

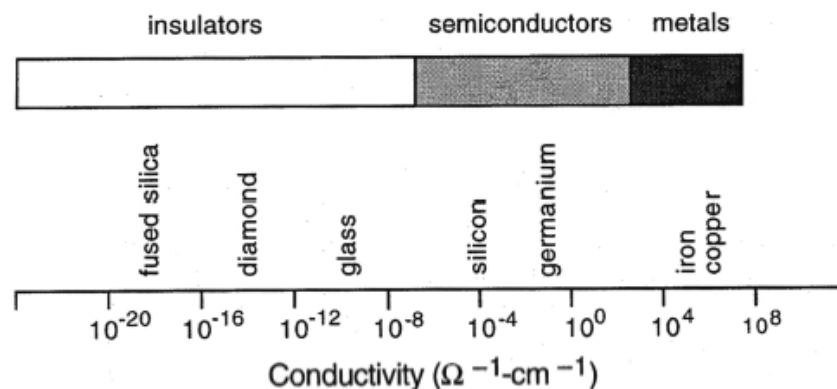
**PQI 3120 QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**Ligações metálicas**

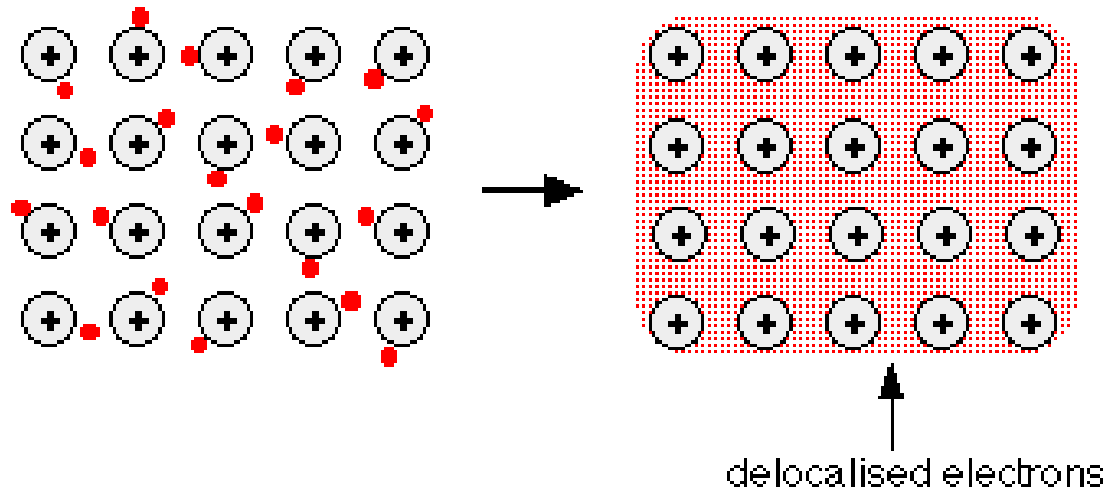
# Características dos metais

- Propriedades:
- **Elevadas condutibilidades elétrica e térmica**
- Brilho metálico
- Maleabilidade e ductilidade(deformam-se sem que a ligação se rompa!)
- Sólidos cristalinos com elevado ponto de fusão e ebulição
- Dureza varia
- Compaticidade( alta massa específica e opacos)

O modelo de ligação metálica precisa explicar de forma convincente todas essas propriedades dos materiais metálicos



## Modelo gás eletrônico



Arranjo ordenado de cátions cercados por um “mar” de elétrons “livres” que apresentam movimento browniano (como nos gases)

**Alta energia de ligação**

# Força da ligação

Tabela 4-2 – Entalpia de vaporização

| elemento | carga | entalpia de vaporização (kcal/mol) |
|----------|-------|------------------------------------|
| Na       | +1    | 23                                 |
| Mg       | +2    | 32                                 |
| Al       | +3    | 68                                 |

Depende do número de elétrons livres no metal, mais elétrons indica maior força de ligação

## Tabela 4-1 – Energia de ionização para o primeiro elétron e redução do raio atômico com a ionização

| ionização                           | potencial de ionização (kJ) | raio iônico (Å) / raio atômico (Å) (%) |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+$ | 495,8                       | $0,95 / 1,57 = 61 \%$ (redução: 39%)   |
| $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+$ | 731,0                       | $1,26 / 1,34 = 94 \%$ (redução: 6%)    |

# quem são os metais?

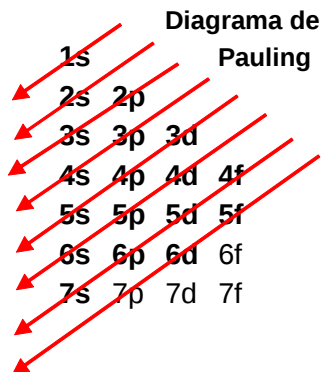
|   | 1              | 2              |  | 3 |  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13   | 14  | 15 | 16  | 17   | 18            |
|---|----------------|----------------|--|---|--|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|-----|----|-----|------|---------------|
|   | Ia             | IIa            |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    | IIIa | IVa | Va | VIa | VIIa | 0             |
| 1 | 1<br>H<br>1s   |                |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      | 2<br>He<br>1s |
| 2 | 3<br>Li<br>2s  | 4<br>Be<br>2s  |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |
| 3 | 11<br>Na<br>3s | 12<br>Mg<br>3s |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |
| 4 | 19<br>K<br>4s  | 20<br>Ca<br>4s |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |
| 5 | 37<br>Rb<br>5s | 38<br>Sr<br>5s |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |
| 6 | 55<br>Cs<br>6s | 56<br>Ba<br>6s |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |
| 7 | 87<br>Fr<br>7s | 88<br>Ra<br>7s |  |   |  |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |     |    |     |      |               |

metais alcalinos: coluna 1  
metais alcalino-terrosos: coluna 2  
metais de transição: colunas 3 - 12

halogênios: coluna 17  
gases nobres: coluna 18

terras-raras: Ce - Lu  
actínídeos: Th - Lr

(quando obedecem ao Diagrama de Pauling)



## Exemplos de não-observância ao Diagrama de Pauling

|         |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |     |     |         |     |  |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|---------|-----|--|
| Cr (24) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s1 | 3d5  |     |     |      |     |     | Ga (31) | 1s2 |  |
| Cu (29) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s1 | 3d10 |     |     |      |     |     |         |     |  |
| Nb (41) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s1 | 4d4  |     |     |         |     |  |
| Ag (47) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s1 | 4d10 |     |     |         |     |  |
| La (57) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f0     | 5d1 |  |

Relação: Cr, Cu, Nb-Ag, La, Pt, Au, Ac-Bk, Th (há divergências entre autores diferentes)

## Exemplos de comportamento metálico

|         |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Na (11) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s1 |     |     |      |     |     |      |     |     |     |
| Fe (26) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d6  |     |     |      |     |     |     |
| Ce (58) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f2 |
| Pr (59) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f3 |
| Ga (31) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p1 |     |      |     |     |     |

## Exemplos de comportamento covalente

|         |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| O (8)   | 1s2 | 2s2 | 2p4 |     |     |
| Cl (17) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p5 |

# alcalinos e alcalinos-terrosos

Ao se formar o metal, a camada que está sendo preenchida desaparece, e **o que sobra parece gás nobre**

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
|   | 1  | 2  |    |    |
|   | 1a | 2a |    |    |
| 1 | 1  |    |    |    |
|   | H  |    |    |    |
|   | 1s |    |    |    |
| 2 | 3  | 4  |    |    |
|   | Li | Be |    |    |
|   | 2s | 2s |    |    |
| 3 | 11 | 12 |    |    |
|   | Na | Mg |    |    |
|   | 3s | 3s |    |    |
| 4 | 19 | 20 |    |    |
|   | K  | Ca |    |    |
|   | 4s | 4s |    |    |
| 5 | 37 | 38 | f1 | f2 |
|   | Rb | Sr |    |    |
|   | 5s | 5s |    |    |
| 6 | 55 | 56 | 57 | 58 |
|   | Cs | Ba | La | Ce |
|   | 6s | 6s | 5d | 4f |
| 7 | 87 | 88 | 89 | 90 |
|   | Fr | Ra | Ac | Th |
|   | 7s | 7s | 6d | 6d |
|   | s1 | s2 |    |    |

Li e Be: desaparece a camada 2

Rb e Sr: desaparece a camada 5

Camada externa completa

este elétron se torna deslocalizado

|                |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |     |     |     |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| <b>Na (11)</b> | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s1 |     |     |      |     |     |      |     |     |     |
| <b>Fe (26)</b> | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d6  |     |     |      |     |     |     |
| <b>Ce (58)</b> | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f2 |
| <b>Pr (59)</b> | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f3 |
| <b>Ga (31)</b> | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p1 |     |      |     |     |     |

4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

IIIa

halogênios: coluna 17  
gases nobres: coluna 18

## METAIS DE TRANSIÇÃO d

|    | IVb                                      | Vb  | VIb | VIIb | VIIIb |    |    | IXb | Xb | IIb | B  |
|----|------------------------------------------|-----|-----|------|-------|----|----|-----|----|-----|----|
|    | d1                                       | d2  | d3  | d4   | d5    | d6 | d7 | d8  | d9 | d10 | 5  |
|    | (quando obedecem ao Diagrama de Pauling) |     |     |      |       |    |    |     |    |     | 2  |
|    | 21                                       | 22  | 23  | 24   | 25    | 26 | 27 | 28  | 29 | 30  | 31 |
|    | Sc                                       | Ti  | V   | Cr   | Mn    | Fe | Co | Ni  | Cu | Zn  | Ga |
|    | 3d                                       | 3d  | 3d  | 3d   | 3d    | 3d | 3d | 3d  | 3d | 3d  | 4  |
| 14 | 39                                       | 40  | 41  | 42   | 43    | 44 | 45 | 46  | 47 | 48  | 49 |
|    | Y                                        | Zr  | Nb  | Mo   | Tc    | Ru | Rh | Pd  | Ag | Cd  | Ir |
|    | 4d                                       | 4d  | 4d  | 4d   | 4d    | 4d | 4d | 4d  | 4d | 4d  | 5  |
| 0  | 71                                       | 72  | 73  | 74   | 75    | 76 | 77 | 78  | 79 | 80  | 81 |
| 7b | Lu                                       | Hf  | Ta  | W    | Re    | Os | Ir | Pt  | Au | Hg  | Tl |
|    | 4f                                       | 5d  | 5d  | 5d   | 5d    | 5d | 5d | 5d  | 5d | 5d  | 6  |
| 02 | 103                                      | 104 |     |      |       |    |    |     |    |     |    |
| Jo | Lr                                       | Ku  |     |      |       |    |    |     |    |     |    |
|    | 5f                                       | 6d  | 6d  |      |       |    |    |     |    |     | p1 |

Ao se retirarem os elétrons da camada s, a camada anterior fica **externa**. Ela está sendo **preenchida na subcamada d**.

Assim, a **camada d dita as propriedades químicas**.

externa sendo preenchida

### Exemplos de comportamento metálico

|         |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Na (11) | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>1</sup> |                 |                 |                  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
| Fe (26) | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>6</sup>  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
| Ce (58) | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>6</sup> | 5s <sup>2</sup> | 4d <sup>10</sup> | 5p <sup>6</sup> | 6s <sup>2</sup> | 4f <sup>2</sup> |  |
| Pr (59) | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>6</sup> | 5s <sup>2</sup> | 4d <sup>10</sup> | 5p <sup>6</sup> | 6s <sup>2</sup> | 4f <sup>3</sup> |  |
| Ga (31) | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>1</sup> |                 |                  |                 |                 |                 |  |

## METAIS DE TRANSIÇÃO f

|     |                                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |         |     |
|-----|----------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|
| 2s  |                                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | d1      | d2  |
| 3s  |                                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | (quando |     |
| 4s  | terras-raras: Ce - Lu<br>actínídeos: Th - Lr |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | 21      | 22  |
| 5s  |                                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | Sc      | Ti  |
| 6s  | f1                                           | f2 | f3 | f4 | f5 | f6 | f7 | f8 | f9 | f10 | f11 | f12 | f13 | f14 | 39      | 40  |
| 7s  | (quando obedecem ao Diagrama de Pauling)     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | Y       | Zr  |
| 8s  | 57                                           | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66  | 67  | 68  | 69  | 70  | 71      | 72  |
| 9s  | La                                           | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy  | Ho  | Er  | Tm  | Yb  | Lu      | Hf  |
| 10s | 89                                           | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98  | 99  | 100 | 101 | 102 | 103     | 104 |
| 11s | Ac                                           | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf  | Es  | Fm  | Md  | No  | Lr      | K   |
| 12s | 6d                                           | 6d | 5f | 5f | 5f | 5f | 5f | 5f | 5f | 5f  | 5f  | 5f  | 5f  | 5f  | 6d      | 6d  |

Ao se retirarem os elétrons da camada s, fica **externa** a camada anterior, que está **completa**. A que sendo **preenchida** (a camada f) está um nível abaixo.

Assim, as **propriedades químicas** são muito **semelhantes**

### Exemplos de comportamento metálico

|         |     |     |     |     |     |     |      |     |     |      |     |     |     |  |  |  |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|--|--|--|
| Na (11) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s1 |     |     |      |     |     |      |     |     |     |  |  |  |
| Fe (26) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d6  |     |     |      |     |     |     |  |  |  |
| Ce (58) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f2 |  |  |  |
| Pr (59) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p6 | 5s2 | 4d10 | 5p6 | 6s2 | 4f3 |  |  |  |
| Ga (31) | 1s2 | 2s2 | 2p6 | 3s2 | 3p6 | 4s2 | 3d10 | 4p1 |     |      |     |     |     |  |  |  |

externa  
completa

interna  
sendo  
preenchida

|     |                |                |                |                |                |          |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
|     | IIIa           | IVa            | Va             | VIa            | VIIa           |          |
|     |                |                |                |                |                | 2<br>H   |
|     | 5<br>B<br>2p   | 6<br>C<br>2p   | 7<br>N<br>2p   | 8<br>O<br>2p   | 9<br>F<br>2p   | 10<br>Ne |
| IIb |                |                |                |                |                |          |
|     | 13<br>Al<br>3p | 14<br>Si<br>3p | 15<br>P<br>3p  | 16<br>S<br>3p  | 17<br>Cl<br>3p | 18<br>Ar |
| 10  |                |                |                |                |                |          |
|     | 31<br>Ga<br>4p | 32<br>Ge<br>4p | 33<br>As<br>4p | 34<br>Se<br>4p | 35<br>Br<br>4p | 36<br>Kr |
| Zn  |                |                |                |                |                |          |
|     | 49<br>In<br>5p | 50<br>Sn<br>5p | 51<br>Sb<br>5p | 52<br>Te<br>5p | 53<br>I<br>5p  | 54<br>Xe |
| Cd  |                |                |                |                |                |          |
|     | 81<br>Tl<br>6p | 82<br>Pb<br>6p | 83<br>Bi<br>6p | 84<br>Po<br>6p | 85<br>At<br>6p | 86<br>Rn |
| Hg  |                |                |                |                |                |          |
|     |                |                |                |                |                |          |
|     | p1             | p2             | p3             | p4             | p5             | p6       |

**Al, Ga, In, Sn, Tl, Pb, Bi, Po**

Perdem elétrons *s* e também *p*. Resta a camada anterior, completa.

### Exemplos de comportamento metálico

|                |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| <b>Na (11)</b> | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>1</sup> |                 |                 |                  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
| <b>Fe (26)</b> | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>6</sup>  |                 |                 |                  |                 |                 |                 |  |
| <b>Ce (58)</b> | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>6</sup> | 5s <sup>2</sup> | 4d <sup>10</sup> | 5p <sup>6</sup> | 6s <sup>2</sup> | 4f <sup>2</sup> |  |
| <b>Pr (59)</b> | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>6</sup> | 5s <sup>2</sup> | 4d <sup>10</sup> | 5p <sup>6</sup> | 6s <sup>2</sup> | 4f <sup>3</sup> |  |
| <b>Ga (31)</b> | 1s <sup>2</sup> | 2s <sup>2</sup> | 2p <sup>6</sup> | 3s <sup>2</sup> | 3p <sup>6</sup> | 4s <sup>2</sup> | 3d <sup>10</sup> | 4p <sup>1</sup> |                 |                  |                 |                 |                 |  |



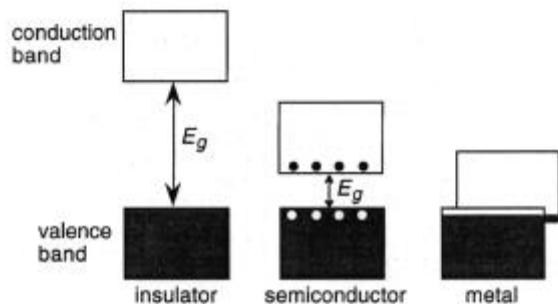
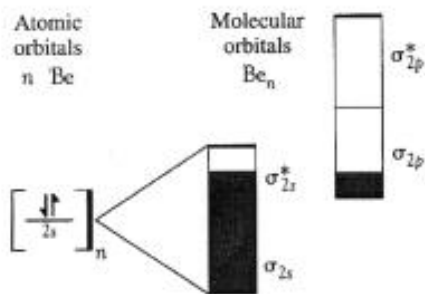
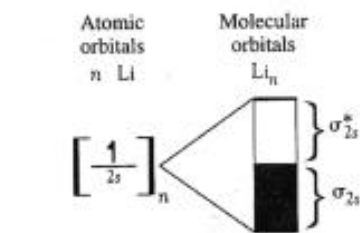
camada externa, completa

# Teoria dos Orbitais moleculares(OM)

Motivação: espectro de emissão de metais

A teoria dos OM pode ser estendida a materiais sólidos incluindo os **metais**

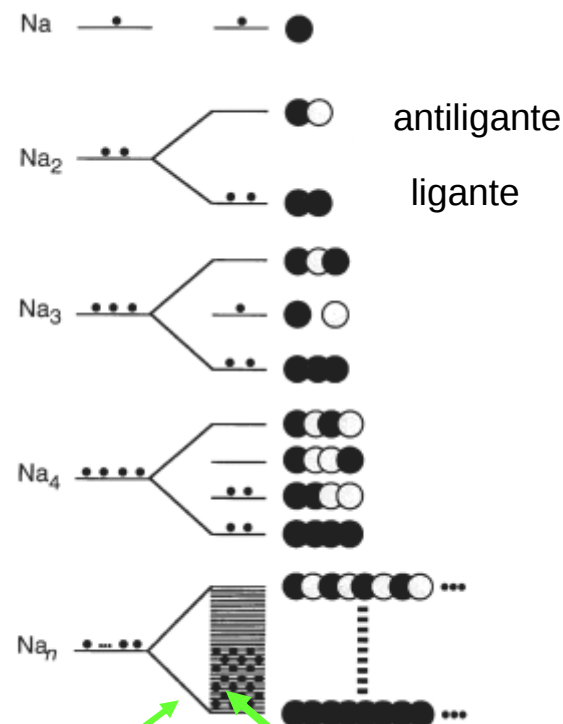
•Envolve a ligação de átomos iguais, logo é, na verdade, uma ligação covalente, formando uma molécula gigante



O gap de energia entre a banda de condução e a banda de valência determina se o composto é isolante, semiconductor ou metálico

## Teoria das Bandas de Energia

Formando moléculas com átomos de elementos metálicos

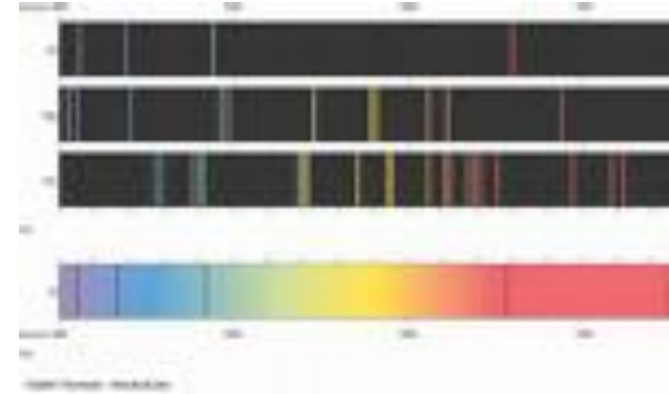
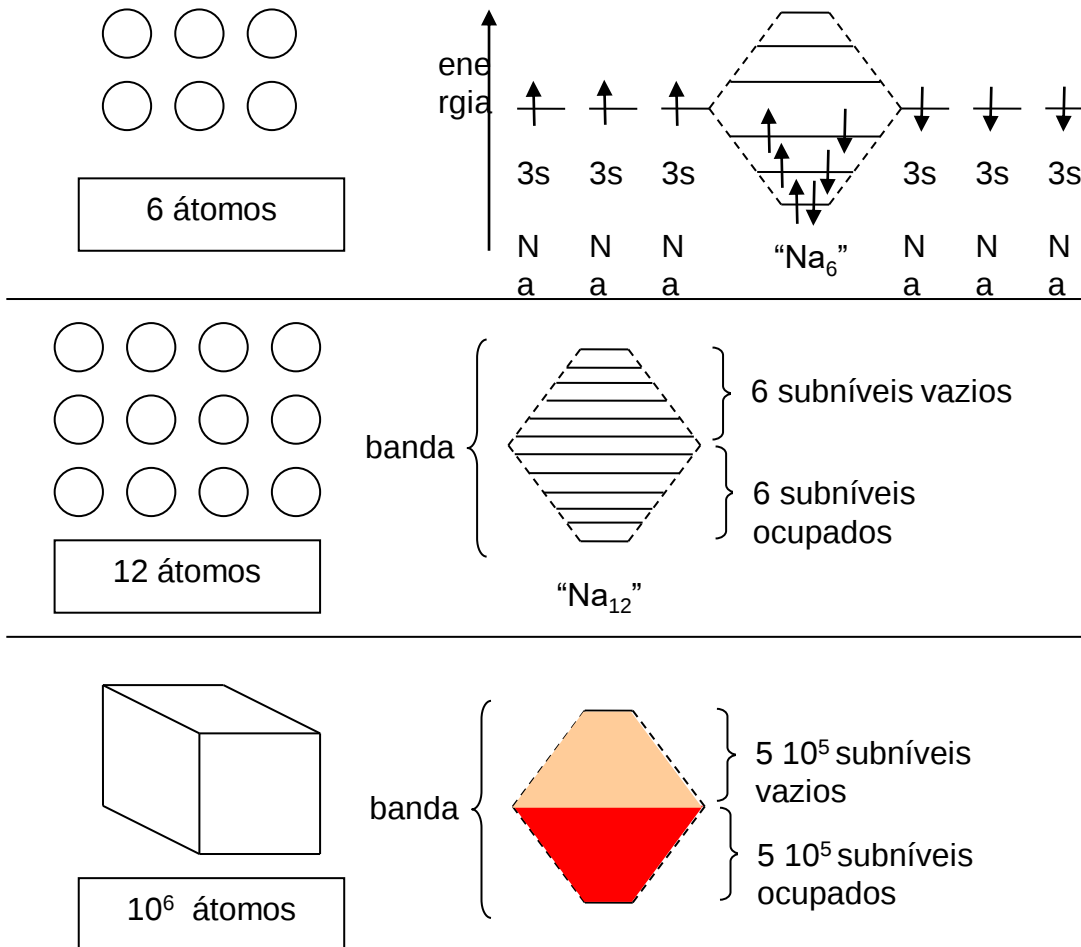


Banda de energia

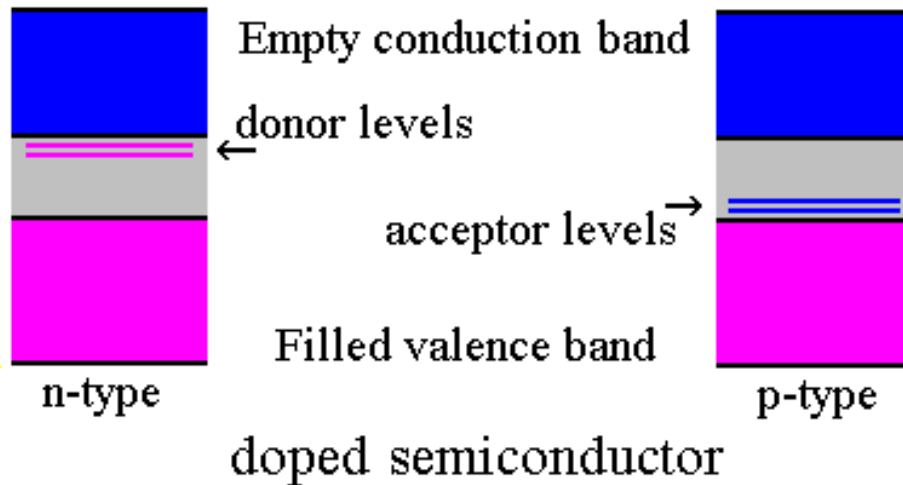
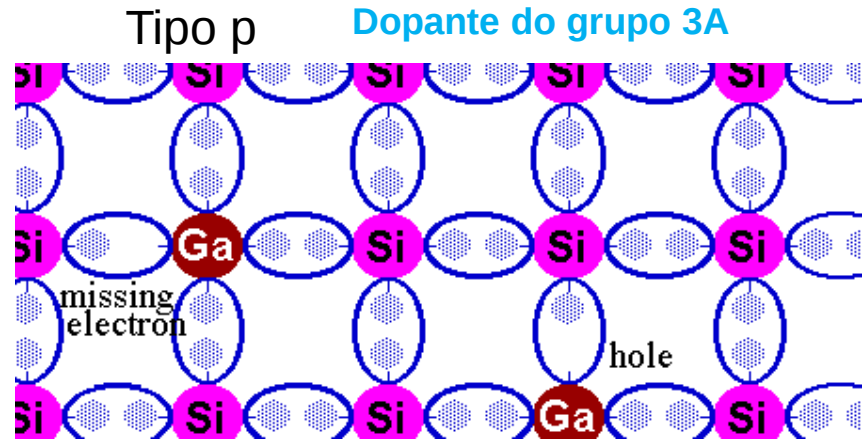
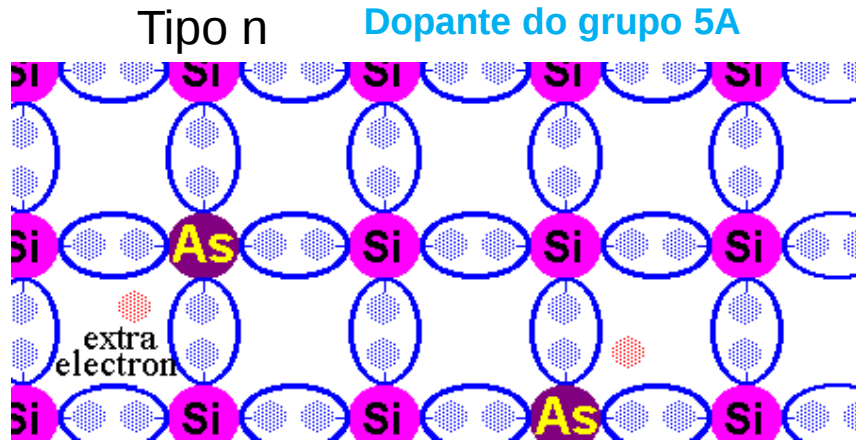
Metade dos níveis preenchidos 11

## Ilustração da formação de bandas de energia

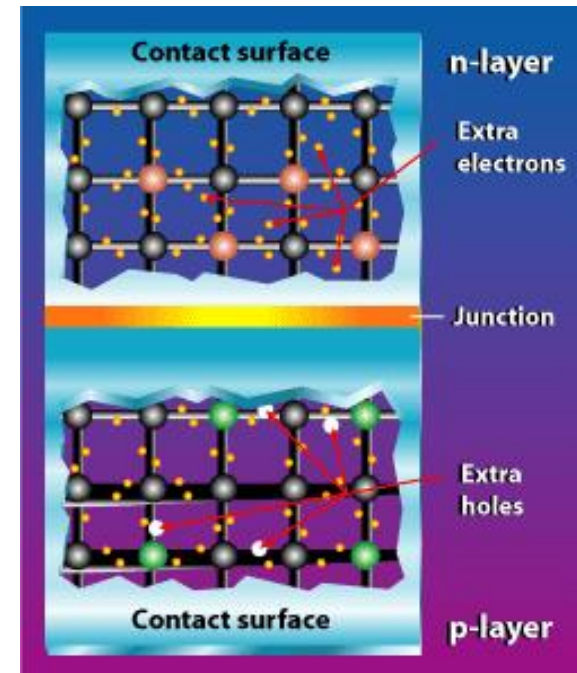
## Espectros de emissão



# Semicondutores tipo n e tipo p



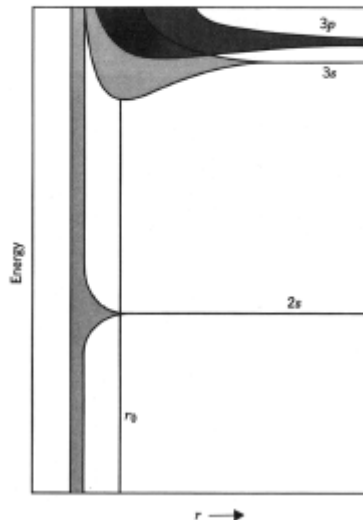
## Junção n-p





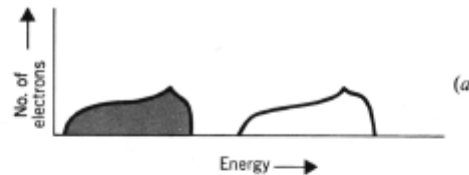
## Níveis de energia de orbitais em materiais sólidos

The energy levels of sodium as a function of internuclear distance ( $r_0$  = equilibrium distance)

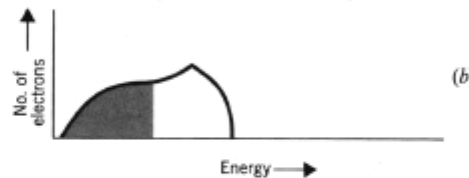


## Condutividade elétrica

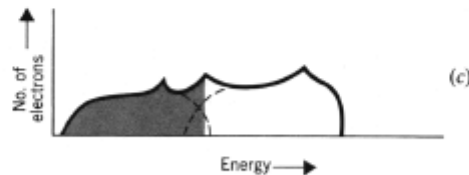
isolante



Condutor metálico



Bandas de condução com sobreposição



**Figure 8-9** Envelopes of energy bands, with shading to indicate filling. (a) an insulator, (b) a metallic conductor, (c) overlapping conduction bands as in Na.

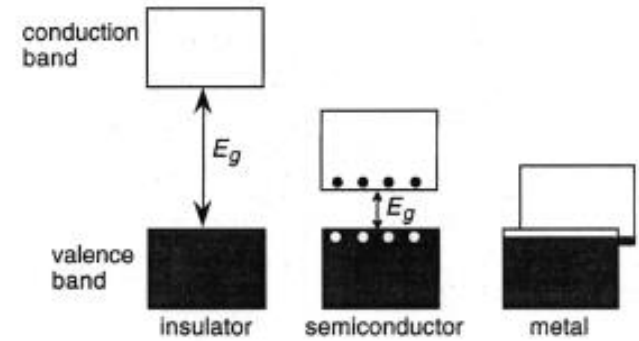
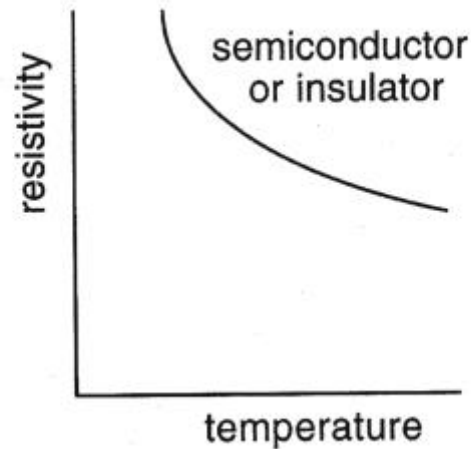
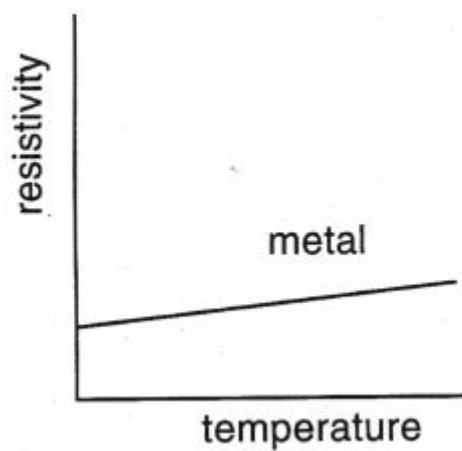
Sólidos só conduzem elétrons quando há bandas parcialmente preenchidas ou há sobreposição de uma banda cheia com uma vazia

Metais de transição são excelentes condutores elétricos e térmicos porque possuem bandas d incompletas

→ Prata e Cobre

# Condutividade elétrica

Dependência com a temperatura



Para os metais, a condutividade elétrica diminui com o aumento da temperatura

**Supercondutividade** em temperaturas criogênicas (alguns graus kelvin)

Para os semicondutores a condutividade aumenta com a temperatura, pois os elétrons podem vencer o gap de energia e ir para a banda de condução vazia.

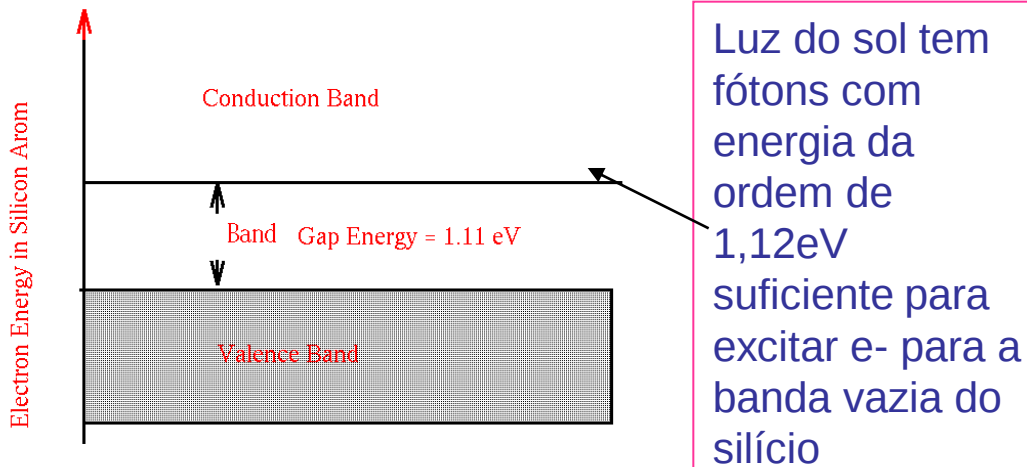
Semicondutor  
**intrínseco**

# Condutividade térmica

Boa parte do transporte de calor nos metais se dá pelo movimento de elétrons no topo da banda parcialmente preenchida

O aquecimento fornece energia cinética aos elétrons que se movimentam para outras partes da rede cristalina metálica – aumenta eficiência do transporte de calor

## Brilho metálico



Em alguns sólidos a condução de calor se dá por vibrações(fonons).

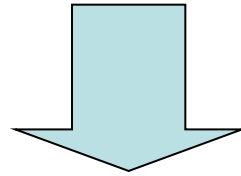
Ex.: diamante que tem elevada cond. térmica

## Thermal Conductivities

Table 7.1. Thermal Conductivities of Various Substances

| Material                       | Thermal Conductivity (watt/cm-K) |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Air                            | 0.00026                          |
| Glass wool                     | 0.00042                          |
| Corkboard                      | 0.00043                          |
| Carbon tetrachloride           | 0.0010                           |
| White pine                     | 0.0011                           |
| Oak                            | 0.0015                           |
| He                             | 0.001520                         |
| Water                          | 0.0061                           |
| Glass                          | 0.0072–0.0088                    |
| Hg                             | 0.083                            |
| Concrete                       | 0.0086–0.013                     |
| SiC                            | 0.090 (100 °F)                   |
| NaCl                           | 0.092 (0 °C)                     |
| ZnS (zinc blende)              | 0.264 (0 °C)                     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.303 (100 °C)                   |
| Pb                             | 0.353                            |
| Cs                             | 0.359                            |
| MgO                            | 0.360 (100 °F)                   |
| Rb                             | 0.582                            |
| Fe                             | 0.804                            |
| Li                             | 0.848                            |
| K                              | 1.025                            |
| C (graphite) <sup>a</sup>      | 1.1–2.2                          |
| Zn                             | 1.16                             |
| Brass                          | 1.2                              |
| Na                             | 1.42                             |
| Mg                             | 1.56                             |
| Be                             | 2.01                             |
| BeO                            | 2.20 (100 °F)                    |
| Al                             | 2.37                             |
| Au                             | 3.18                             |
| Cu                             | 4.01                             |
| Ag                             | 4.29                             |
| C (diamond) <sup>b</sup>       | 9.9–23.2                         |

Como os elétrons livres têm uma ampla variedade de energias (por pertencerem a uma banda), eles absorvem ampla faixa de frequências da luz visível, e **reemitem** também uma ampla faixa



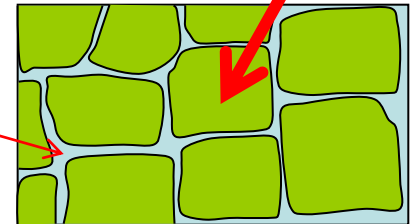
**brilho metálico**

# Metais são sólidos cristalinos

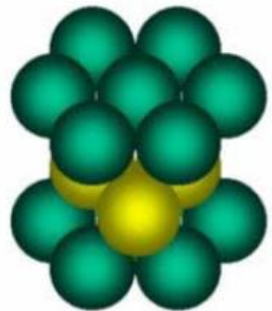
- São compactos e densos e opacos
- São deformáveis
- Alta energia de ligação que mantém os átomos ligados mesmo após a deformação

São policristalinos e cada **crystal** = **grão**

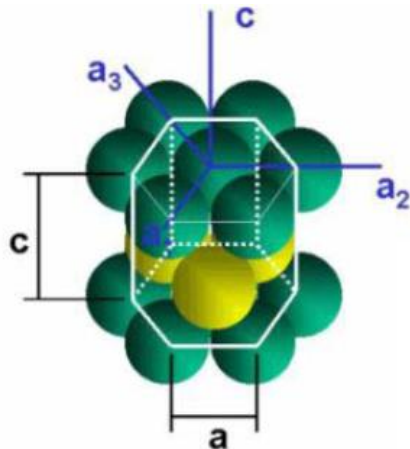
Contorno de grão



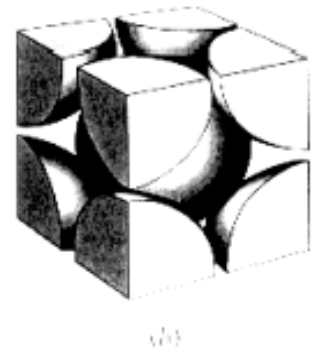
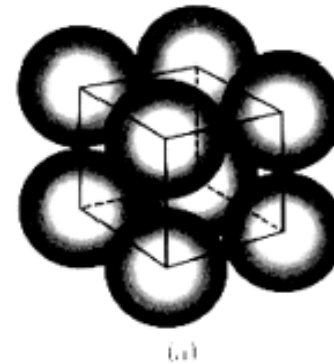
HC



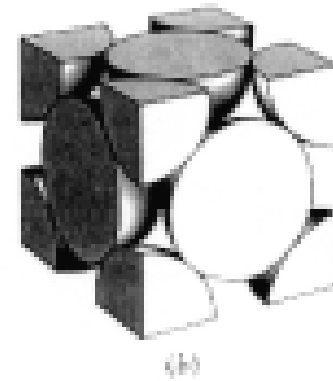
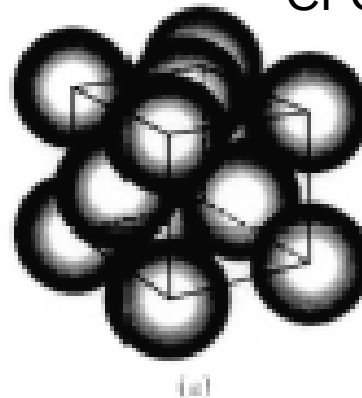
$$c / a = 1,633$$



CCC

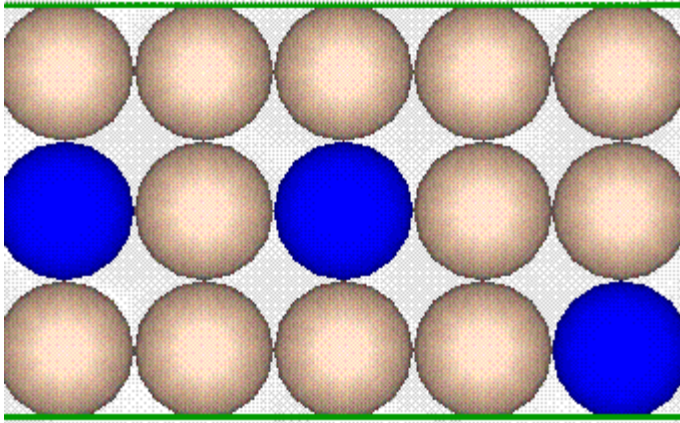


CFC



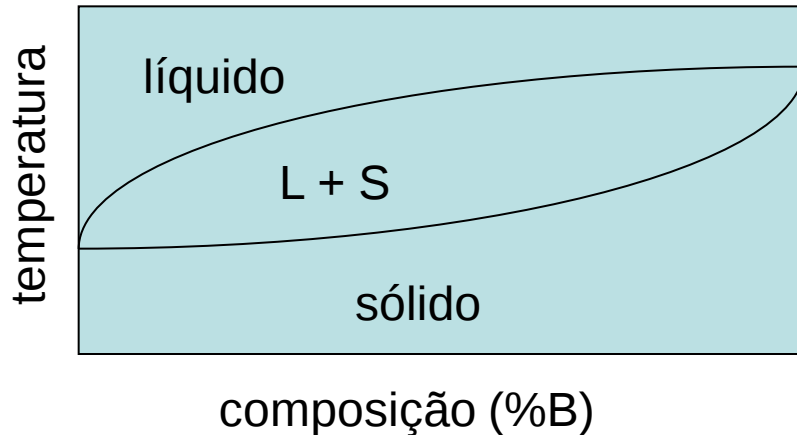
# LIGAS

## solução sólida substitucional

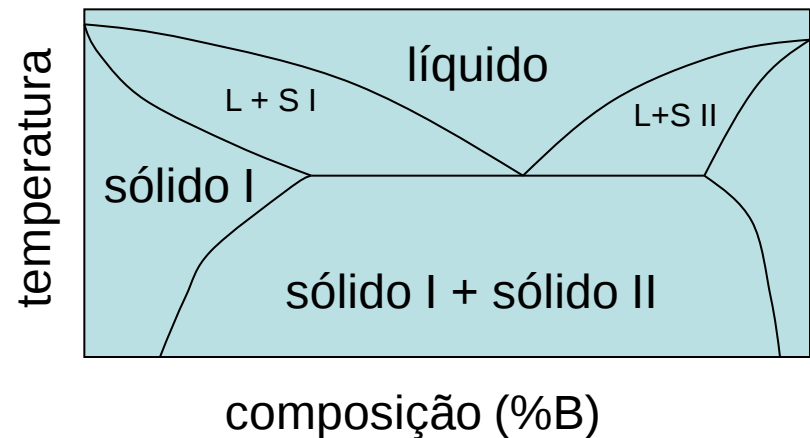


CFC - cobre-níquel, ouro-prata, etc

CCC – molibdêno-tungstênio, etc

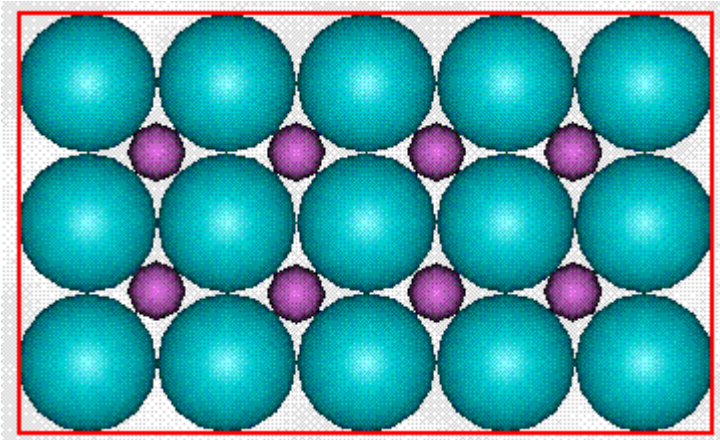


Completa: qualquer composição é possível



Parcial: faixas de composições possíveis

# solução sólida intersticial



aço

C em Fe CFC

C em Fe CCC

Fe CFC – estável em alta temperatura

Fe CCC – estável em baixa temperatura

C em Fe CFC – alta solubilidade

C em Fe CCC – baixa solubilidade

resfriamento lento: o  
carbono forma  
carbonetos

resfriamento rápido: o  
carbono não tem tempo de  
formar carbonetos, e forma  
estrutura distorcida, muito  
dura (martensita)

↑ **têmpera**

➤ Alotropia do ferro puro:

Líquido

1538°C

1394°C

912°C

770°C

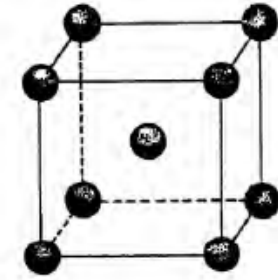
Temperatura  
ambiente

Ferro  $\delta$  (CCC)

Ferro  $\gamma$  (CFC)

Ferro  $\alpha$  (CCC)

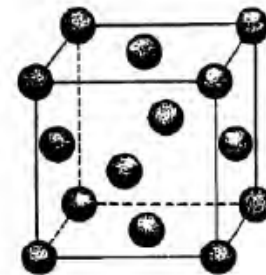
Cúbico de corpo centrado



$$a_0 = 2,93 \text{ \AA} (\delta)$$

$$a_0 = 2,86 \text{ \AA} (\alpha)$$

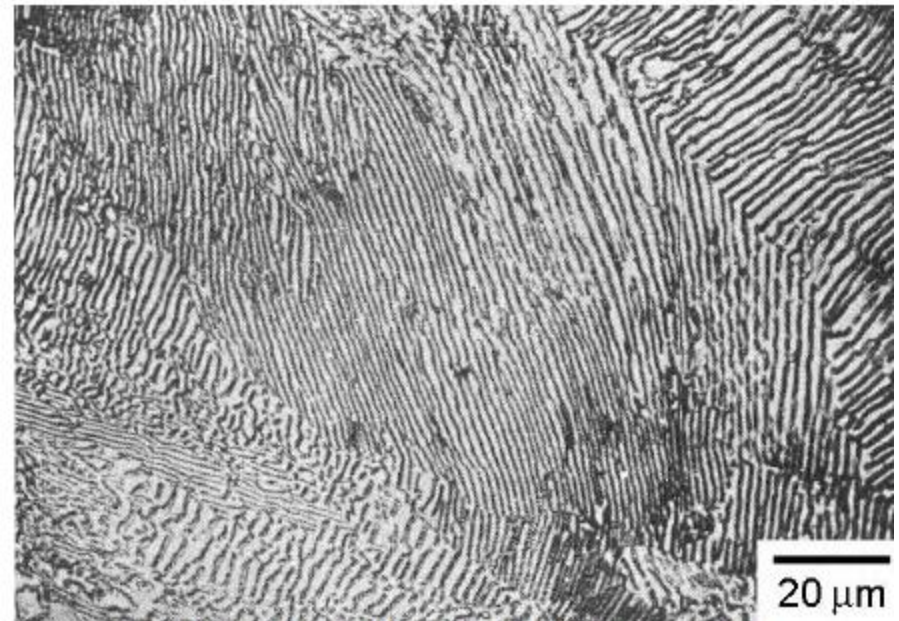
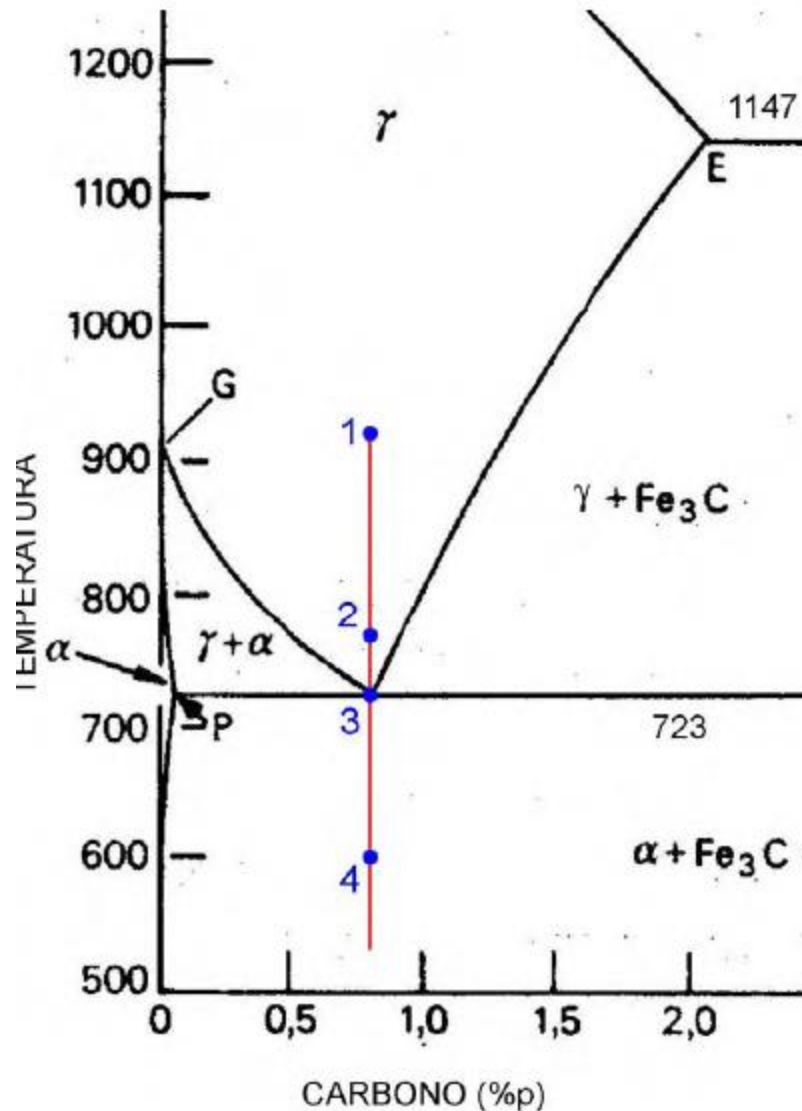
Cúbico de face centrada



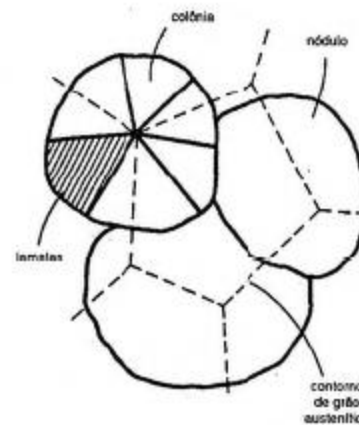
$$a_0 = 3,64 \text{ \AA}$$

1>

## ➤ Microestrutura do aço eutetóide:



**Colônias de perlita em aço**

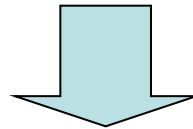


**Morfologia da perlita em aços**



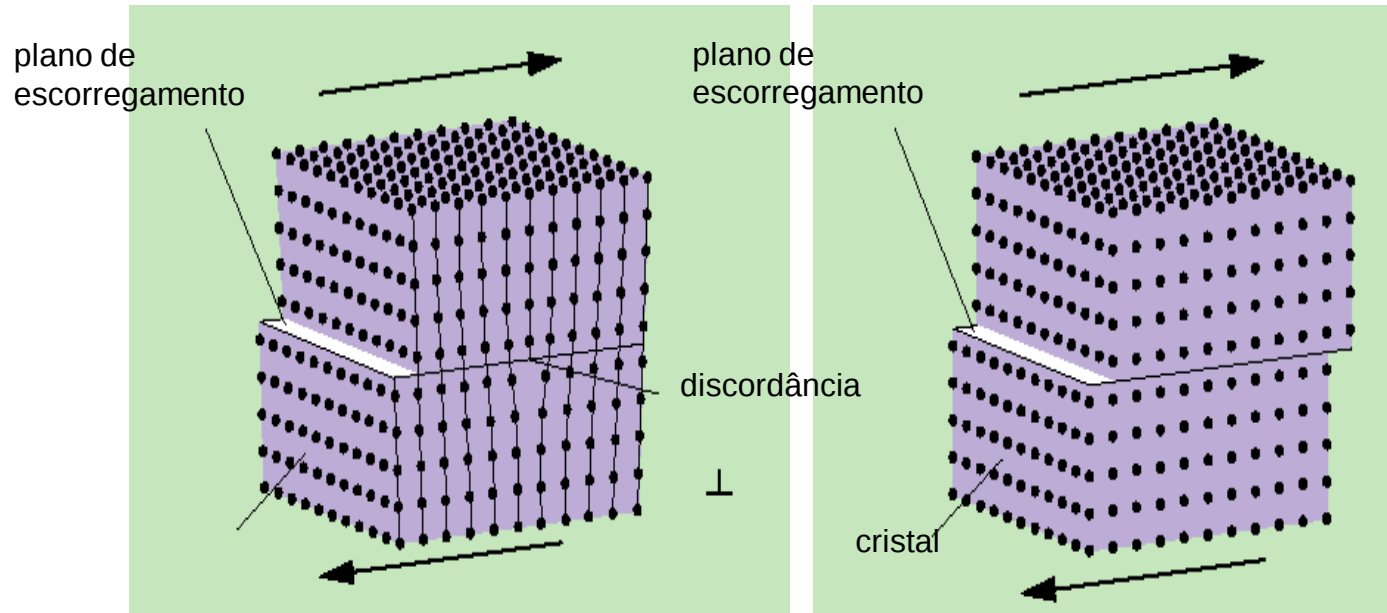
## Ligação metálica – é não direcional

- **não existem ligações rígidas** nestes cristais (não são covalentes)
- **não existem íons com sinais opostos** (não são iônicos)



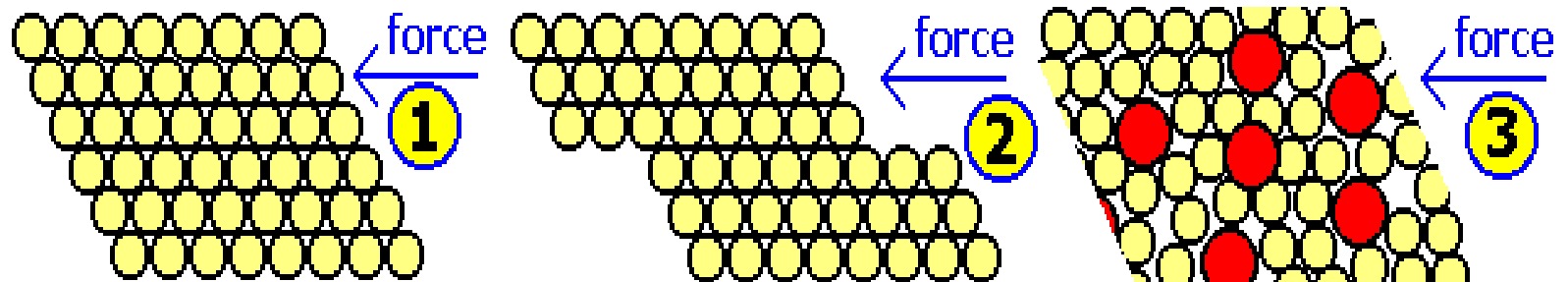
é possível realizar escorregamento entre planos de átomos compactos vizinhos, o que possibilita a **deformação plástica** dos materiais metálicos

# DEFORMAÇÃO PLÁSTICA



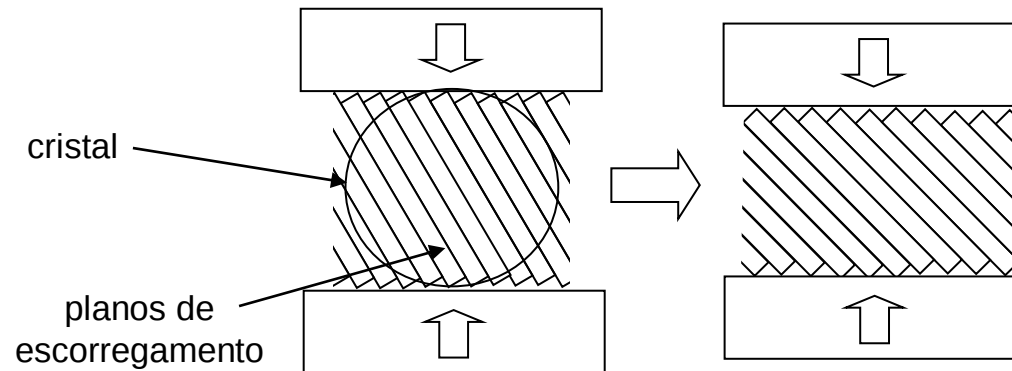
daria para fazer isso em  
crystal iônico ou covalente?

## Deformação de metais e ligas

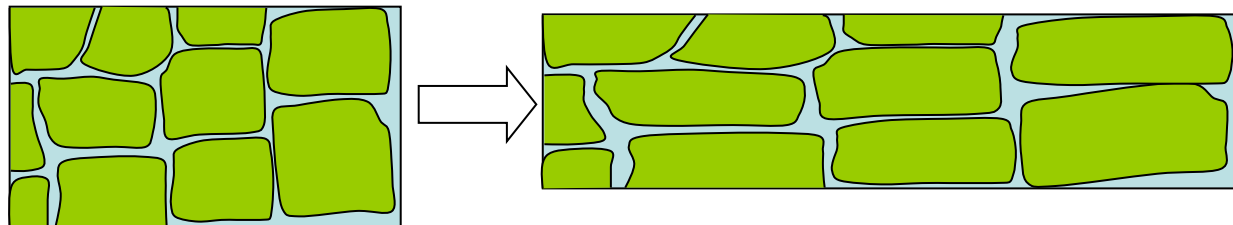


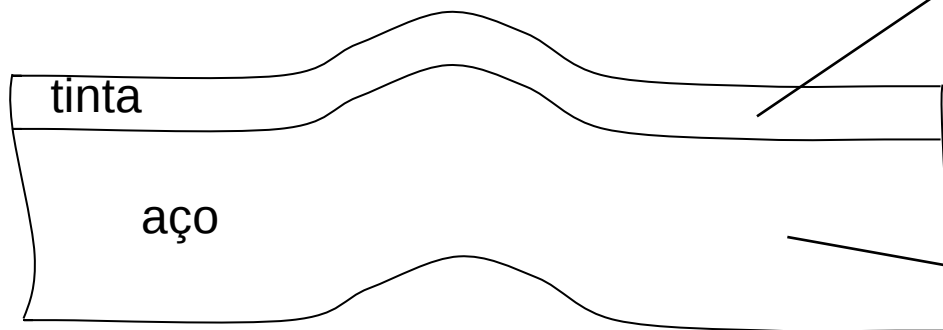
A presença de átomos diferentes na estrutura cristalina dificulta o deslçamento entre planos,  **aumentando a resistência mecânica de ligas**  frente aos metais puros

## Deformação do cristal: vários escorregamentos entre planos compactos (de alta densidade atômica)



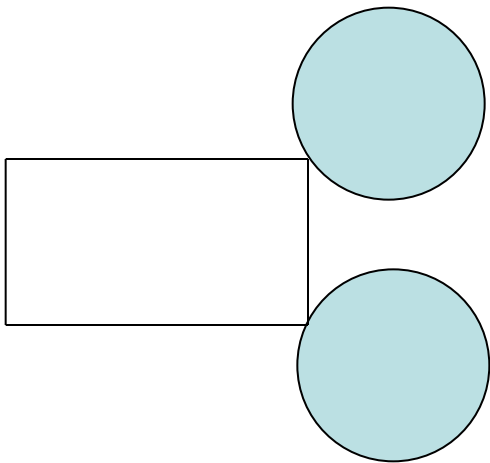
## Deformação de uma peça: deformação de vários cristais (grãos)

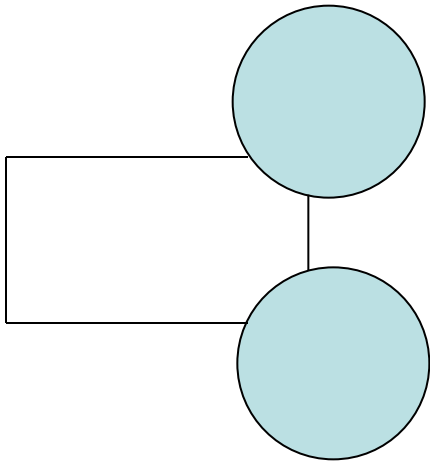




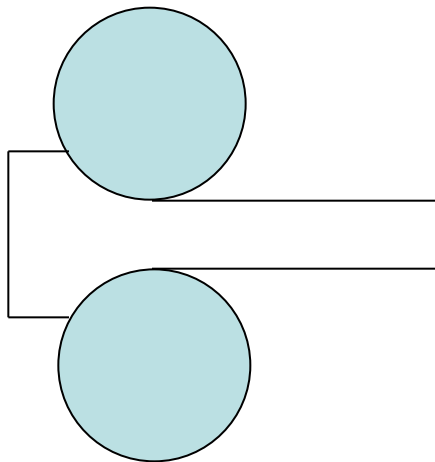
A tinta precisa ter flexibilidade pra acompanhar a deformação do substrato metálico

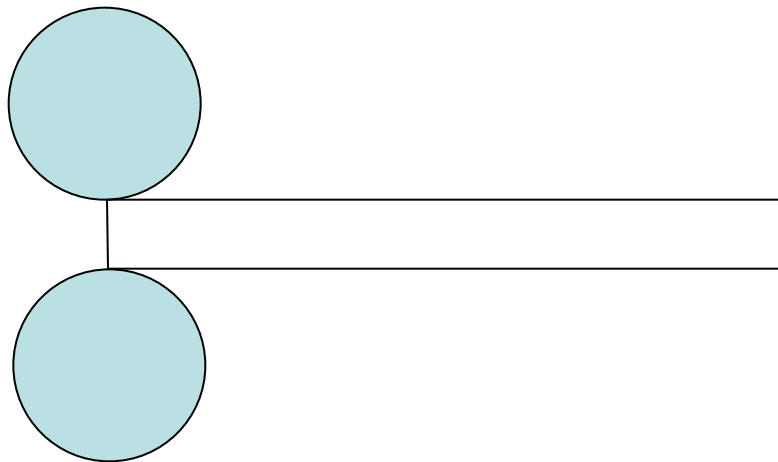
O metal recoberto por um revestimento pode sofrer deformação

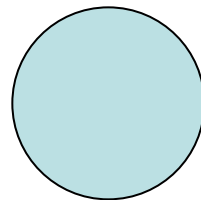
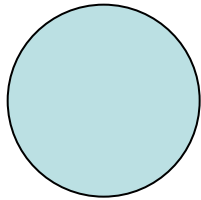


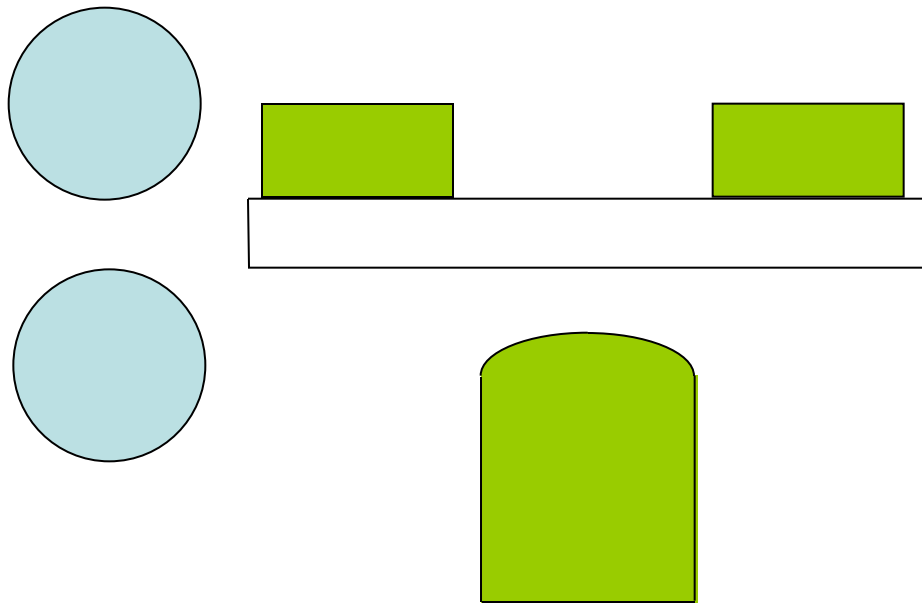


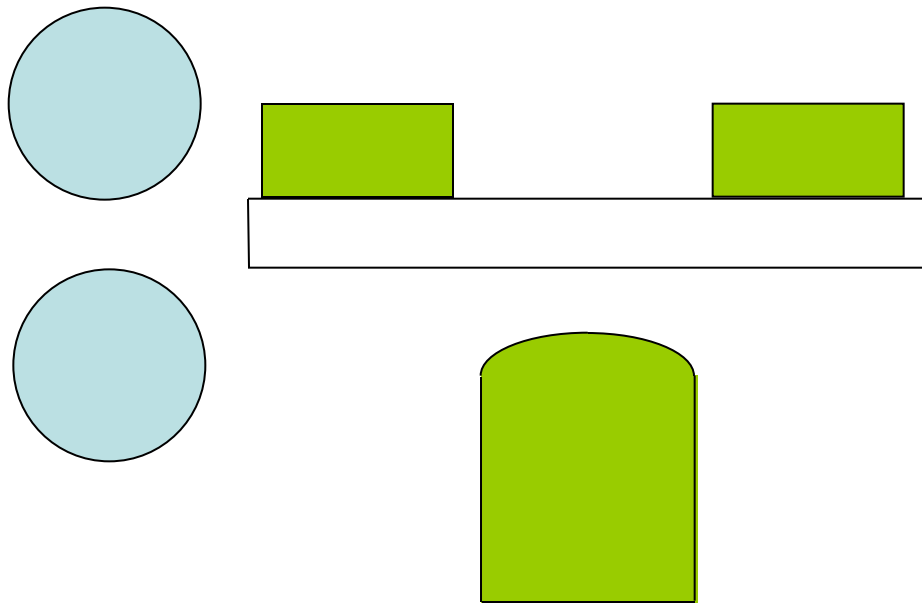
## Processo de laminação de um lingote metálico

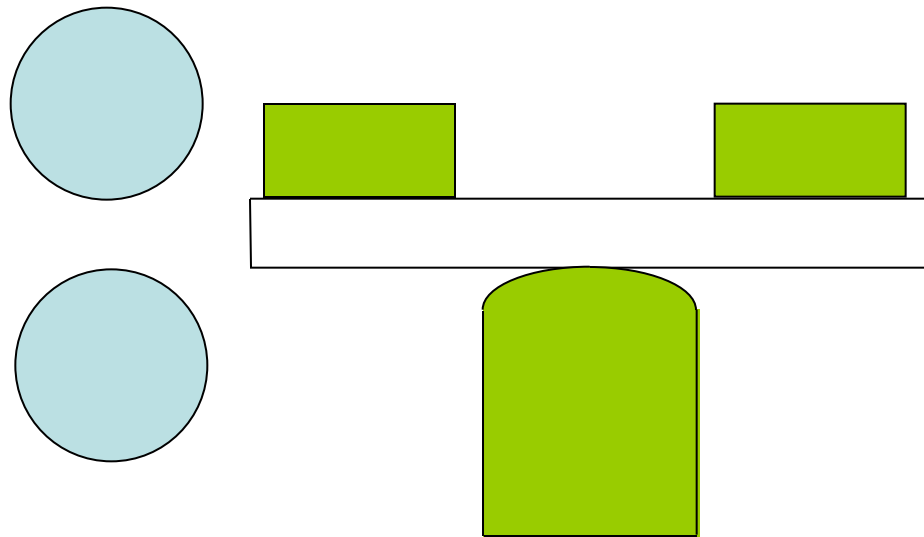


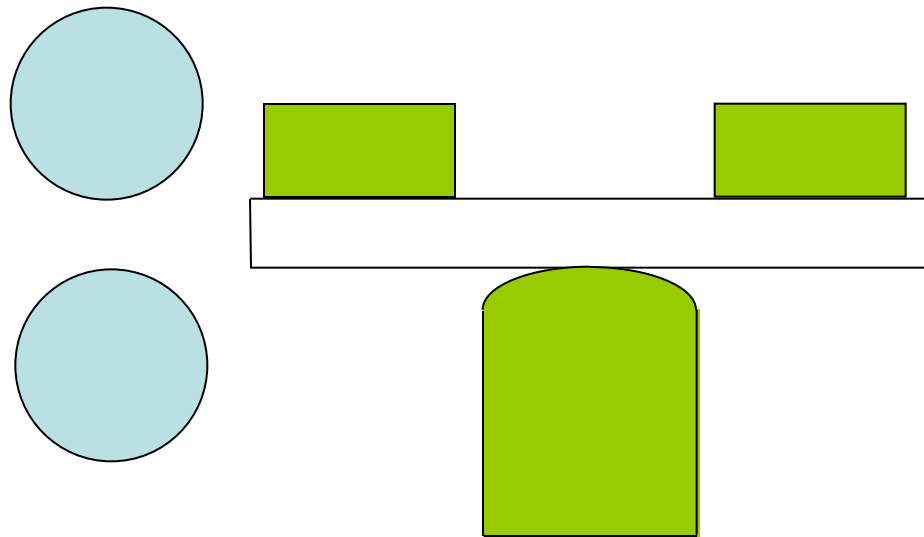












## Deformação por flexão

