo suficiente para permitir a difusão dos átomos de Cu e Ni, produzindo as composições dadas no diagrama de equilíbrio.

Em muitas situações práticas de fundição, a taxa de resfriamento é muito rápida para permitir o equilíbrio.

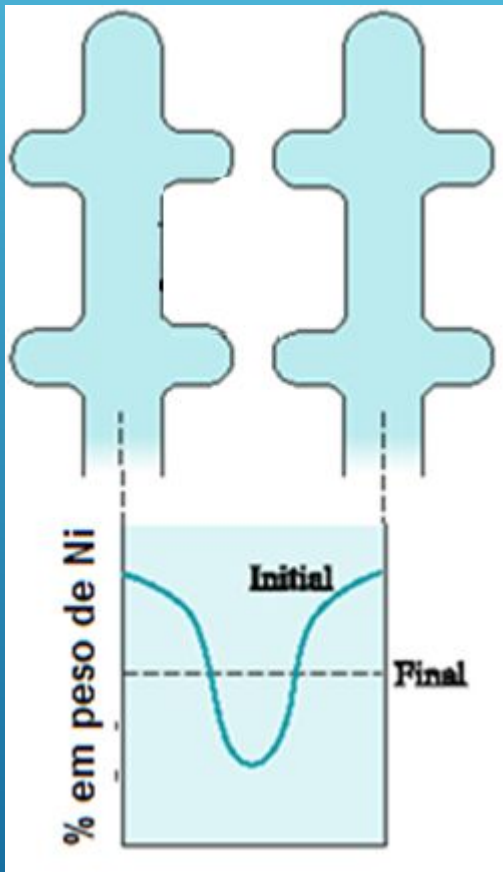
Essa é uma das causas da microsegregação.

Several white lines of varying lengths and thicknesses are drawn diagonally across the bottom right corner of the slide, pointing towards the bottom right.

Insuficiente tempo para difusão no processo de solidificação produz uma estrutura segregada.



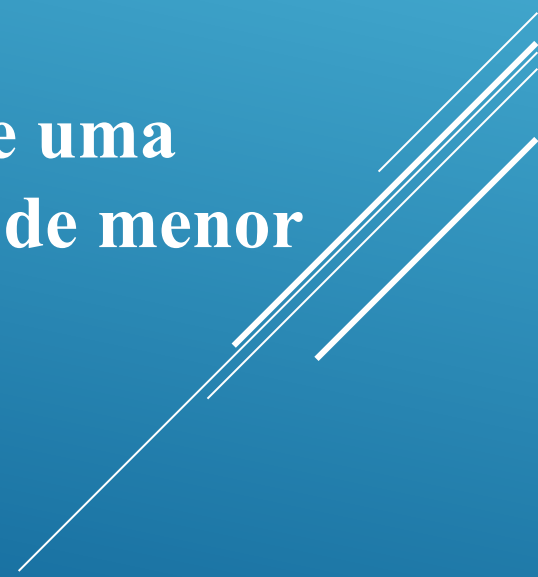
Microsegregação pode ser também conhecida como segregação interdendrítica, ocorrendo em pequenas distâncias entre pequenos braços dendríticos.



O centro das dendritas, que representam o primeiro sólido a se formar são ricos no elemento de mais alto ponto de fusão da liga.

As regiões entre as dendritas são mais ricas no elemento de menor ponto de fusão, uma vez que essas regiões representam o último líquido a se resfriar.

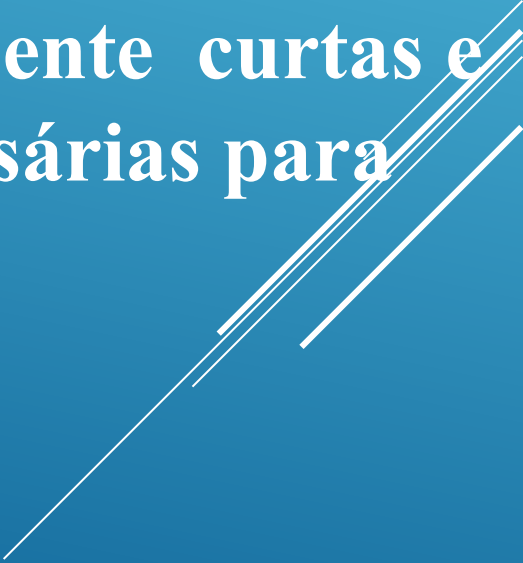
A composição e propriedades diferirão de uma região para outra, promovendo fundidos de menor qualidade.



Para reduzir a segregação pode ser feito um tratamento térmico de homogeneização.

O aquecimento é feito abaixo da linha solidus e os átomos de Ni e Cu se difundem.

As distâncias de difusão são relativamente curtas e somente umas poucas horas são necessárias para eliminar diferenças em composição.

A series of white lines of varying lengths and thicknesses, arranged in a parallel, diagonal pattern in the bottom right corner of the slide.

Macrosegregação ocorre em distâncias maiores, entre a superfície e o centro do lingote.

A macrosegregação não pode ser eliminada por tratamento térmico de homogeneização, pode ser somente reduzida por trabalho a quente.

A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, arranged diagonally in the bottom right corner of the slide.

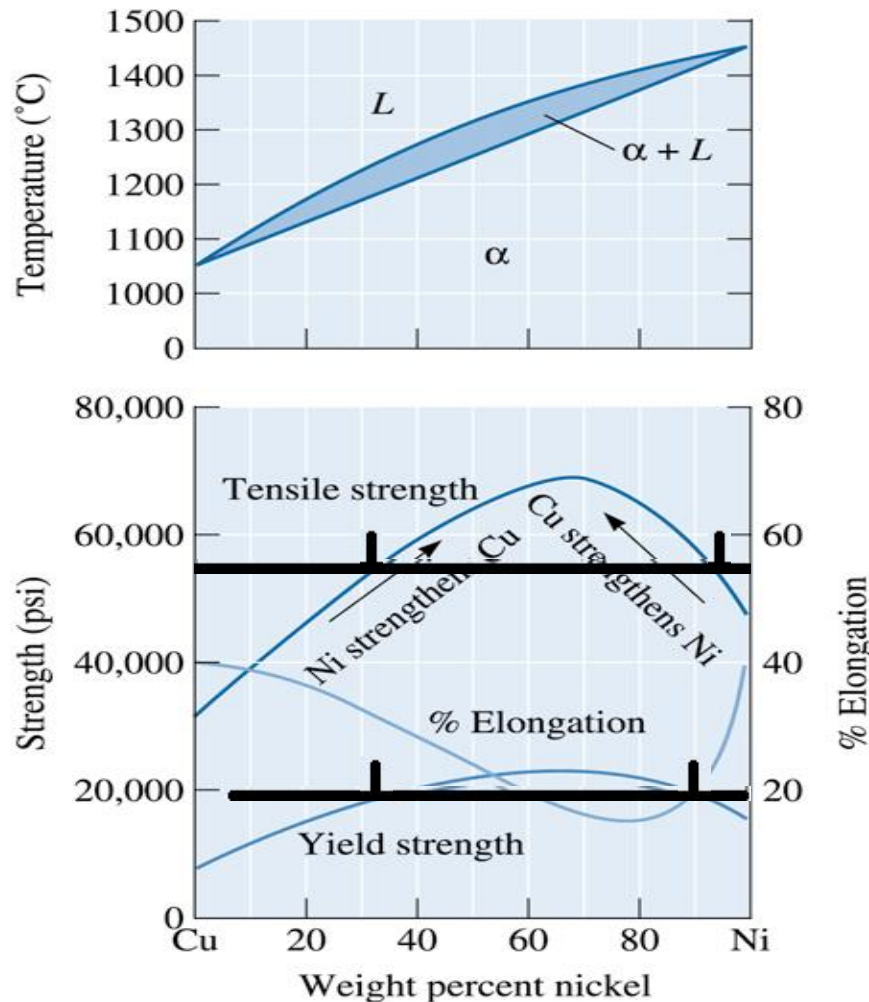
É necessário produzir uma liga Cu-Ni tendo como mínima tensão de escoamento de 20.000 psi,

uma tensão de tração mínima de 55.000 psi,

e um alongamento mínimo de 20%.

Há disponível uma liga de Cu-20% Ni e Ni puro.

Projete um método para produzir o material fundido com as propriedades requeridas.



**tensão de escoamento
mínima 20.000 psi,**

**tensão de tração
mínima 55.000 psi,**

**alongamento mínimo
20%.**

Ni é caro.

Portanto a liga de menor quantidade de Ni que atende a esses requisitos é a de 35%Ni.

Desejamos produzir 10 Kg de Cu 35% Ni.

Assim precisamos de

$$(10 \text{ Kg})(35\% \text{ Ni} / 100\%) = 3.5 \text{ Kg Ni}$$

Temos liga Cu 20% Ni e Ni puro

Assim:

**Ni da liga Cu-20% + Ni puro adicionado = Ni total da liga
35%**

Se adiciono X do Ni puro tenho:

$X + 0.2(10 - X) = 3.5$ de Ni

$X + 2 - 0.2x = 3.5$

$0.8X = 1.5 \quad x = 1.875\text{Kg (Ni puro)}$

O resto é da liga Cu-Ni : 1.625 Kg