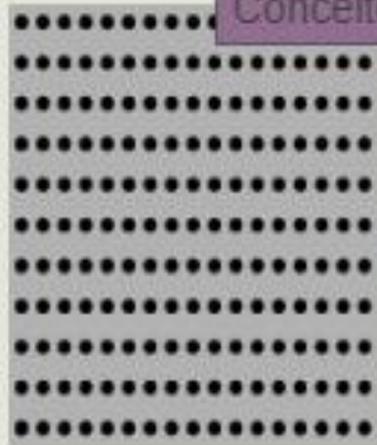


## 4.2. DEFEITOS PLANARES

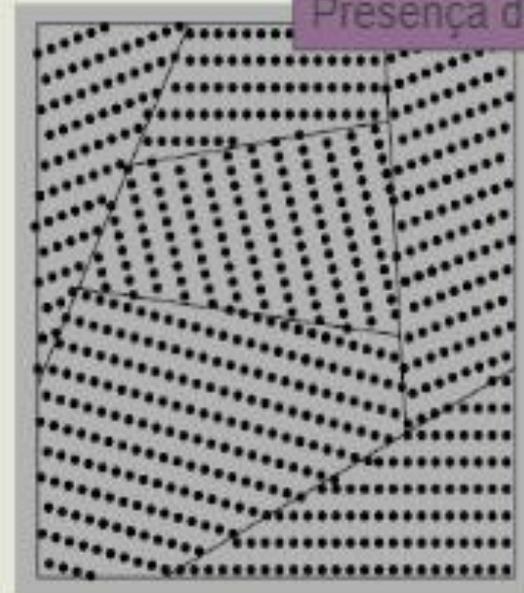
Ordem



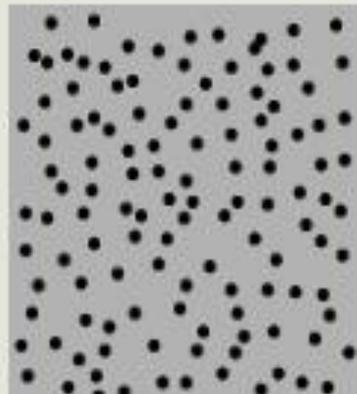
Conceito de perfeição



Presença de defeitos

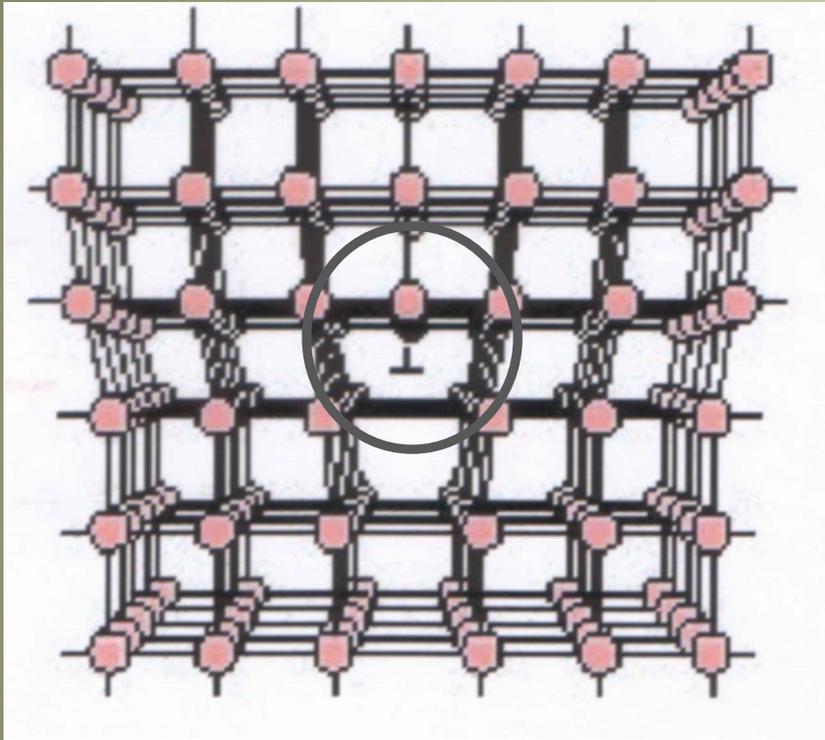


Desordem

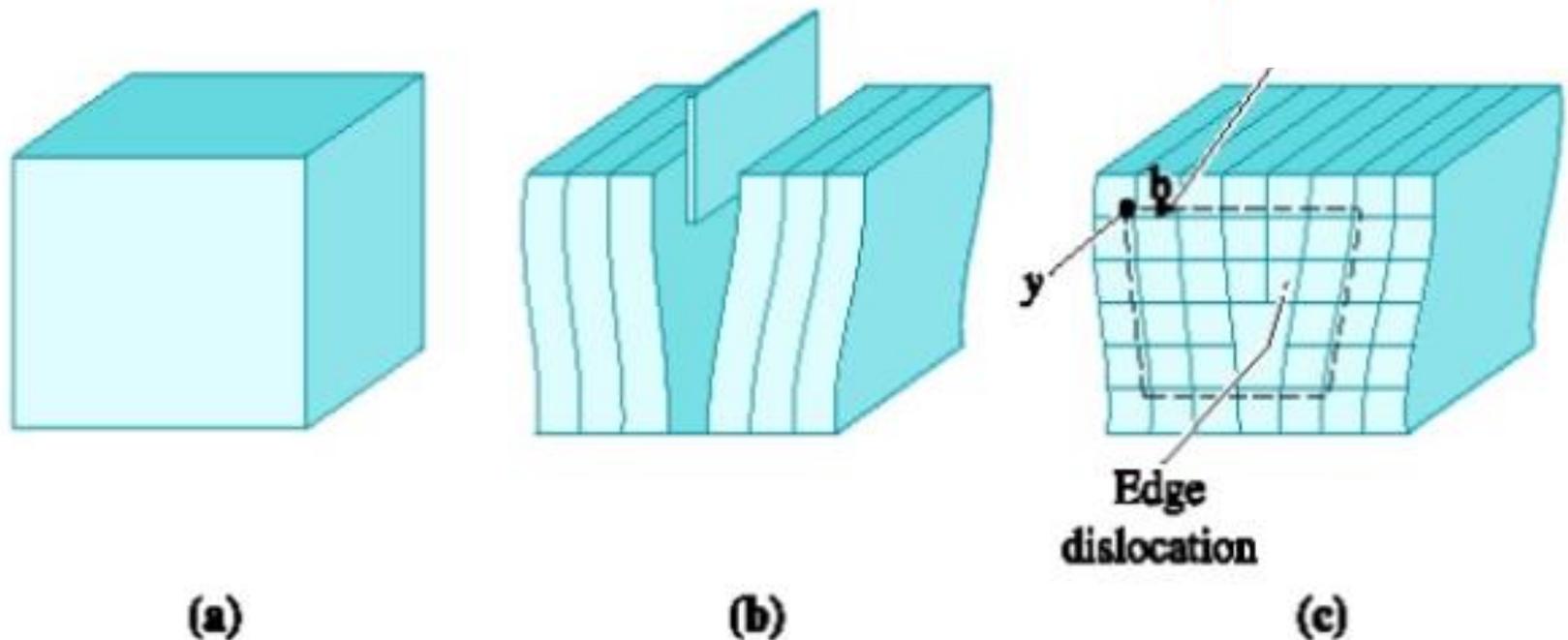


Material Policristalino

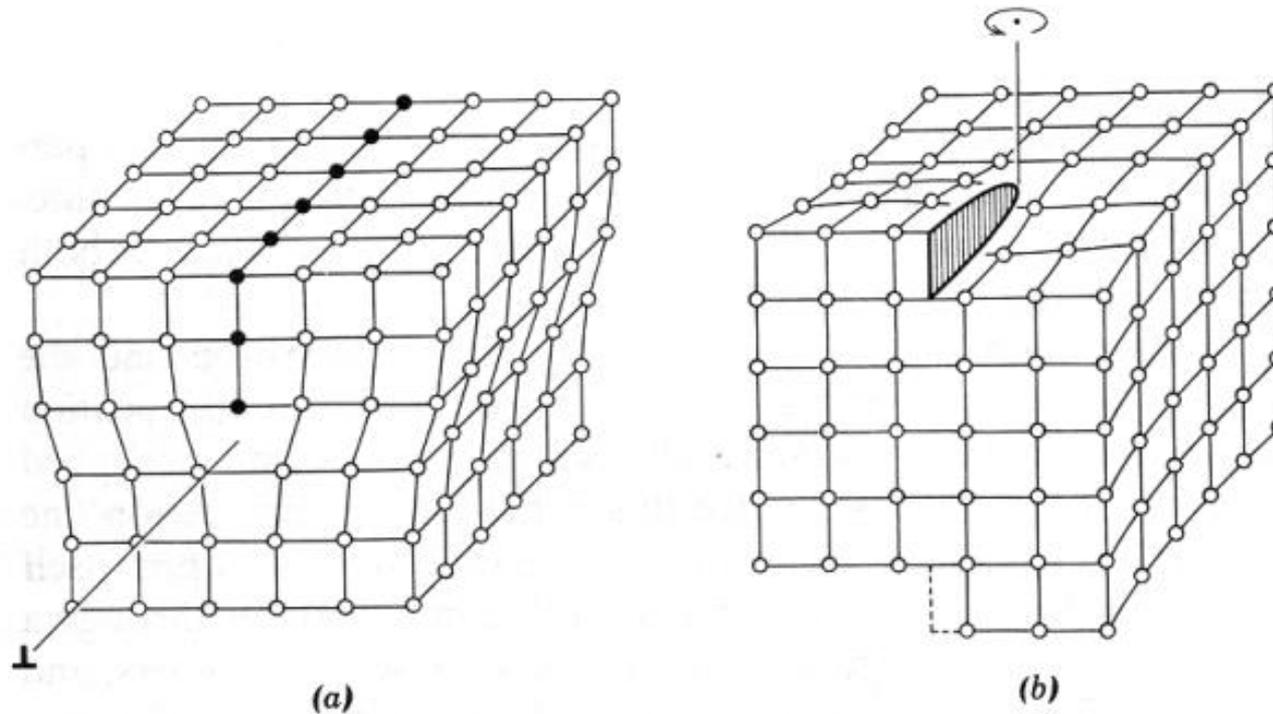
# Defeitos lineares - Discordâncias



A presença de discordâncias é bastante importante na definição de propriedades mecânicas de materiais metálicos. A descoberta desse tipo de defeitos em **1934 por Taylor, Orowan e Polyani** representou um marco sobre o entendimento do comportamento de materiais como aços e ligas não-ferrosas. Próximo à linha de discordância, as ligações interatômicas encontram-se distorcidas e a rede apresenta um aumento de energia.



O cristal perfeito em (a) é cortado e um meio plano atômico extra é inserido (b). A extremidade da parte inferior do plano extra é uma *discordância em cunha* (c). O vetor de *Burgers*  $b$  é necessário para fechar um circuito de igual espaçamento atômico ao redor da discordância.



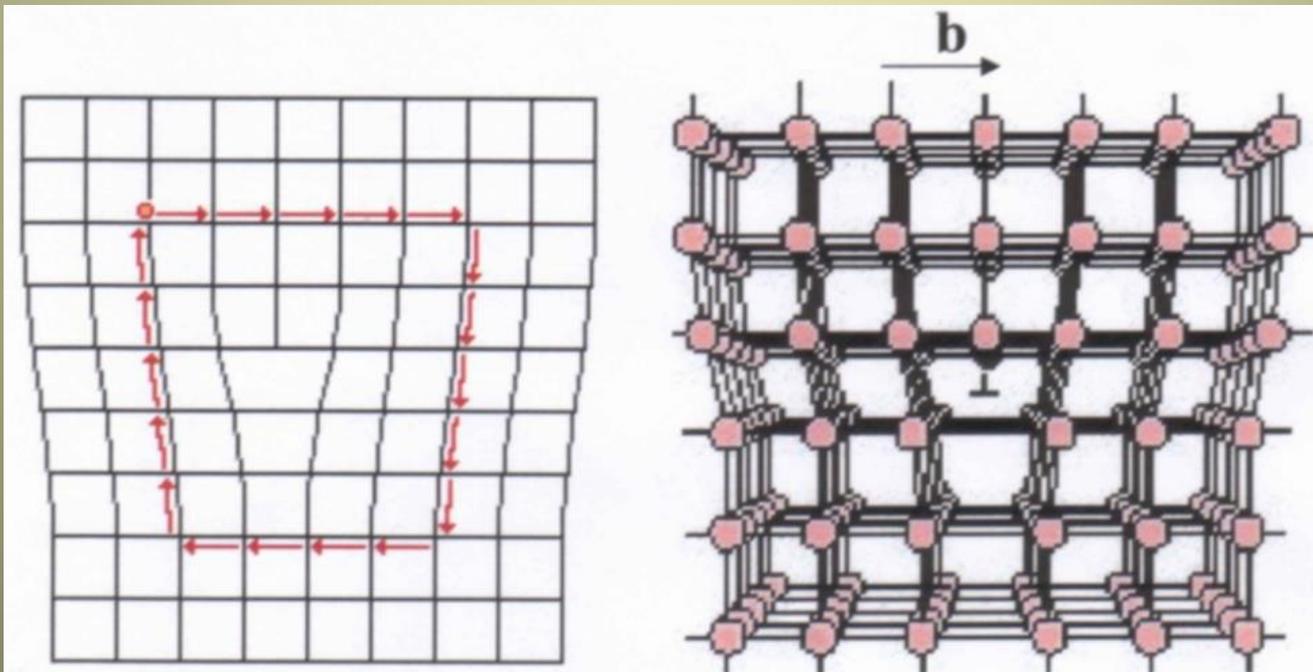
Geometria de discordâncias simples.

(a) discordância em cunha  $\perp$

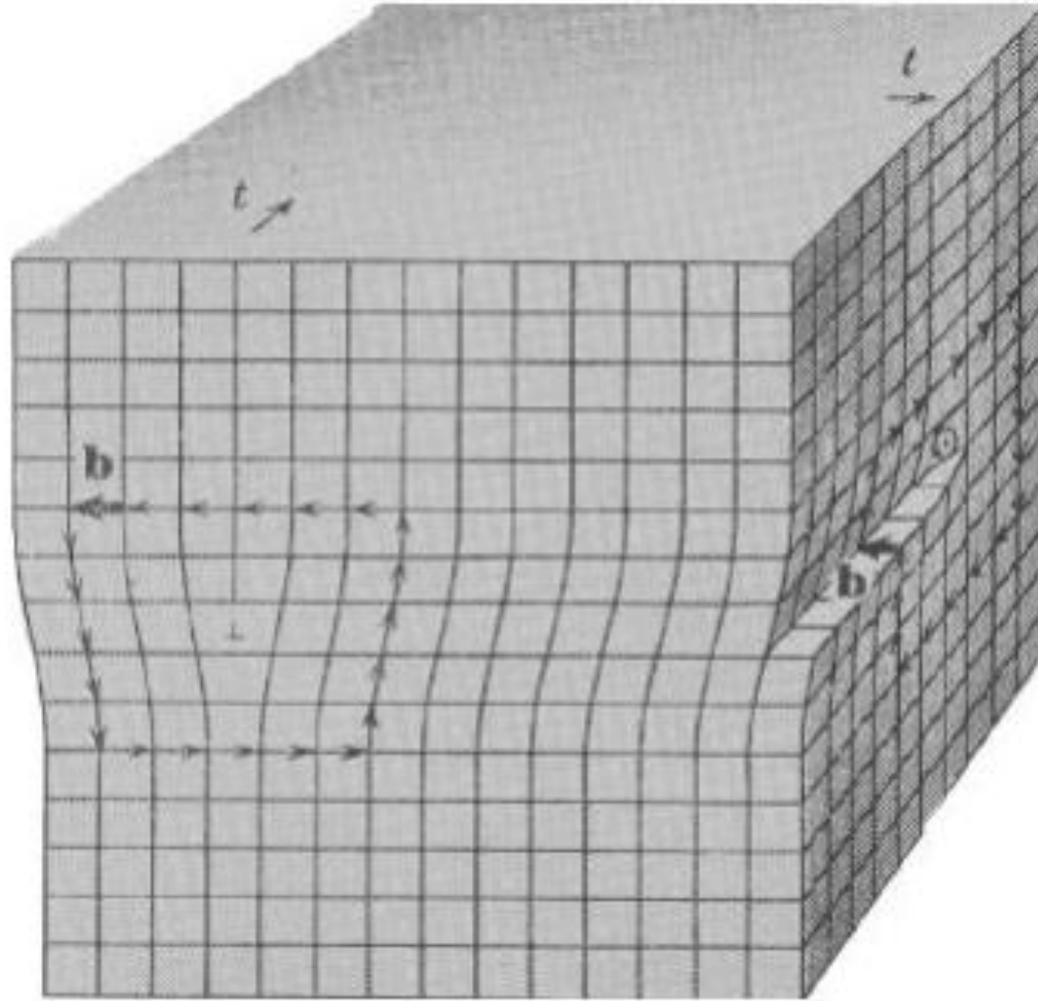
(b) discordância em hélice  $\odot$

# Descrição de discordâncias – Vetor de Burgers

Pode-se descrever o tamanho e direção da distorção da rede causada pela presença de uma discordância, através de um vetor denominado **vetor de Burgers**. Deve-se construir um circuito formado átomo a átomo, contando-se o mesmo número de distâncias atômicas em todas as direções. Se esse circuito contém (“abraça”) uma discordância, ele não será fechado. O vetor que o fecha é o vetor de Burgers.

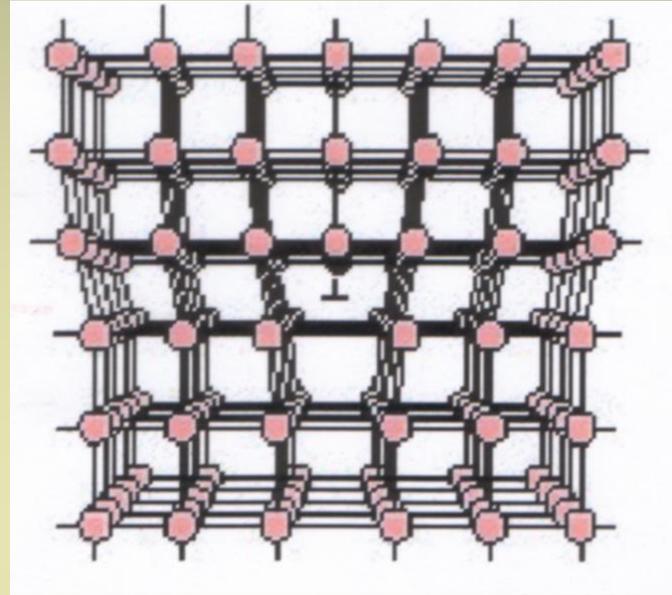


# Vetor de Burgers

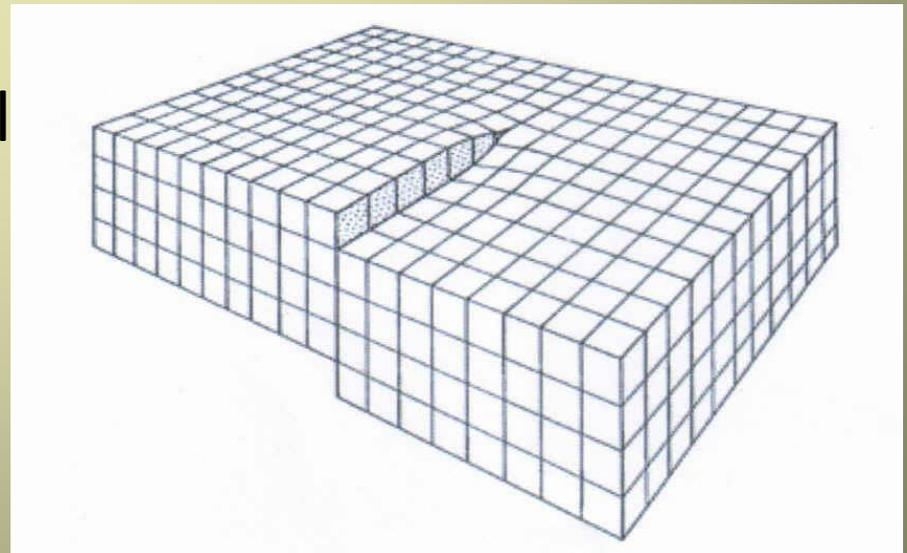


# Discordâncias em aresta e em hélice (espiral)

- Discordância em aresta: o vetor de Burgers é perpendicular à linha de discordância



- Discordância em espiral: o vetor de Burgers é paralelo à linha de discordância



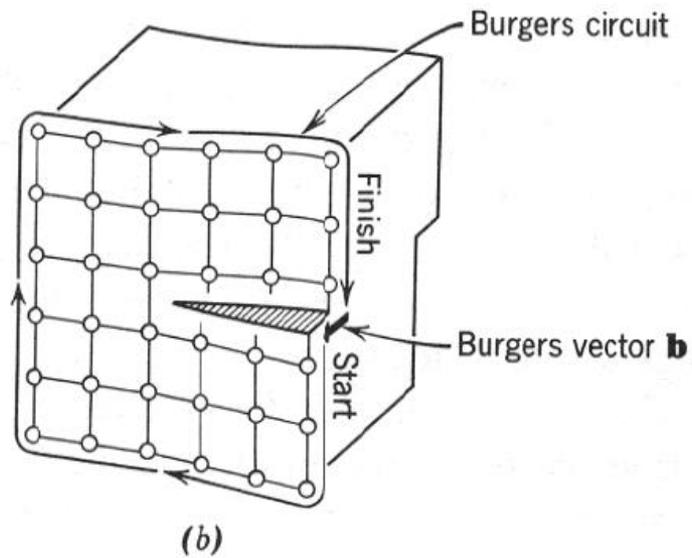
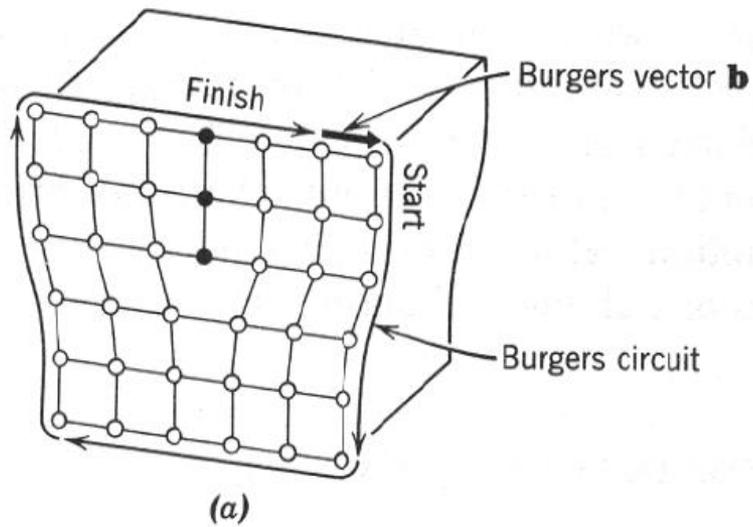
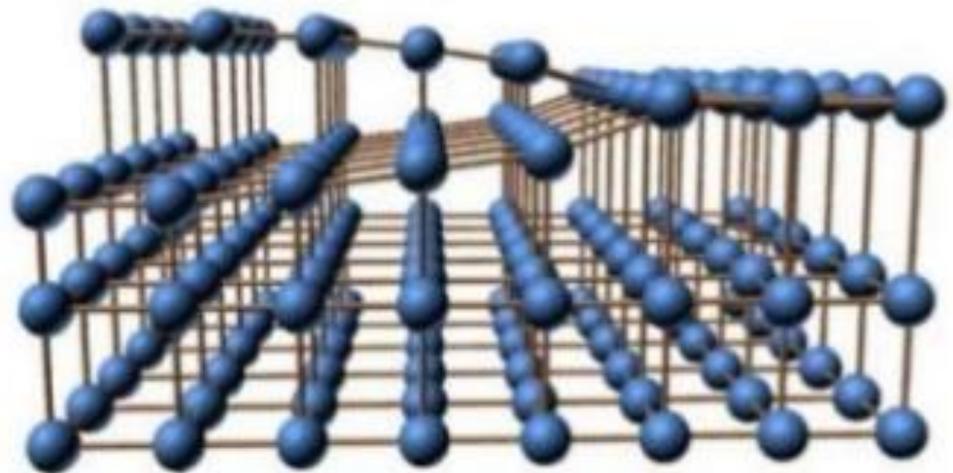
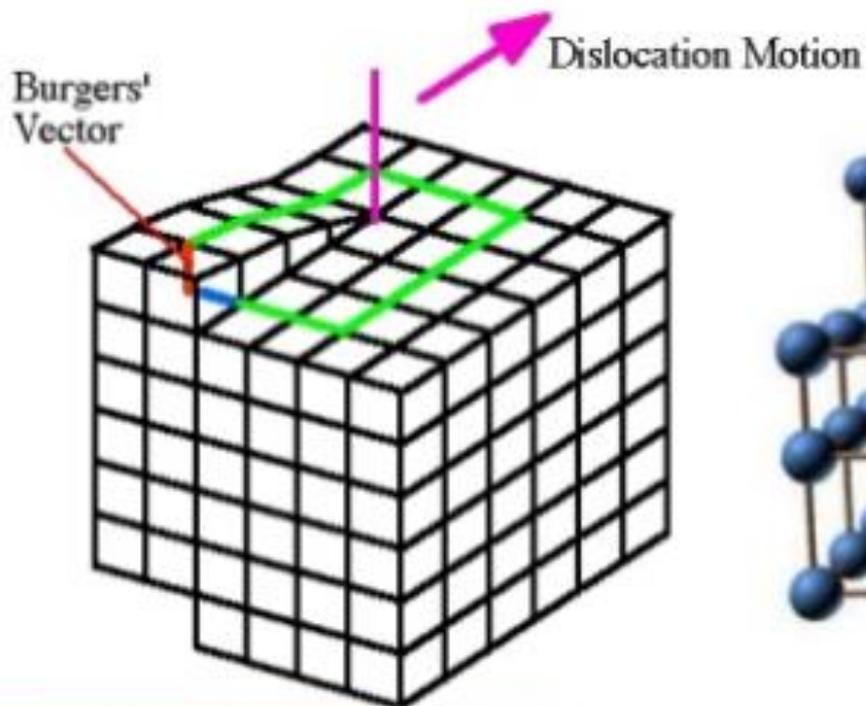


Figure 4.3 Burgers vectors and Burgers circuits of (a) an edge dislocation and (b) a screw dislocation.

# Discordância em hélice

- Produz distorção na rede
- O vetor de burger é paralelo à direção da linha de discordância



# Discordância em hélice

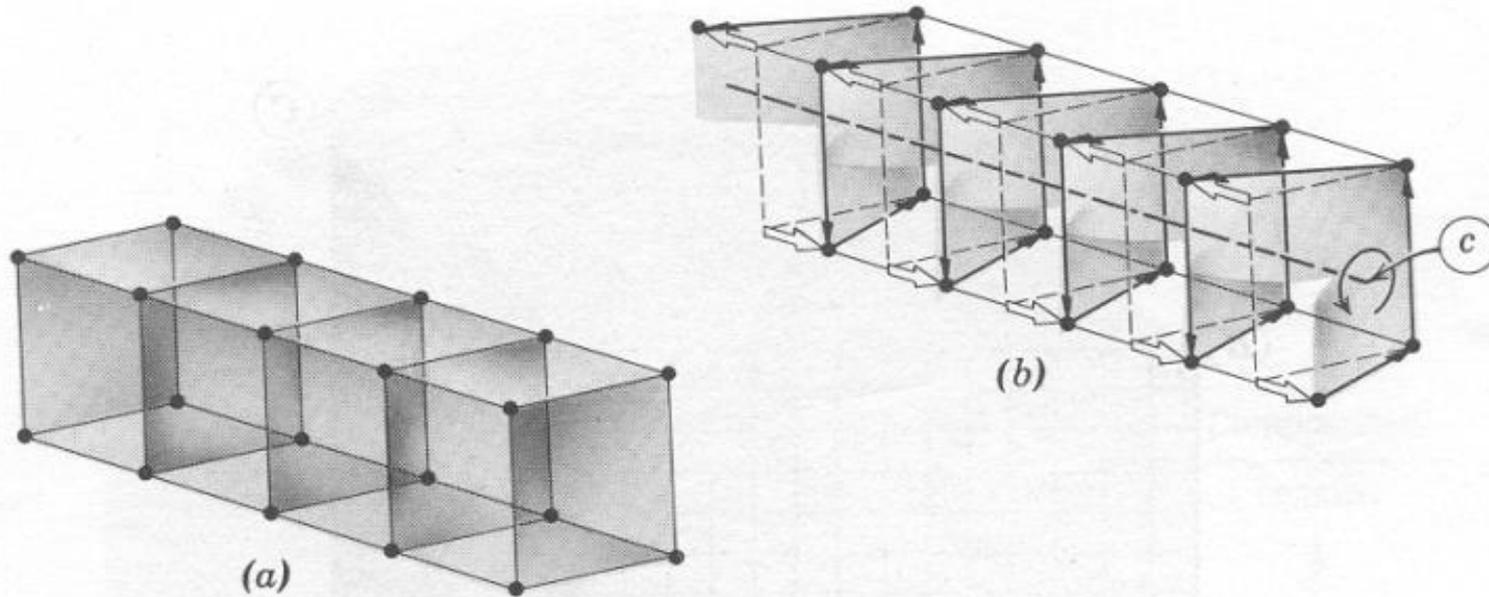


Figure 4.5 (a) An array of four-unit cells in an ideal simple cubic lattice. (b) The lattice points of Figure 4.5a after having been displaced by the broad arrows, resulting in a screw dislocation along the heavy dashed line. The lighter arrows trace a helical path through the distorted lattice around the dislocation. Point c refers to Figure 4.3b.

# Campos de tensão

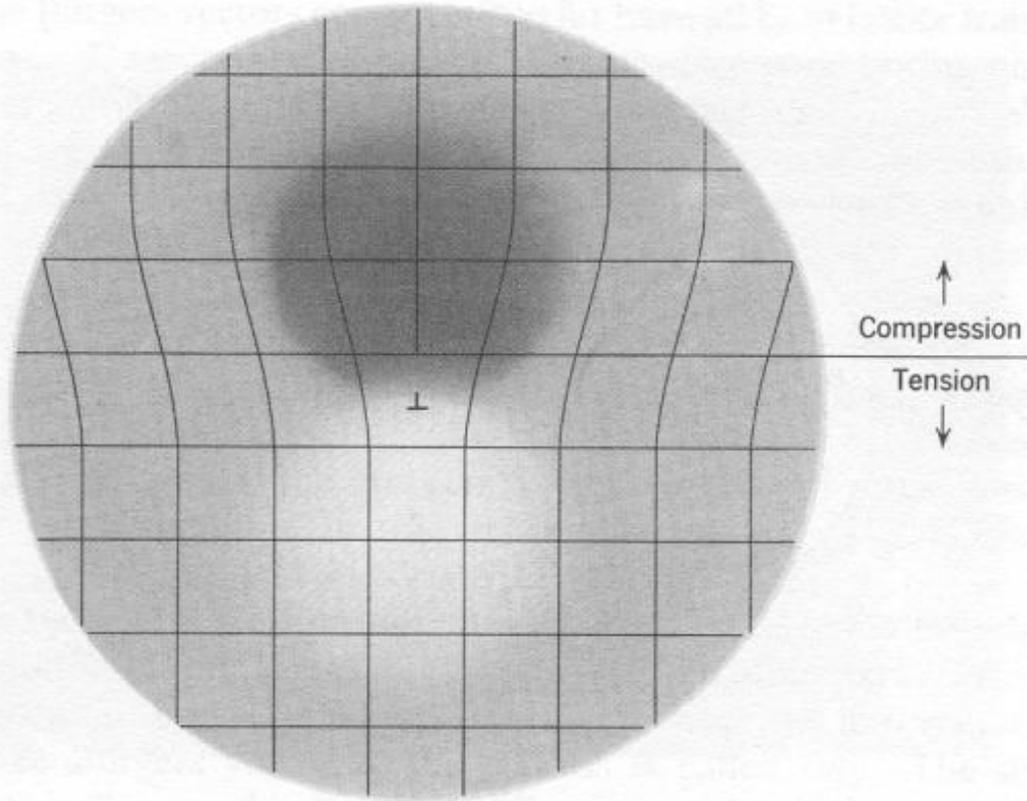
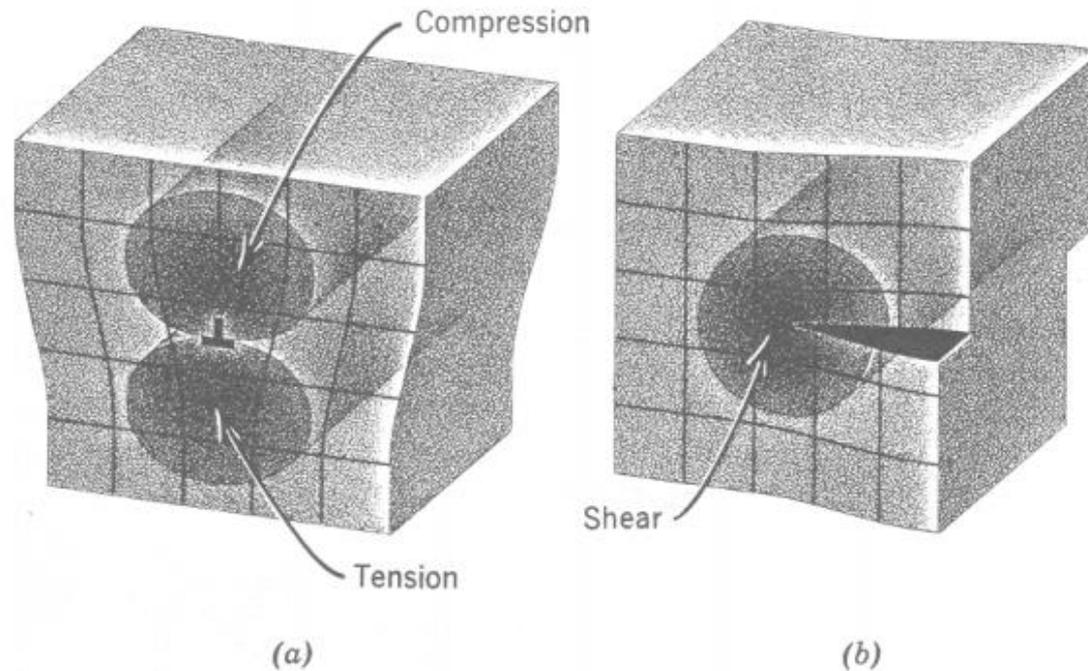


Figure 4.7 The regions of tension (light) and compression (dark) around an edge dislocation in a simple cubic lattice.

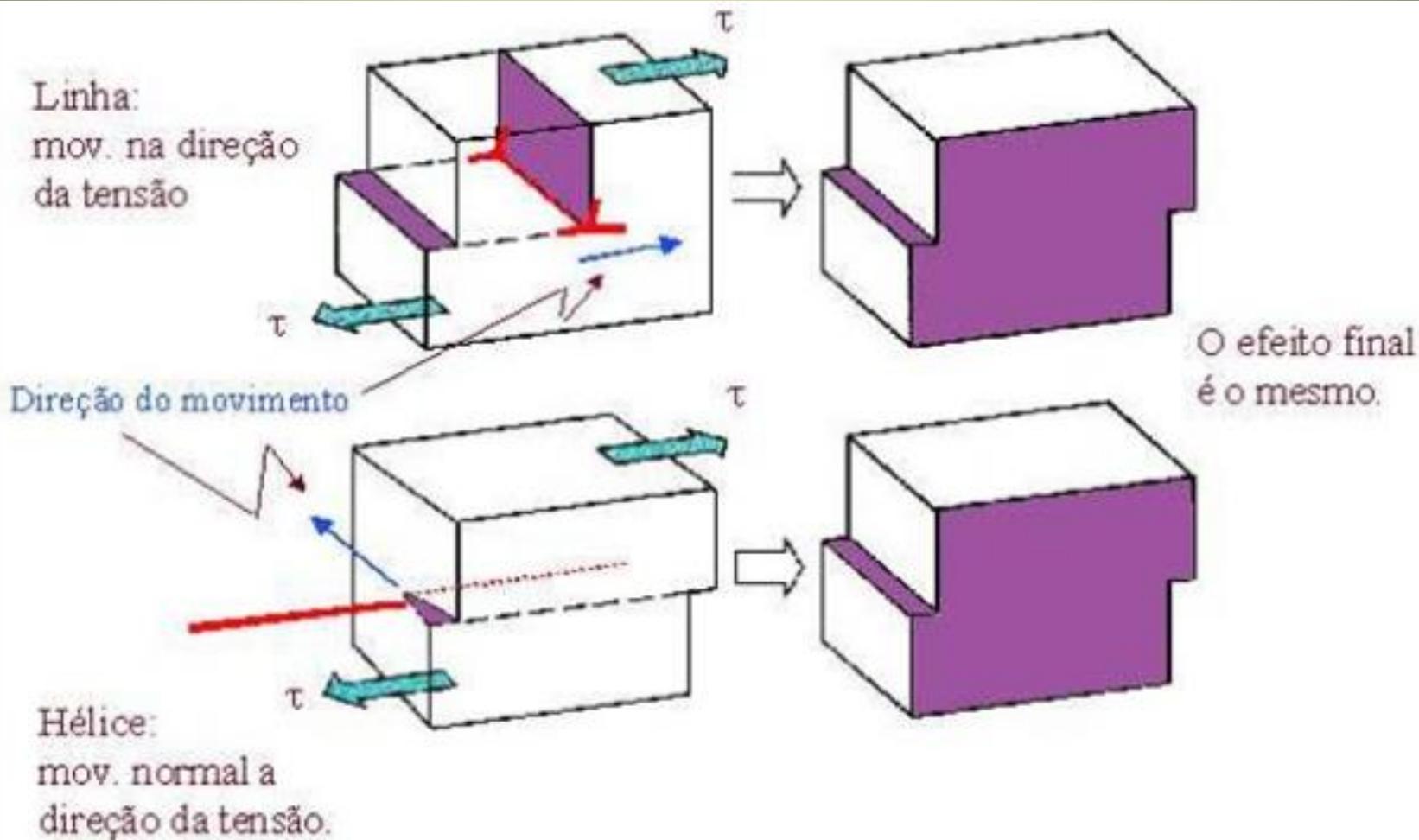
discordância em cunha

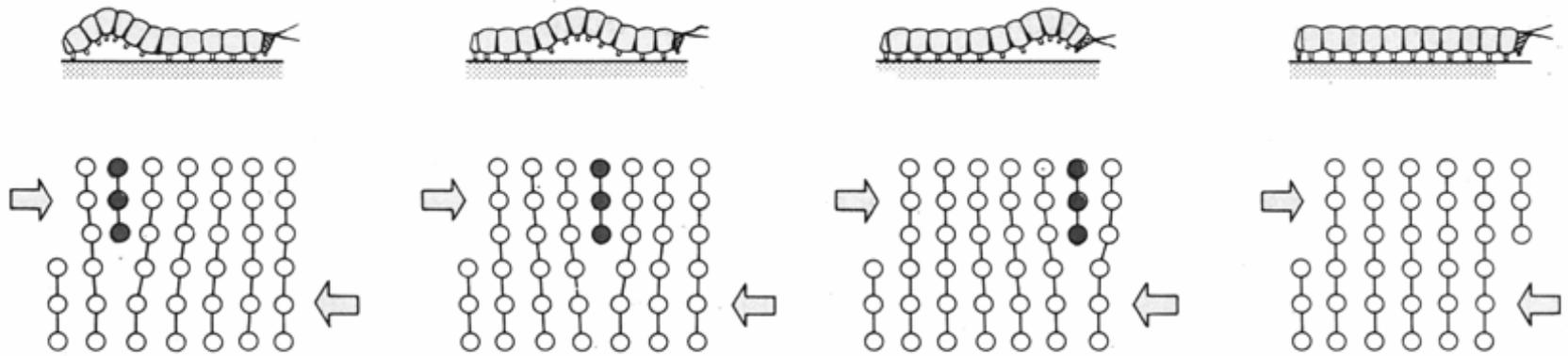
# Geometria dos campos de tensão e deformação em torno de discordâncias



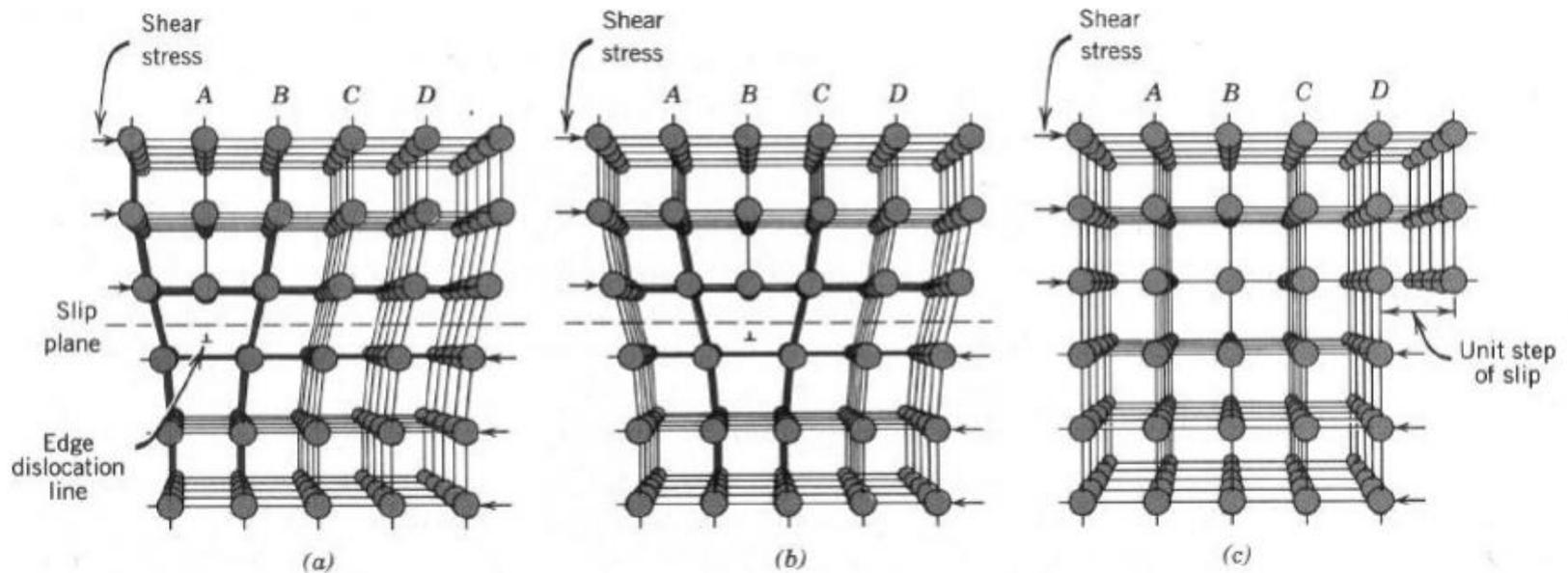
Campos de tensão e de deformação ao redor de (a) uma discordância em cunha e (b) uma discordância em hélice.

# Movimento de discordâncias em cunha e helicoidais





Analogia entre o movimento de uma lagarta e o movimento de uma discordância em cunha.

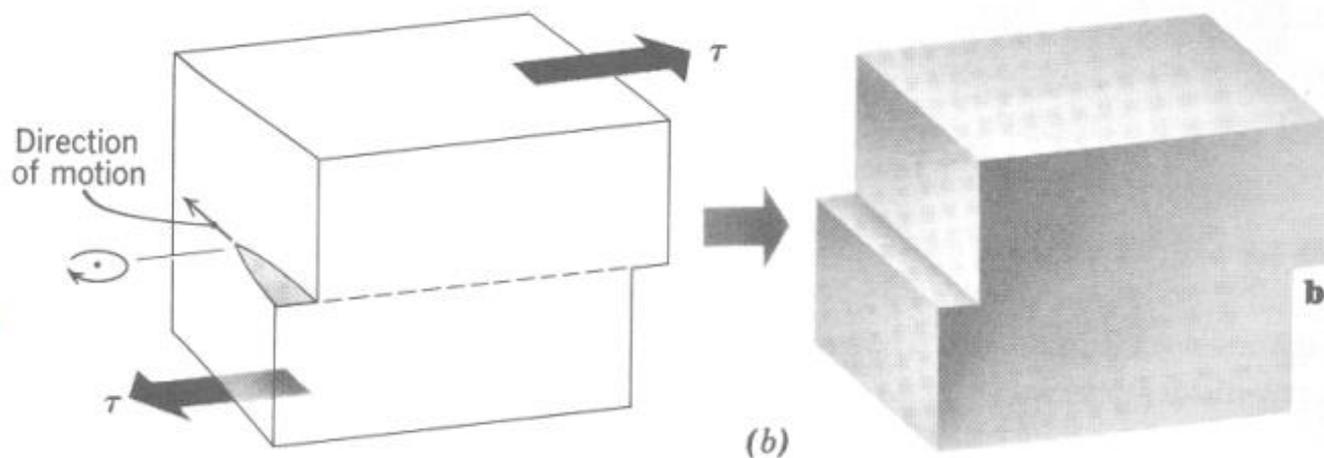
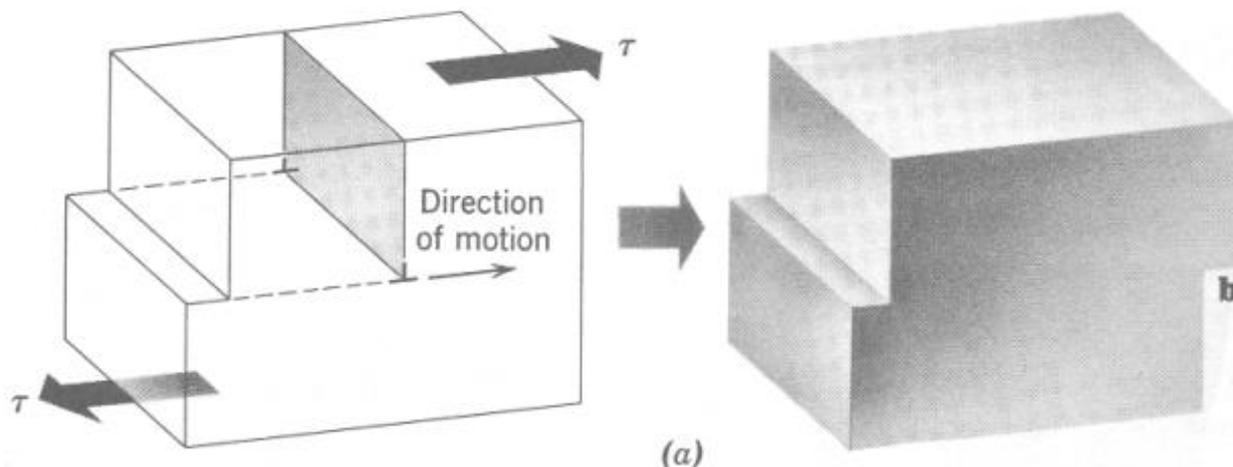


*Deformação plástica produzida pela movimentação de uma discordância em cunha*

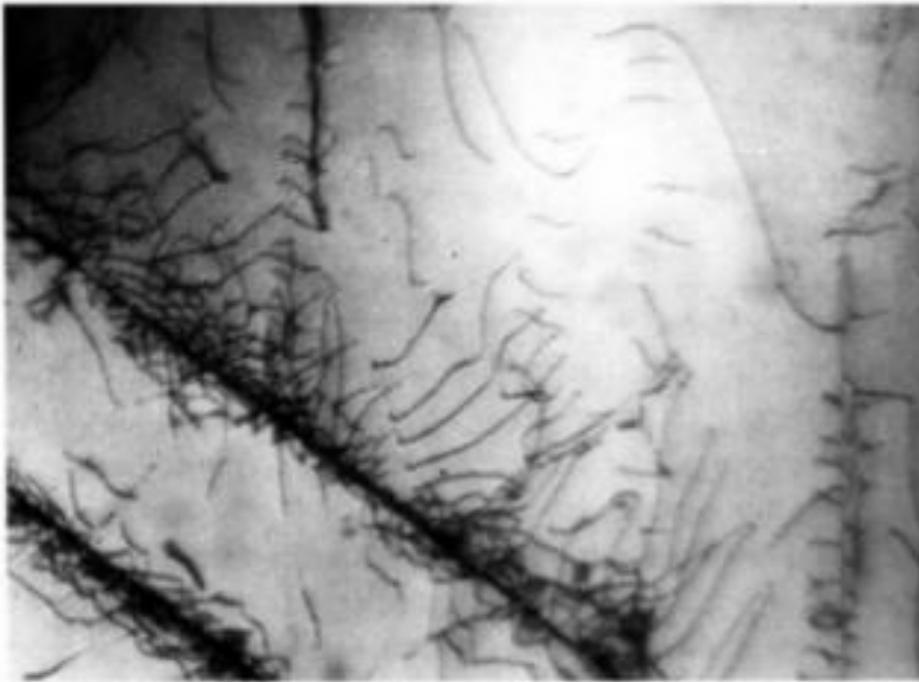
Para que uma discordância se movimente é necessário que a linha e o vetor de Burgers estejam contidos no plano de escorregamento.

A discordância em cunha anda na direção de aplicação das tensões.

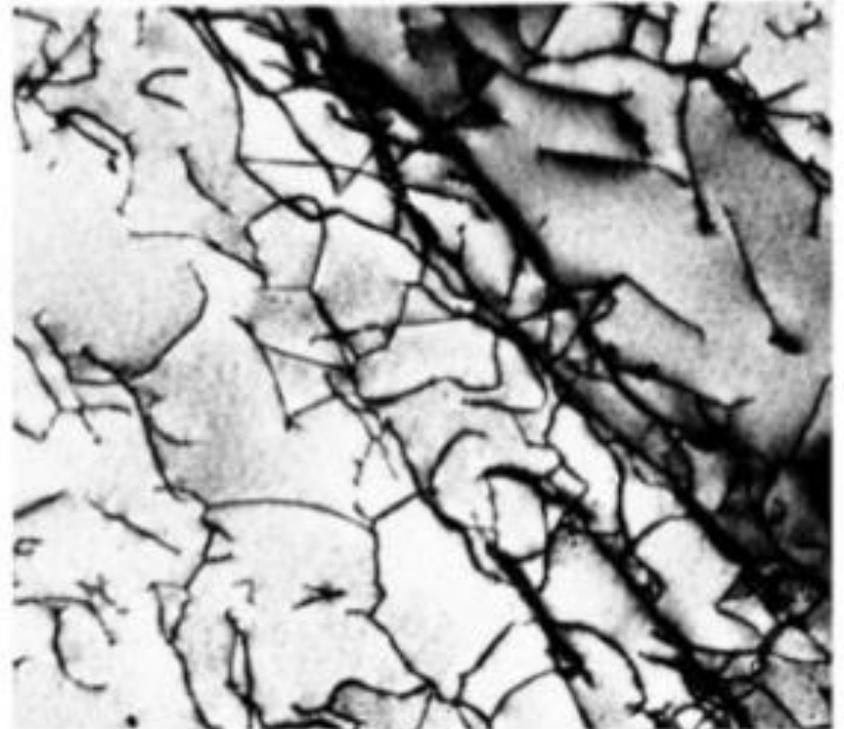
A discordância em hélice anda perpendicularmente à direção de aplicação das tensões



Criação de um degrau de escorregamento pela movimentação de: a) uma discordância em cunha; b) uma discordância em hélice no plano de escorregamento



Concetração de discordâncias (floresta) em região adjacente à um contorno de grão.  
MET 60.000X  
(J. F. Shackelford)

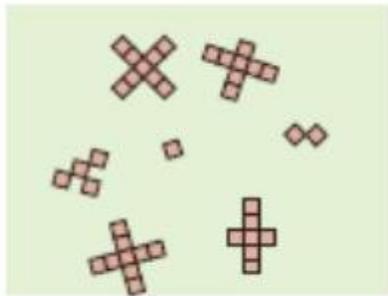


Micrografia eletrônica de transmissão em liga de Ti. As linhas escuras são discordâncias mistas.  
51.450 X  
(W. D. Callister)

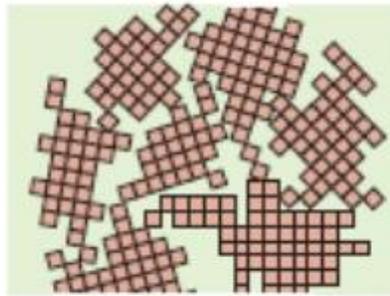
## 4.3. DEFEITOS DE INTERFACE

# GRÃOS

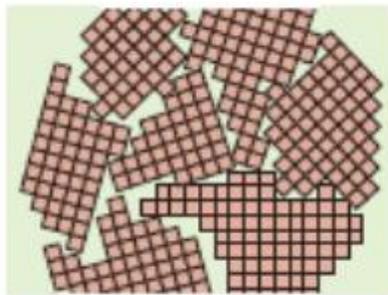
## Contorno de grão



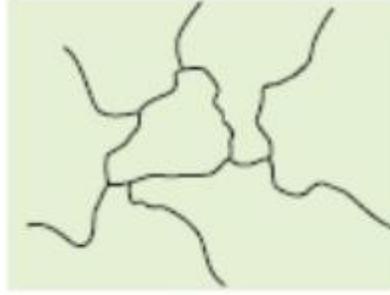
(a)



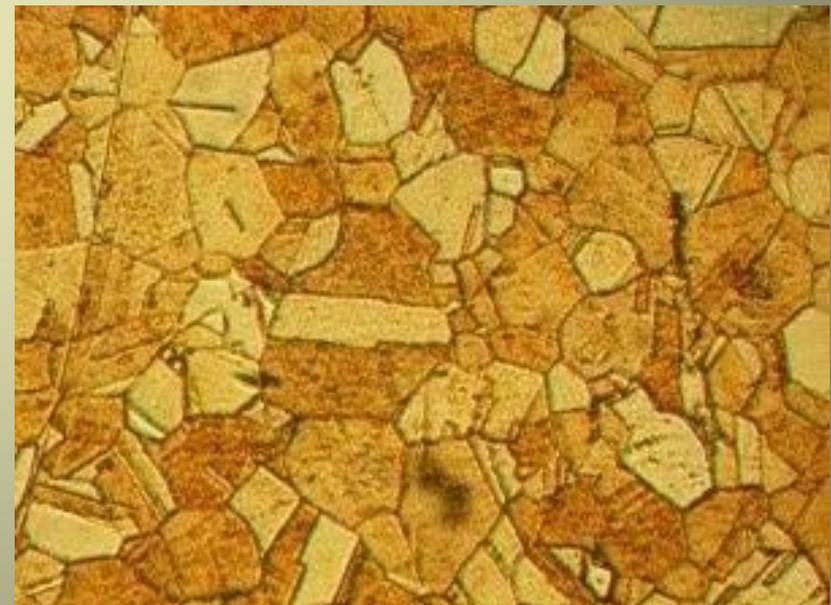
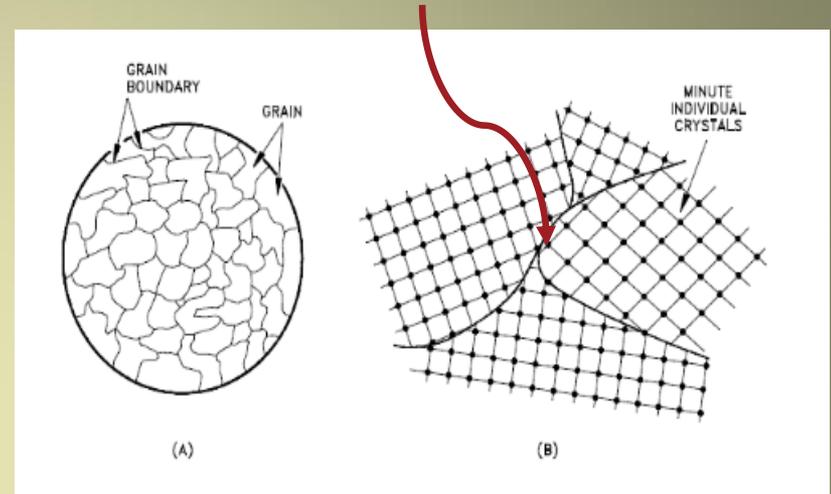
(b)



(c)



(d)



# Monocristal e policristal

- **Monocristal:** material com apenas uma orientação cristalina, ou seja, com apenas um grão
- **Policristal:** material com mais de uma orientação cristalina, ou seja, que contém vários grãos

# Defeitos de interface

- **Superfícies externas**

Átomos superficiais têm ligações atômicas insatisfeitas e energias superiores às dos átomos internos

- **Contornos de grão**

Materiais policristalinos são compostos de vários pequenos cristais ou grãos. Esses grãos têm diferentes orientações cristalográficas, portanto, há um desalinhamento nas interfaces dos grãos. Essas regiões são denominadas contornos de grão.

**Superfícies e interfaces são regiões de alta energia** e as impurezas tendem a se segregar nessas regiões.

**Grãos tendem a crescer às custas dos grãos menores a fim minimizar a energia associada aos contornos de grão.** Esse processo ocorre por difusão, que é acelerada pela temperatura.

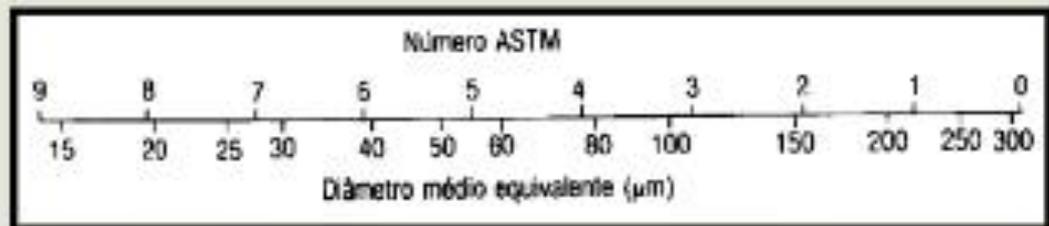
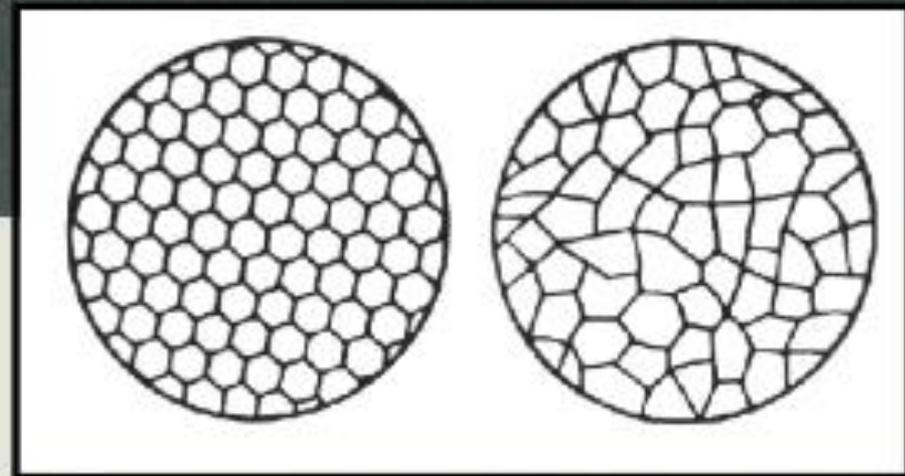
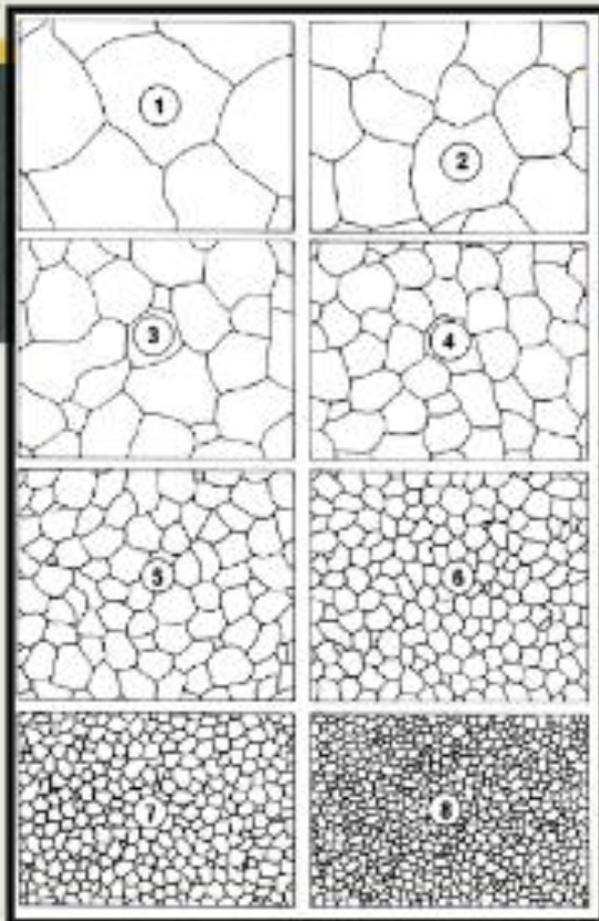
## 4.3.1. Superfícies externas

- Na superfícies, os átomos exibem ligações não satisfeitas
- O estado energético dos átomos superficiais é superior ao dos átomos internos
- Energia superficial é expressa em  $\text{erg/cm}^2$  ou  $\text{J/m}^2$

## 4.3.2. Contorno de grão

- Há um empacotamento ATÔMICO menos eficiente
- Há uma energia mais elevada
- Favorece a nucleação de novas fases (segregação)
- Favorece a difusão
- O contorno de grão ancora o movimento das discordâncias

# Defeitos Contorno de grão



# Determinação de tamanho de grão

Tamanho de grão segundo ASTM E112

$$N = 2^{G-1}$$

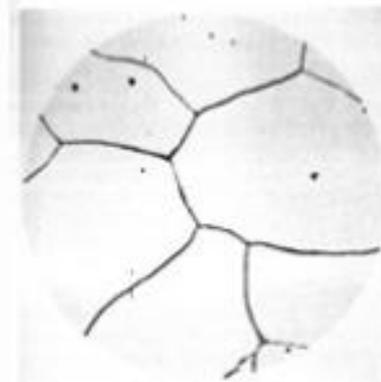
Onde **N** é o número de grãos por polegada quadrada em imagem com 100x de aumento

MEDIÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO (T.G.):  
OU

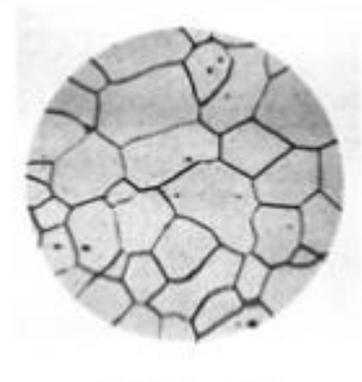
$$N = 2^{n-1}$$

onde:

**N** = número de grãos/ pol<sup>2</sup> com **aumento de 100 vezes**  
**n** ou **G** = número de Tamanho de Grão ASTM ( $1 \leq n \leq 12$ )



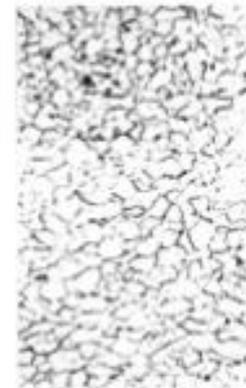
(a) Grain Size, G = 1



(b) Grain Size, G = 4



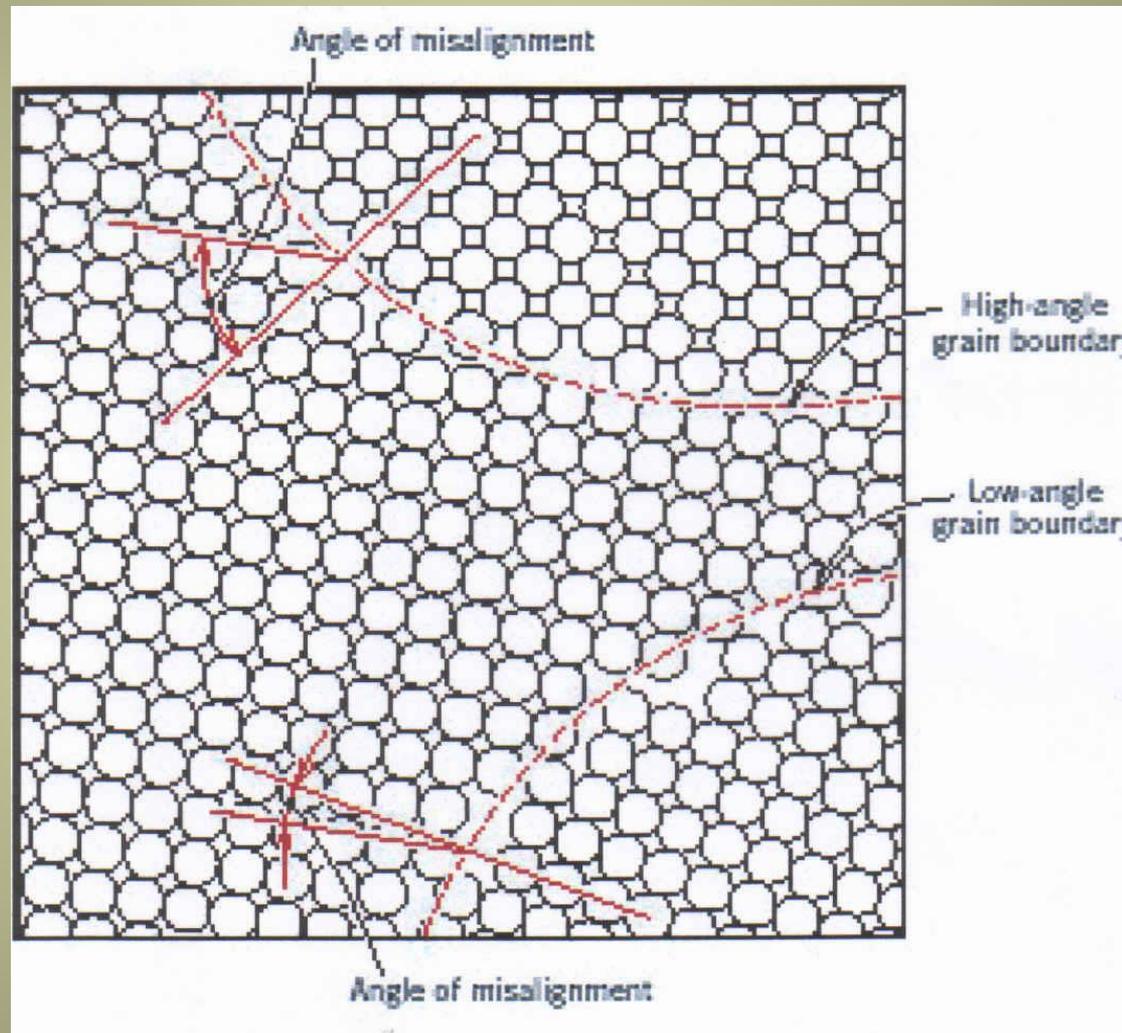
(c) Grain Size, G = 7



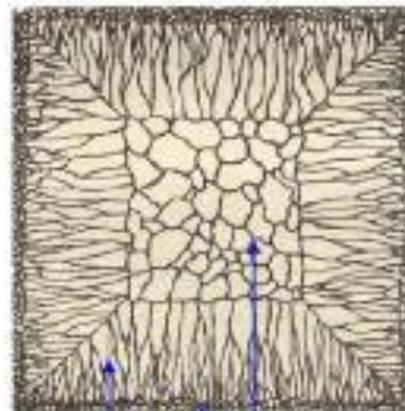
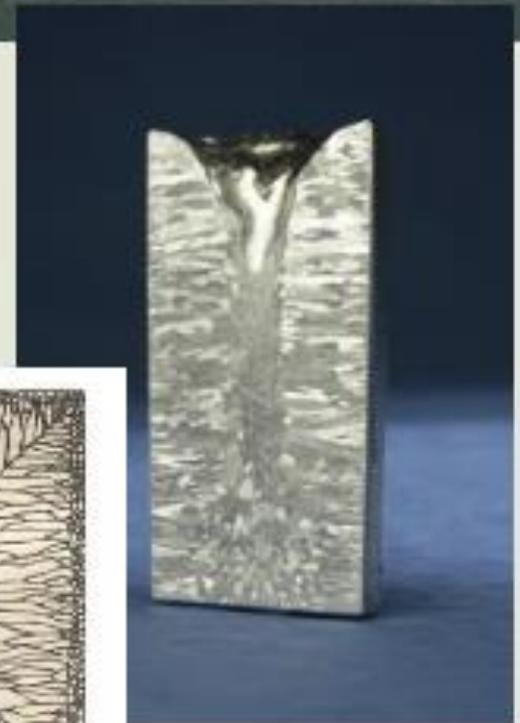
(d) Grain Size, G = 8

- ✓ Quando o desalinhamento entre os grãos vizinhos é grande (maior que  $\sim 15^\circ$ ), o contorno formado é chamado contorno de grão de alto ângulo.
- ✓ Se o desalinhamento é pequeno (em geral, menor que  $5^\circ$ ), o contorno é chamado contorno de pequeno ângulo, e as regiões que tem essas pequenas diferenças de orientação são chamadas de subgrãos.

# Contornos de grão de alto e baixo ângulo



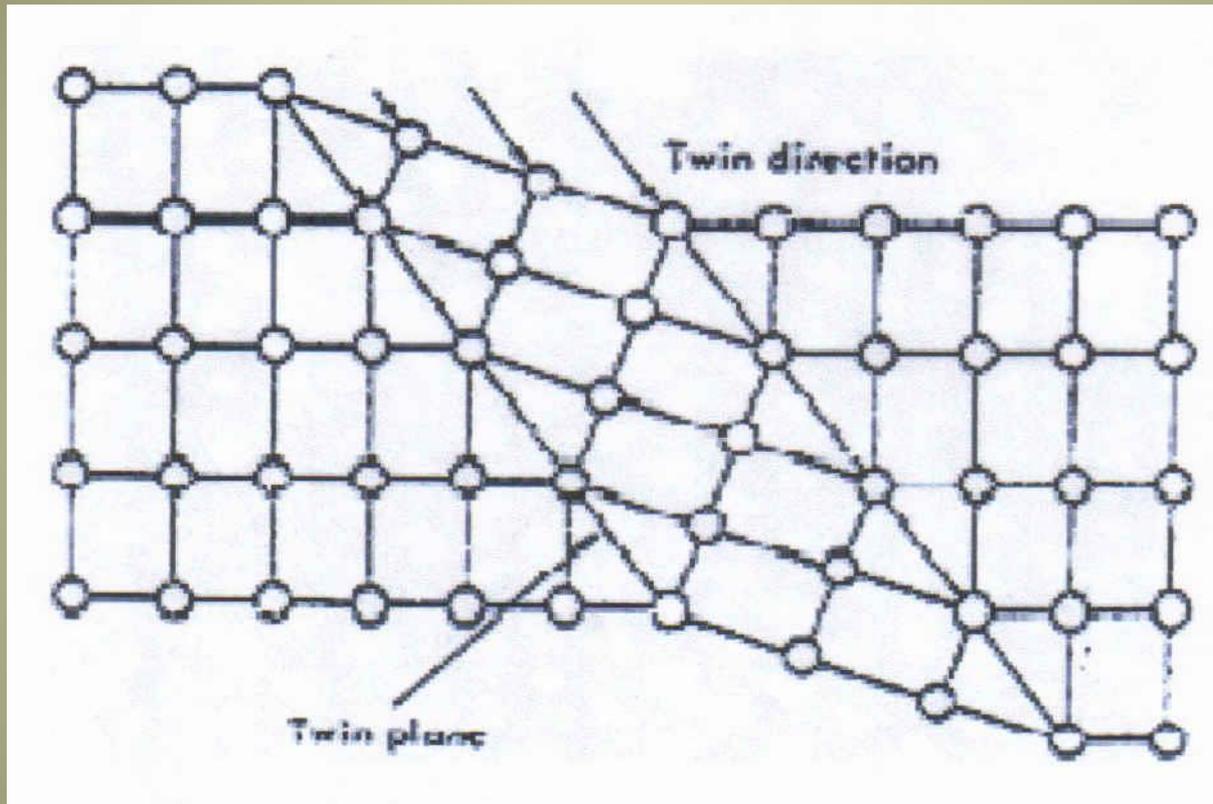
# LINGOTE DE ALUMÍNIO **POLICRISTALINO**



Columnar grains      Large equiaxed grains  
Small equiaxed grains

(from Dieter T.P. and Fehring M.G., Texts, ASM, 238, 333 (1987))

# Contornos de macla

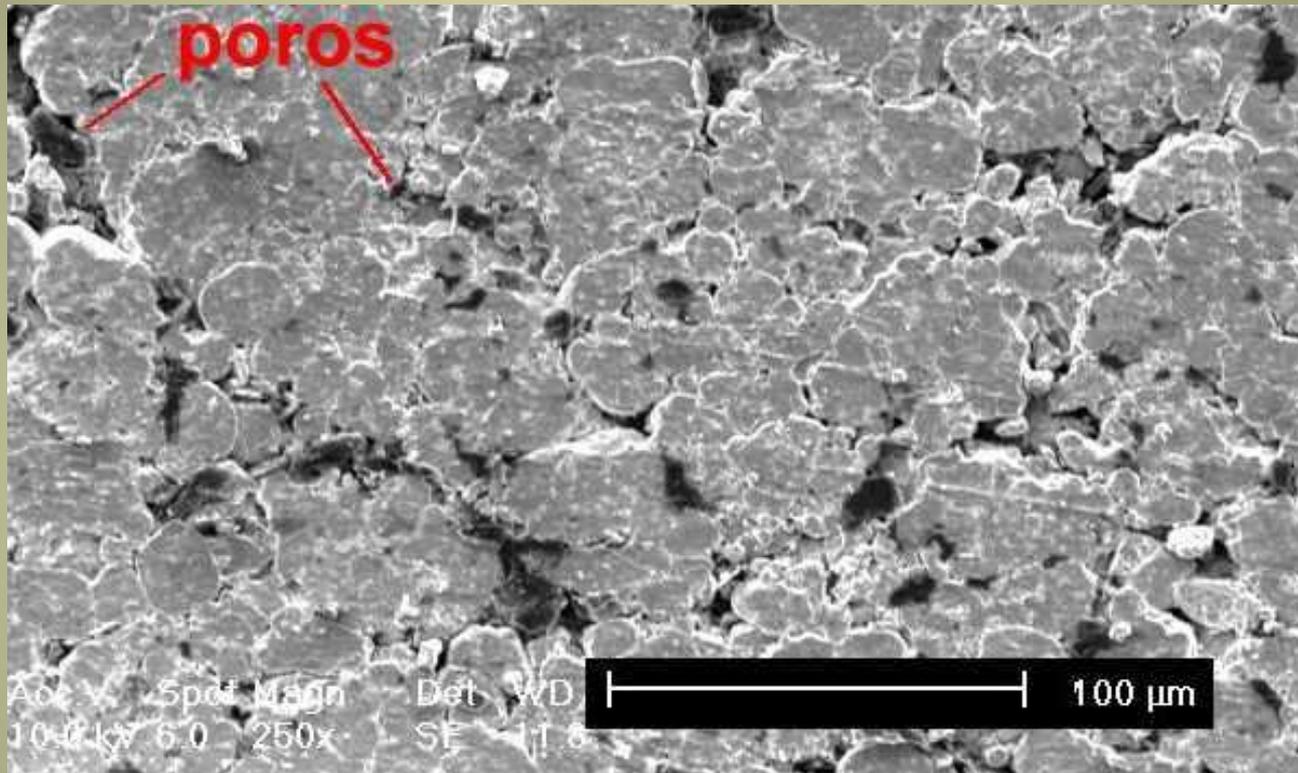


**Contorno de Macla:** tipo especial de contorno de grão que separa duas regiões com uma simetria tipo "espelho".

## 4.5. Defeitos volumétricos

- Poros
- Trincas
- Inclusões

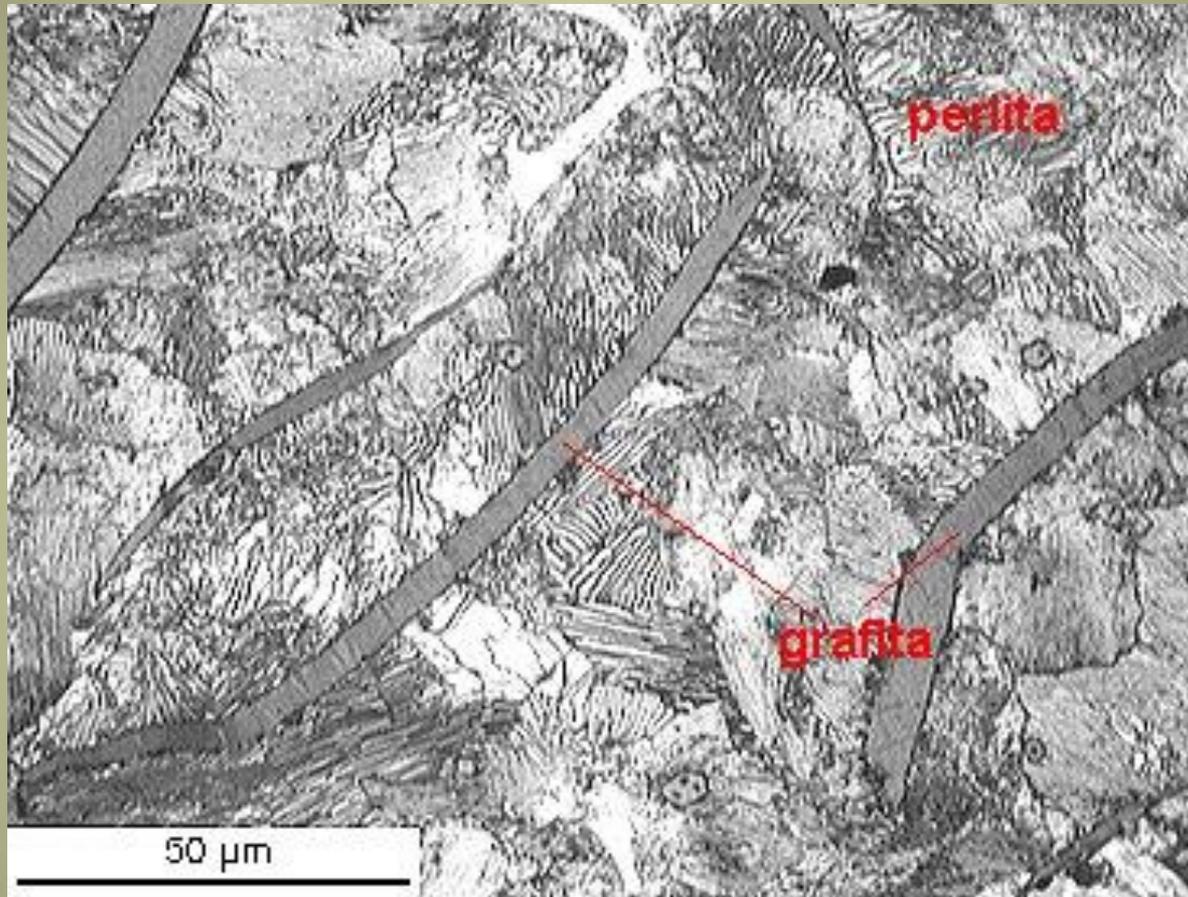
## 4.5.1. Poros



- *COMPACTADO DE PÓ DE FERRO, COMPACTAÇÃO UNIAXIAL EM MATRIZ DE DUPLO EFEITO, A 550 MPa*

# Inclusões

## EXEMPLO DE PARTÍCULAS DE SEGUNDA FASE



### ***FERRO FUNDIDO CINZENTO PERLÍTICO***

MICROESTRUTURA É COMPOSTA POR VEIOS DE GRAFITA SOBRE UMA  
MATRIZ PERLÍTICA