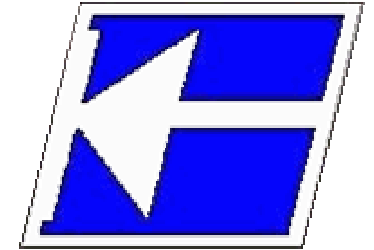


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**

**Gerência Educacional de Eletrônica**

**Eletrônica Básica e Projetos Eletrônicos**



# **Semicondutores**

**e**

# **Diodos**

**Clóvis Antônio Petry, professor.**

**Florianópolis, março de 2007.**

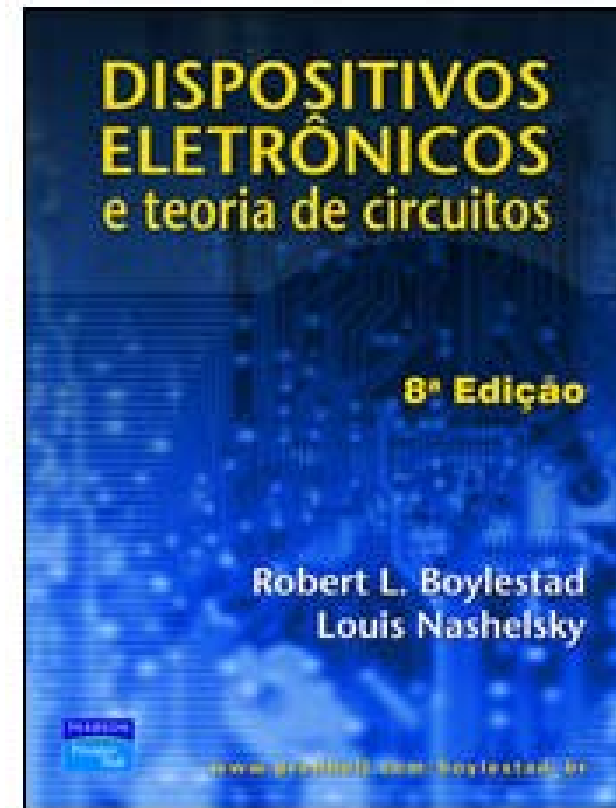
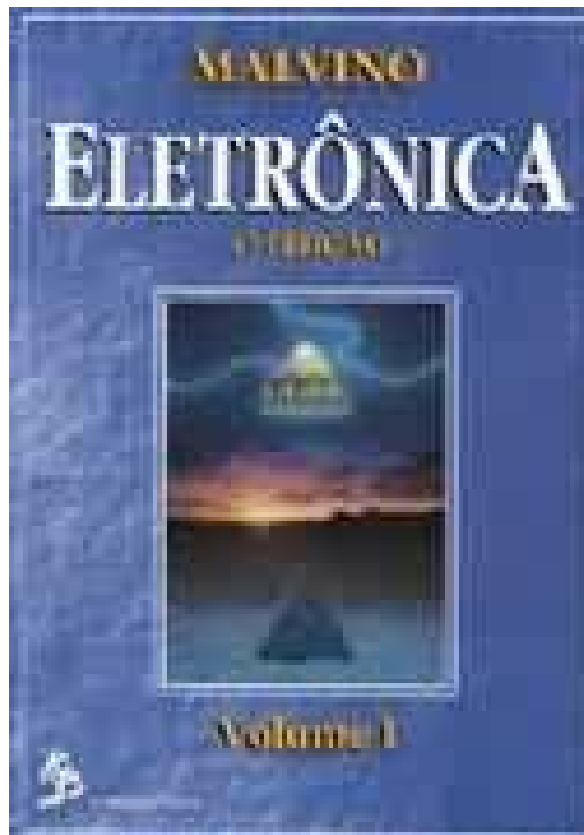
# Nesta aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

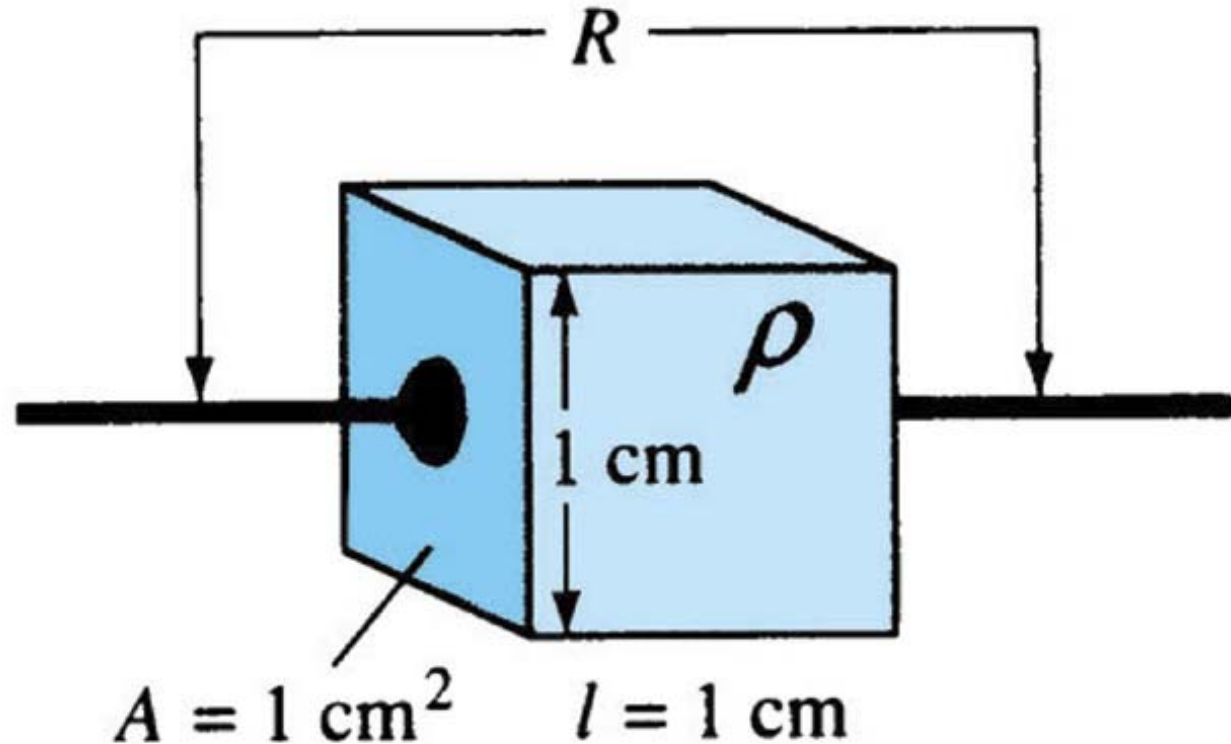
1. Semicondutores;
2. Junções PN;
3. Diodos.

# Bibliografia



# Materiais semicondutores

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$



Condutor

$$\rho \cong 10^{-6} \Omega cm$$

(cobre)

Semicondutor

$$\rho \cong 50 \Omega cm \text{ (germânio)}$$

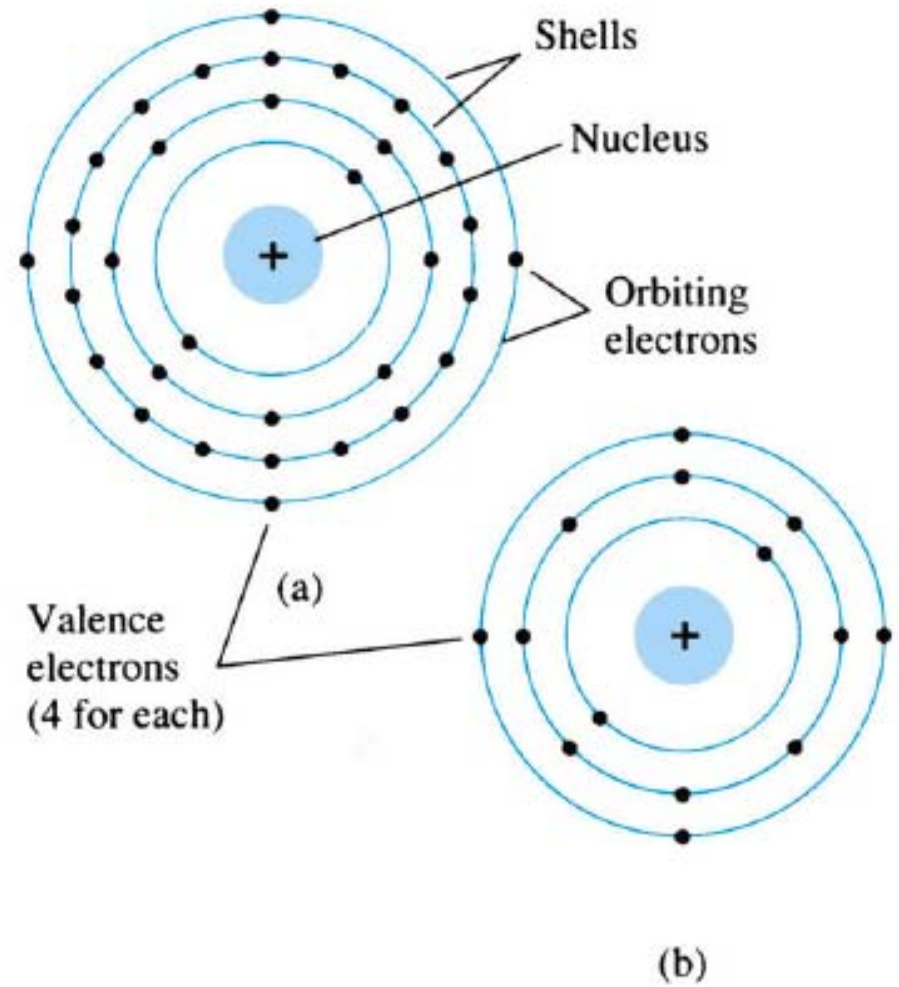
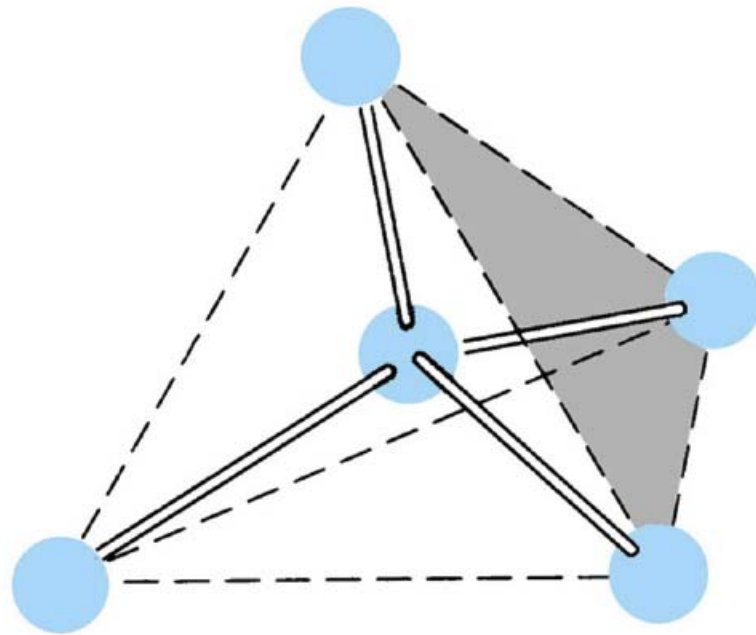
$$\rho \cong 50 \cdot 10^3 \Omega cm \text{ (silício)}$$

Isolante

$$\rho \cong 10^{12} \Omega cm$$

(mica)

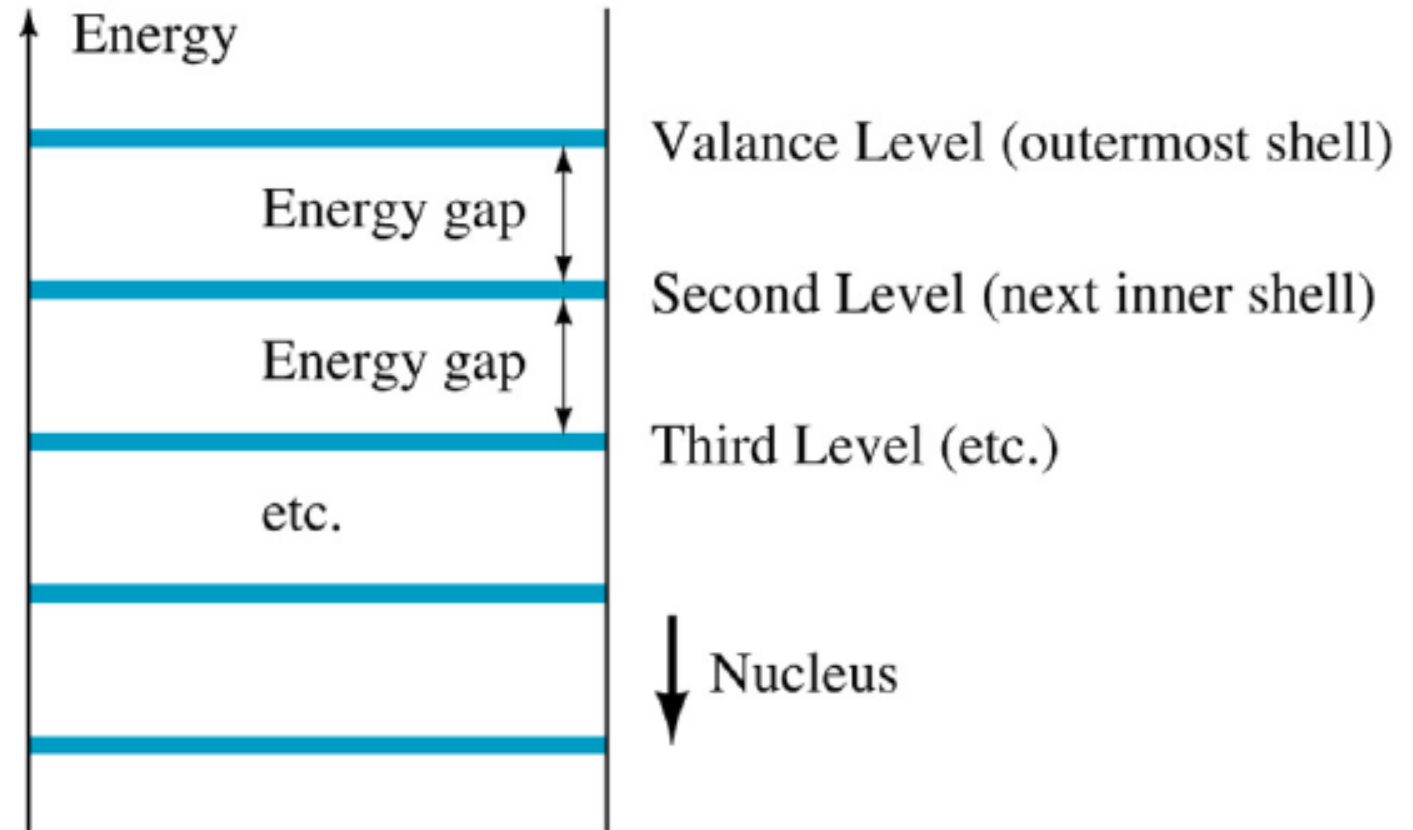
# Materials semicondutores



Atomic structure: (a) germanium; (b) silicon.

# Materiais semicondutores

Níveis de energia:



Condutor:  $\rho = 10^{-6} \Omega\text{cm}$  [cobre]

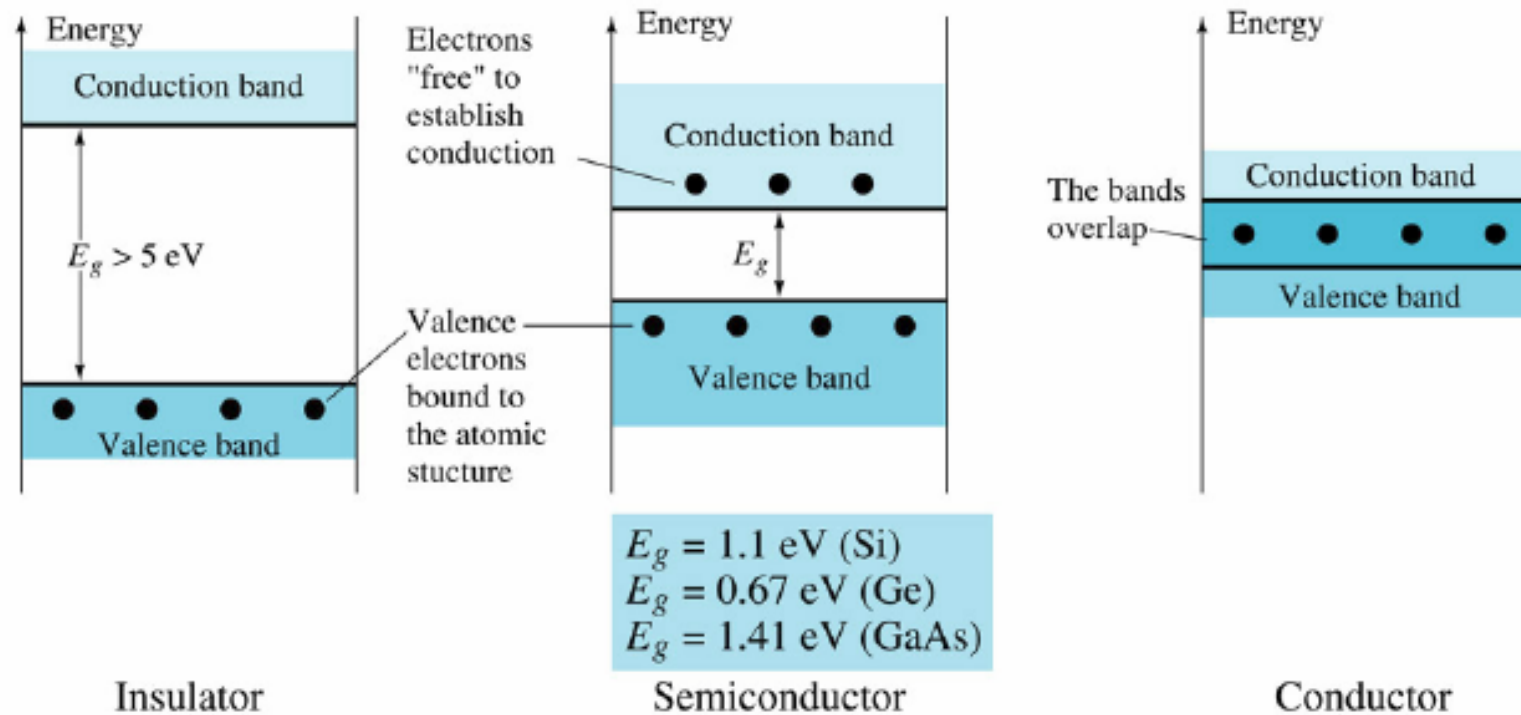
Semicondutor:  $\rho = 50 \Omega\text{cm}$  [germânio]

Semicondutor:  $\rho = 50 \text{ k}\Omega\text{cm}$  [silício]

Isolante:  $\rho = 10^{12} \Omega\text{cm}$  [mica]

# Materiais semicondutores

## Níveis de energia:



# Materiais semicondutores

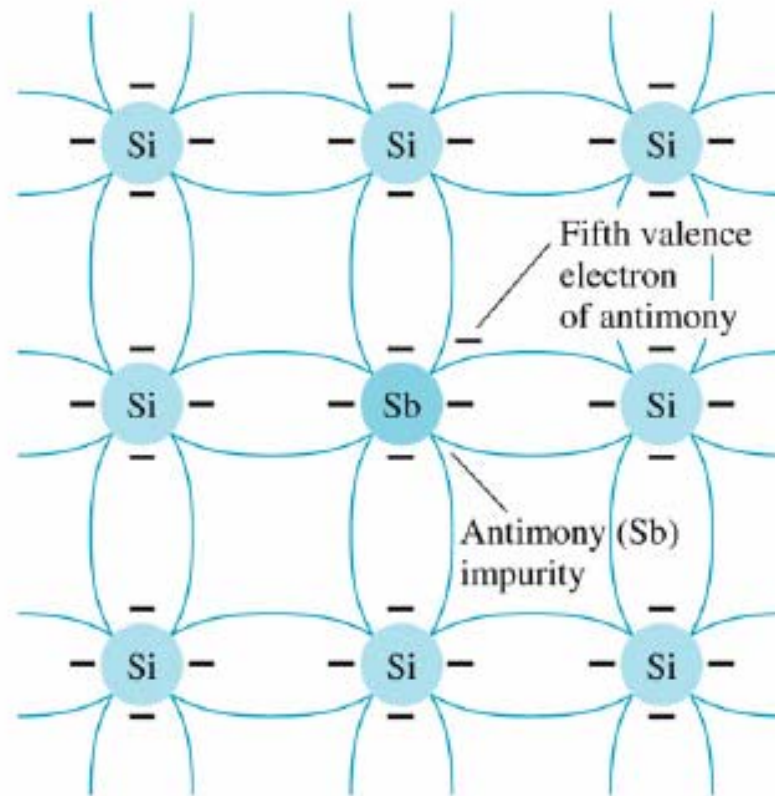
---

## Materiais intrínsecos e extrínsecos do tipo N e P:

- Materiais intrínsecos são semicondutores cuidadosamente refinados para se obter a redução de impurezas a um nível muito baixo – são basicamente tão puros quanto permite a tecnologia moderna;
- Um material semicondutor submetido ao processo de dopagem é chamado de material extrínseco.

# Materiais semicondutores

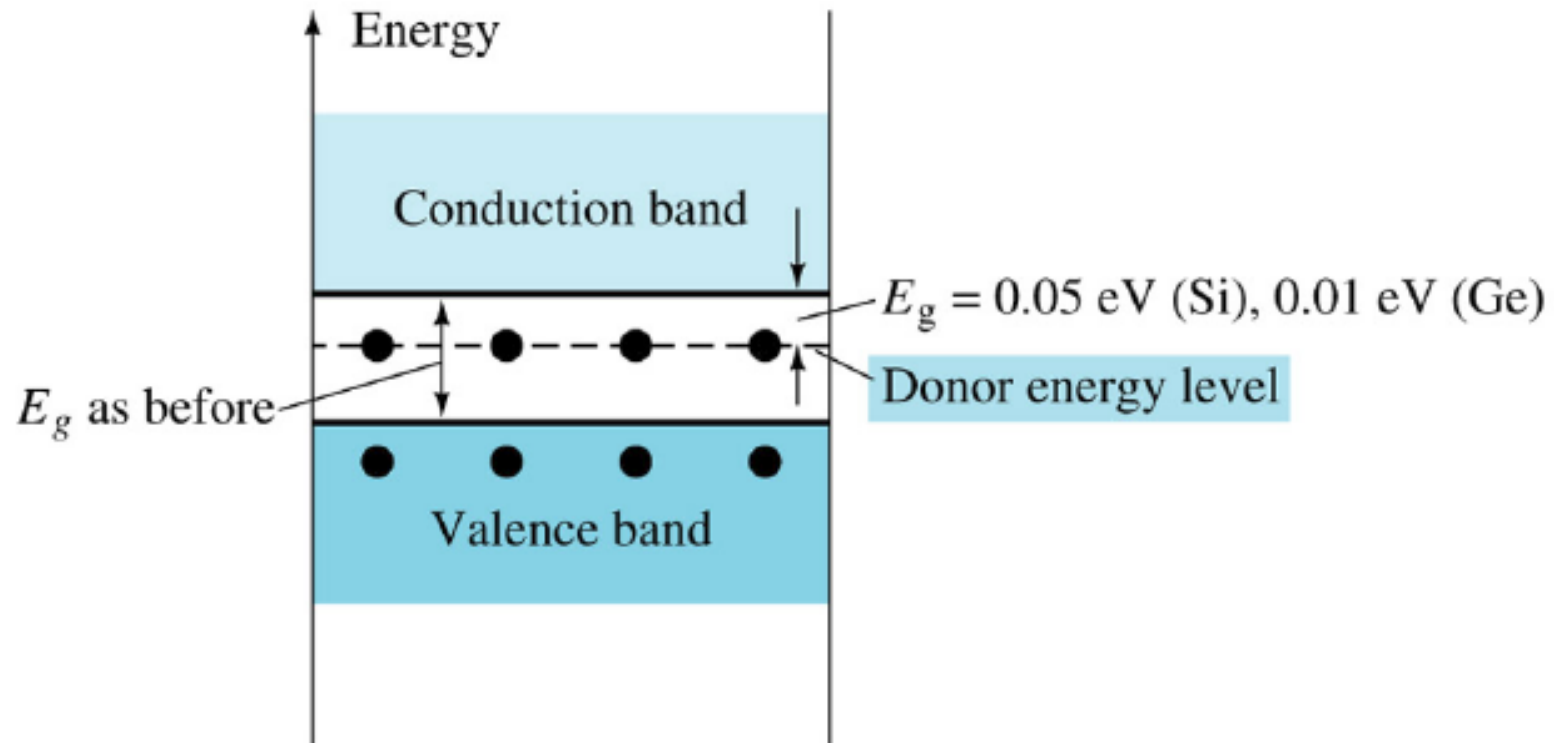
## Materiais extrínsecos do tipo N:



Antimony impurity in n-type material.

# Materials semicondutores

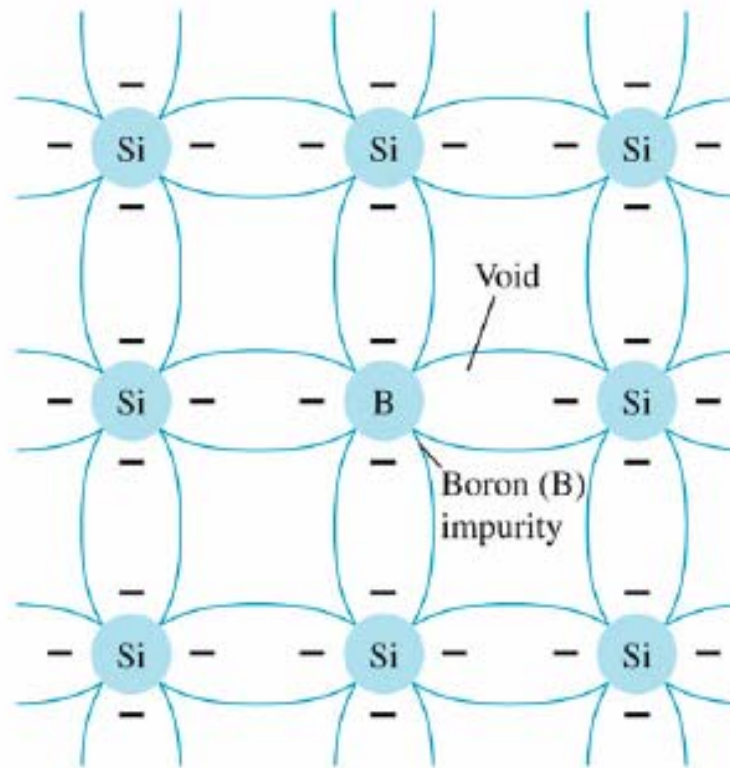
## Materials extrínsecos do tipo N:



Effect of donor impurities on the energy band structure.

# Materials semicondutores

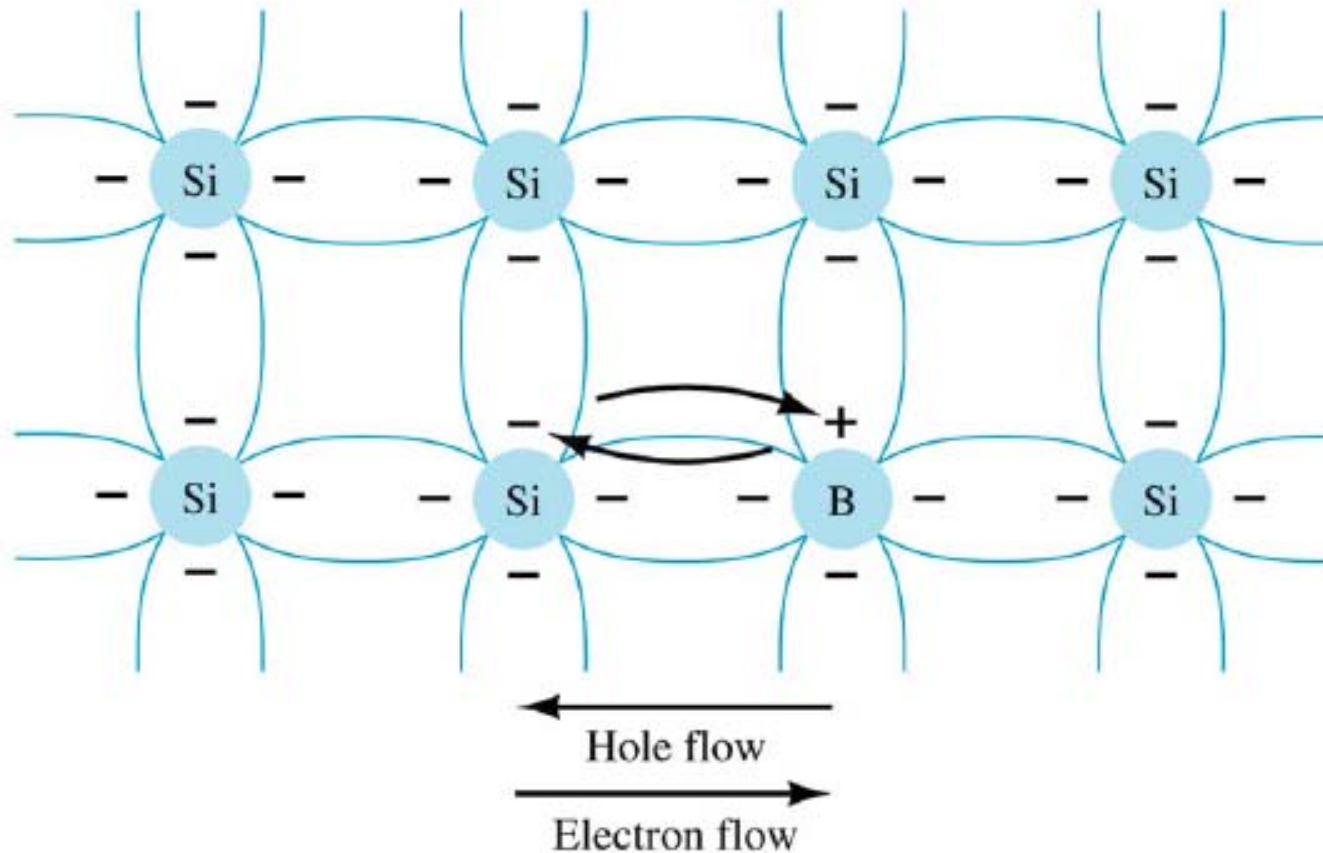
## Materials extrínsecos do tipo P:



Boron impurity in *p*-type material.

# Materiais semicondutores

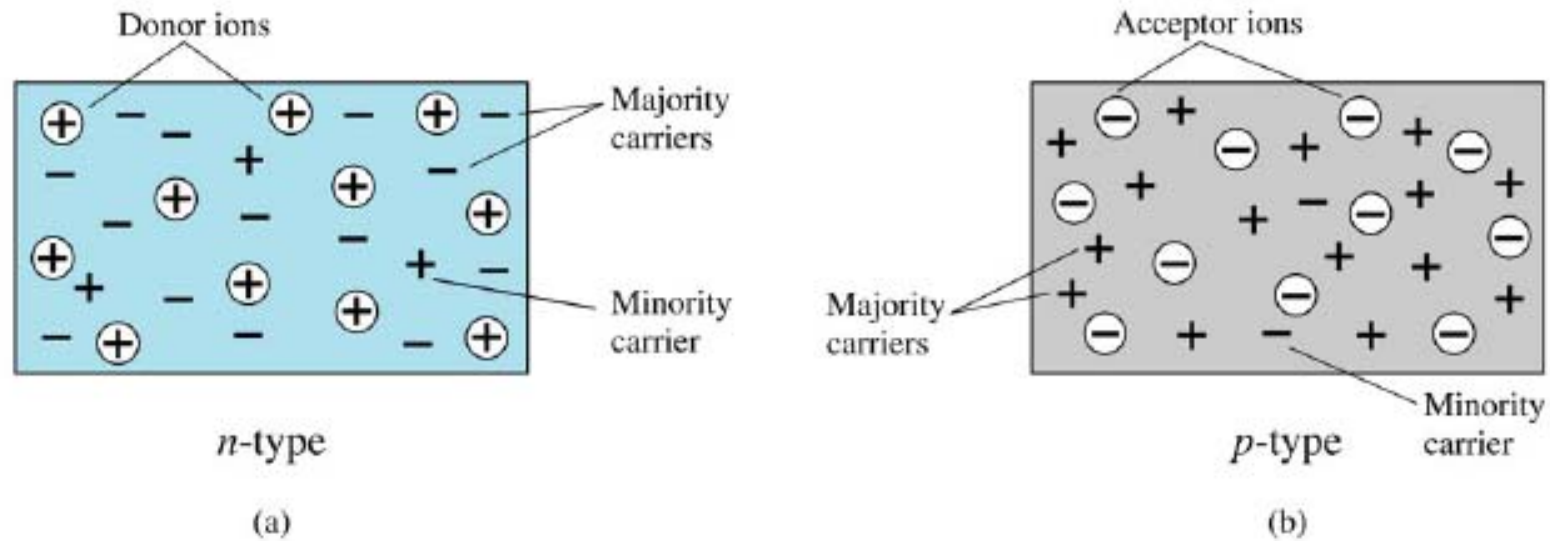
## Materiais extrínsecos do tipo P:



Electron versus hole flow.

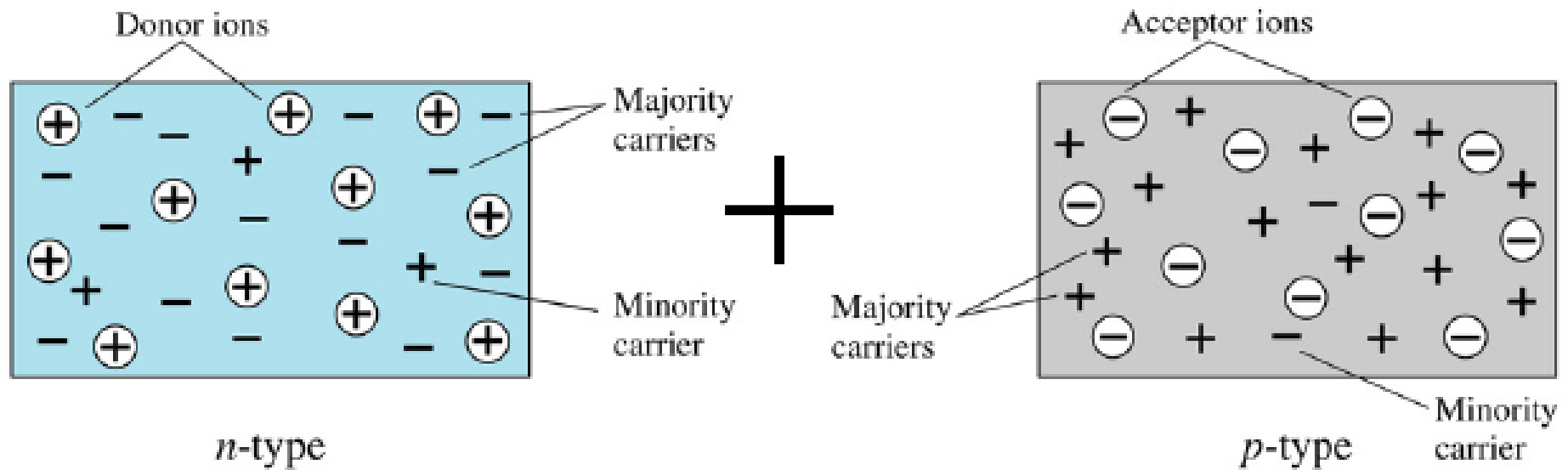
# Materials semicondutores

Portadores de carga nos materiais P e N:



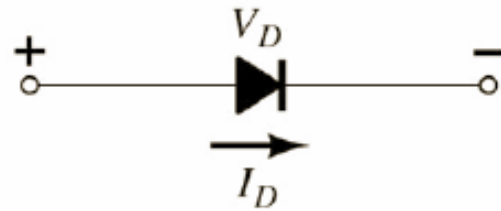
(a) *n*-type material; (b) *p*-type material.

# Junções P e N

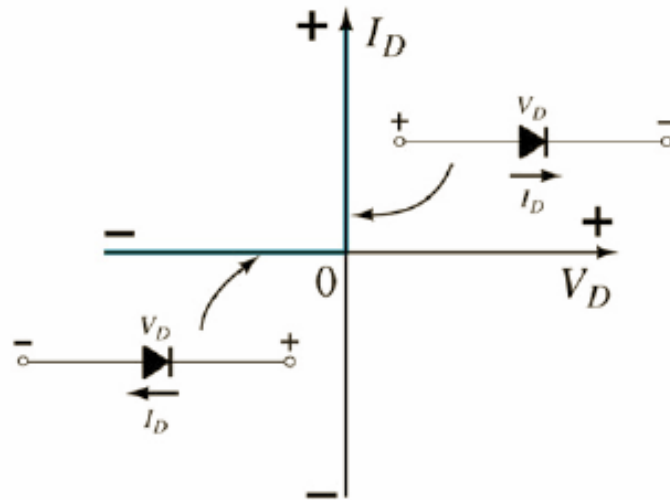


# Junções P e N

**Diodo semicondutor, uma introdução:**



(a)

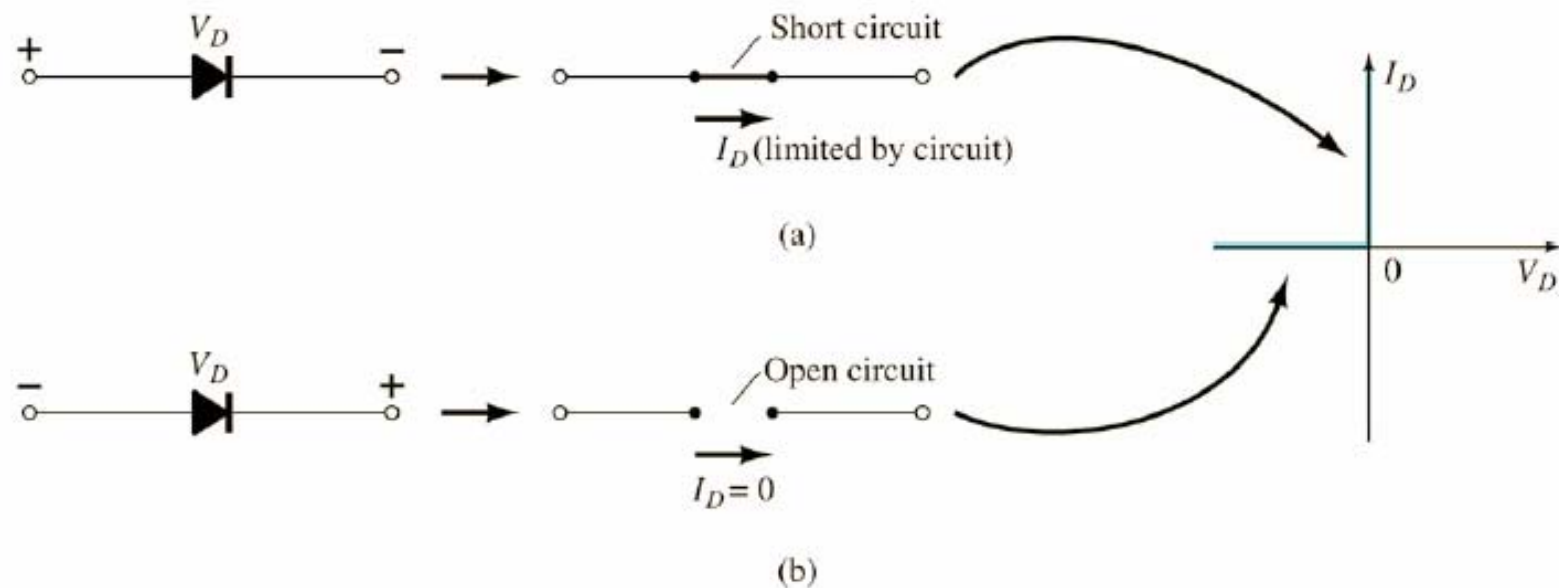


(b)

Ideal diode: (a) symbol; (b) characteristics.

# Junções P e N

## Diodo semicondutor, uma introdução:

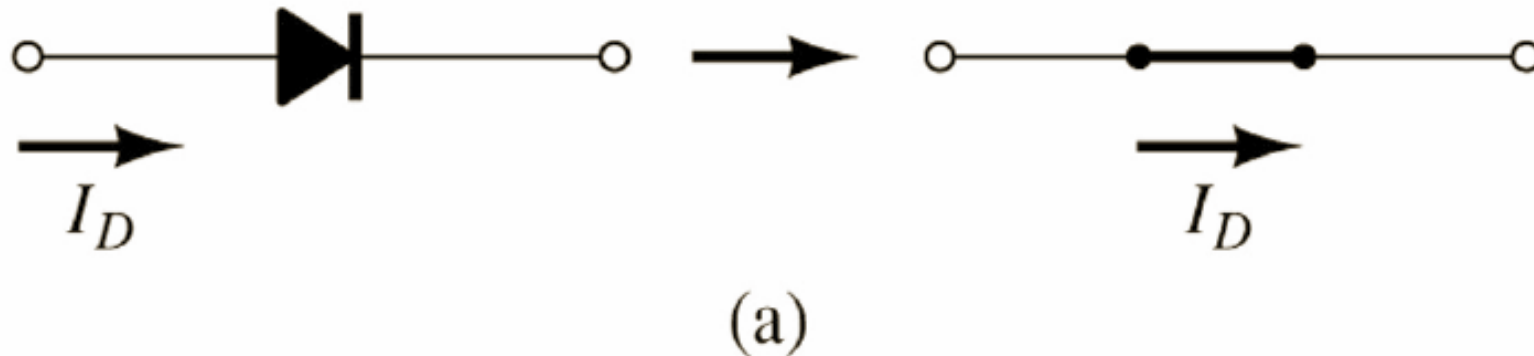


(a) Conduction and (b) nonconduction states of the ideal diode as determined by the applied bias.

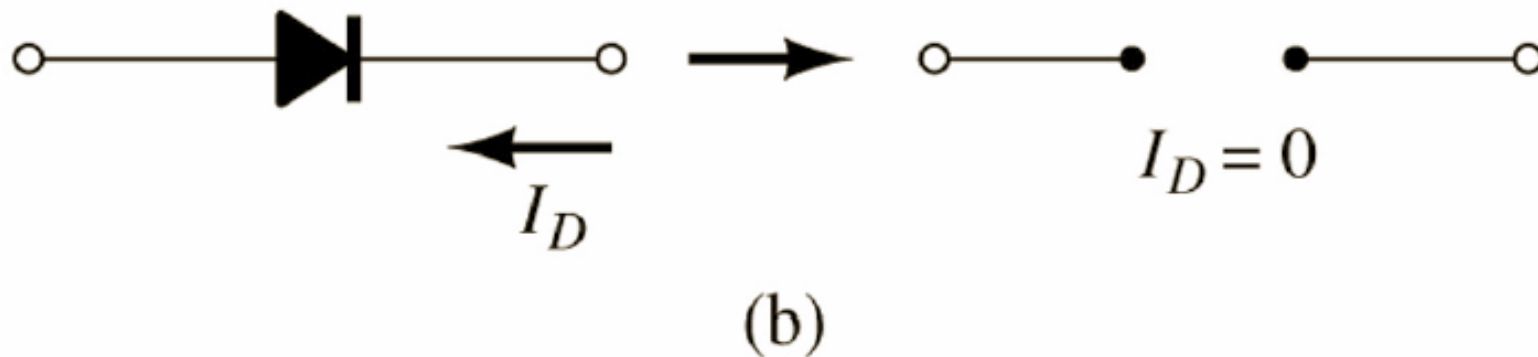
# Junções P e N

## Diodo semicondutor, uma introdução:

Em condução:

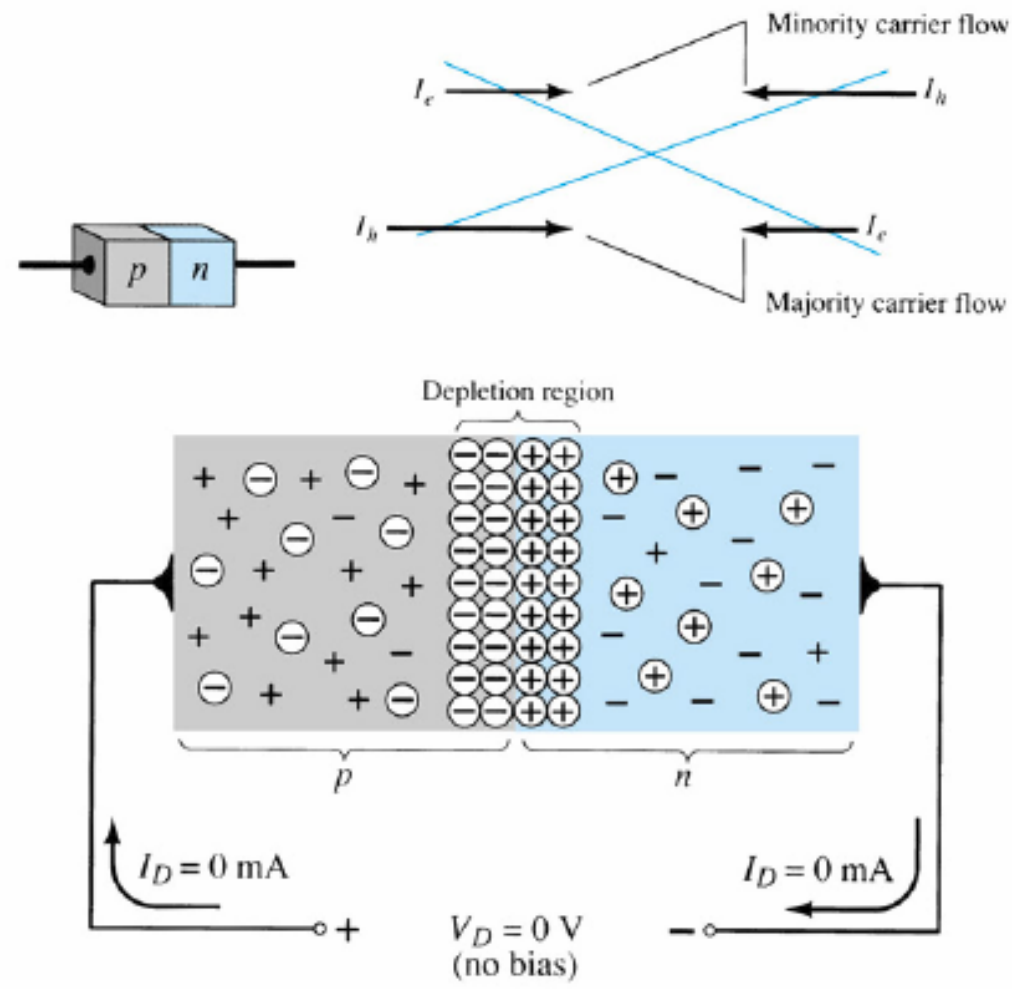


Não condução:



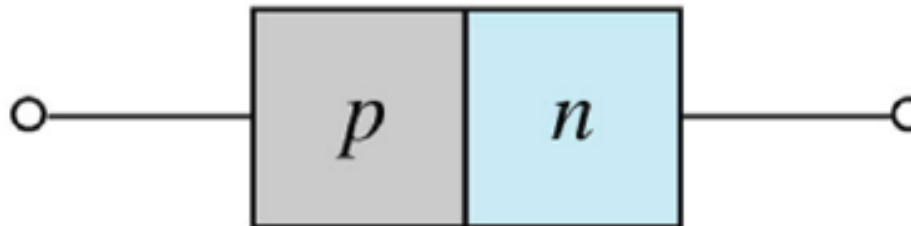
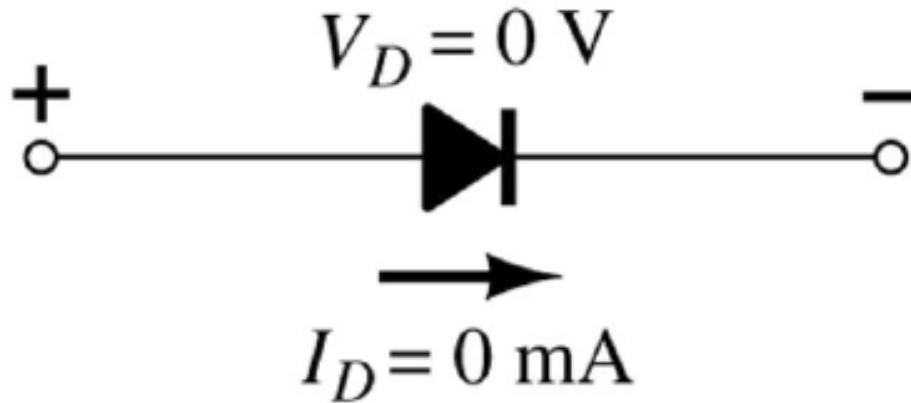
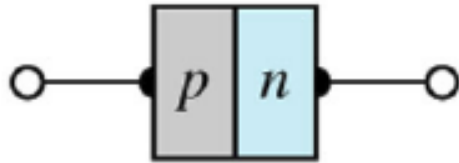
# Junção PN – Sem polarização

$$V_D = 0V$$



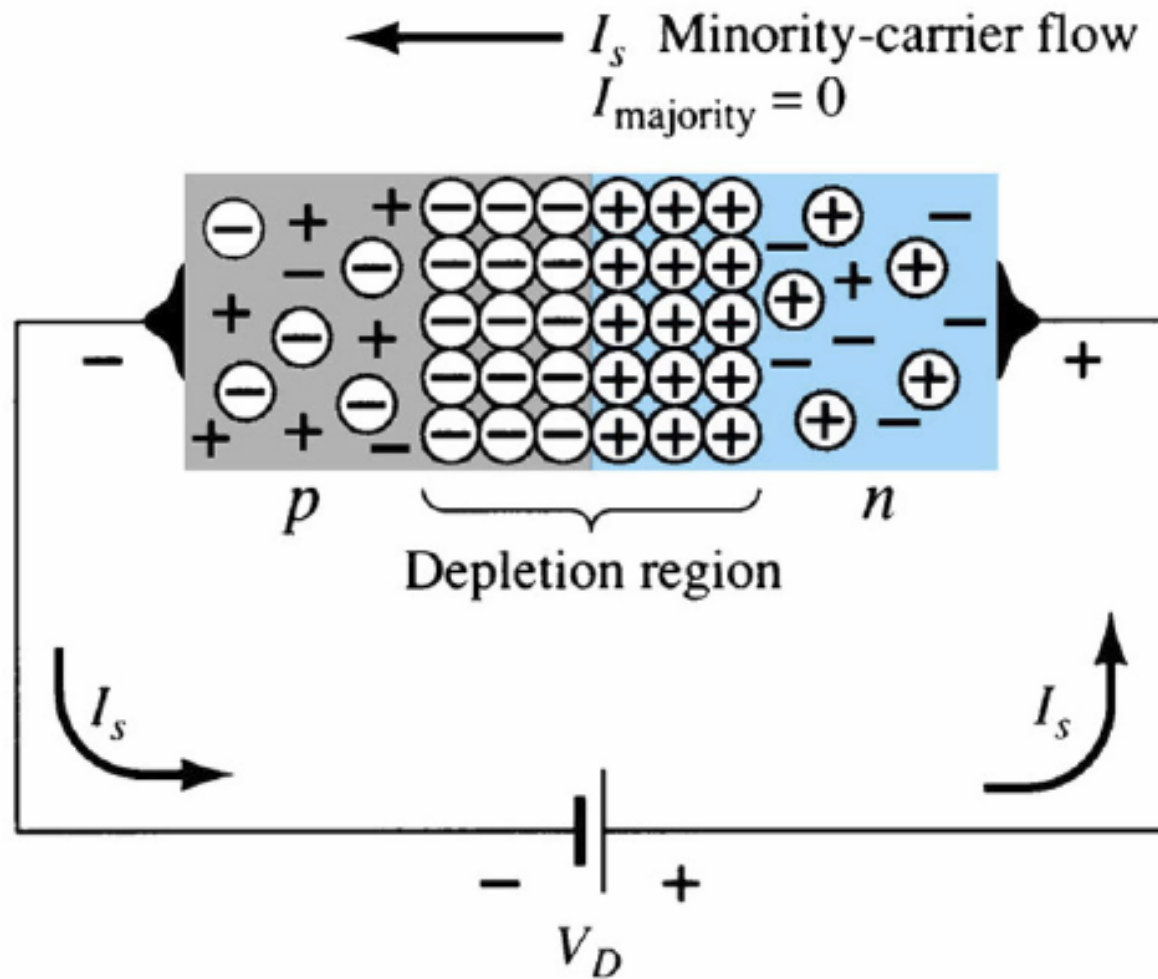
# Junção PN – Sem polarização

$$V_D = 0V$$



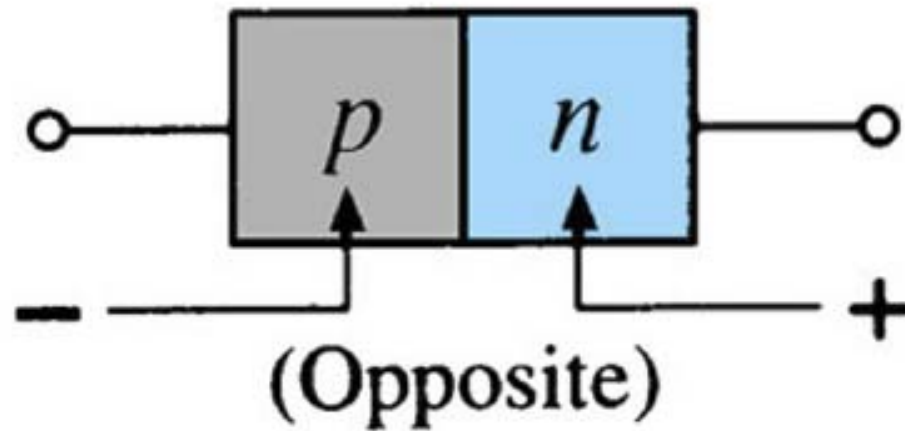
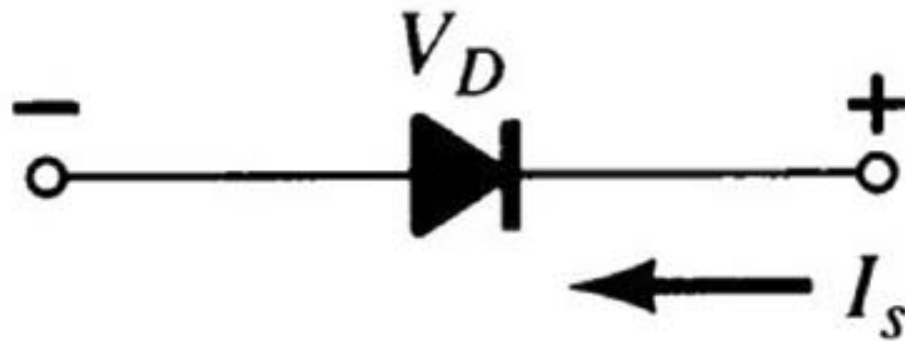
# Junção PN – Reversamente polarizada

$$V_D < 0V$$



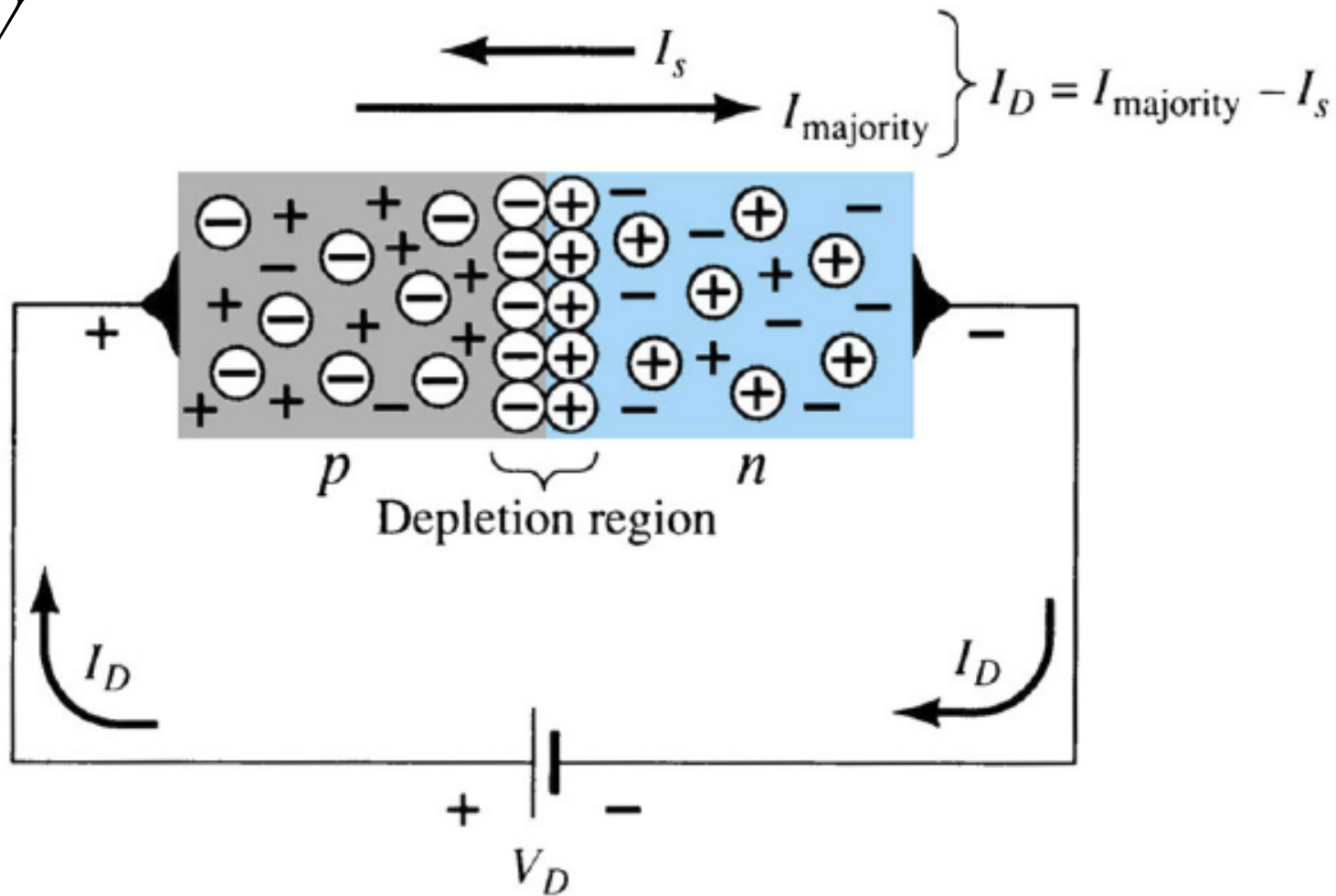
# Junção PN – Reversamente polarizada

$$V_D < 0V$$



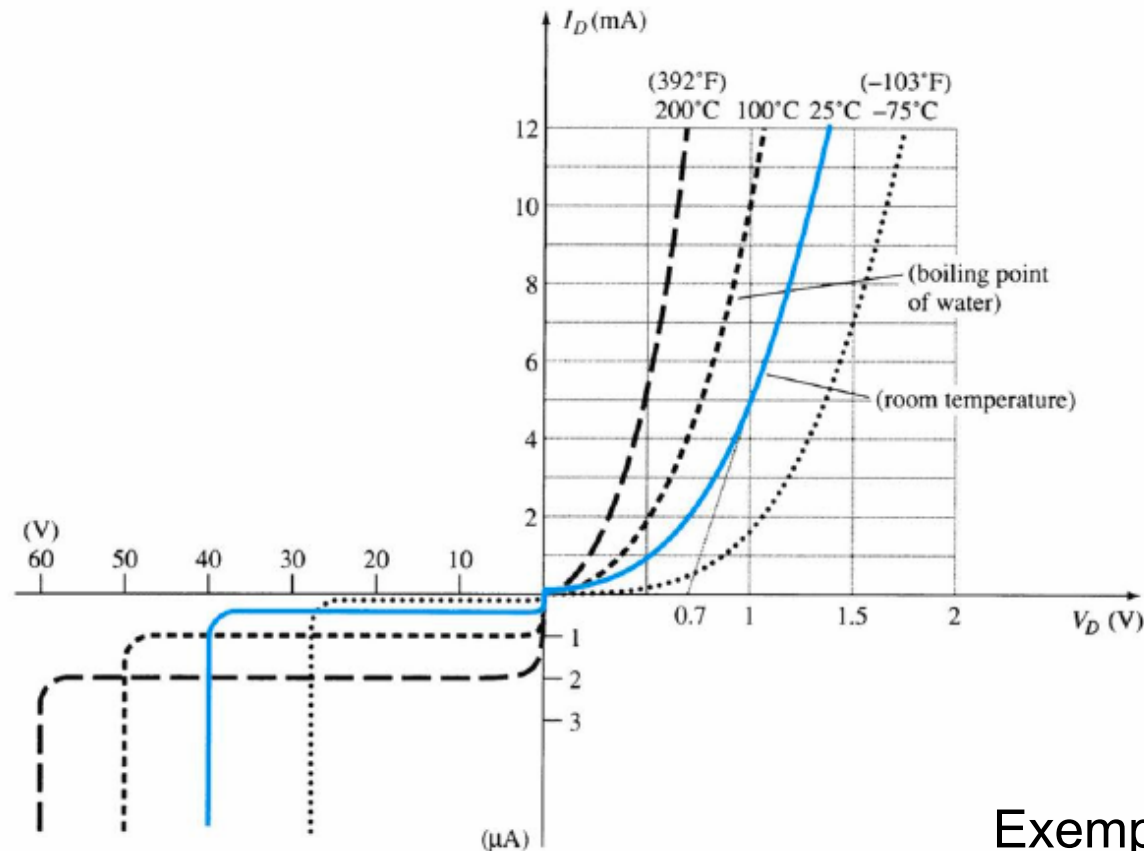
# Junção PN – Diretamente polarizada

$$V_D > 0V$$



## Junção PN – Efeito da temperatura

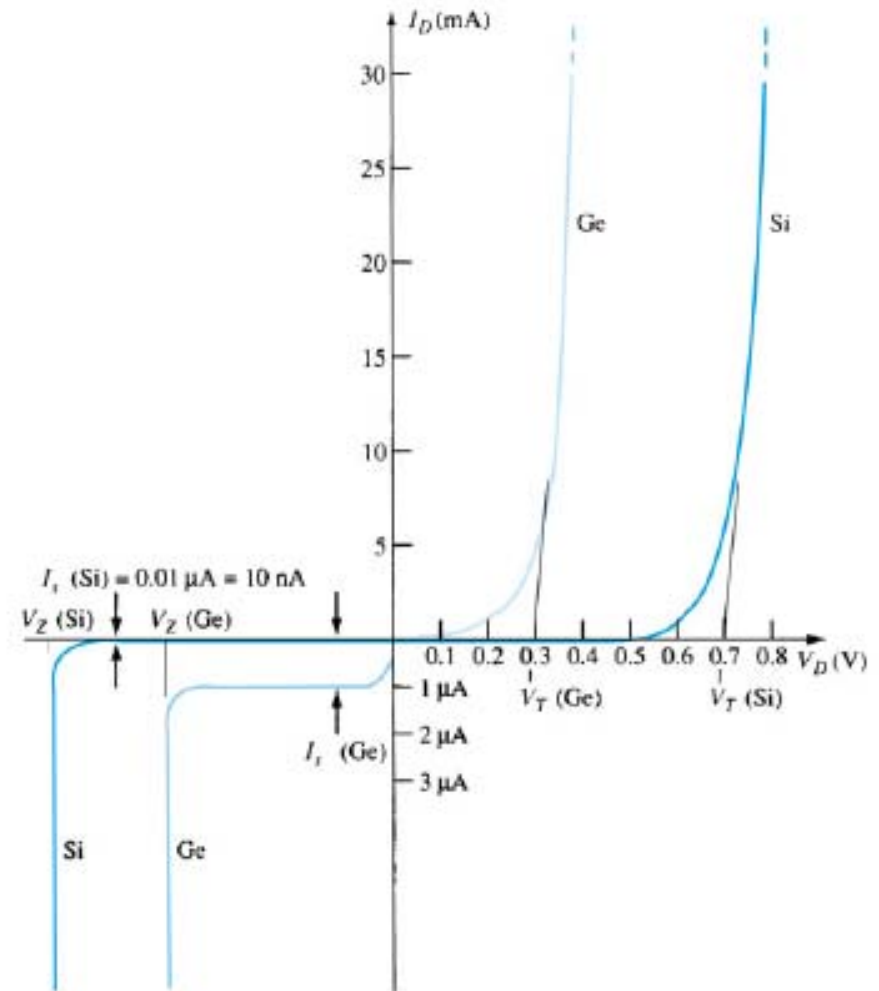
A corrente de saturação reversa  $I_S$  terá sua amplitude praticamente dobrada para aumento de 10 °C na temperatura.



Exemplo 2.6 do Malvino.

# Junção PN – Silício versus Germânio

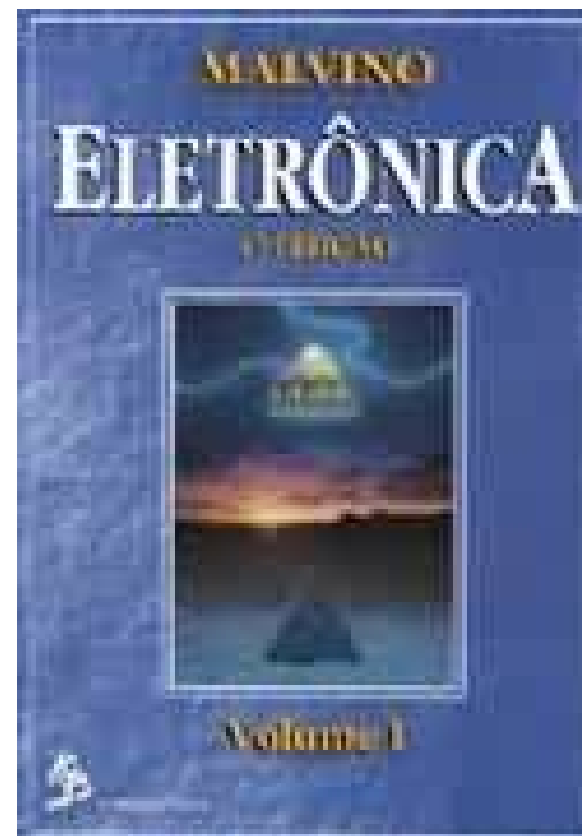
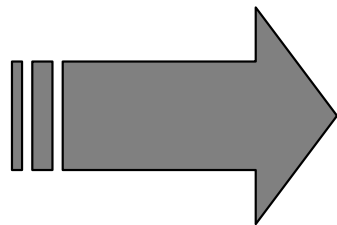
- Tensão reversa:
  - Silício: 1000 V;
  - Germânio: 400 V.
- Temperatura de operação:
  - Silício: 200 °C;
  - Germânio: 100 °C.
- Queda de tensão direta:
  - Silício: 0,7 V;
  - Germânio: 0,3 V.



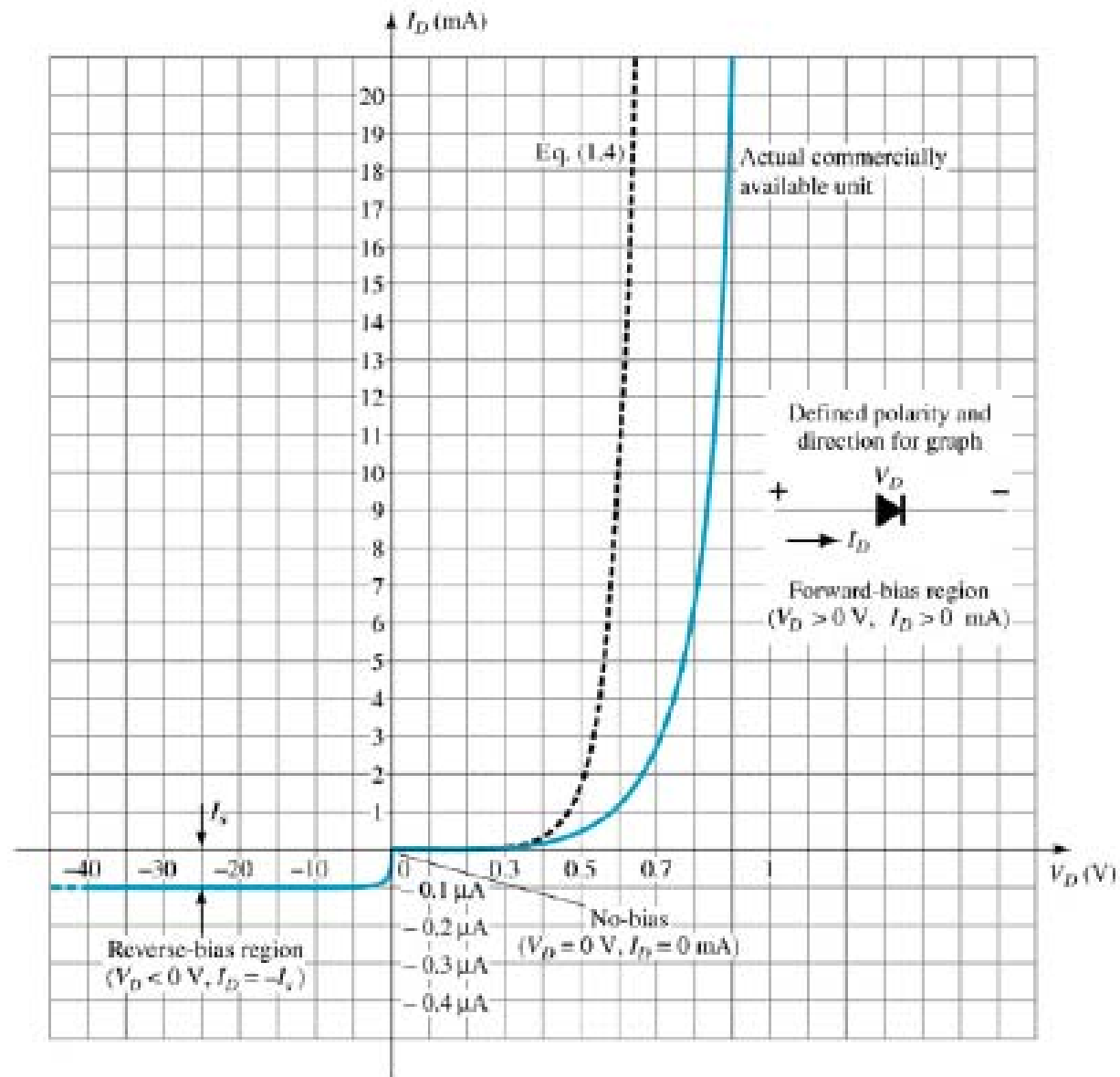
# Exercícios

## Malvino:

- Lista do capítulo 2.



# Diodo – Curva $I_D \times V_D$

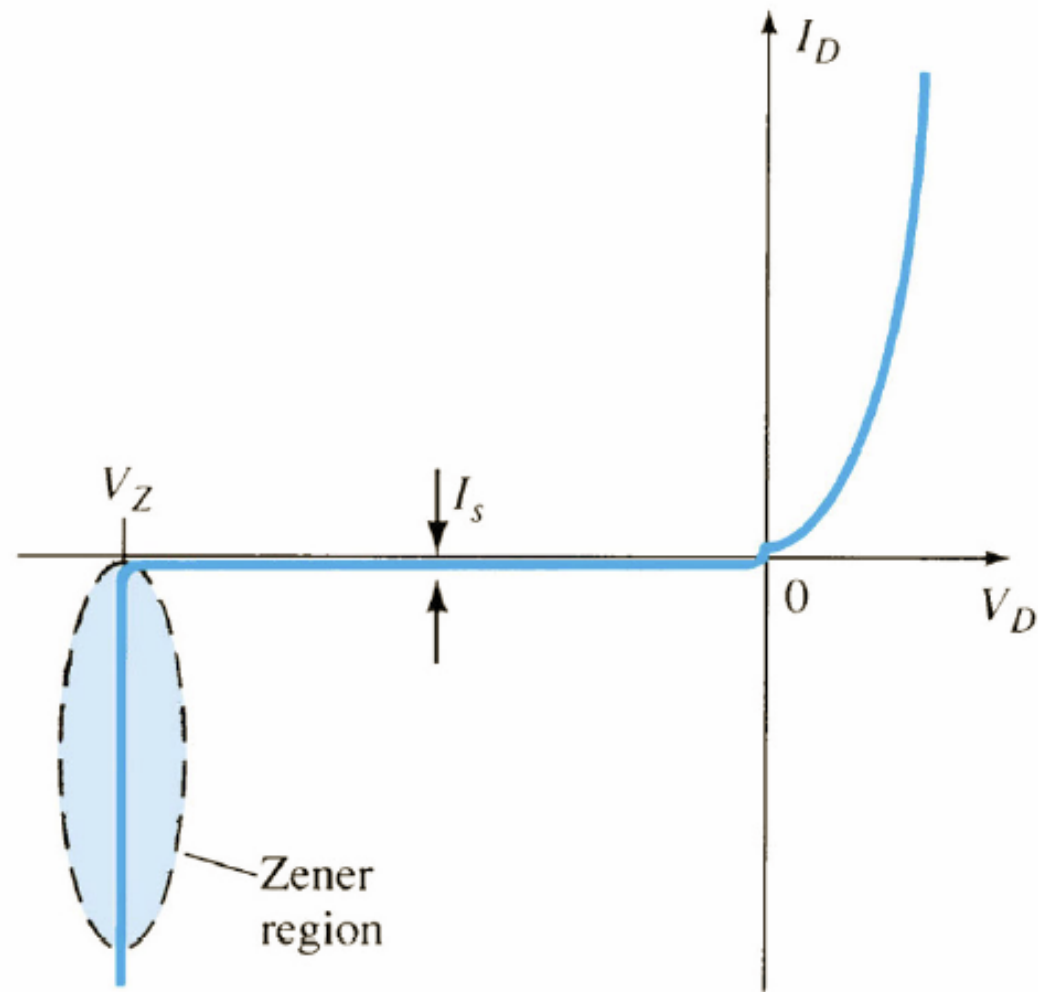


## Diodo – Curva $I_D$ x $V_D$

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{K \cdot V_D}{T_K}} - 1 \right)$$

- $I_D$  = corrente direta;
- $V_D$  = tensão de polarização;
- $I_S$  = corrente de saturação reversa;
- $K = 11.600/n$  com  $n = 1$  para o Ge e  $n = 2$  para o Si;
- $T_K = T_C + 273^\circ$ .

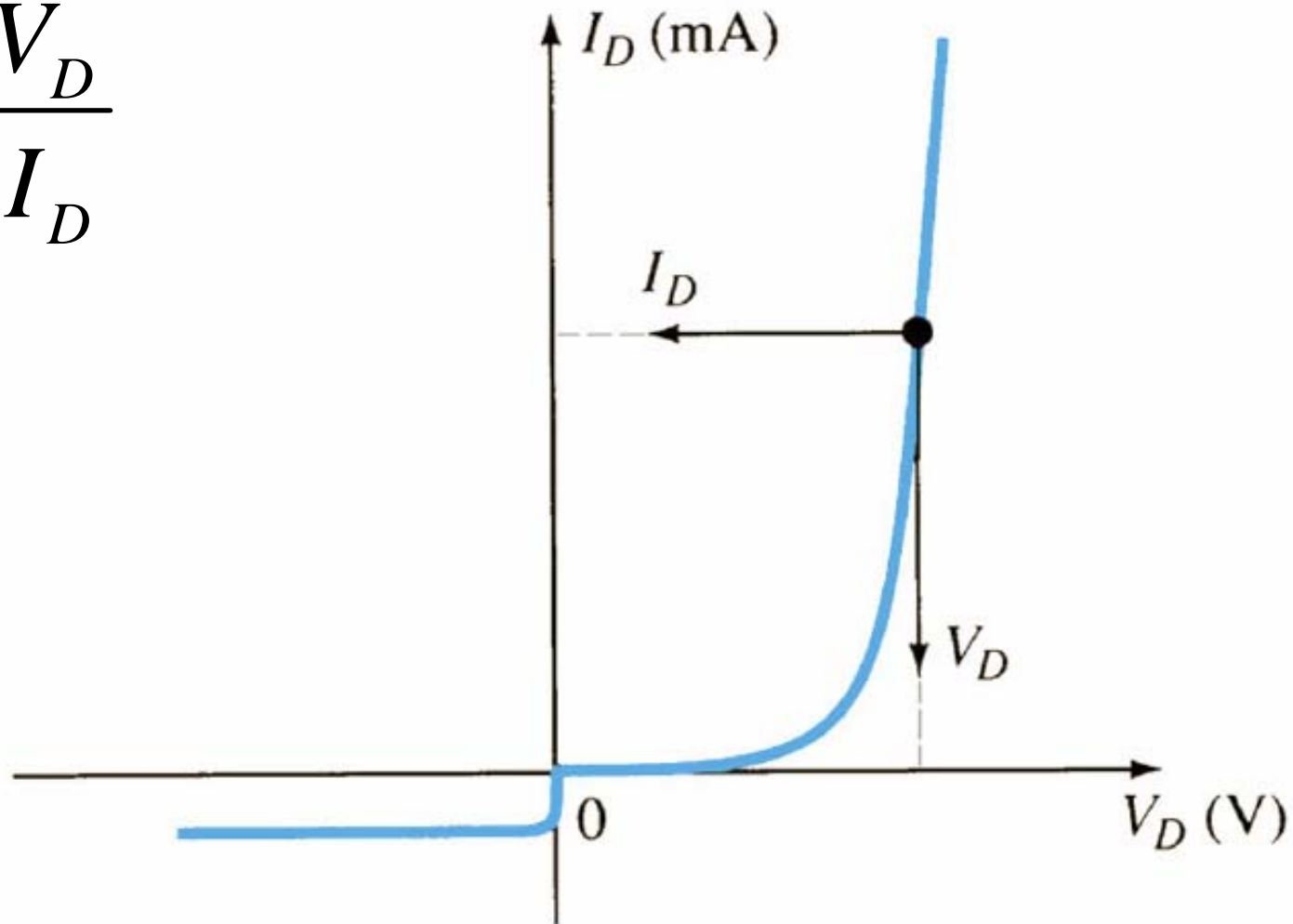
# Diodo – Região zener



# Resistências do diodo

Resistência CC ou estática:

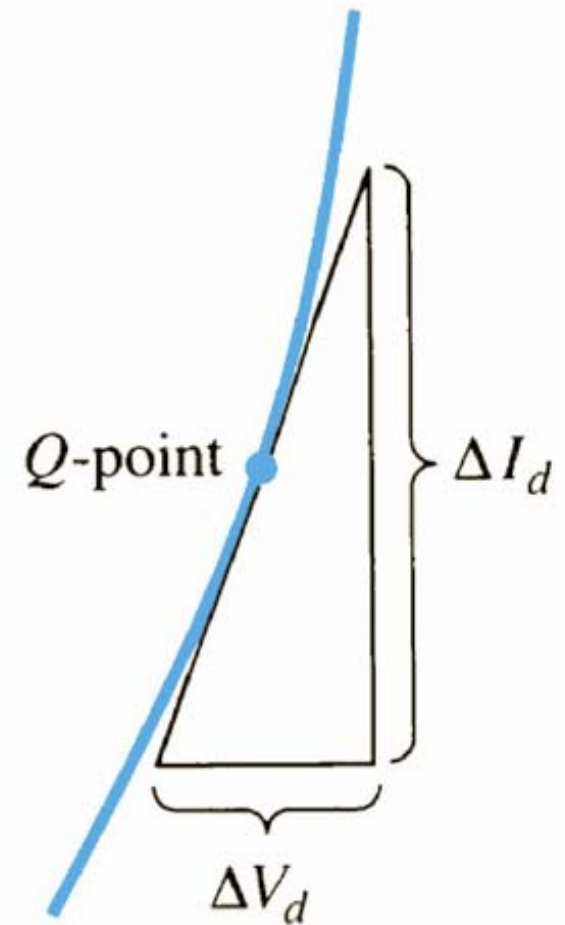
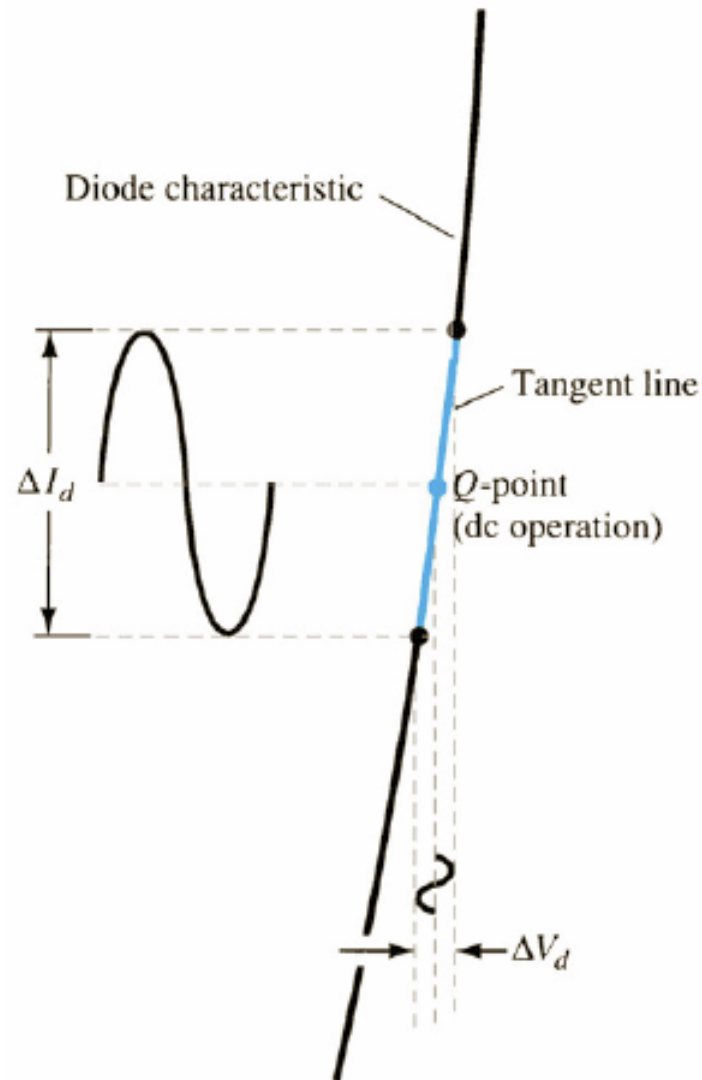
$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$



# Resistências do diodo

Resistência CA ou dinâmica:

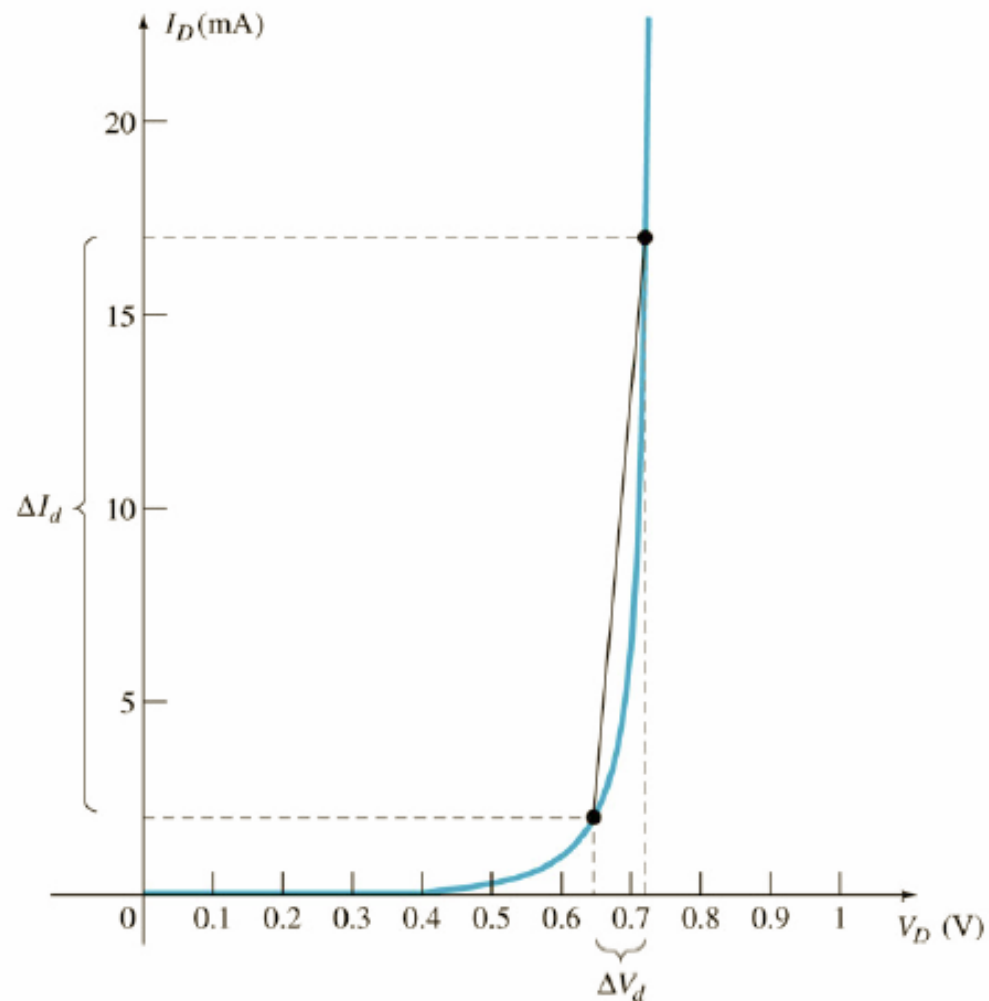
$$r_D = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$



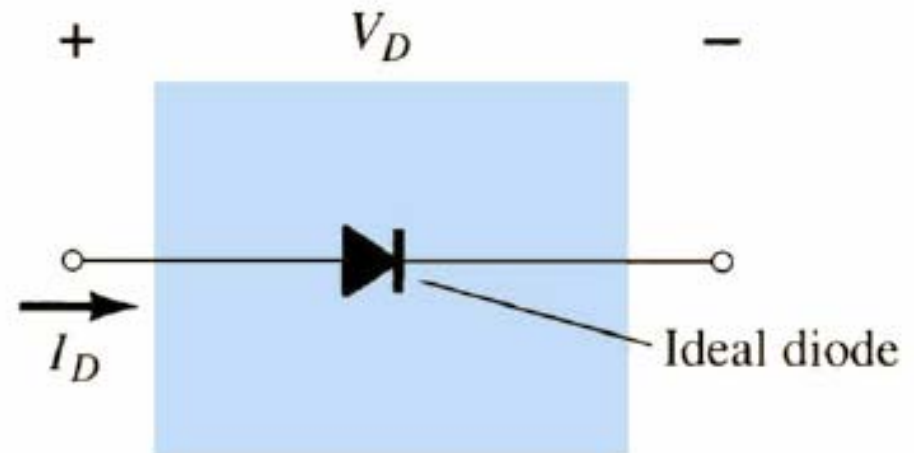
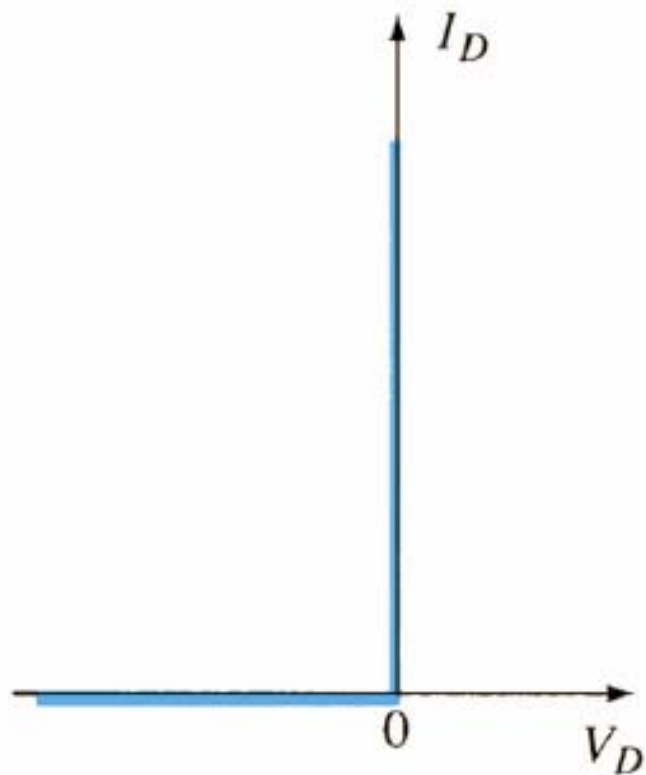
# Resistências do diodo

Resistência CA média ou resistência de corpo:

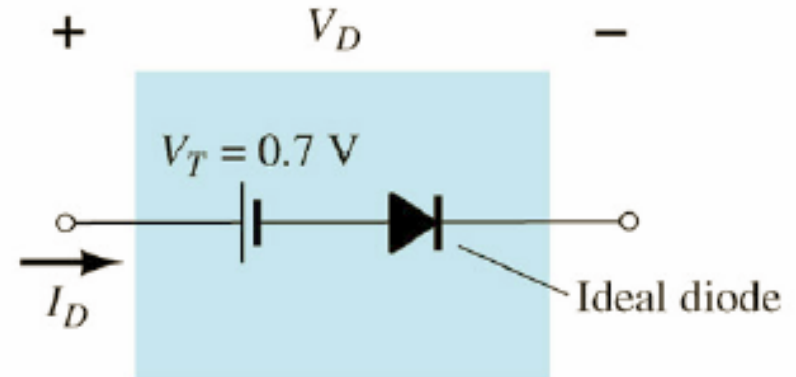
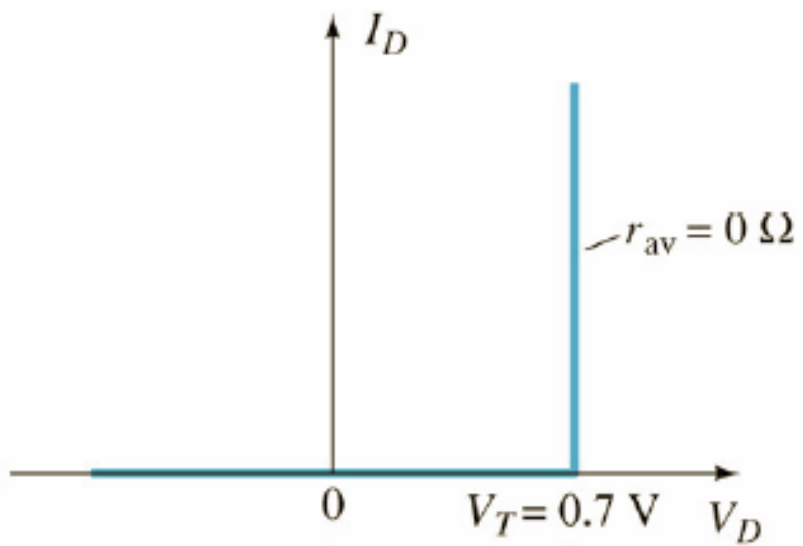
$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$



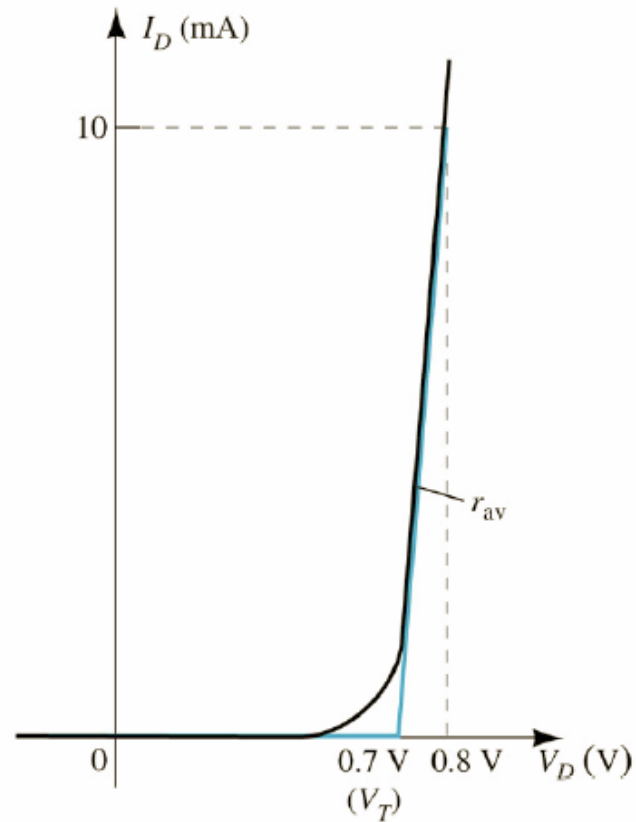
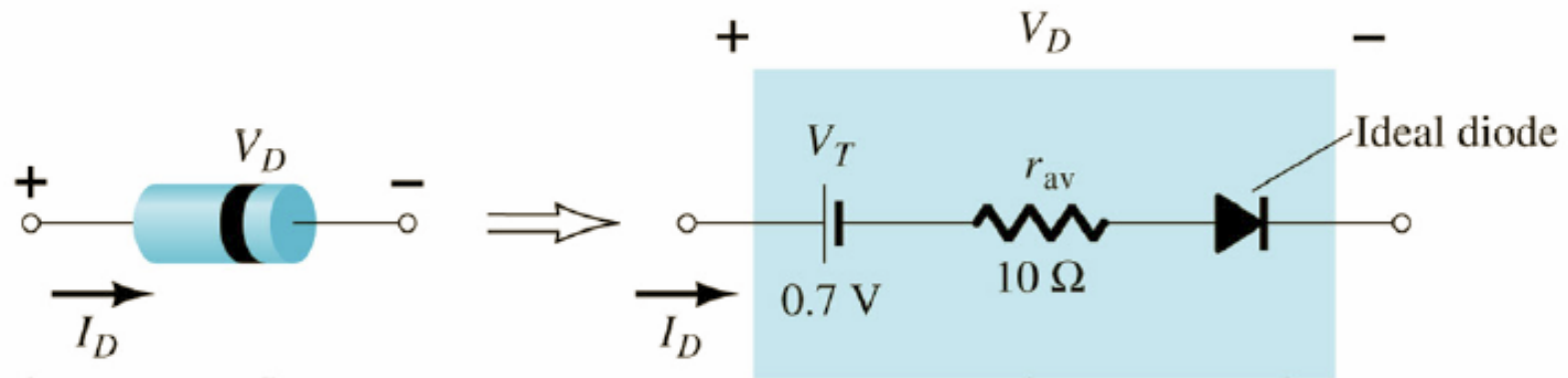
# Modelo ideal do diodo



# Modelo simplificado do diodo



# Modelo linear por partes do diodo

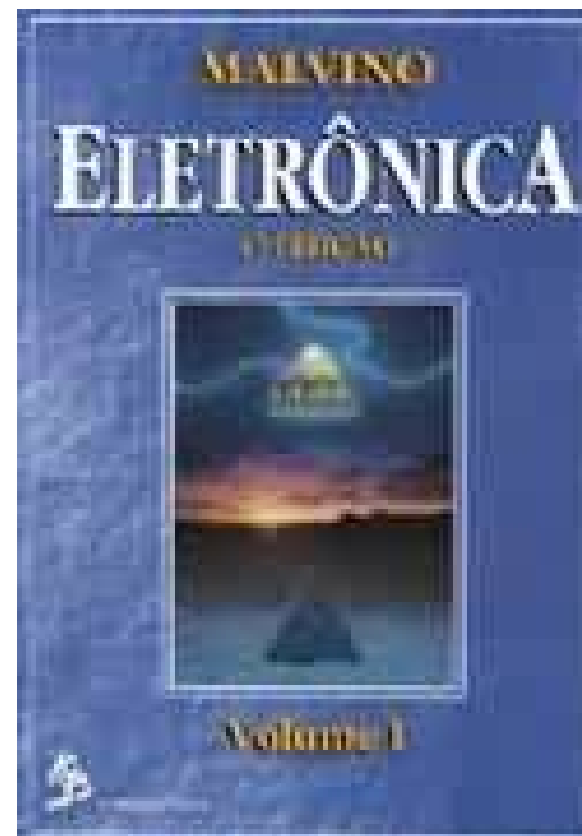
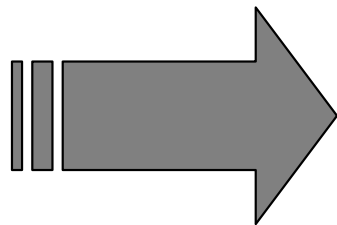


Exemplo 3.6 do Malvino.

# Exercícios

## Malvino:

- Lista do capítulo 3.



# Na próxima aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Características dos diodos;
2. Análise de circuitos com diodos;
3. Aplicações simples.