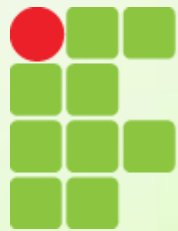
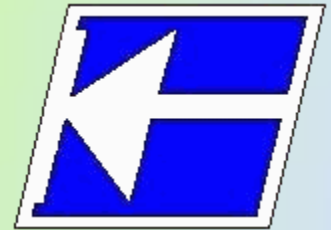


**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina**



**INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA**

**Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Eletrônica Básica e Projetos Eletrônicos**



# **Semicondutores e Diodos**

**Prof. Clóvis Antônio Petry.**

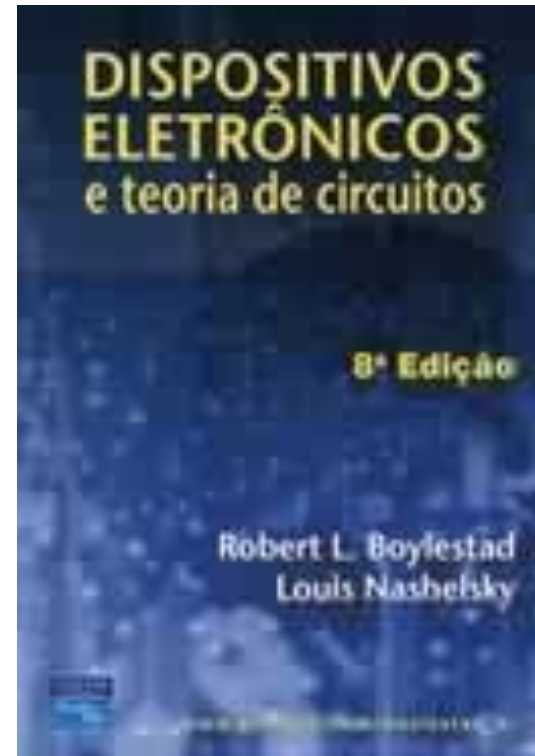
**Florianópolis, fevereiro de 2009.**

# Nesta aula

## Seqüência de conteúdos:

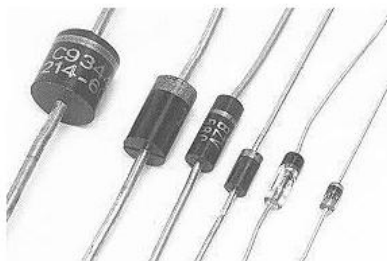
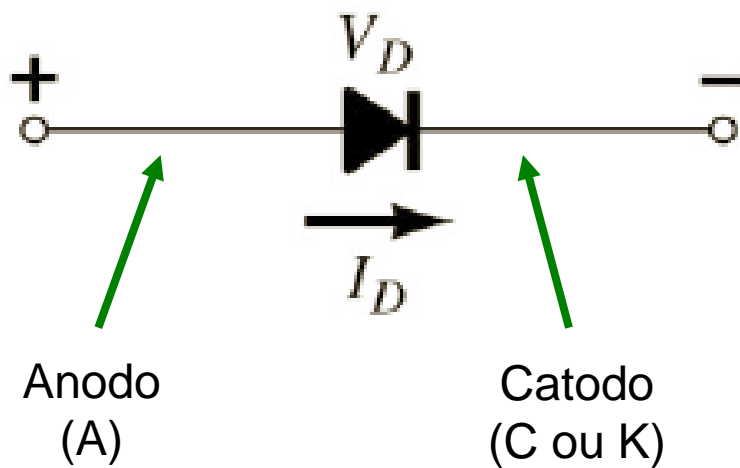
1. Introdução;
2. Diodo ideal;
3. Materiais semicondutores;
4. Níveis de energia;
5. Materiais extrínsecos dos tipos N e P;
6. Diodo semicondutor;
7. Curva  $I_D \times V_D$ ;
8. Teste de diodos com multímetro.

# Bibliografia

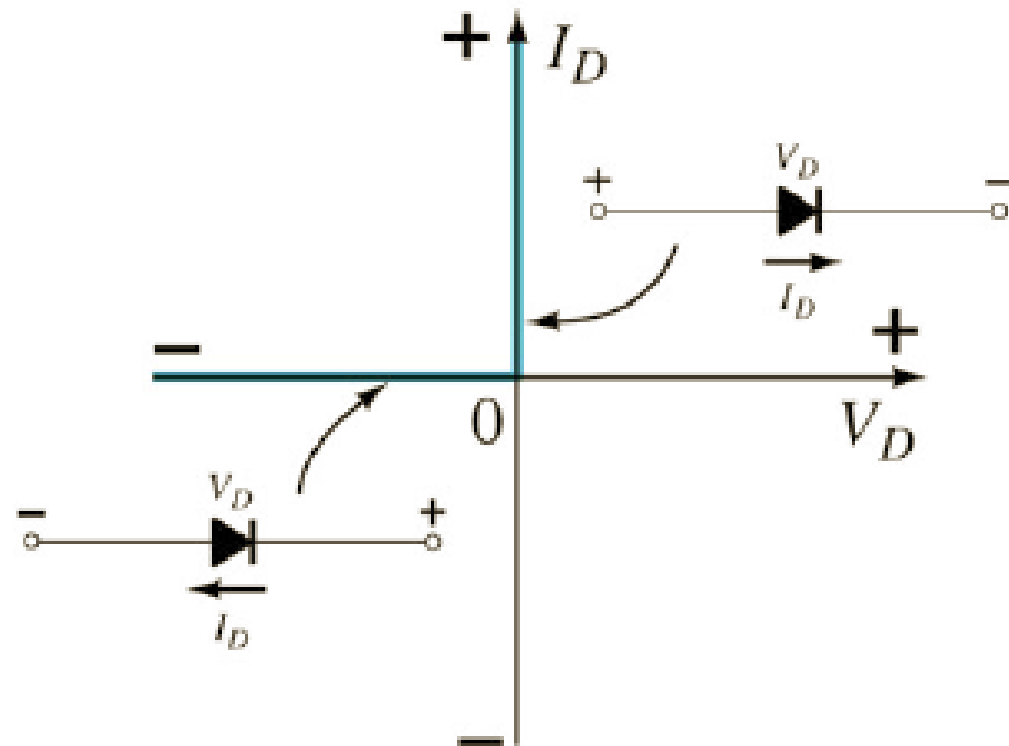


# Diodo ideal

Símbolo do diodo

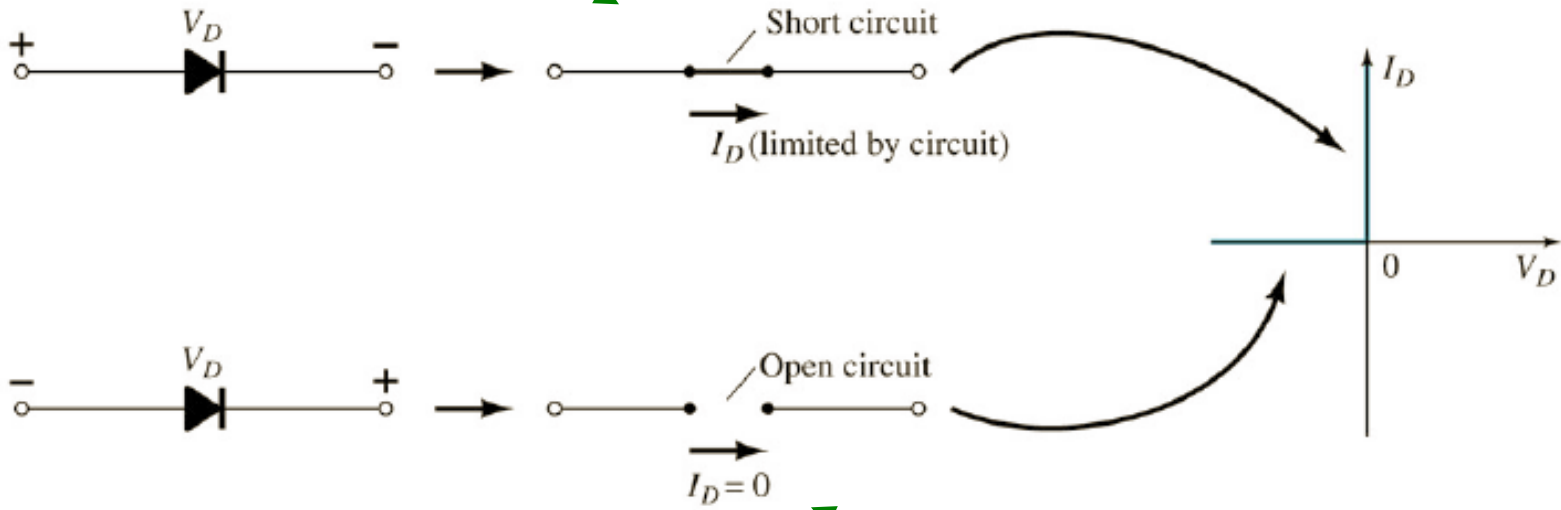


Curva  $I_D \times V_D$



# Diodo ideal

Diodo conduzindo



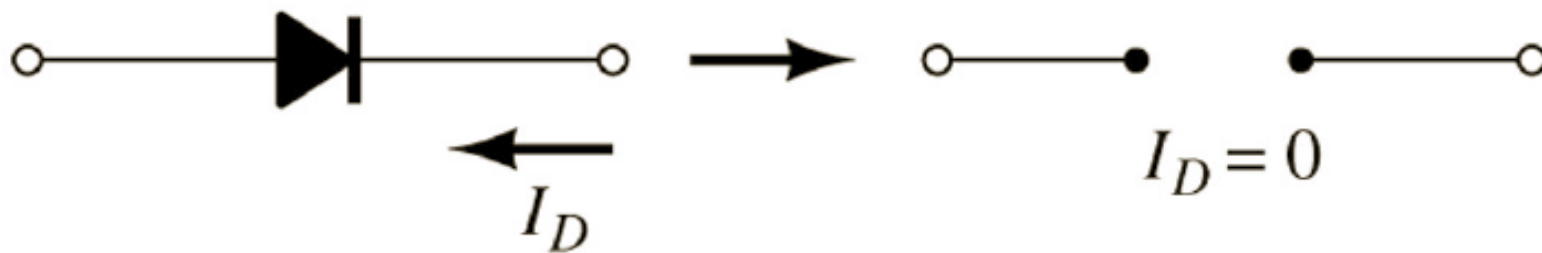
Diodo bloqueado

# Diodo ideal

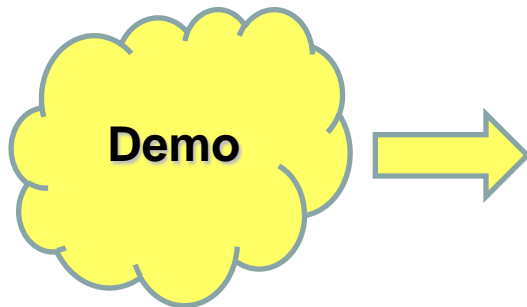
Diodo conduzindo



Diodo bloqueado



# Diodo ideal



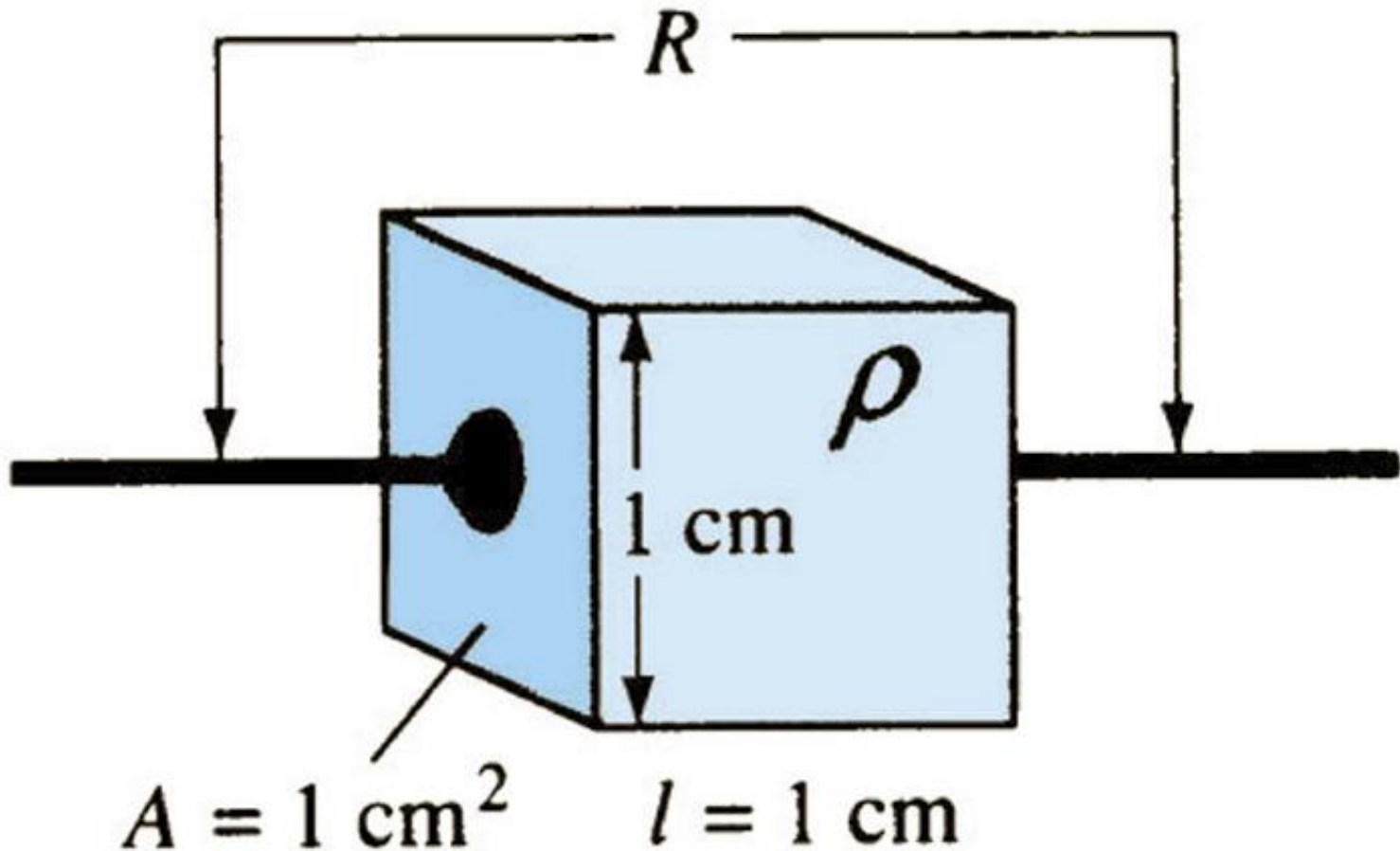
Demo:

- Diodo conduzindo;
- Diodo bloqueado.

# Materiais semicondutores

Resistividade de um material

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}} = \Omega \cdot \text{cm}$$

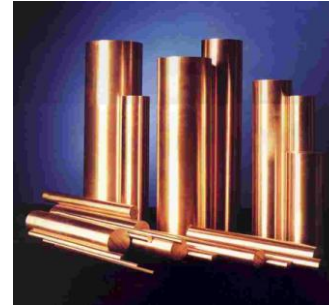


# Materiais semicondutores

Valores típicos de resistividade:

Condutor

$$\rho \cong 10^{-6} \Omega cm \text{ (cobre)}$$



Semicondutor

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

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

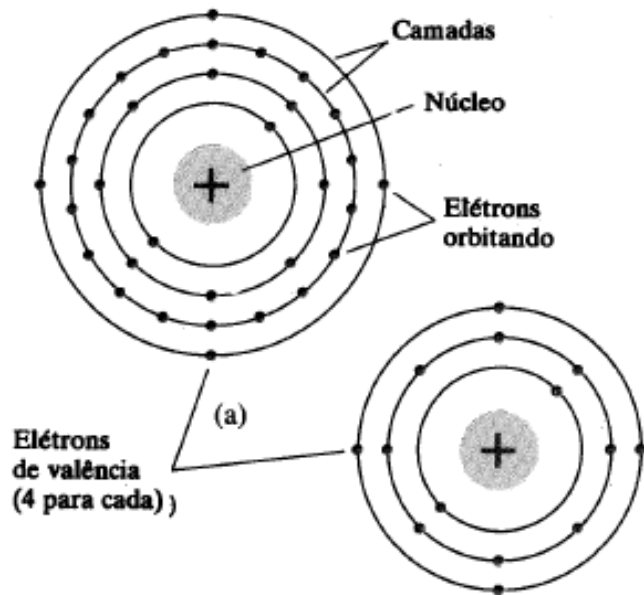


Isolante

$$\rho \cong 10^{12} \Omega cm \text{ (mica)}$$

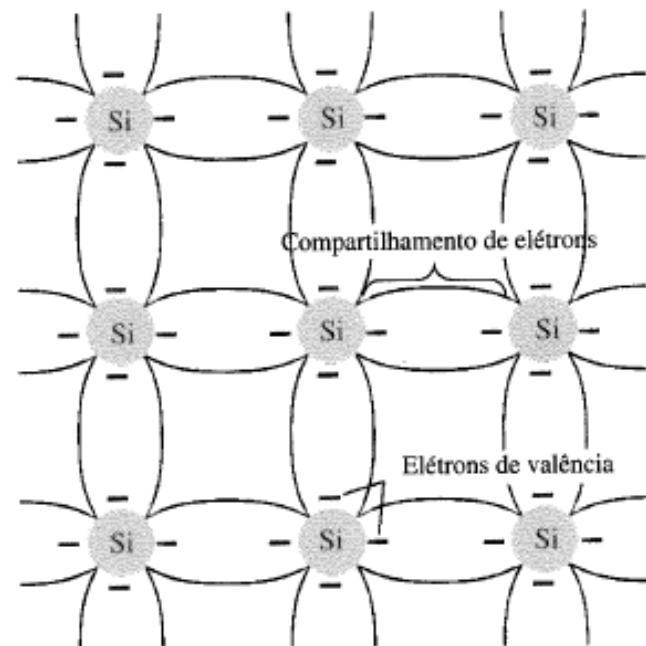


# Materiais semicondutores



Estrutura atômica do germânio e do silício.

Ligação covalente do átomo de silício.



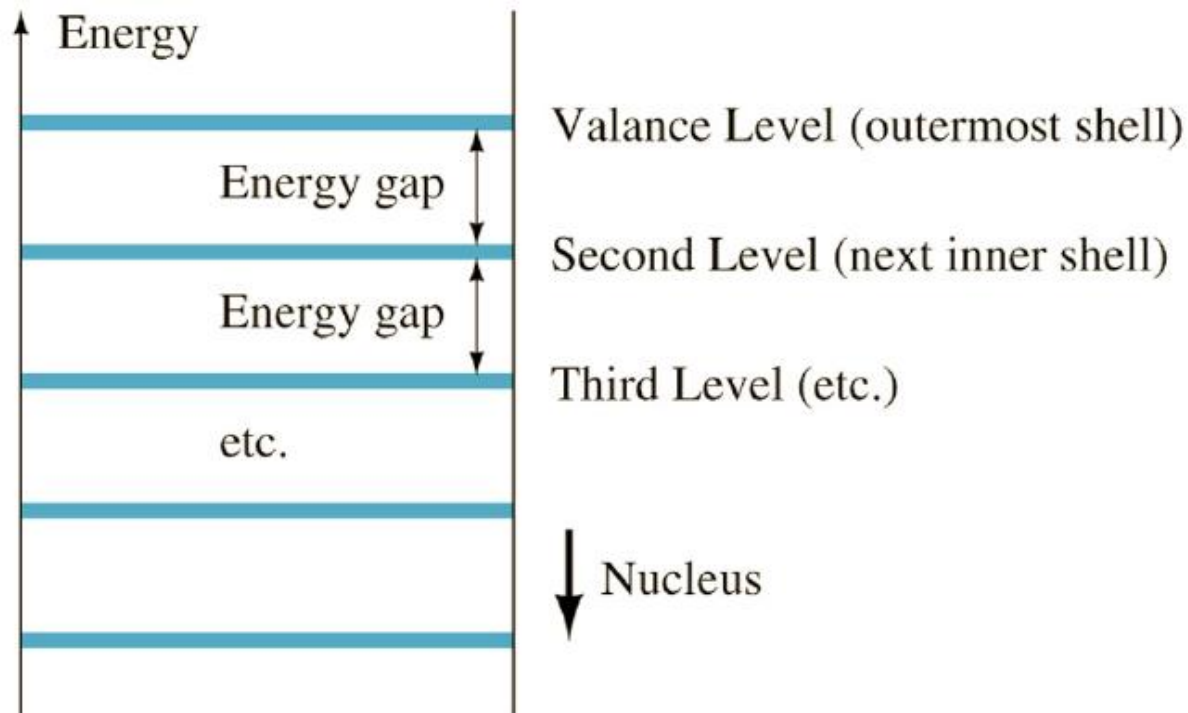
## Materiais intrínsecos:

- 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.

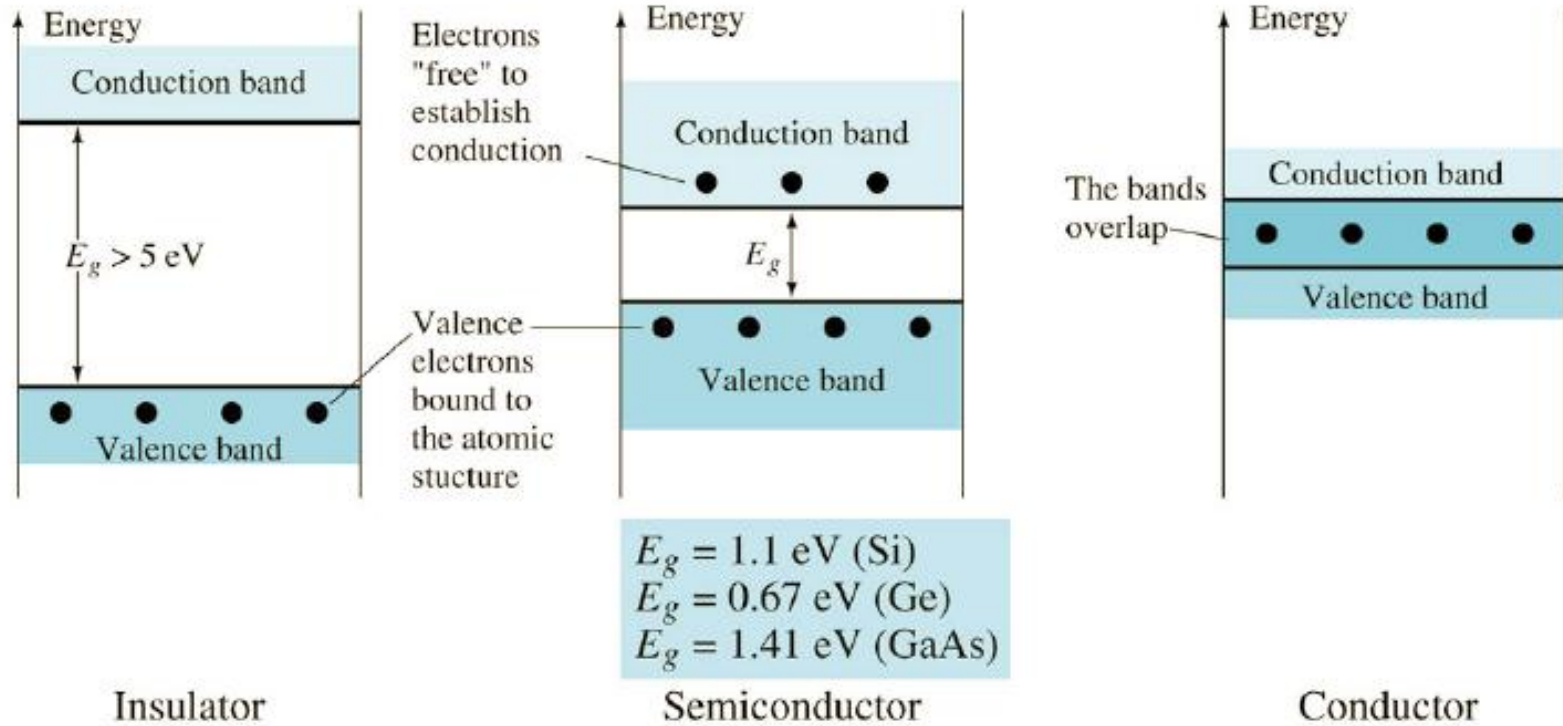
# Níveis de energia

## Níveis de energia:

- Quanto mais longe o elétron estiver do núcleo, maior será o estado de energia, e qualquer elétron que tiver deixado seu átomo de origem apresentará um estado de energia maior do que qualquer outro na estrutura atômica.



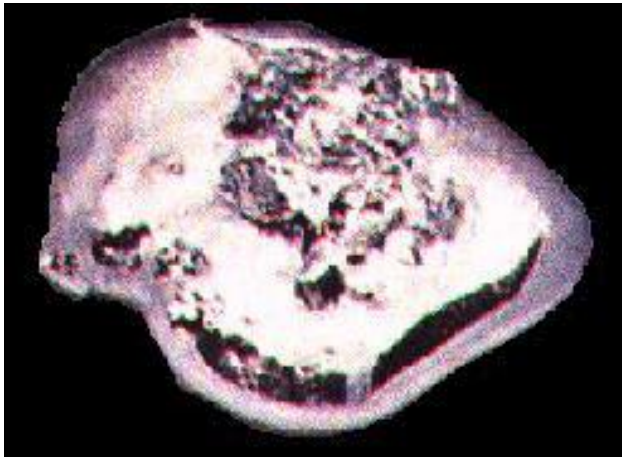
# Níveis de energia



# Materiais extrínsecos N e P

## Materiais extrínsecos:

- Um material semiconductor submetido ao processo de dopagem é chamado de material extrínseco.



Antimônio (5 elétrons na camada de valência.)

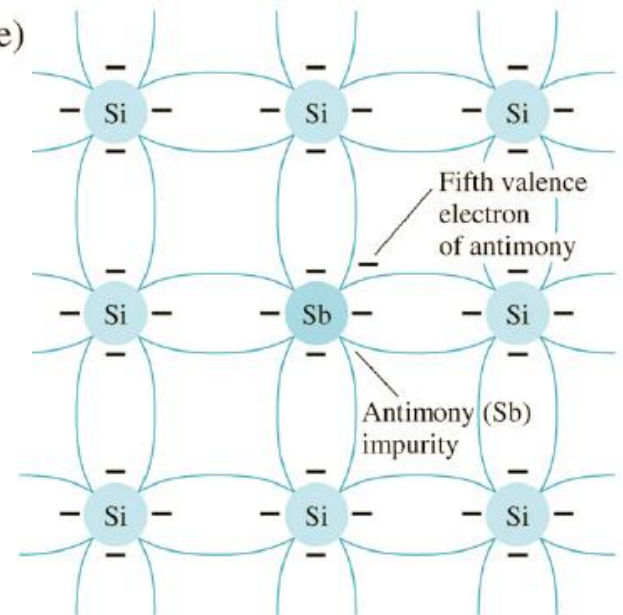
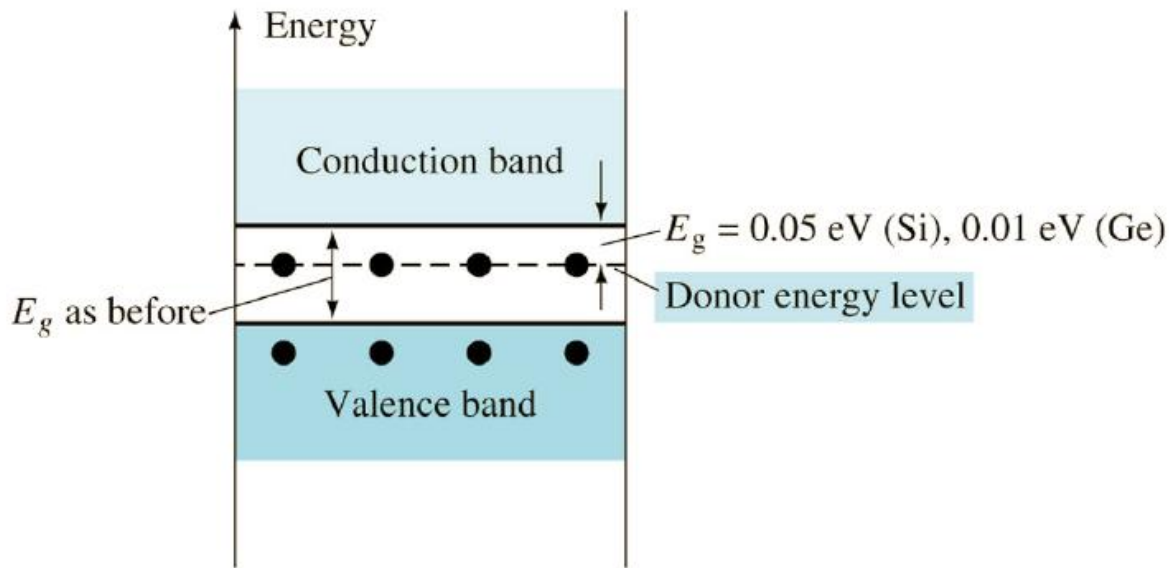


Gálio (3 elétrons na camada de valência.)

# Materiais extrínsecos N e P

## Material do tipo N:

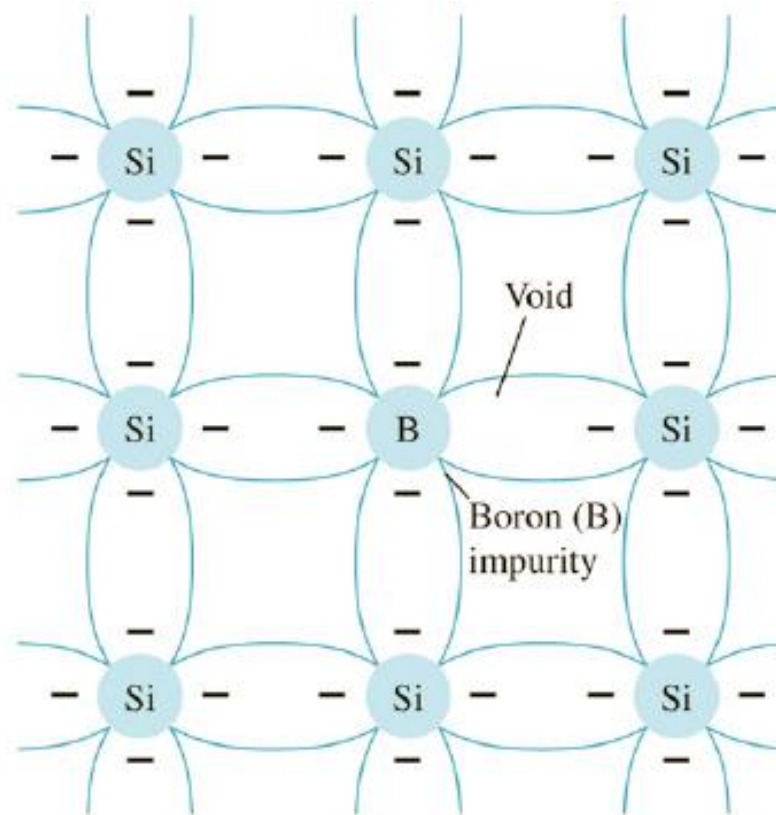
- É um material semiconductor dopado com impurezas com cinco elétrons na camada de valência.



# Materiais extrínsecos N e P

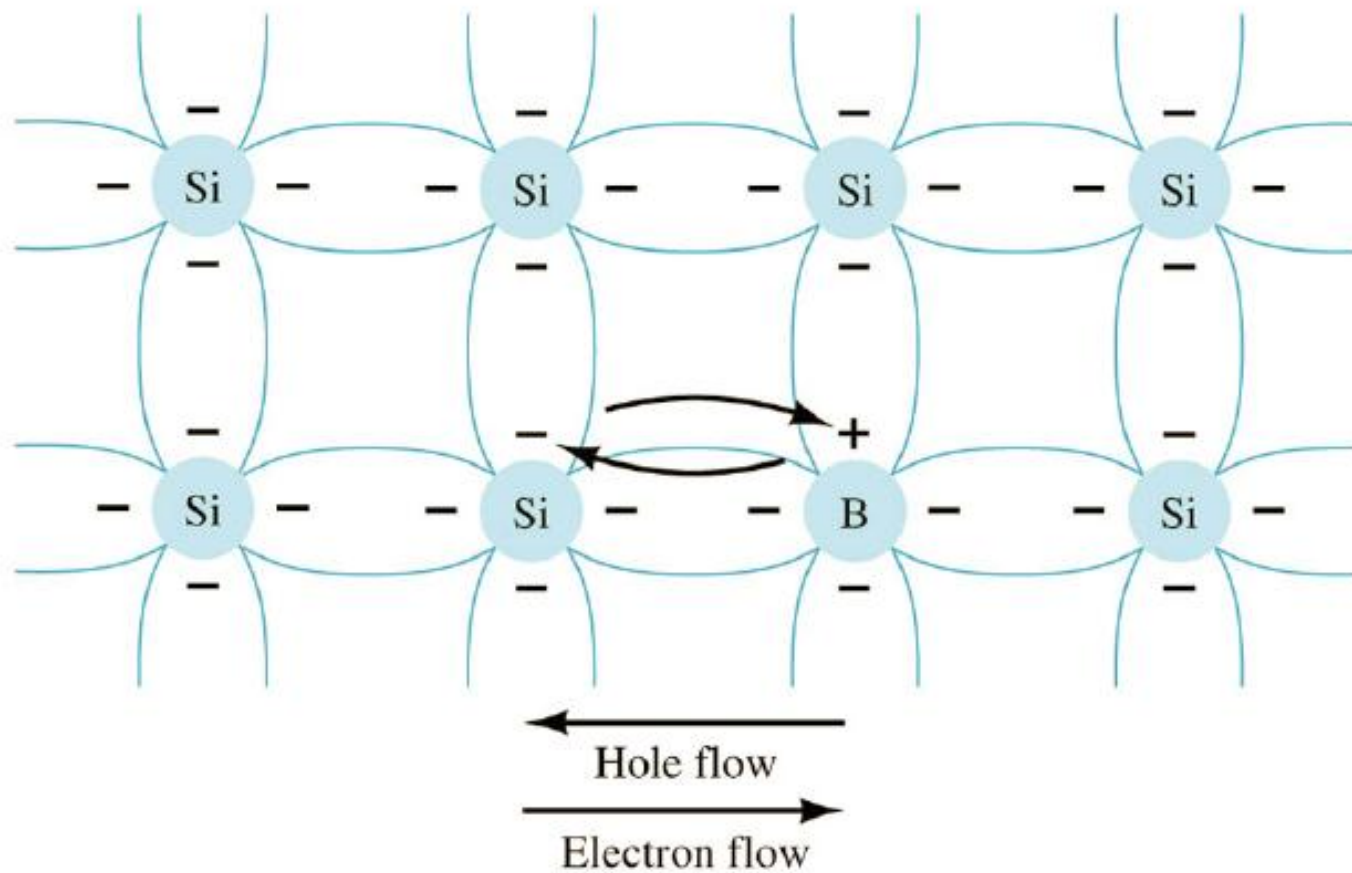
## Material do tipo P:

- É um material semiconductor dopado com impurezas com 3 elétrons na camada de valência.



# Materiais extrínsecos N e P

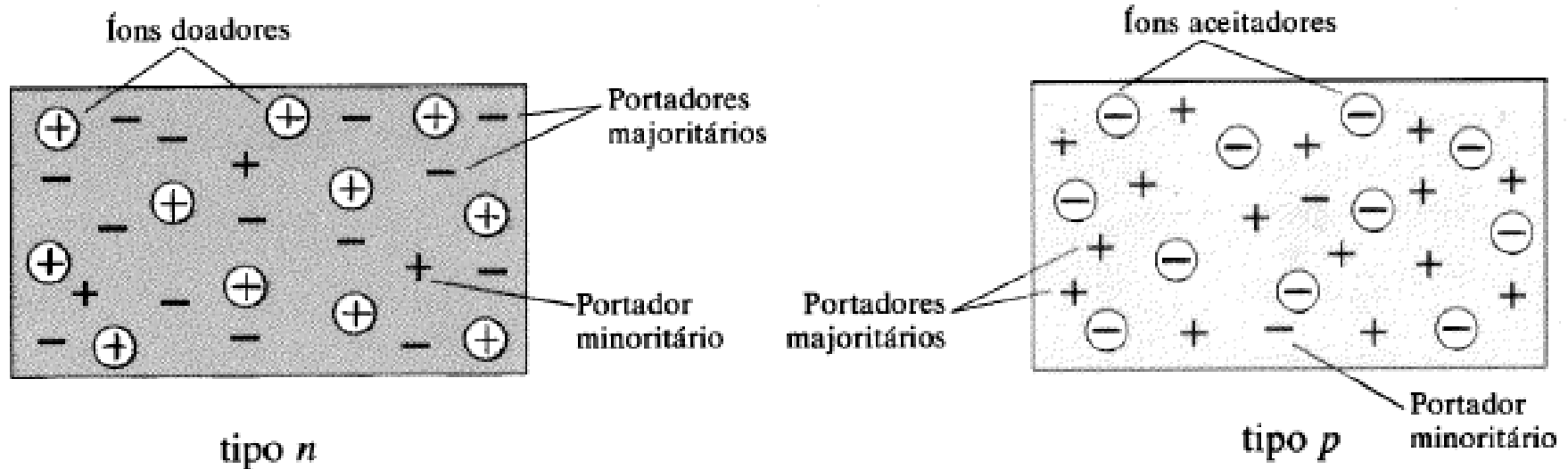
Fluxo de elétrons versus fluxo de lacunas:



# Materiais extrínsecos N e P

## Portadores majoritários e minoritários:

- Em um material do tipo N, o elétron é chamado de portador majoritário, e a lacuna é chamada de portador minoritário;
- Em um material do tipo P, a lacuna é o portador majoritário, e o elétron é o portador minoritário.



# Fabricação do diodo

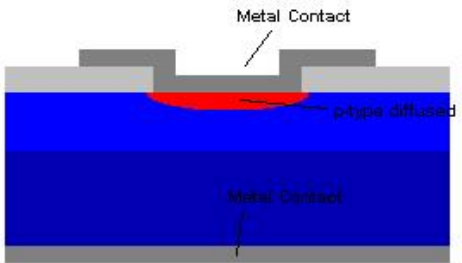
PN Diode Applet - Internet Explorer provided by Dell

http://jas.eng.buffalo.edu/education/fab/pn/diodeframe.html

File Edit View Favorites Tools Help

PN Diode Applet

### PNDIODE



Metal Contact

p-type diffused


Metal Contact

- P-type silicon
- N-type silicon
- Silicon oxide
- Aluminum
- Photoresist
- N+ -type silicon

first previous animate-next next last


A second lithography step, using the Photoresist method is used to etch the aluminum. After annealing (baking) at 475 degrees Celsius to improve the aluminum contact with the silicon, the device is ready to be tested.

### The whole Silicon ingot :



Single Crystal Silicon Ingot

### Si wafers sliced from ingot :



Done

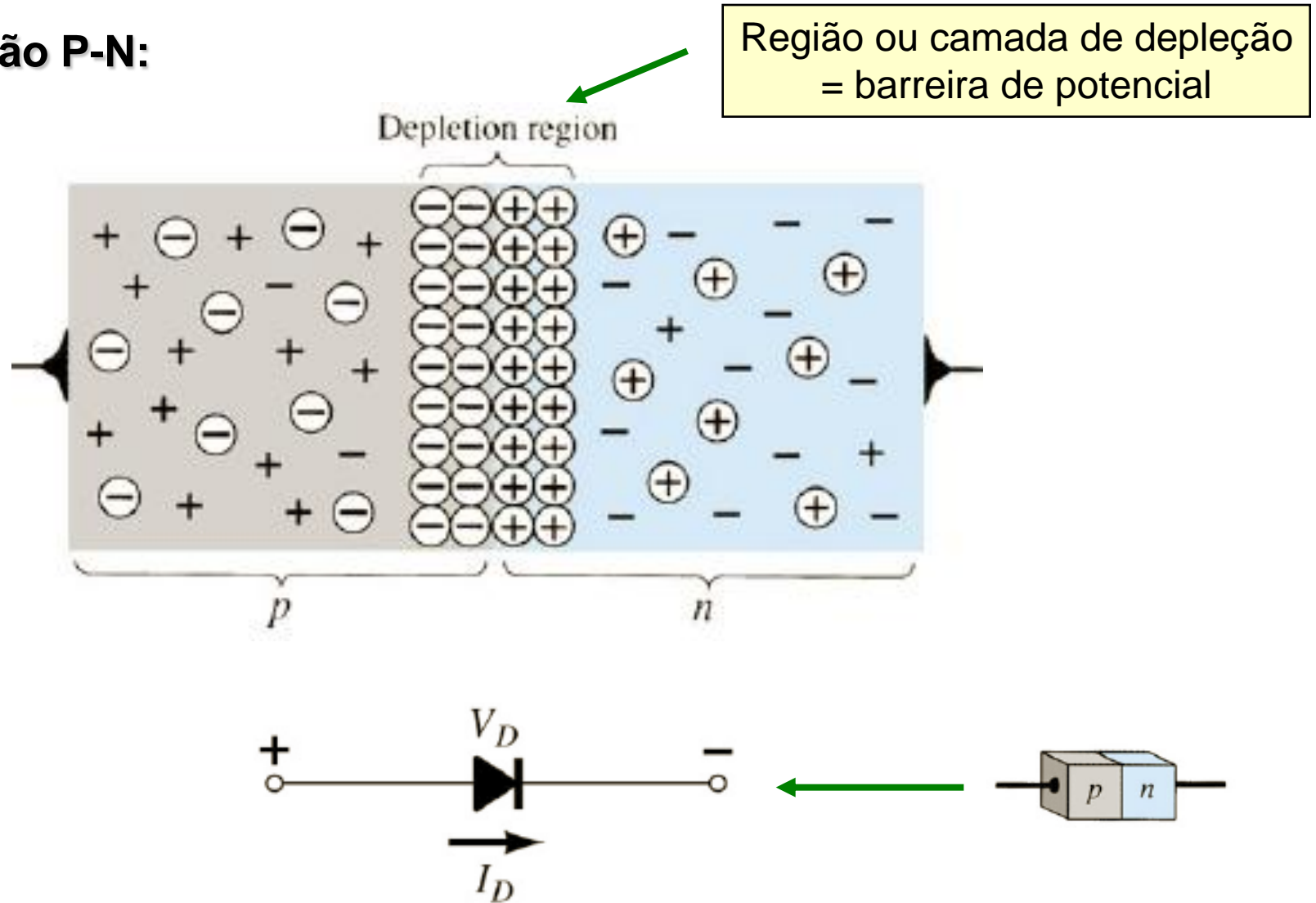
Internet | Protected Mode: On

100%

<http://jas.eng.buffalo.edu/education/fab/pn/diodeframe.html>

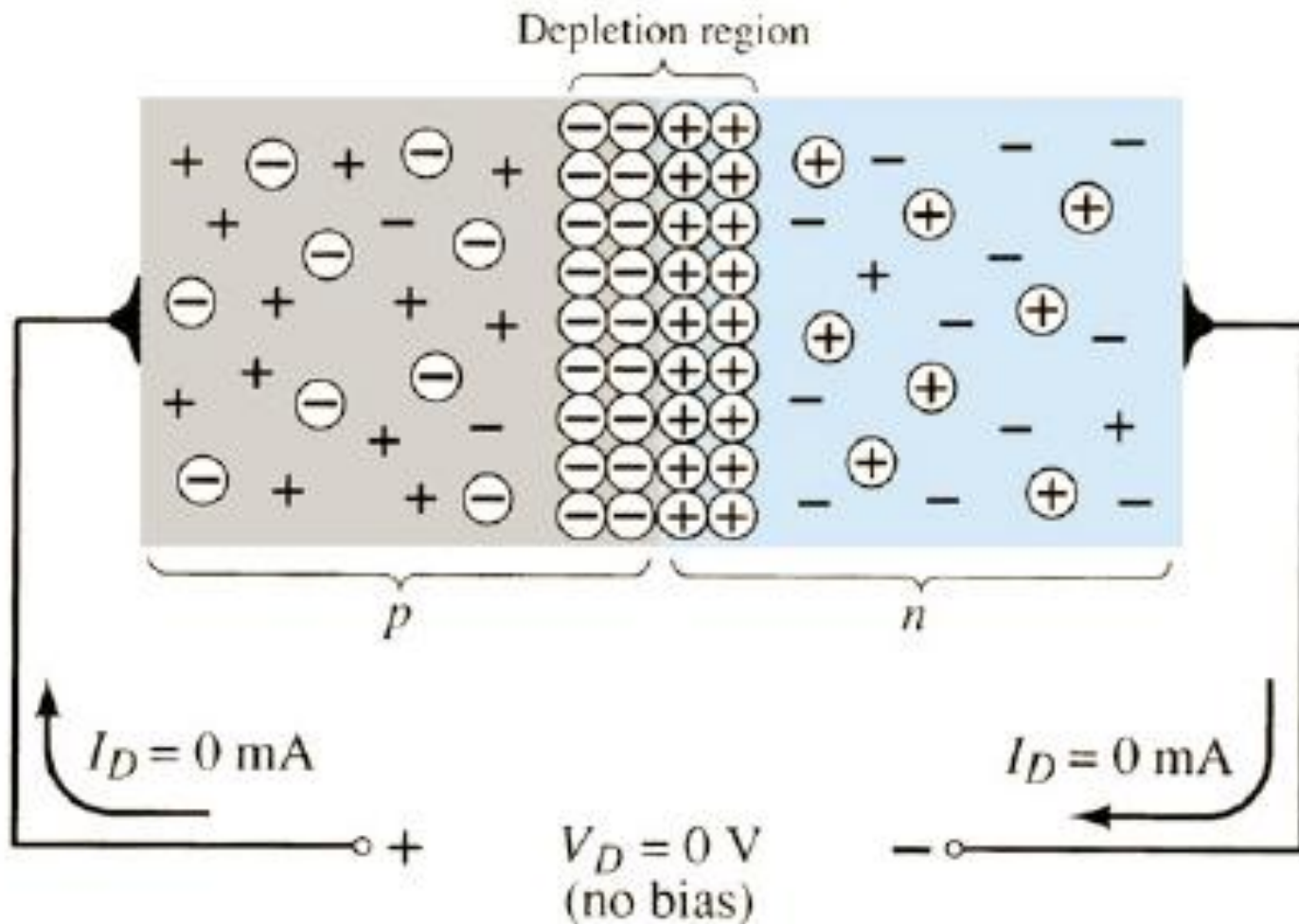
# Diodo semicondutor

## Junção P-N:



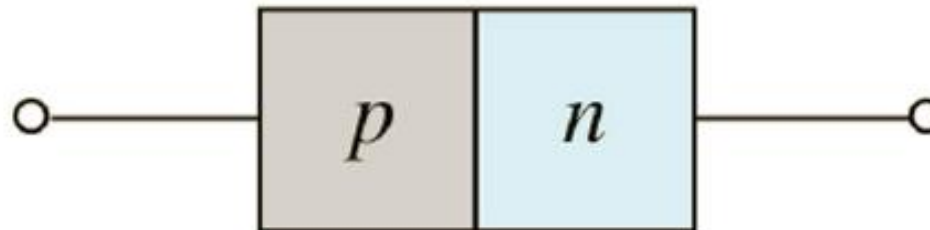
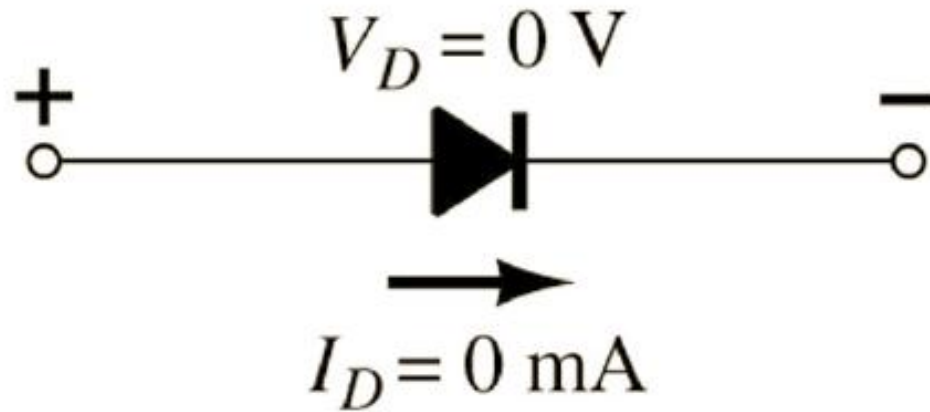
# Diodo semiconductor

Sem polarização ( $V_D = 0$  V):



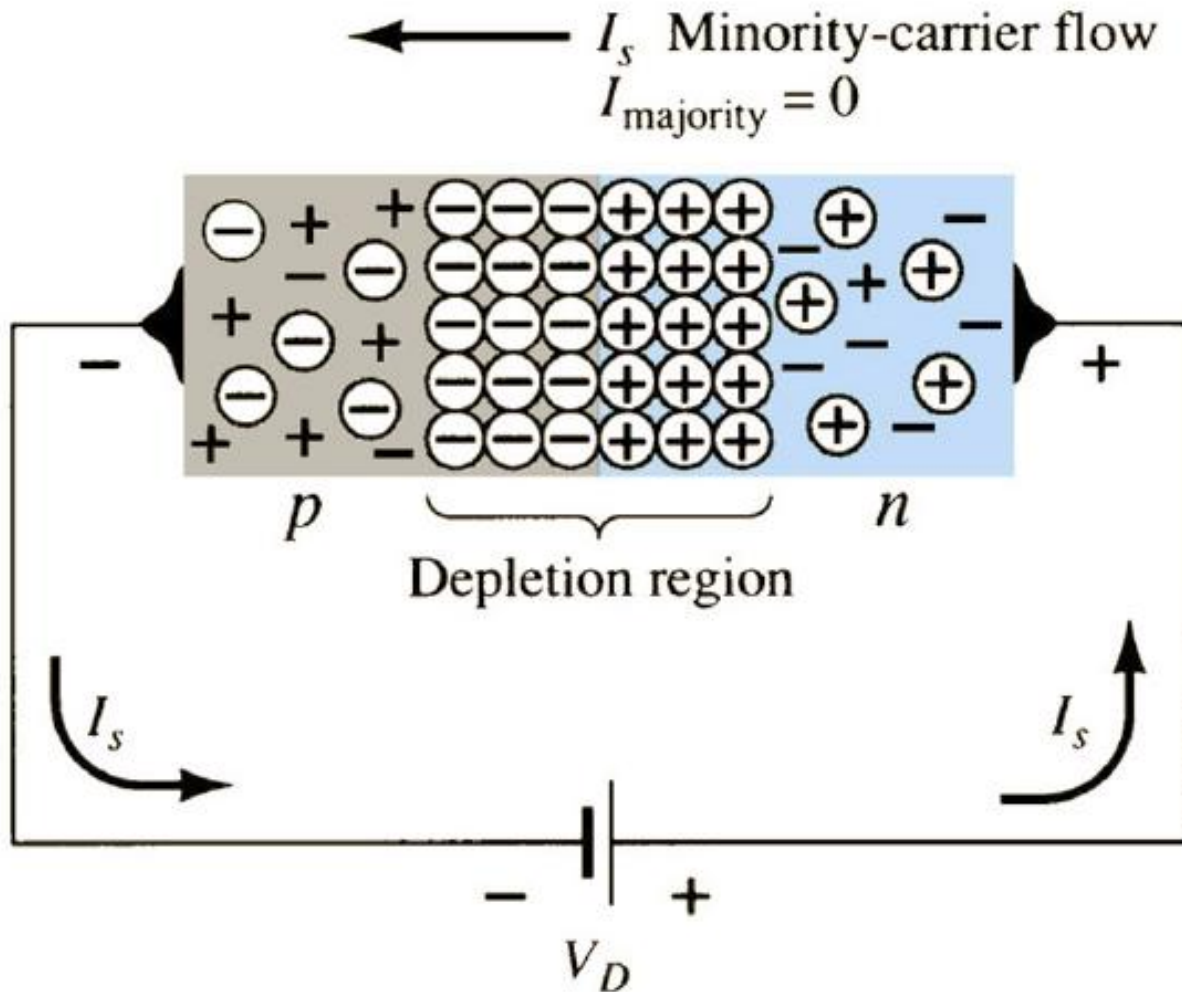
# Diodo semicondutor

Sem polarização ( $V_D = 0$  V):



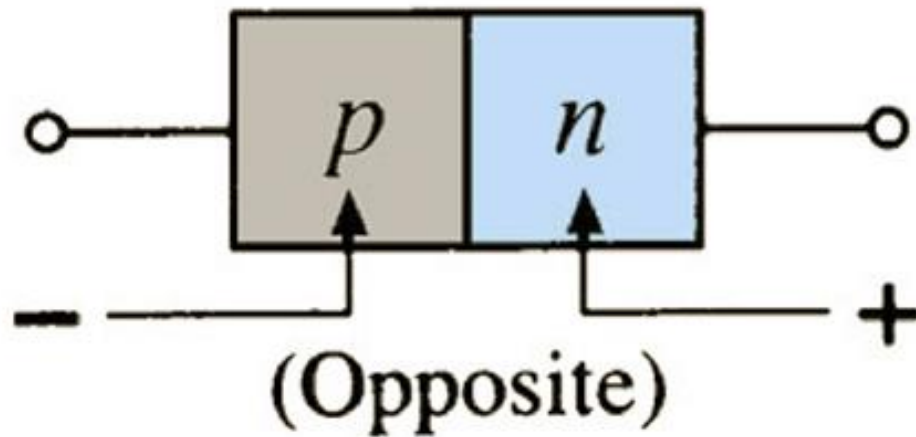
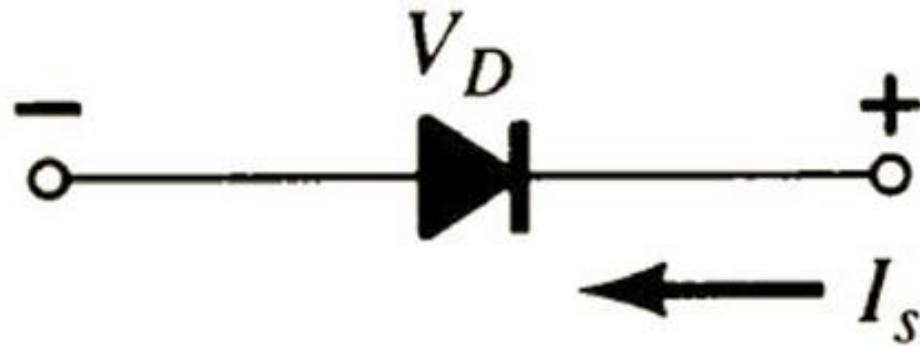
# Diodo semiconductor

Polarização reversa ( $V_D < 0$  V):



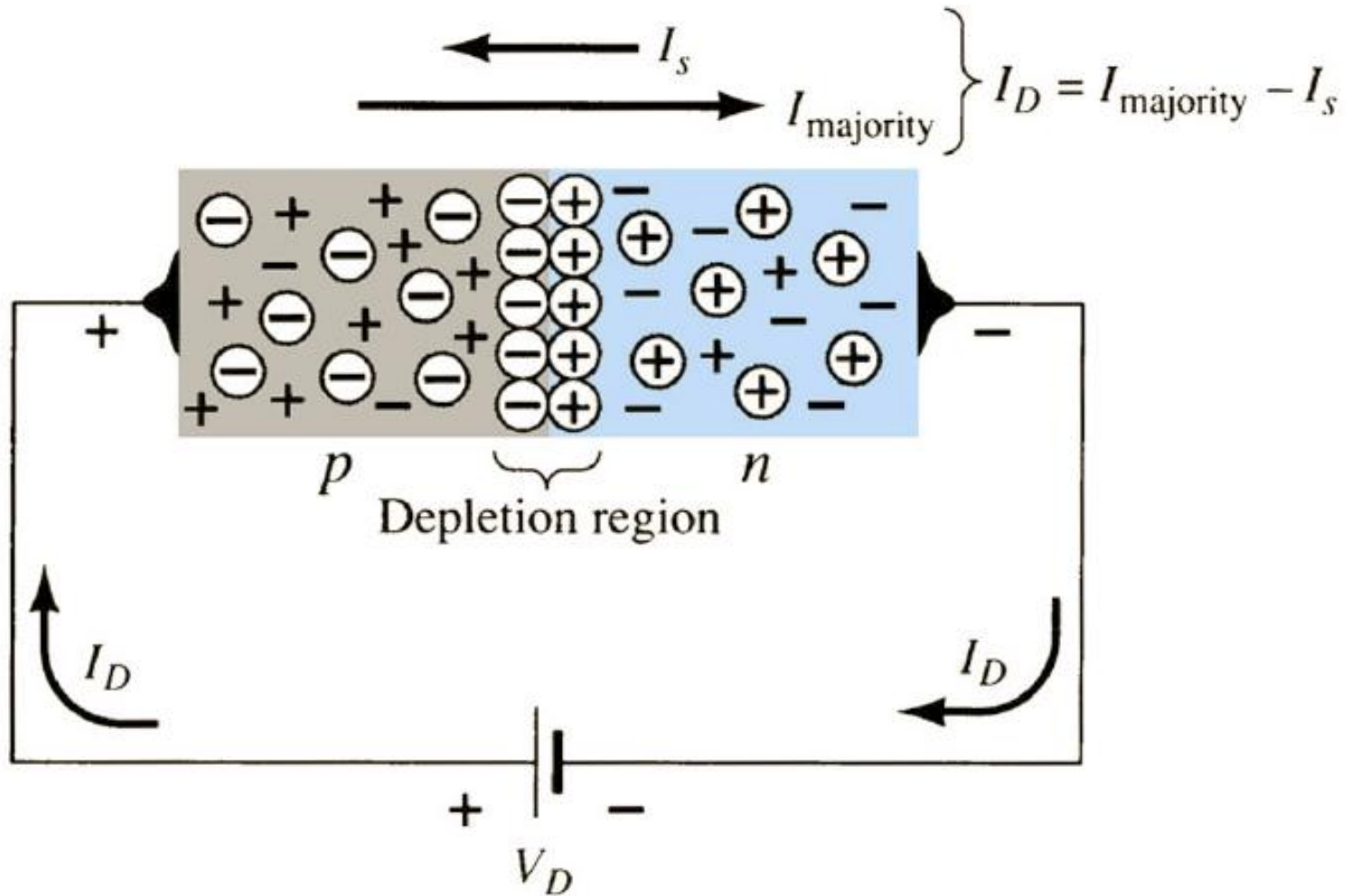
# Diodo semicondutor

Polarização reversa ( $V_D < 0$  V):



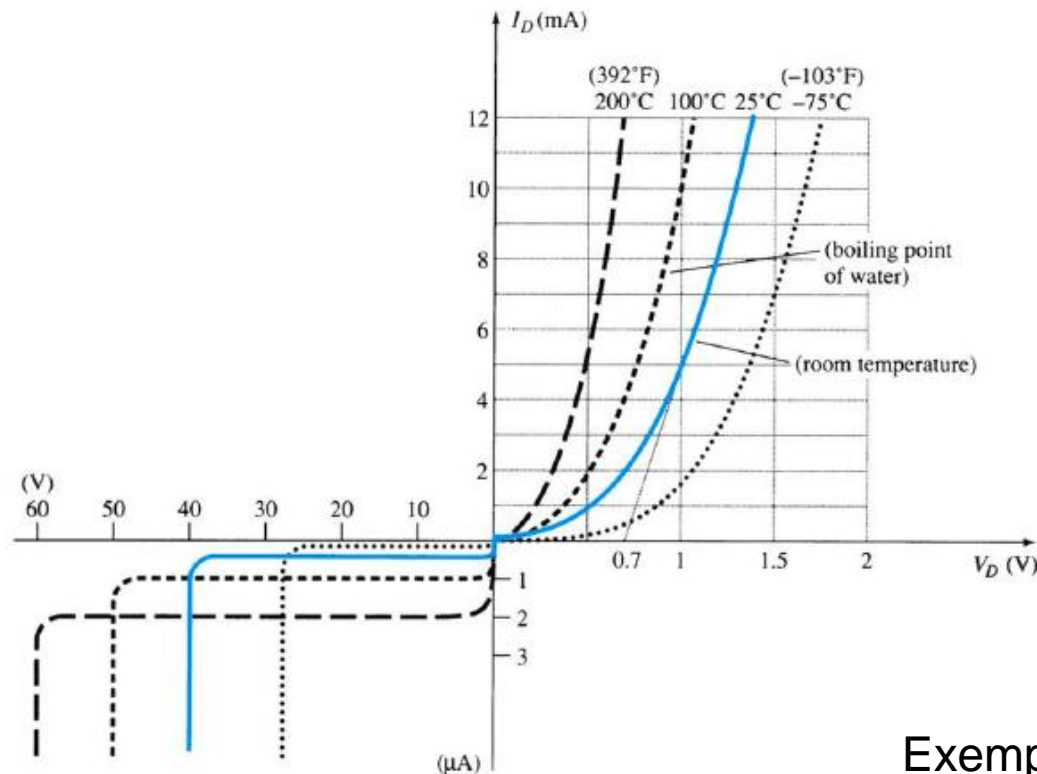
# Diodo semicondutor

Polarização direta ( $V_D > 0$  V):



# Junção PN – Efeito da temperatura

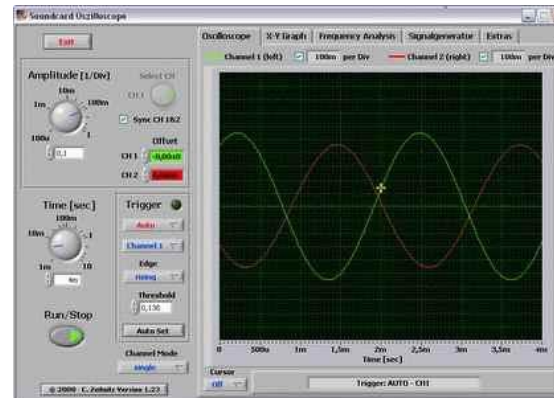
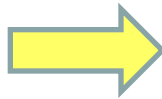
A corrente de saturação reversa  $I_S$  terá sua amplitude praticamente dobrada para aumento de  $10\text{ }^\circ\text{C}$  na temperatura.



Exemplo 2.6 do Malvino.

# Junção PN – Efeito da temperatura

Demo

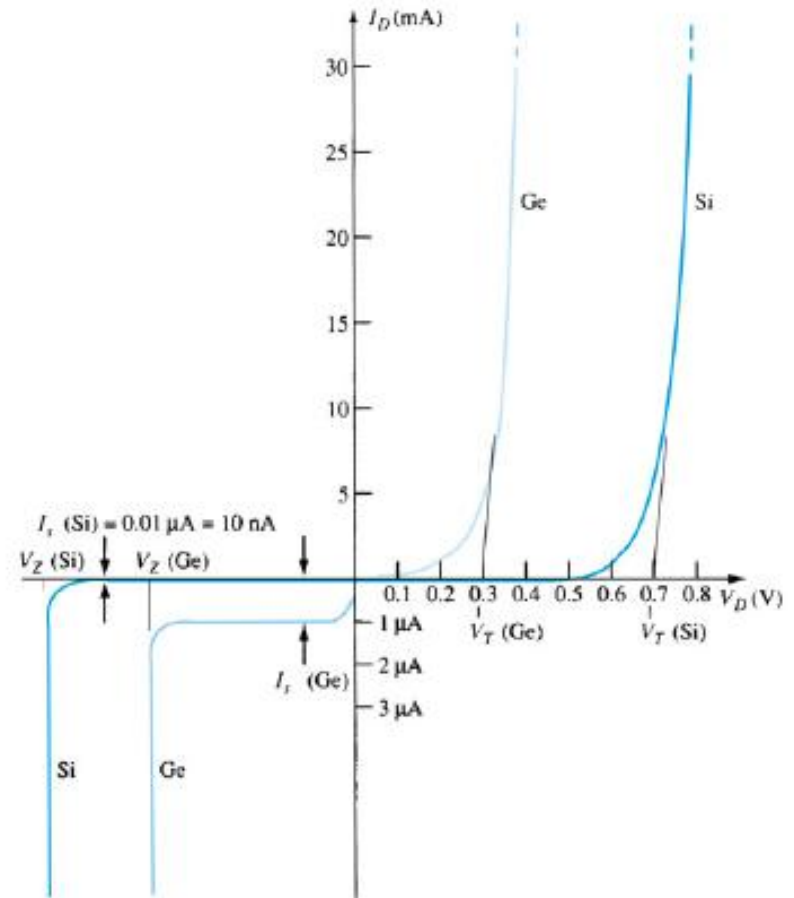


Demo:

- Alteração da curva com a temperatura.

# Junção PN – Silício versus Germânio

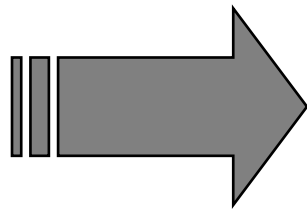
- Tensão reversa:
  - Silício: 1000 V;
  - Germânio: 400 V.
- Temperatura de operação:
  - Silício: 200 °C;
  - Germânio: 100 °C.
- Queda de tensão direta:
  - Silício: 0,7 V;
  - Germânio: 0,3 V.



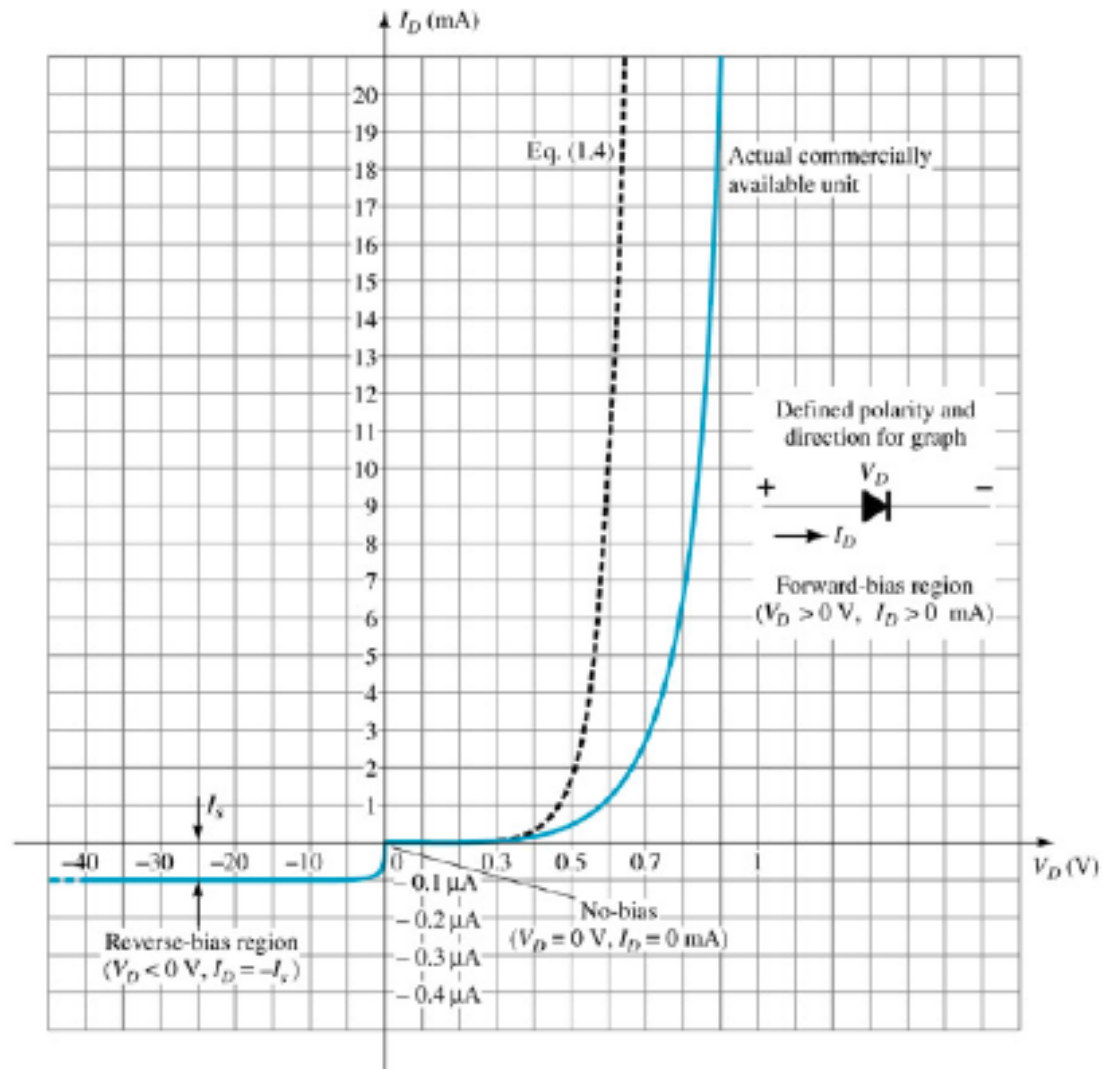
# Exercícios

## Malvino:

- Lista do capítulo 2.



# Diodo – Curva $I_D$ x $V_D$

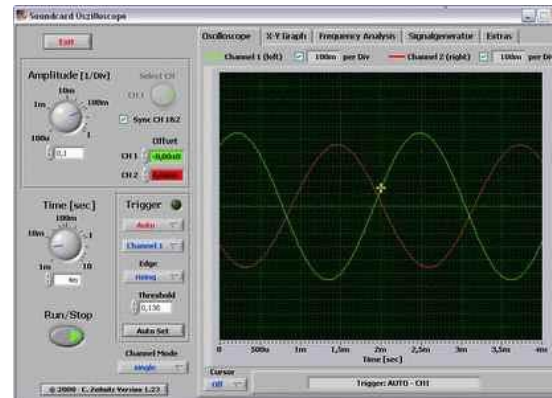
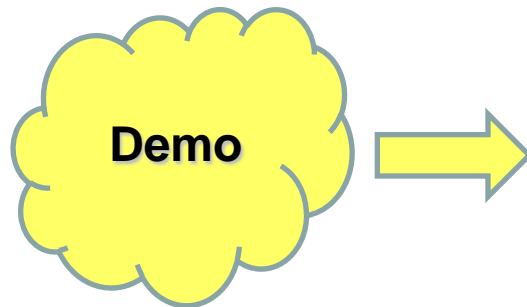


## Diodo – Curva $I_D$ x $V_D$

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

- $I_D$  = 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;
- $T_K = T_C + 273^\circ$ .

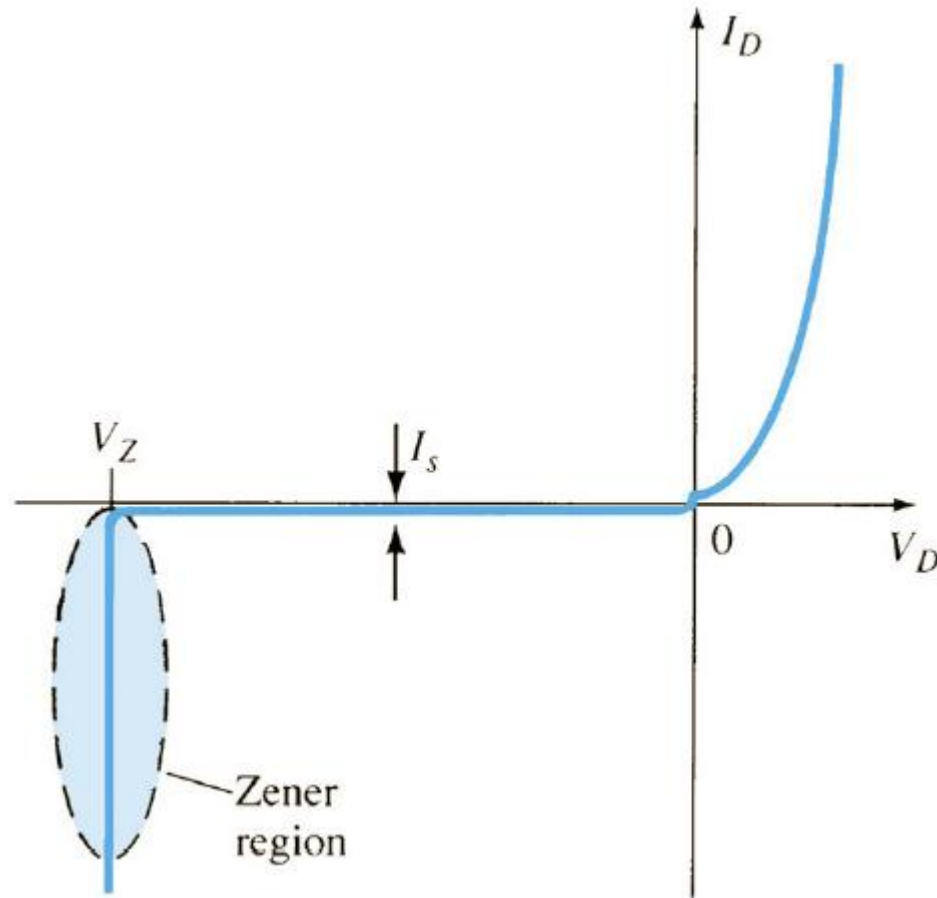
# Diodo – Curva $I_D \times V_D$



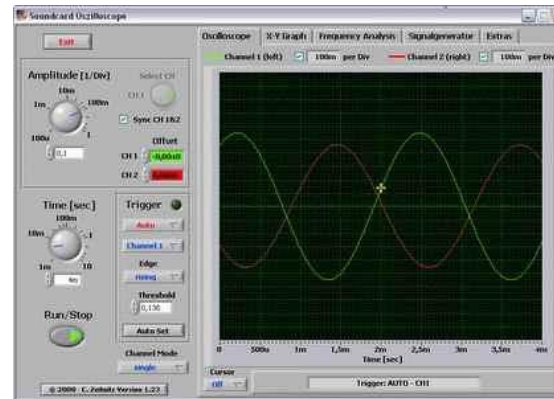
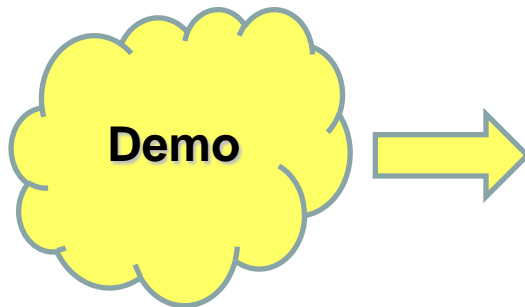
Demo:

- Curva  $I_D \times V_D$  de diodos.

# Diodo – Região zener



# Diodo – Região zener



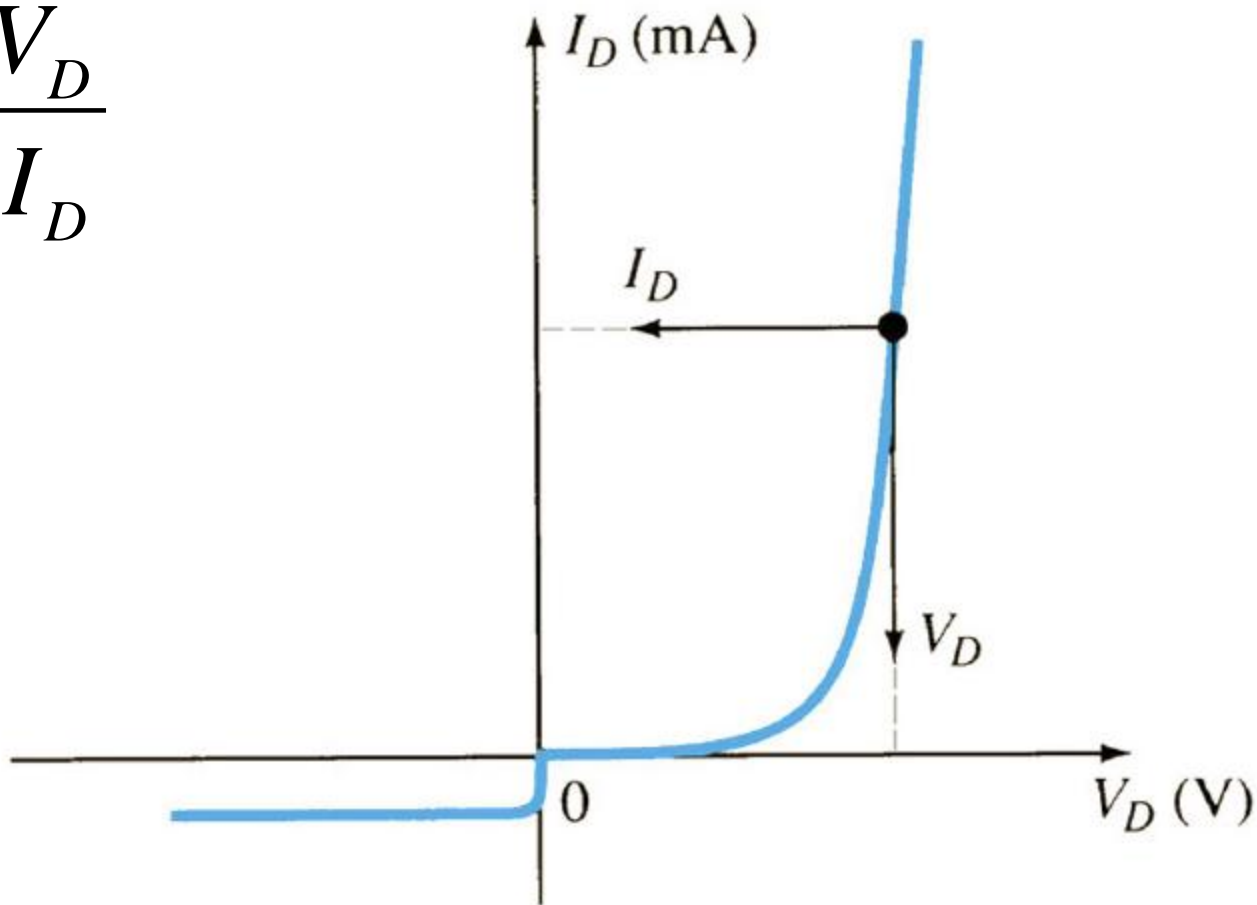
Demo:

- Curva  $I_D \times V_D$  do zener.

# Resistências do diodo

Resistência CC ou estática:

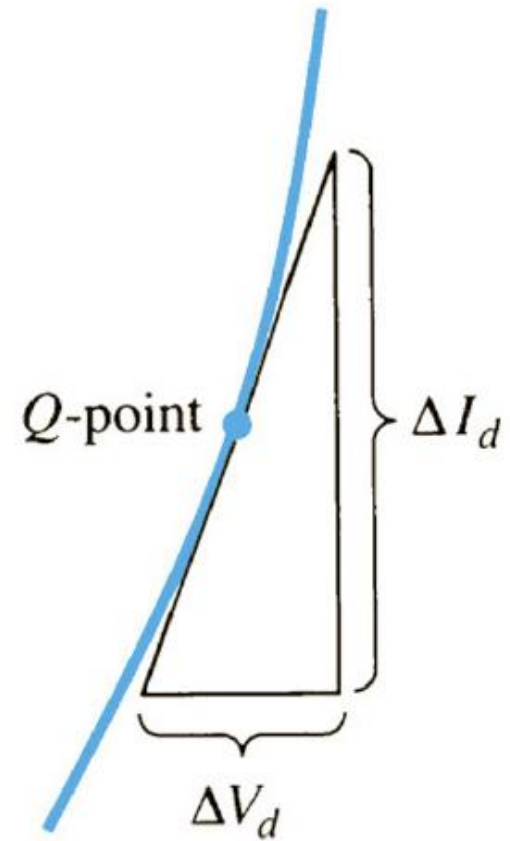
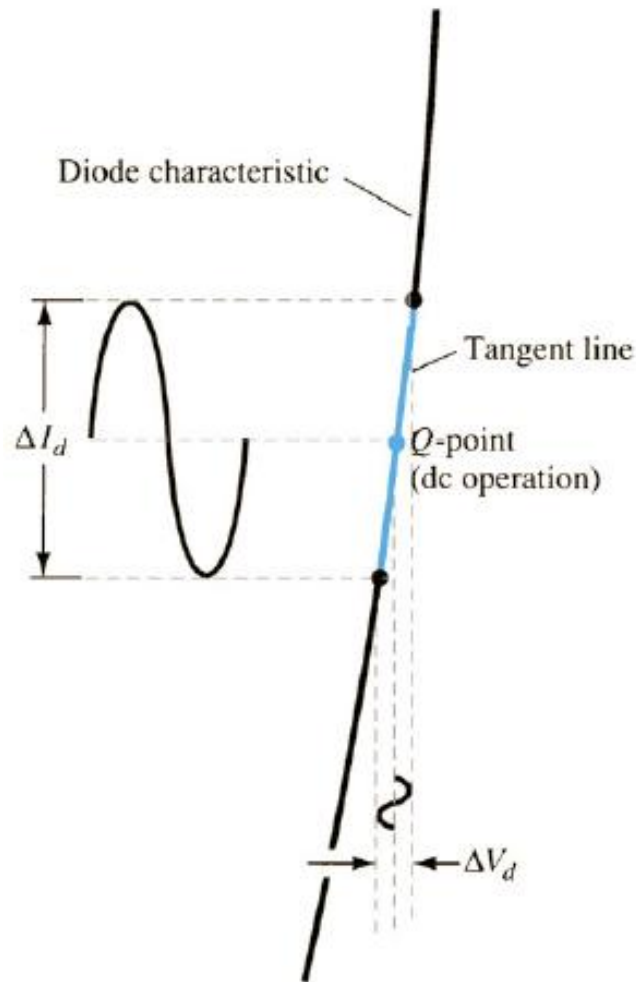
$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$



# Resistências do diodo

Resistência CA ou dinâmica:

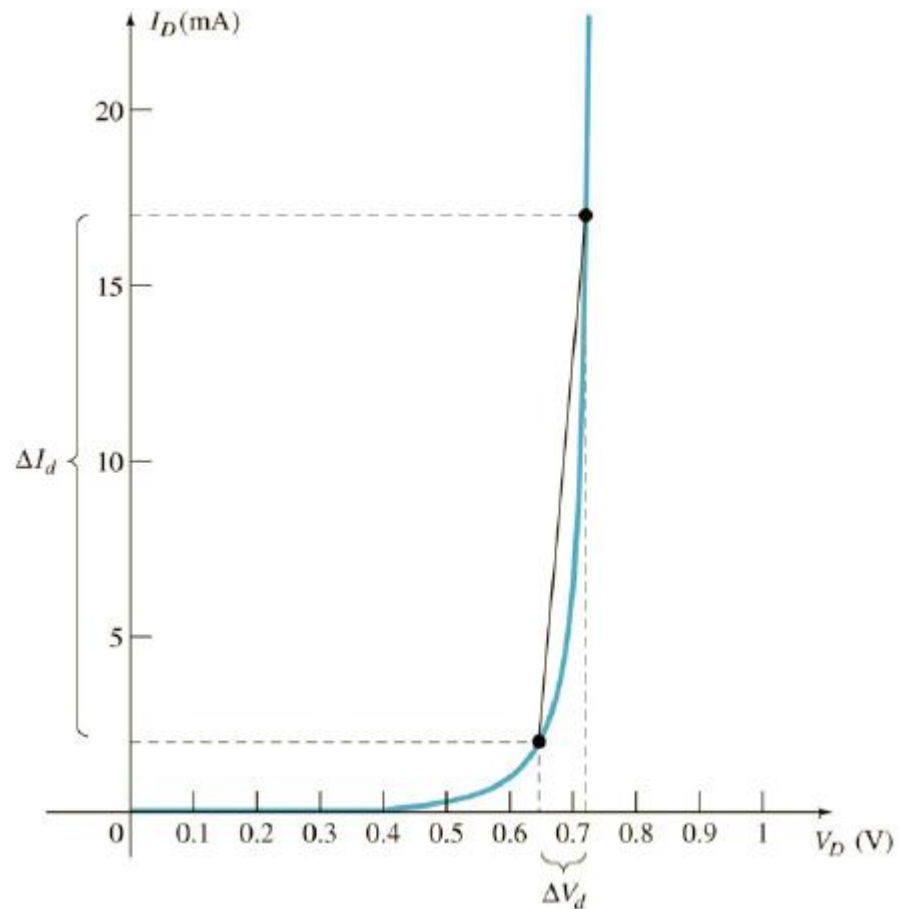
$$r_D = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$



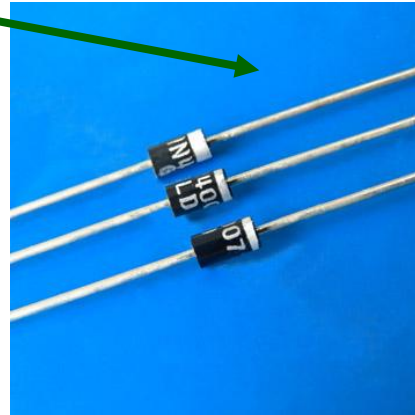
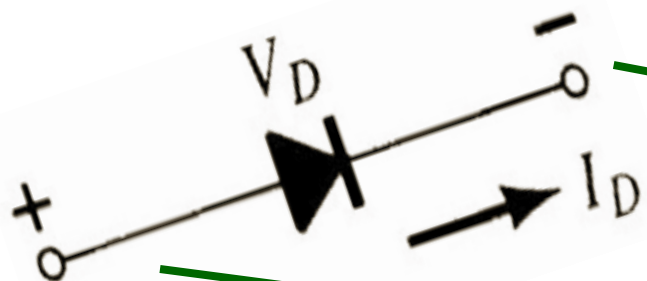
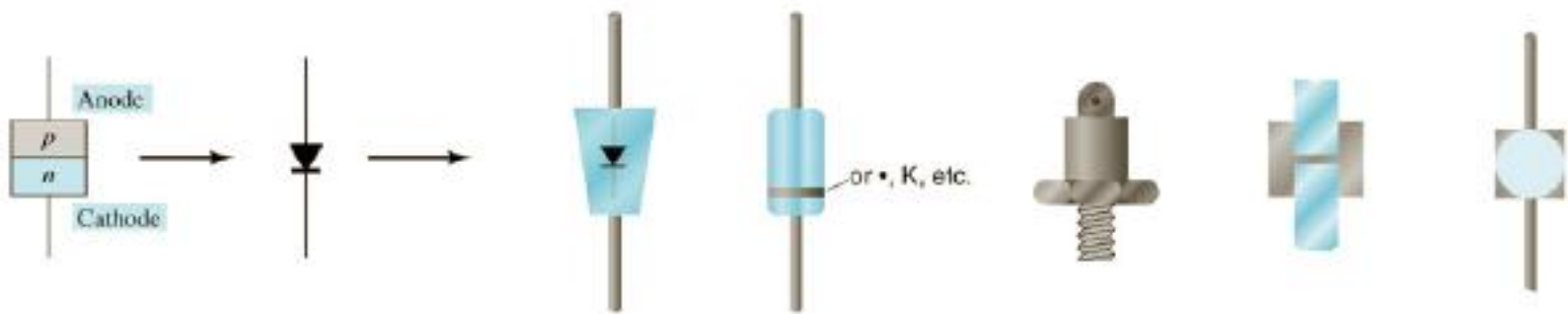
# Resistências do diodo

Resistência CA média ou resistência de corpo:

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



# Identificação dos terminais de um diodo



# Testando diodos com o multímetro



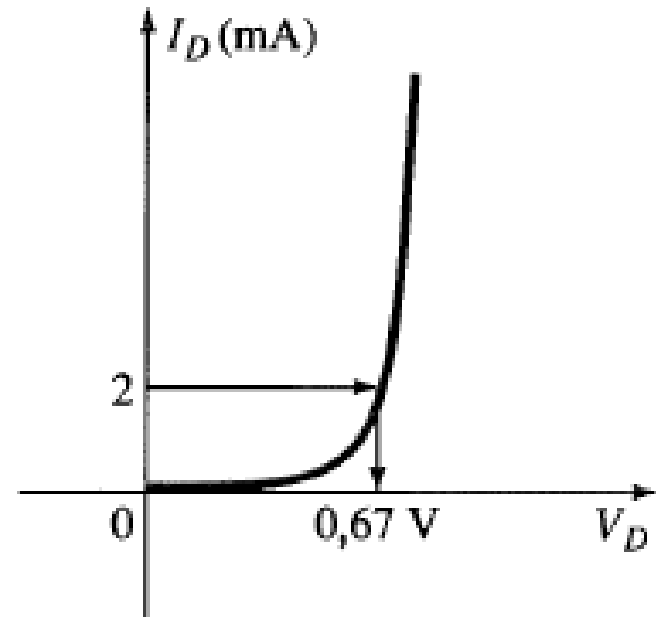
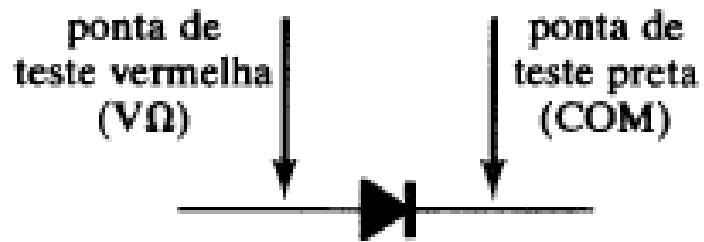
Escala para teste de diodos



Escala para teste de diodos

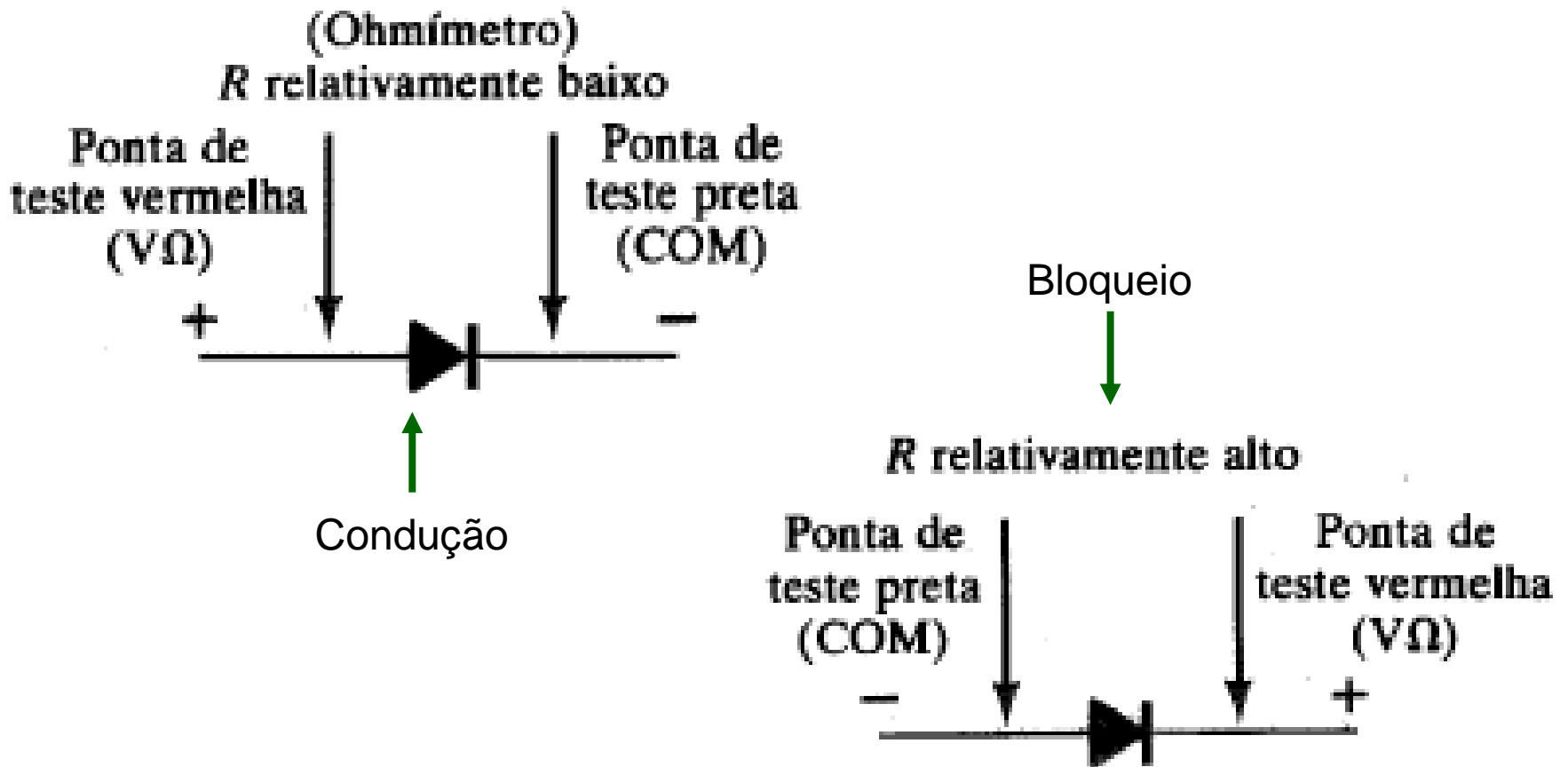
# Testando diodos com o multímetro

**Polarização direta:**

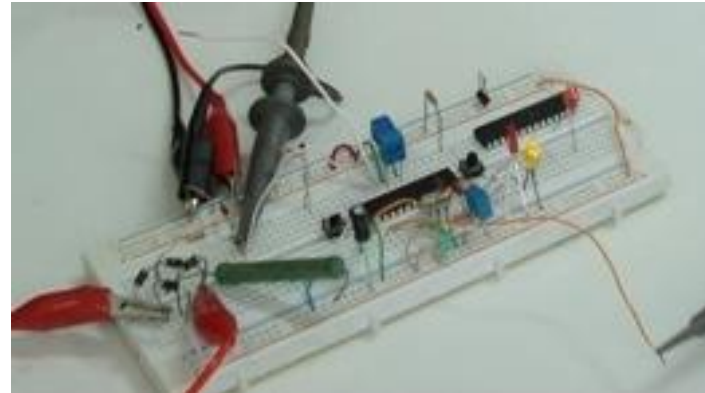
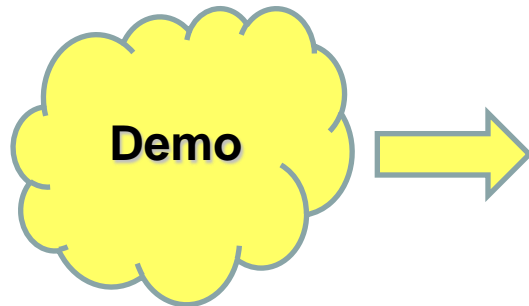


# Testando diodos com o multímetro

## Testes com ohmímetro:



# Testando diodos com o multímetro



Demo:

- Testes de diodos.

# Próxima aula

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Características dos diodos;
2. Modelos representativos de diodos.
3. Análise de circuitos com diodos.