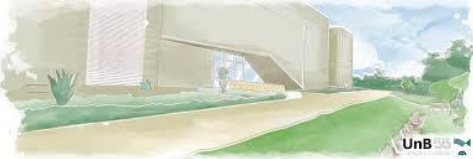




**DEFEITO CRISTALINO**: imperfeição do reticulado cristalino.

### **CLASSIFICAÇÃO GEOMÉTRICA DOS DEFEITOS CRISTALINOS:**

- **DEFEITOS PUNTIFORMES**: lacunas e átomos intersticiais;
- **DEFEITOS DE LINHA** (defeitos unidimensionais): discordâncias;
- **DEFEITOS BIDIMENSIONAIS** (fronteiras entre duas regiões com diferentes estruturas cristalinas ou diferentes orientações cristalográficas): contornos de grão, interfaces, superfícies livres, contornos de macla, defeitos de empilhamento;
- **DEFEITOS VOLUMÉTRICOS** (defeitos tridimensionais): poros, trincas e inclusões.



### DEFEITOS PUNTIFORMES: LACUNAS

- **LACUNA** (“vacancy”): ausência de um átomo no reticulado cristalino.
- Podem ser formadas durante a deformação plástica ou como resultado de vibrações atômicas.
- Existe uma CONCENTRAÇÃO DE EQUILÍBRIO de lacunas.

$$N_L = N \exp\left(-\frac{Q_L}{kT}\right)$$

onde:

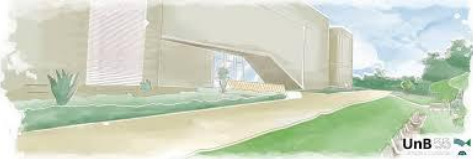
N = número total de posições atômicas

$N_L$  = número de lacunas

$Q_L$  = energia de ativação para formação de lacunas

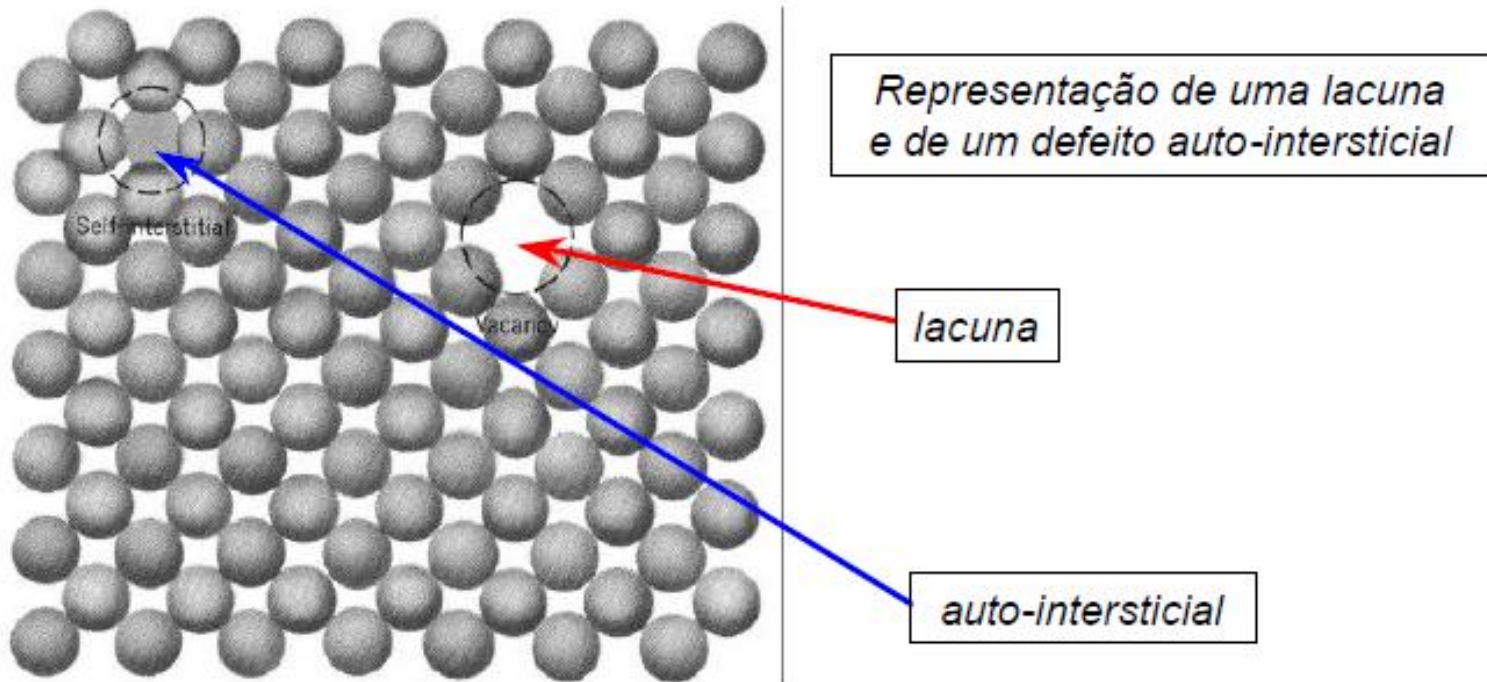
k = constante de Boltzmann

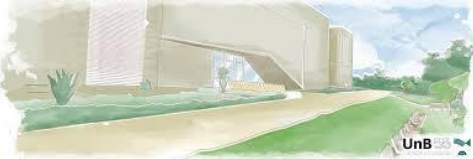
T = temperatura absoluta



### DEFEITOS PUNTIFORMES: AUTO-INTERSTICIAIS

- **AUTO-INTERSTICIAL:** é um átomo da rede (substitucional) que ocupa uma posição que não é uma posição típica da rede.
- Os defeitos auto-intersticiais causam uma grande distorção do reticulado cristalino a sua volta.





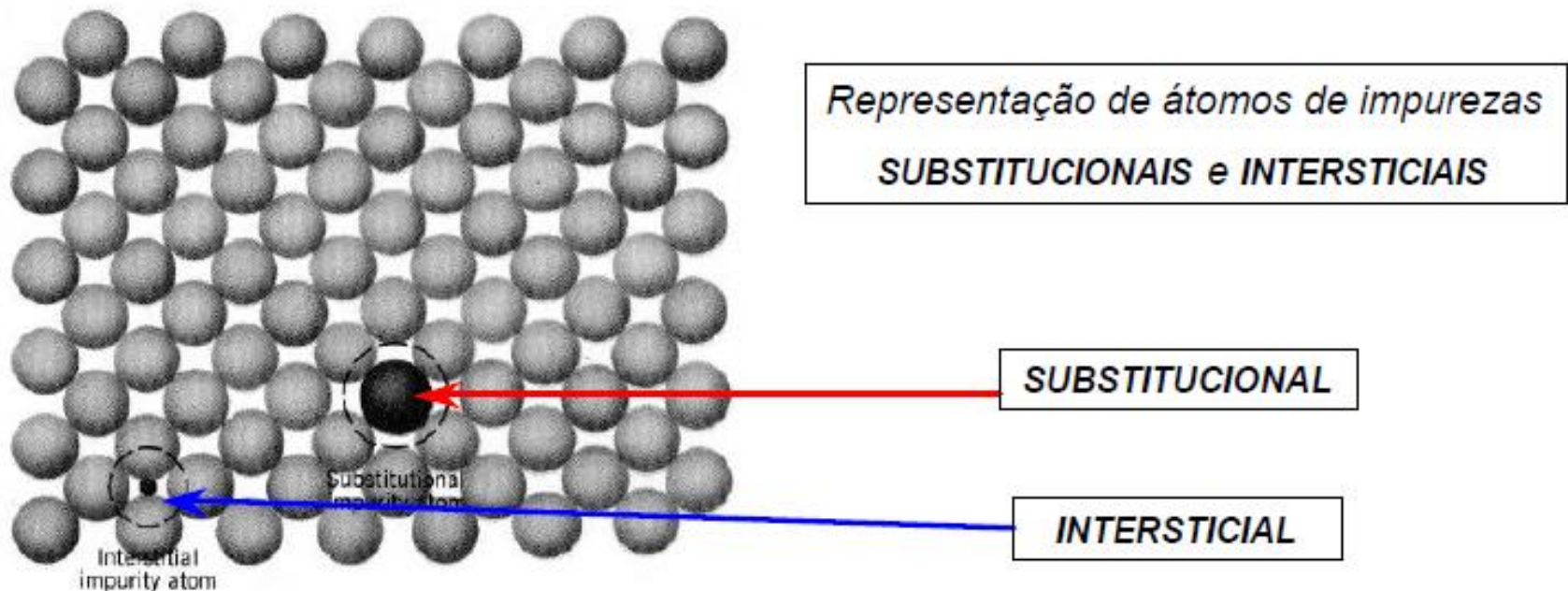
# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

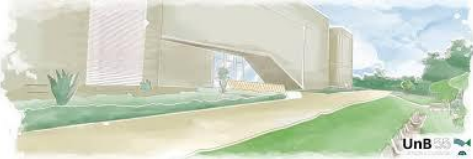
## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO



### IMPUREZAS

- É **impossível** existir um metal consistindo de um só tipo de átomo (**metal puro**).
- As técnicas de refino atualmente disponíveis permitem obter metais com um grau de pureza no máximo de 99,9999%.





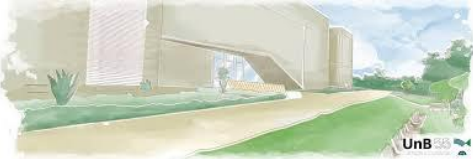
### SOLUÇÕES SÓLIDAS

- As ligas são obtidas através da adição de elementos de liga (átomos diferentes do metal-base). Esses átomos adicionados intencionalmente podem ficar em **solução sólida** e/ou fazer parte de uma **segunda fase**.
- Em uma liga, o elemento presente em menor concentração denomina-se **SOLUTO** e aquele em maior quantidade, **SOLVENTE**.
- **SOLUÇÃO SÓLIDA**: ocorre quando a adição de átomos do soluto não modifica a estrutura cristalina nem provoca a formação de novas estruturas.
- **SOLUÇÃO SÓLIDA SUBSTITUCIONAL** : os átomos de soluto substituem uma parte dos átomos de solvente no reticulado.

Exemplos: latão (Cu e Zn), bronze (Cu e Sn), monel (Cu e Ni).

- **SOLUÇÃO SÓLIDA INTERSTICIAL**: os átomos de soluto ocupam os interstícios existentes no reticulado.

Exemplo: carbono em ferro.



## SOLUÇÕES SÓLIDAS

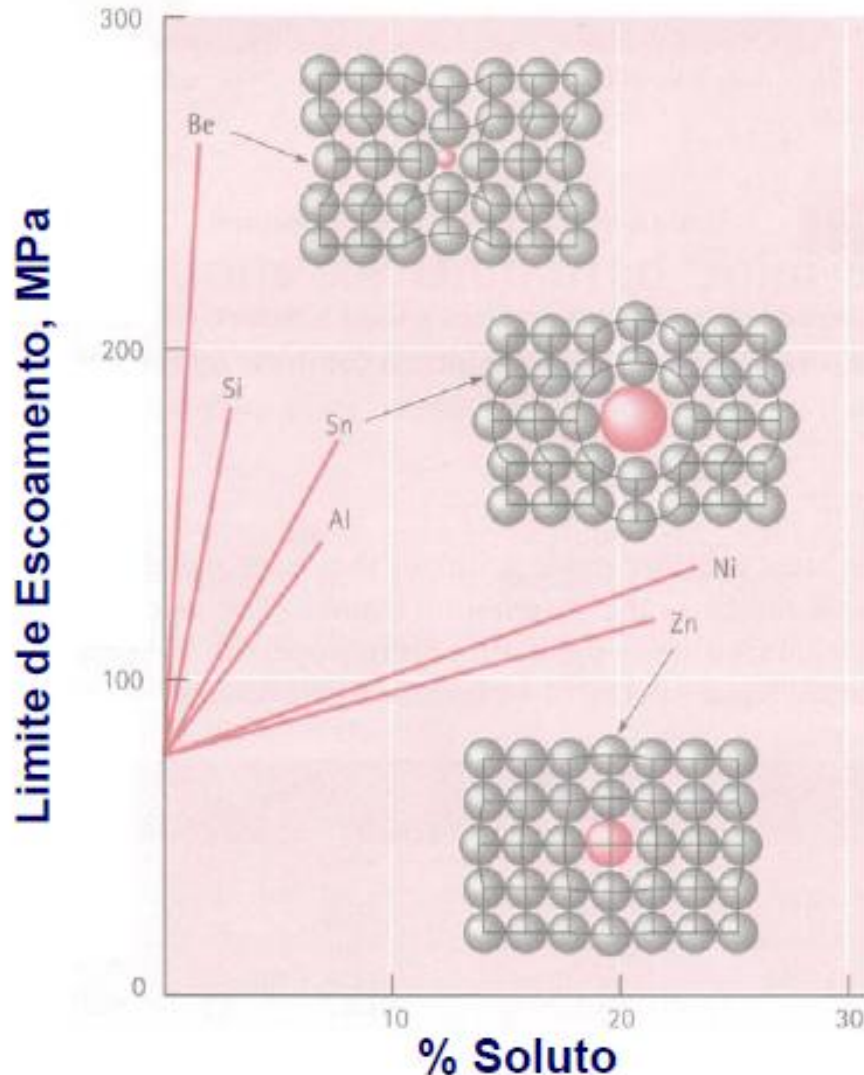
### SOLUÇÃO SÓLIDA **SUBSTITUCIONAL**:

- (a) ESTRUTURA CRISTALINA DO SOLUTO SEJA A MESMA DO SOLVENTE;
- (b) VALÊNCIAS DO SOLUTO E DO SOLVENTE SEJAM IGUAIS;
- (c) ELETRO-NEGATIVIDADES DO SOLUTO E DO SOLVENTE SEJAM PRÓXIMAS;
- (d) RAIOS ATÔMICOS DO SOLUTO E SOLVENTE TENHAM VALORES PRÓXIMOS  
(A DIFERENÇA NÃO DEVE ULTRAPASSAR 15 %).





## SOLUÇÕES SÓLIDAS

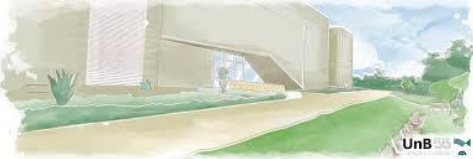


**PRESENÇA DE SOLUTOS ALTERA O COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS METAIS:**

- **DIFERENÇA** ENTRE TAMANHOS ATÔMICOS LEVA AO **AUMENTO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA**;
- **AUMENTO** DA QUANTIDADE DE SOLUTO LEVA AO **AUMENTO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA**;

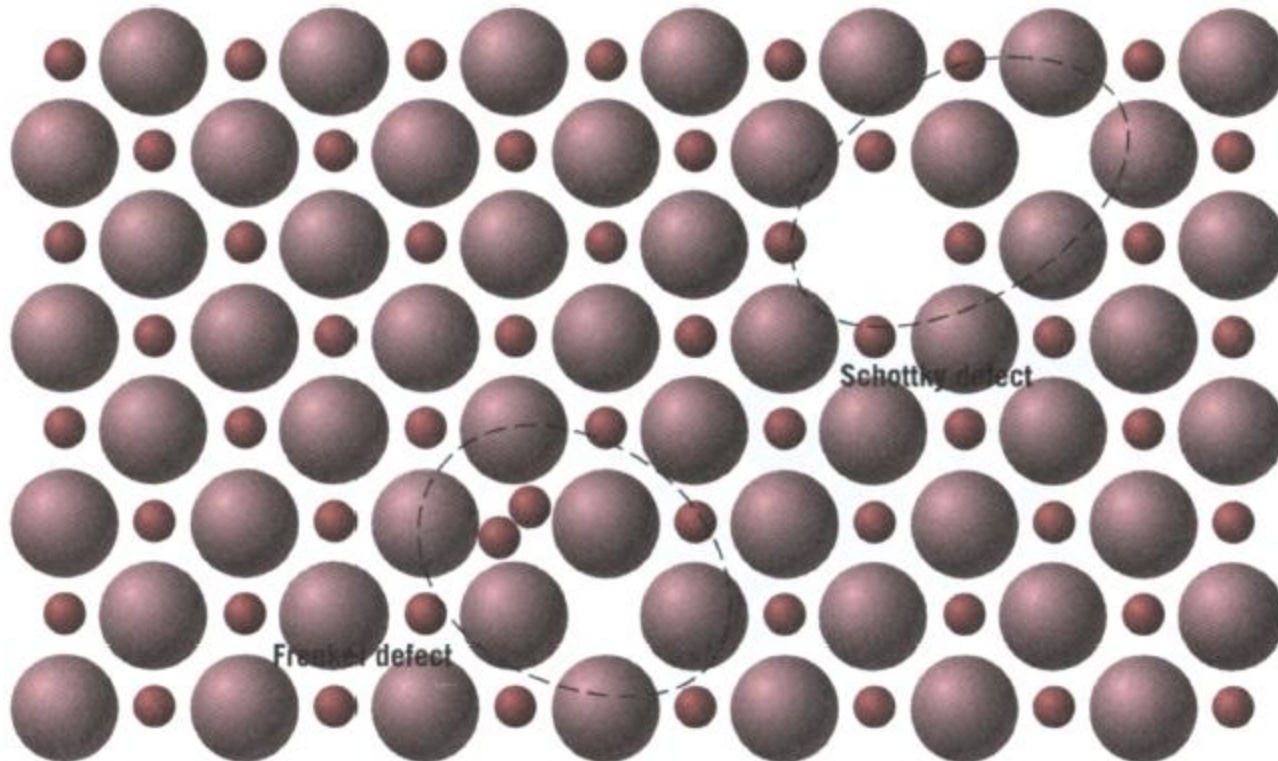
### EXEMPLOS:

- LIGA Cu-Zn: AUMENTO PEQUENO (TAMANHOS ATÔMICOS PRÓXIMOS);
- LIGA Cu-Sn: AUMENTO MÉDIO (TAMANHOS ATÔMICOS DIFERENTES);
- LIGA Cu-Be: AUMENTO ELEVADO (TAMANHOS ATÔMICOS DIFERENTES);



### DEFEITOS PUNTIFORMES EM SÓLIDOS IÔNICOS

- A neutralidade elétrica tende a ser respeitada.
- **DEFEITO SCHOTTKY**: lacuna aniônica + lacuna catiônica
- **DEFEITO FRENKEL**: cátion intersticial + lacuna catiônica







## DEFEITOS DE LINHA EM SÓLIDOS CRISTALINOS

DEFEITOS ALINHADOS E CONTÍNUOS: **IMPERFEIÇÕES EM LINHA**

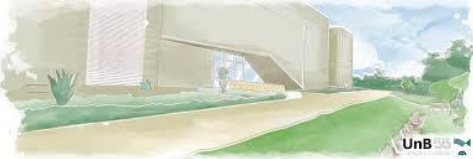
OS DEFEITOS EM LINHA, TAMBÉM CHAMADOS DE **DISCORDÂNCIAS** SÃO IMPERFEIÇÕES QUE CAUSAM A DISTORÇÃO DA REDE CRISTALINA EM TORNO DE UMA LINHA E CARACTERIZAM-SE POR ENVOLVER UM **PLANO EXTRA DE ÁTOMOS**.

ESTAS IMPERFEIÇÕES PODEM SER PRODUZIDAS DURANTE O CRESCIMENTO DO CRISTAL OU NA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DO CRISTAL.

EXISTEM DOIS TIPOS PRINCIPAIS DE DISCORDÂNCIAS:

**DISCORDÂNCIA EM CUNHA**

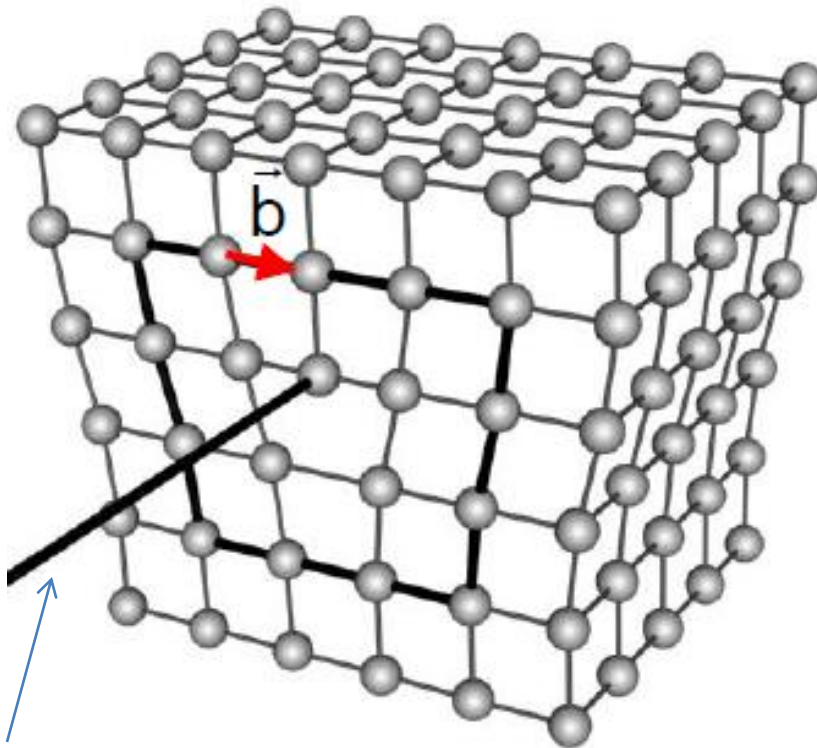
**DISCORDÂNCIA EM HÉLICE**



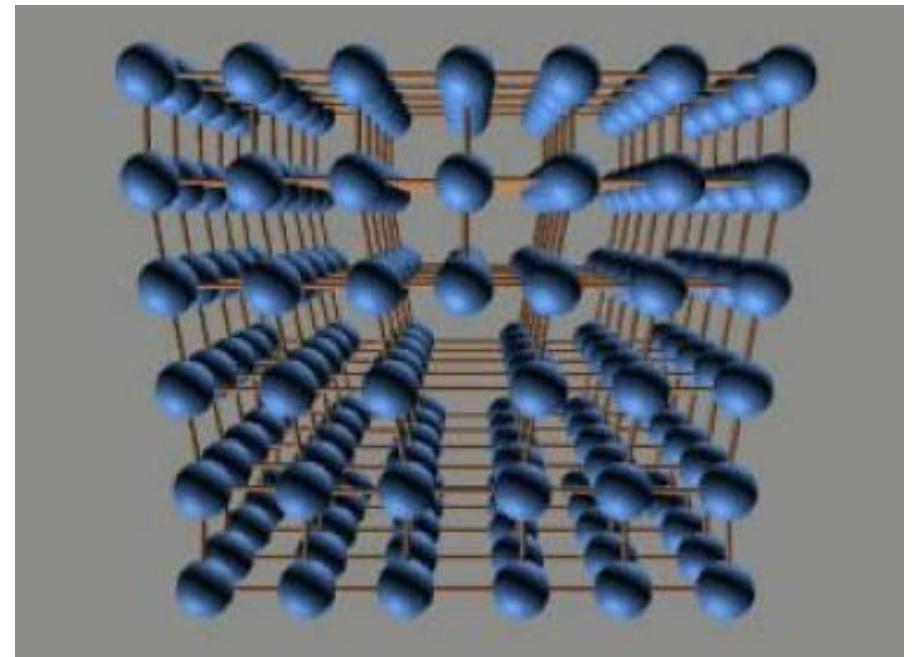
# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

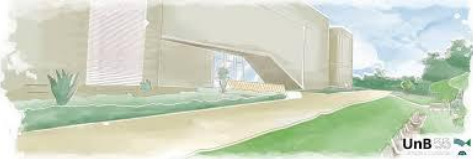
## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### DISCORDÂNCIA EM CUNHA



LINHA DE DISCORDÂNCIA

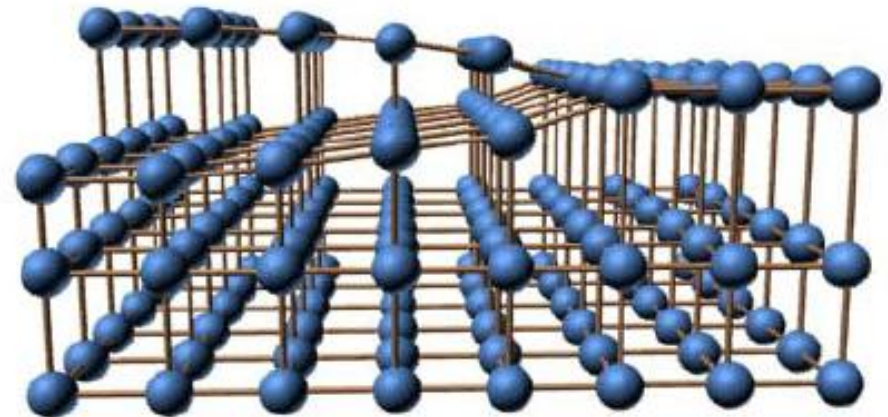
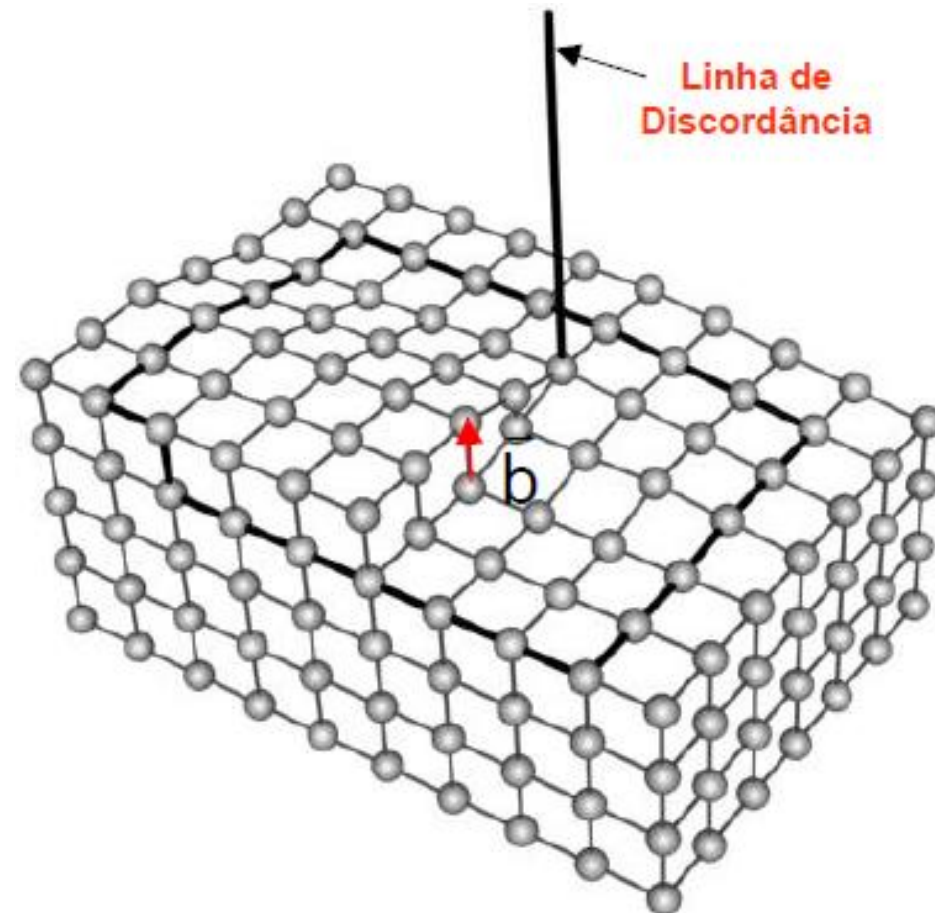


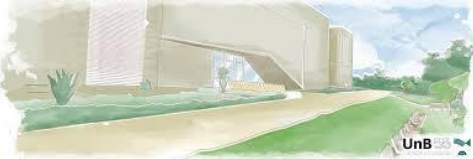


# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

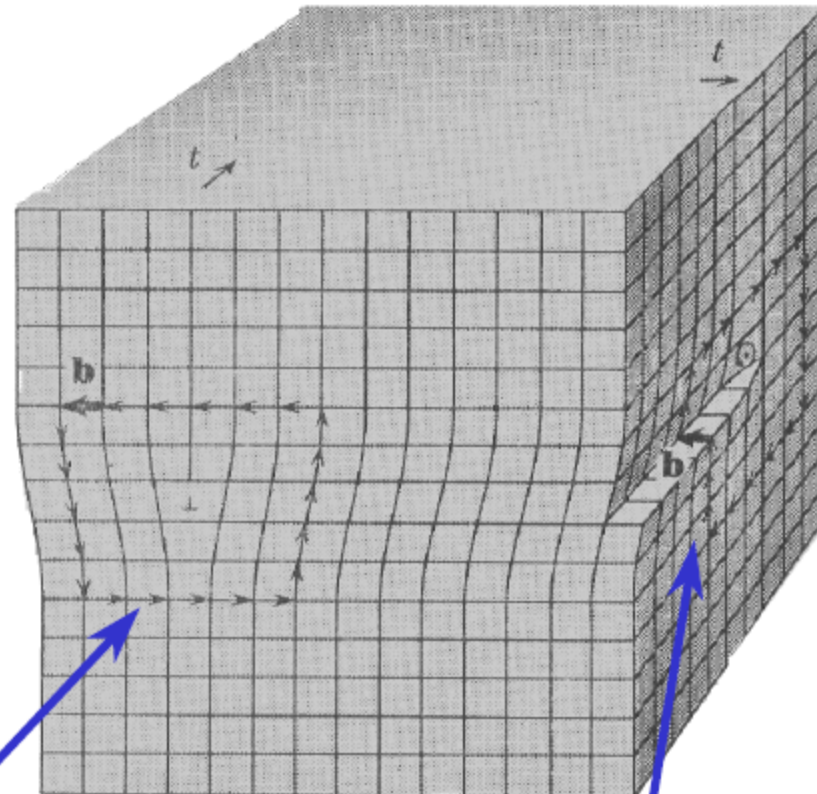
### DISCORDÂNCIA EM HÉLICE





### DISCORDÂNCIA MISTA

- A magnitude e a direção da distorção do reticulado associada a uma discordância podem ser expressas em termos do **VETOR DE BURGERS**,  $\vec{b}$ .
- O vetor de Burgers pode ser determinado por meio do **CIRCUITO DE BURGERS**.
- O vetor de Burgers fornece o módulo e a direção do escorregamento; ele é paralelo à direção do fluxo (ou movimento do material), não sendo necessariamente no mesmo sentido.



*Circuito de Burgers  
Discordância em Cunha*

*Circuito de Burgers  
Discordância em Hélice*

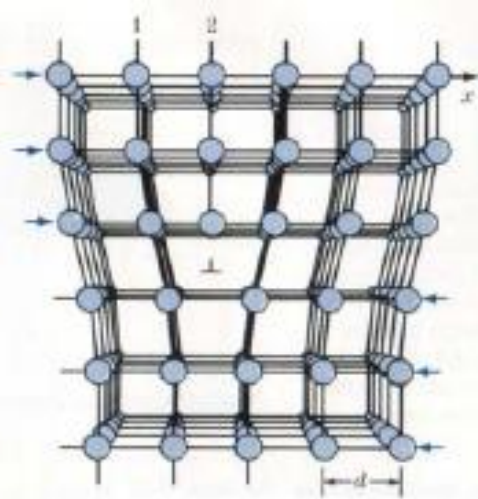
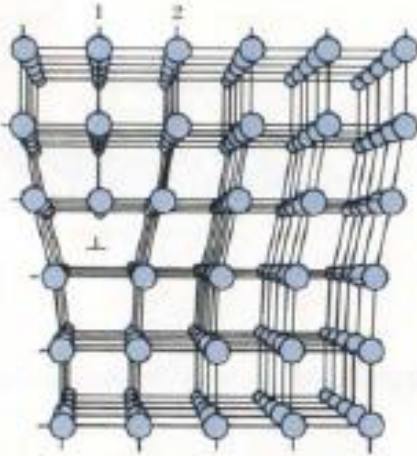




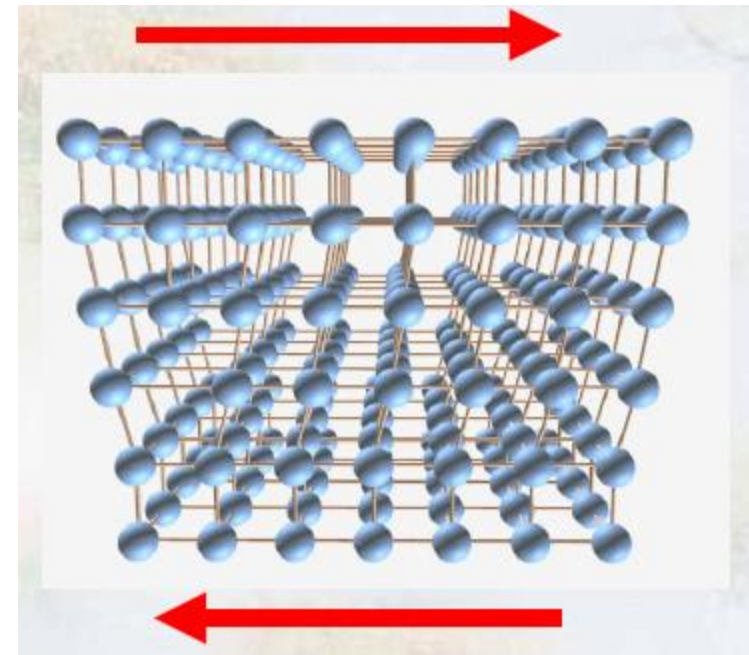
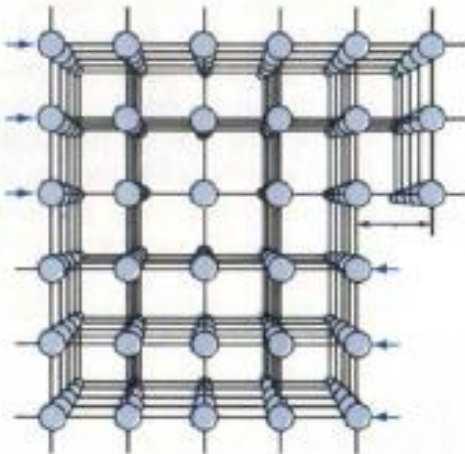
# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### DISCORDÂNCIAS E A DEFORMAÇÃO



**MOVIMENTO DE  
DISCORDÂNCIAS**



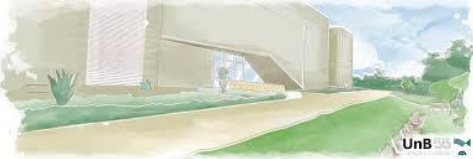




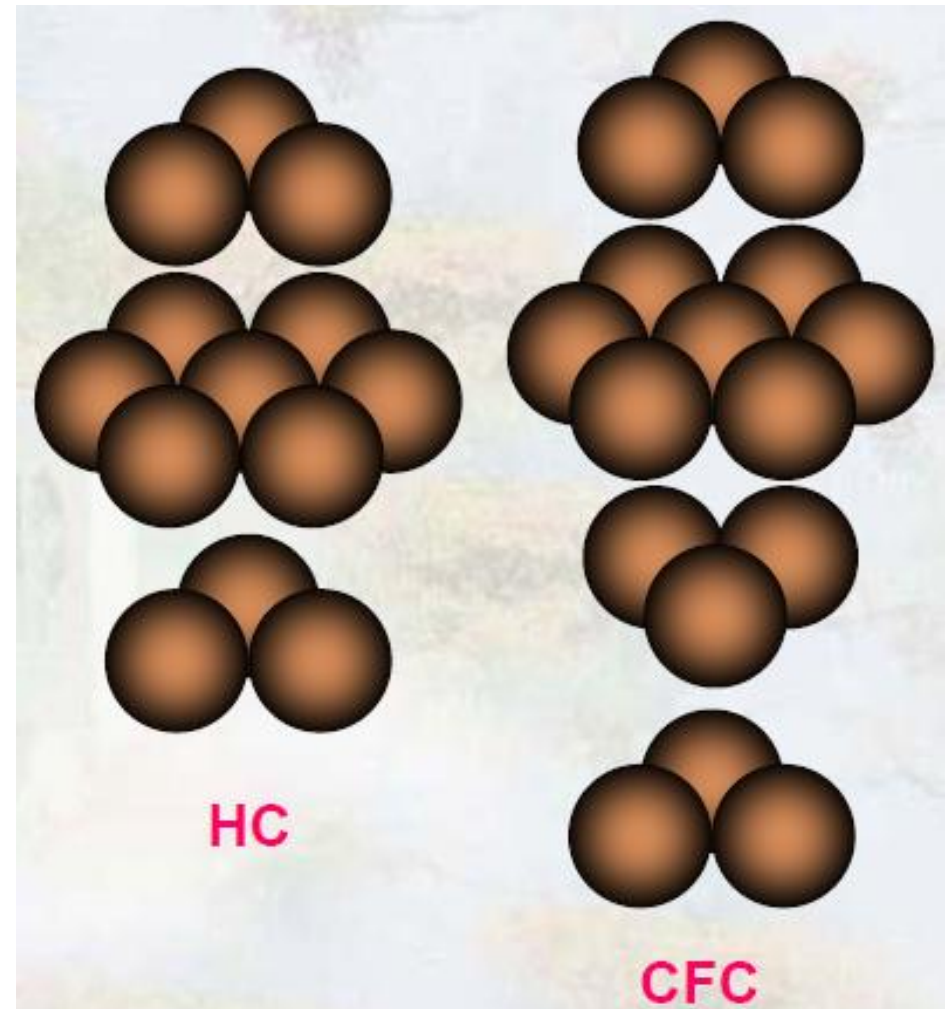
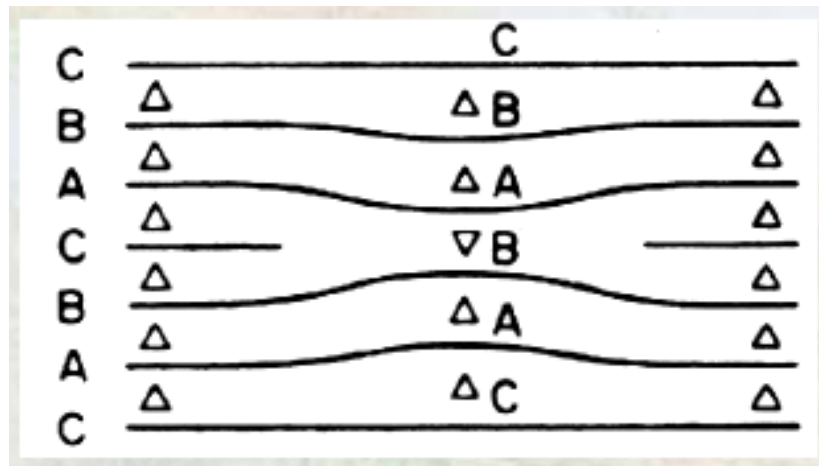
### DEFEITOS BIDIMENSIONAIS

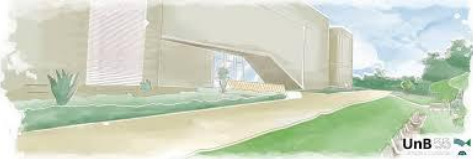
Cristais apresentam defeitos em duas dimensões, que se estendem ao longo da estrutura, gerando **imperfeições de superfícies**:

- **Interface** – contorno entre duas fases diferentes;
- **Superfície Externa** – superfície entre o cristal e o meio;
- **Falhas de Empilhamento** – interrupção na sequência de empilhamento;
- **Contornos de Grão** – contorno entre dois cristais da mesma fase;
- **Maclas** – tipo especial de contorno de grão que separa duas regiões com uma simetria tipo “espelho”.



### FALHAS DE EMPILHAMENTO



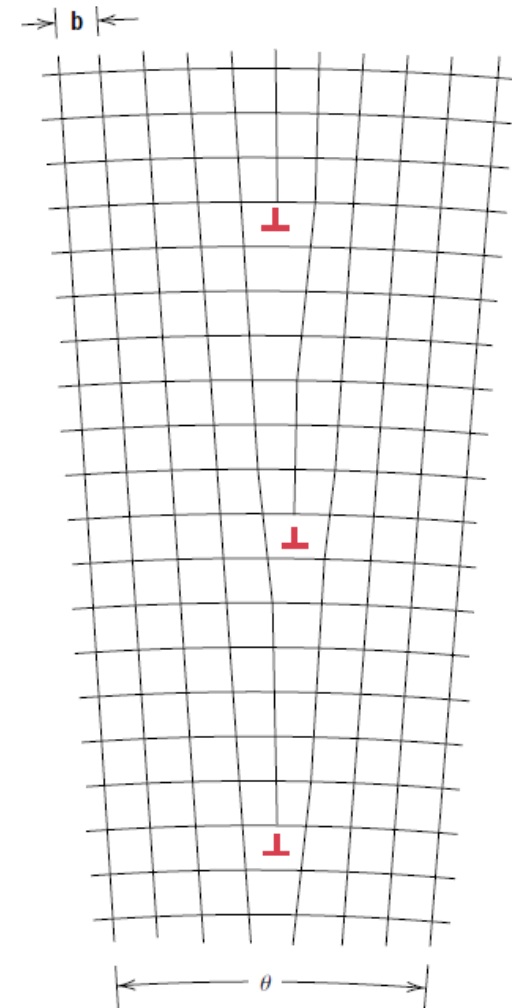
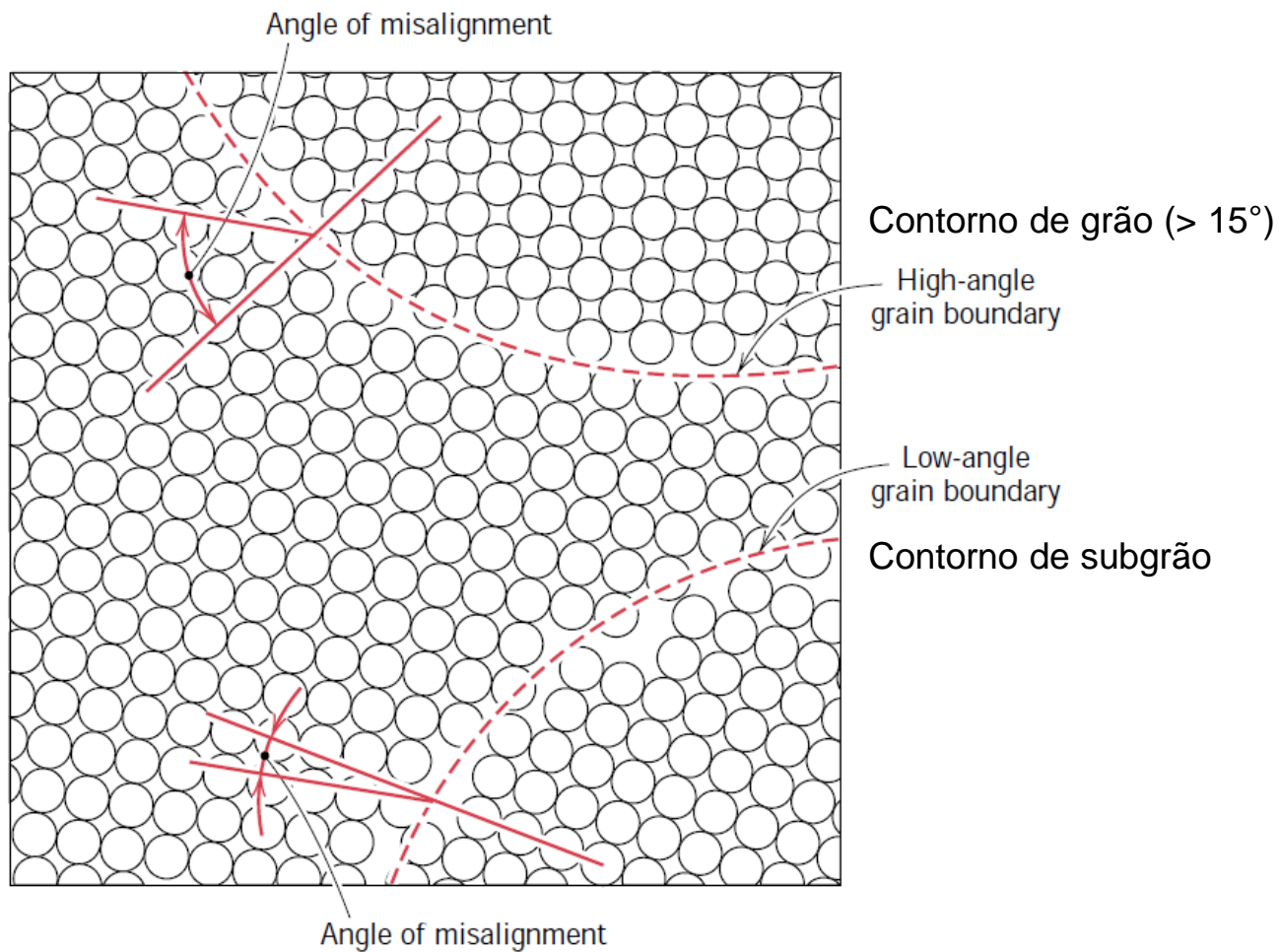


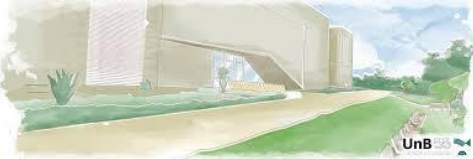
# DEFEITOS EM SÓLIDOS CRISTALINOS

## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO



### CONTORNOS DE GRÃO



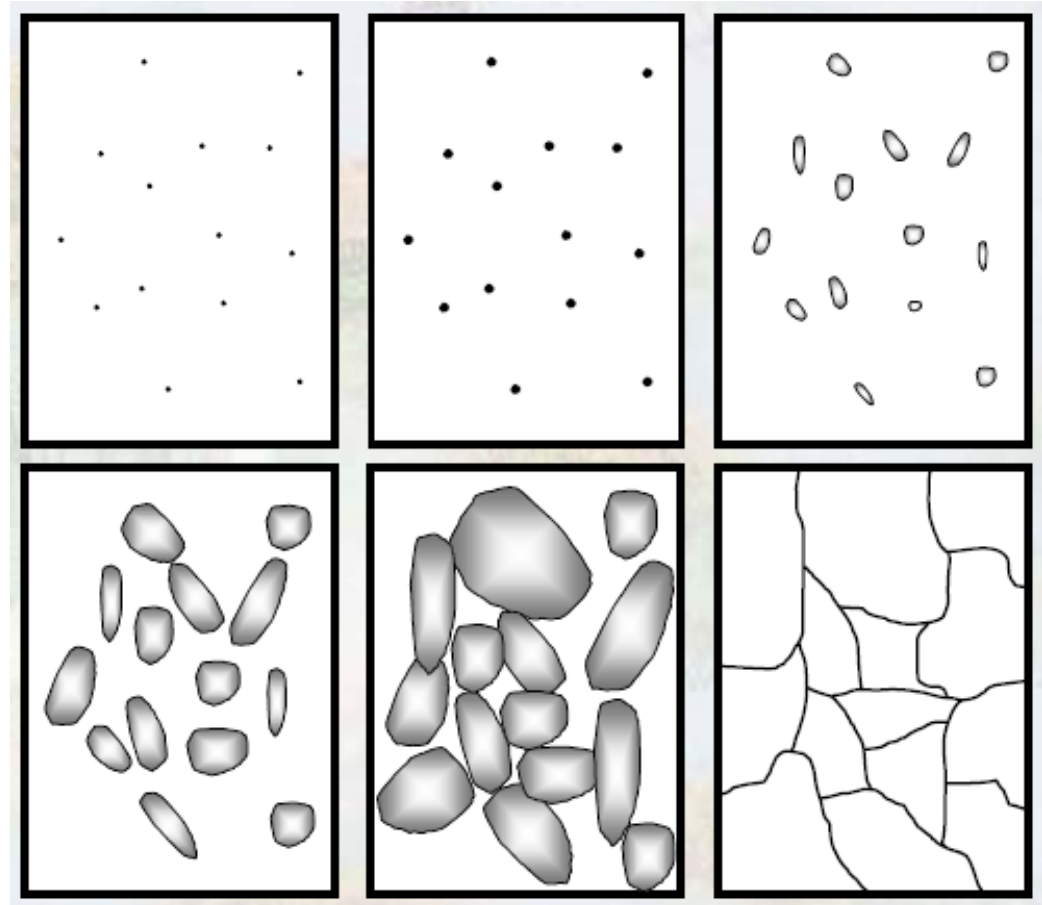
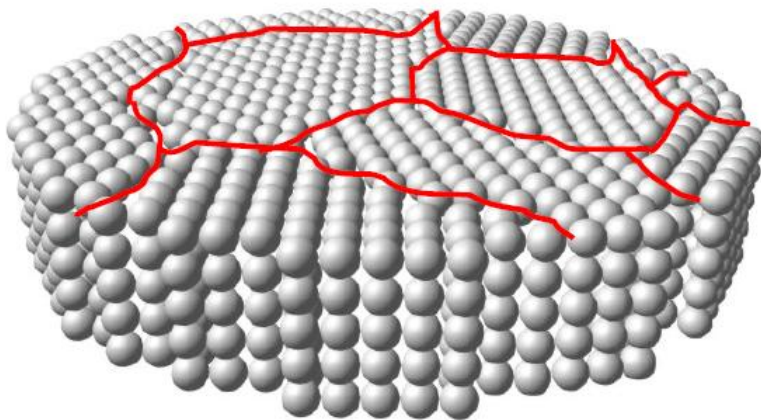
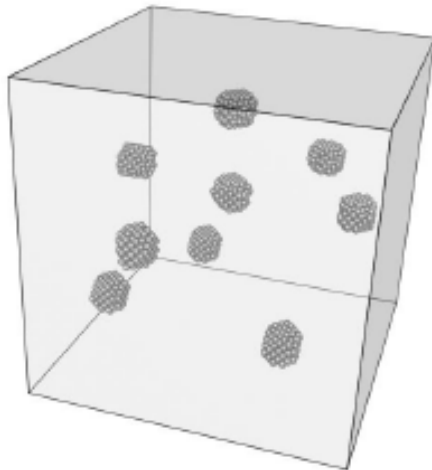


# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### CONTORNOS DE GRÃO

#### NUCLEAÇÃO



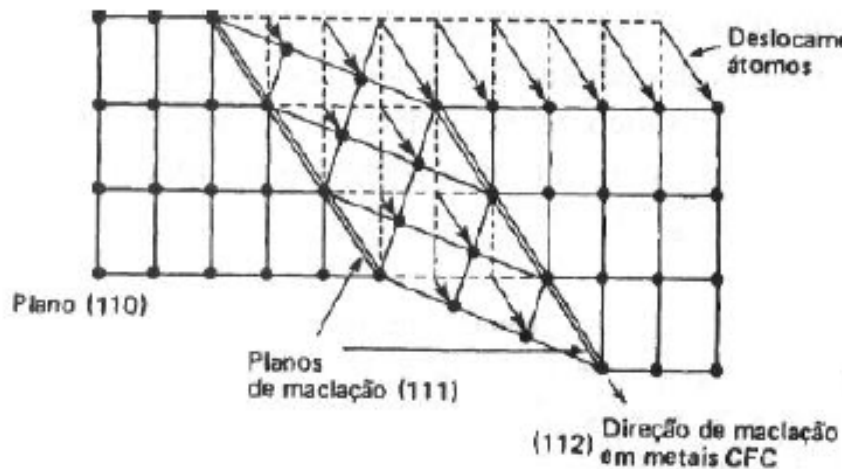




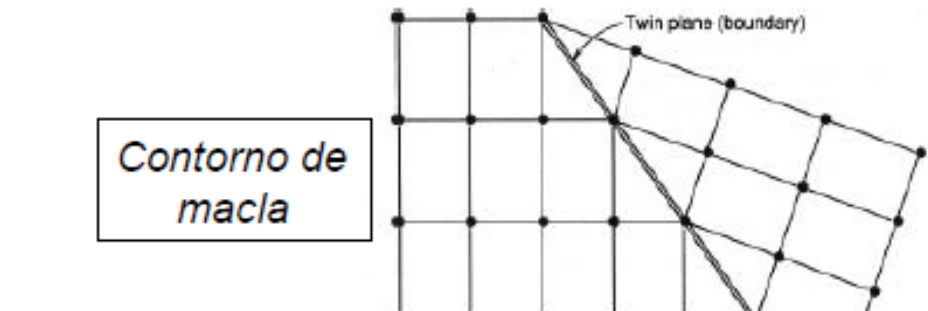
### MACLAS

- A **MACLA** é um tipo de defeito cristalino que pode ocorrer durante a solidificação, deformação plástica, recristalização ou crescimento de grão.
- Tipos de macla: MACLAS DE RECOIMENTO e MACLAS DE DEFORMAÇÃO.

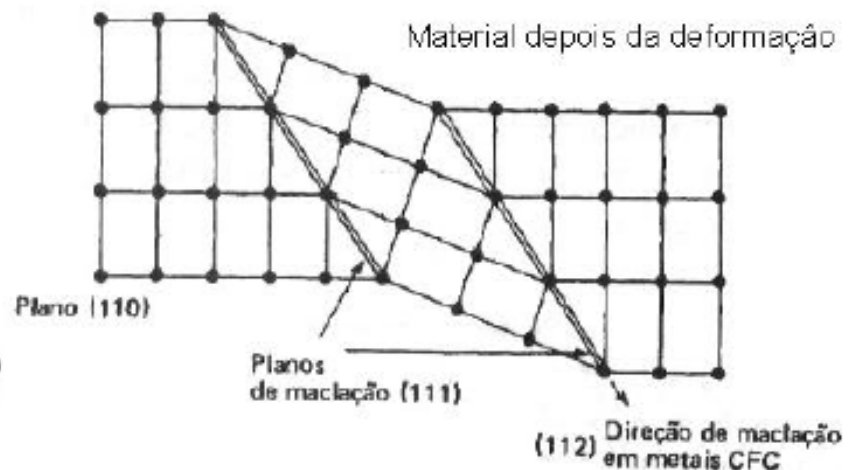
#### Maclação mecânica em metais CFC



Material antes da deformação mecânica



Contorno de macla



Direção de maclação em metais CFC





# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

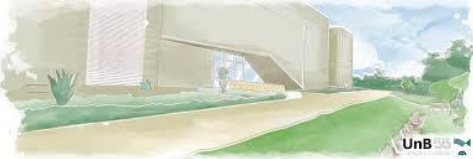
## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO



**Cu-Al-Ni**

**MACLAS**





# DEFEITOS EM SOLIDOS CRISTALINOS

## TEORIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

