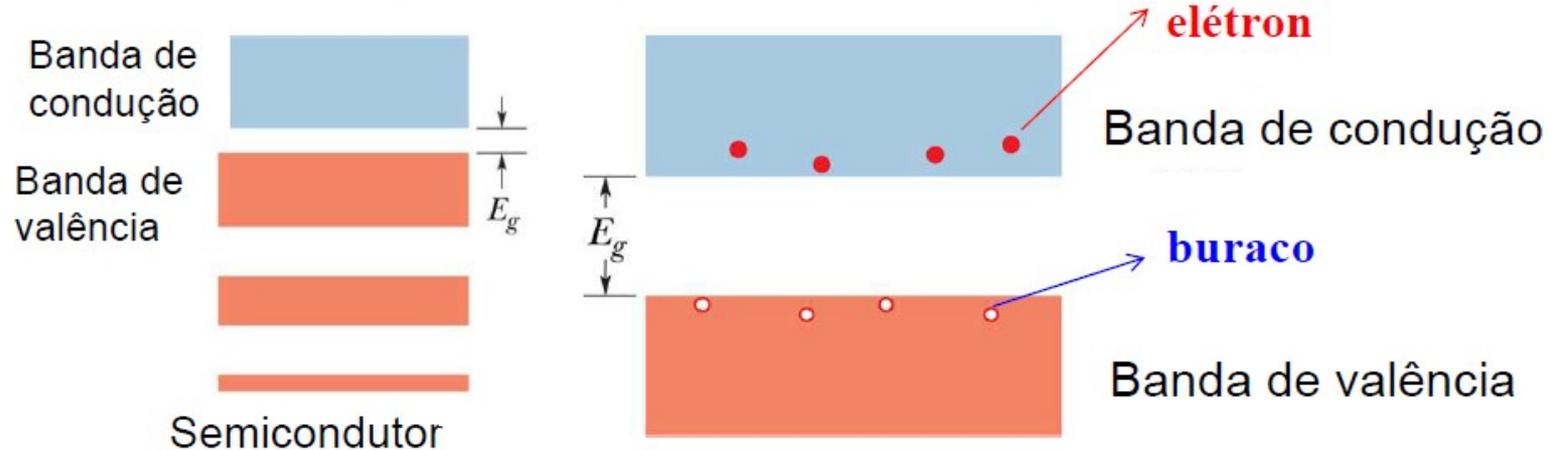


# Semicondutores



A estrutura de bandas de um semicondutor é parecida com a dos isolantes; a diferença é que nos semicondutores o “gap” de energia entre a banda de valência e a de condução ( $E_g$ ) é pequena quando comparada com a do isolante. Por exemplo, o silício tem  $E_g = 1,1$  eV, enquanto que o diamante tem  $E_g = 5,5$  eV.

- **Agitação térmica** faz com que alguns poucos elétrons da banda de valência (BV) adquiram energia para passar para a banda de condução (BC)
- **Buracos**: estados desocupados deixados na BV  $\Rightarrow$  oferecem espaço para elétrons da BV se locomoverem
- **Recombinação**: quando um elétron da BC encontra um buraco da BV
- **Portadores de carga**: buracos da BV (cargas  $+e$ ) e elétrons da BC

# Tabela periódica – Uma pequena janela

Legend:

- Metals (Blue)
- Metalloids (Green)
- Nonmetals (Yellow)

1A	H	2A																	3A	4A	5A	6A	7A	8A
	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
	Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B	1B	2B	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
	Fr	Ra	Ac**	Rf	Ha	Unh	Uns																	
Lanthanide*	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu										
Actinide**	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr										

5 <b>B</b> Boron 2.34	6 <b>C</b> Carbon 2.62	7 <b>N</b> Nitrogen 1.251
13 <b>Al</b> Aluminum 2.70	14 <b>Si</b> Silicon 2.33	15 <b>P</b> Phosphorus 1.82
31 <b>Ga</b> Gallium 5.91	32 <b>Ge</b> Germanium 5.32	33 <b>As</b> Arsenic 5.72

# Importância do silício.

## Silício

O Silício é um elemento químico da mesma família do carbono, que aparece em abundância no universo, mas ele nunca é encontrado isolado, só combinado.



O silício é o elemento de número atômico 14, do terceiro período da família do carbono. **No universo inteiro ele é o 7º mais abundante e na crosta terrestre, ele é o segundo em maior quantidade (27,7%).**

O silício ultrapuro é importante na a **fabricação de semicondutores para fabricação de dispositivos eletrônicos**, tais como: diodos, transistores e microprocessadores.

# Importância do silício.

Si : [Ne] 3s<sup>2</sup> 3 p<sup>2</sup>

5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks



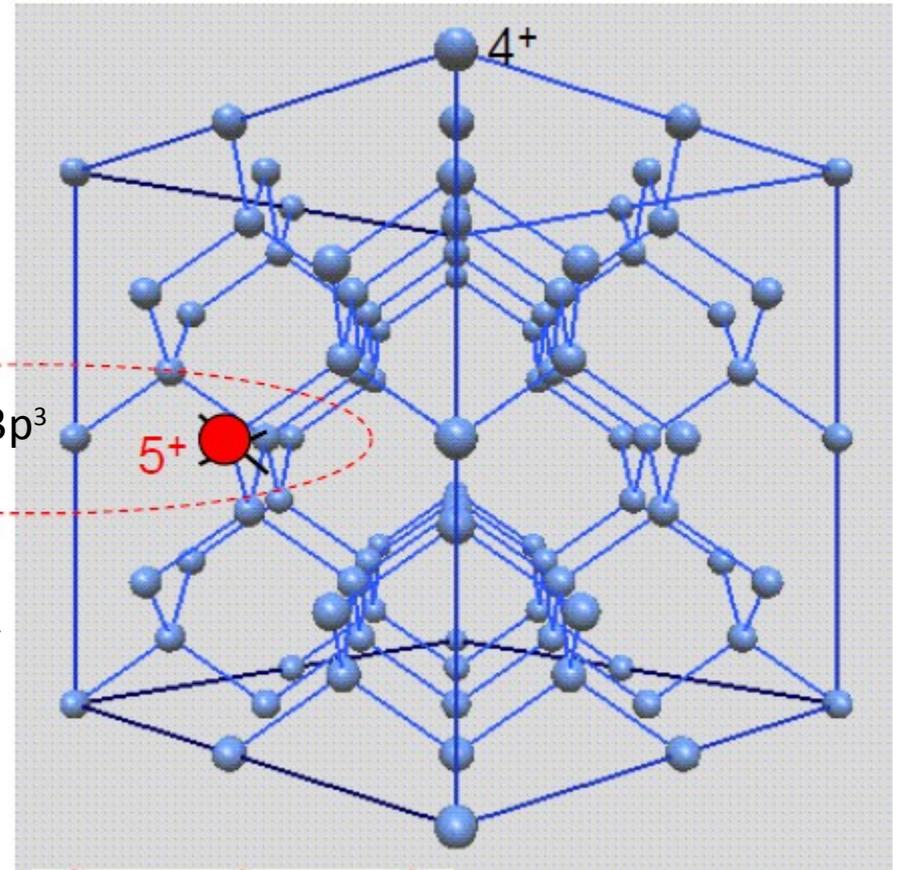
# Semicondutor tipo *n*

Como aumentar o número de portadores de carga em semicondutores ?

5 B Boron 2,34	6 C Carbon 2,62	7 N Nitrogen 1,251
13 Al Aluminum 2,70	<del>14 Si Silicon 2,33</del>	15 P Phosphorus 3,097
31 Ga Gallium 5,91	32 Ge Germanium 5,32	33 As Arsenic 5,72

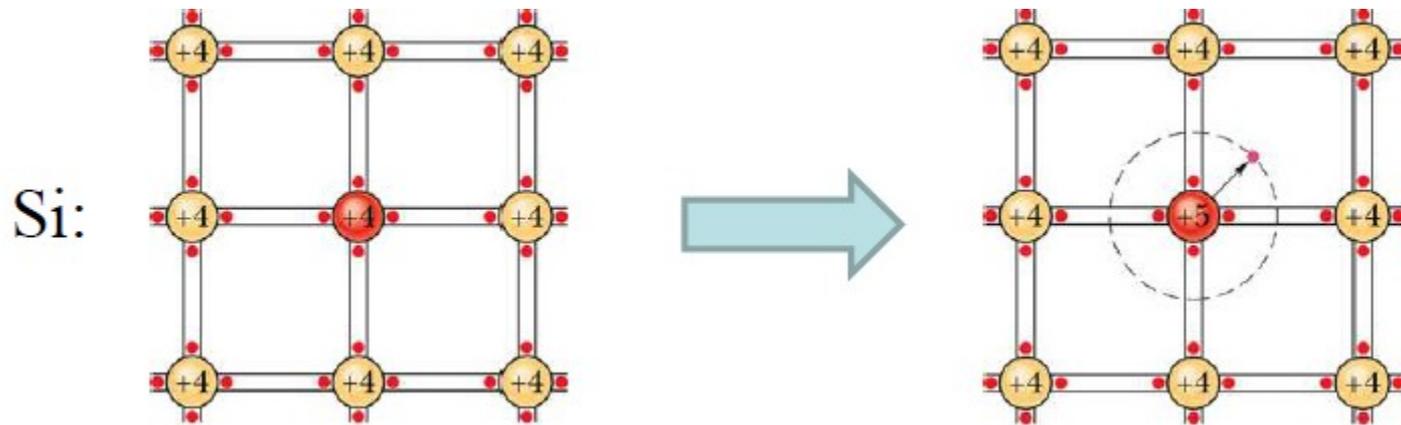
P: [Ne] 3s<sup>2</sup> 3p<sup>3</sup>

Elétron extra



# Semicondutor tipo $n$

## Silício + fósforo



[Vídeo sobre semicondutores](#)

:<https://www.youtube.com/watch?v=-ZBZ3qZ7hOM>

[Tese com produção de Silício e dopagem](#)

:[http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Jose%20Ricardo%20Sebastiao\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Jose%20Ricardo%20Sebastiao_M.pdf)

# Semicondutores

- Concentração de portadores de carga em semicondutores intrínsecos (não-dopados):

$$\sim 10^{16} \text{ m}^{-3}$$

## Semicondutores dopados

- Concentração de portadores de carga em semicondutores dopados:

$$\leq 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

**Ainda assim**

**$\sim 1/10.000$**

**do cobre !**

**( $\sim 10^{29} \text{ m}^{-3}$ )**

# Semicondutores dopados

## Tipo n

- **Silício:** [Ne] 3s<sup>2</sup> 3p<sup>2</sup>
  - Banda de valência: 4 elétrons, que participam de ligações covalentes com átomos vizinhos  $\Rightarrow$  valência 4
  - Ao fornecer energia  $\geq E_{gap}$  para o elétron da BV, ele passará para a banda de condução (será arrancado do átomo e passará a vagar pelo material)

### • Dopagem:

adição de impurezas (1 em  $\sim 10^7$  átomos da rede cristalina) em **semicondutor**

1. Átomo doador: possui **valência maior do que os átomos da rede**

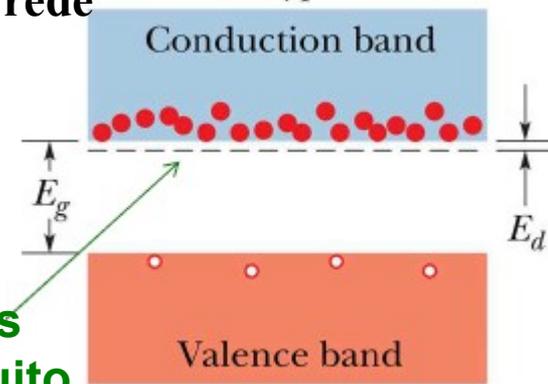
- Os elétrons excedentes não formam nenhuma ligação
- Fracamente ligados ao doador
- n° elétrons na BC > n° buracos na BV

• **Portadores em maioria:** elétrons

• **Portadores em minoria:** buracos

• **Semicondutor dopado tipo N** (*negativo*)

Nível de energia dos elétrons doados muito próximo da BC



# Semicondutores dopados

## Tipo p

• Silício:  $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2 \Rightarrow$  valência 4

• **Dopagem:**

Átomo aceitador: possui **valência menor do que os átomos da rede**  
 $\Rightarrow$  Surgem lacunas (buracos) nas ligações covalentes impureza–rede  
 $\Rightarrow$  Basta um pequeno ganho de energia para elétron preencher o buraco  
 $\Rightarrow$  Um novo buraco é criado, ou seja, é como se o buraco se movesse

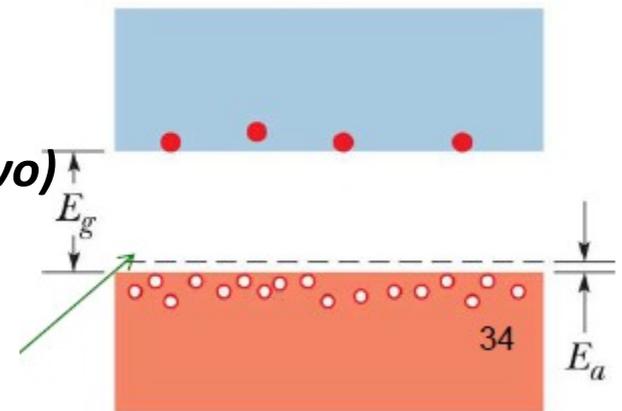
$\Rightarrow$  n° buracos na BV > n° elétrons na BC

$\Rightarrow$  **Portadores em maioria: buracos**

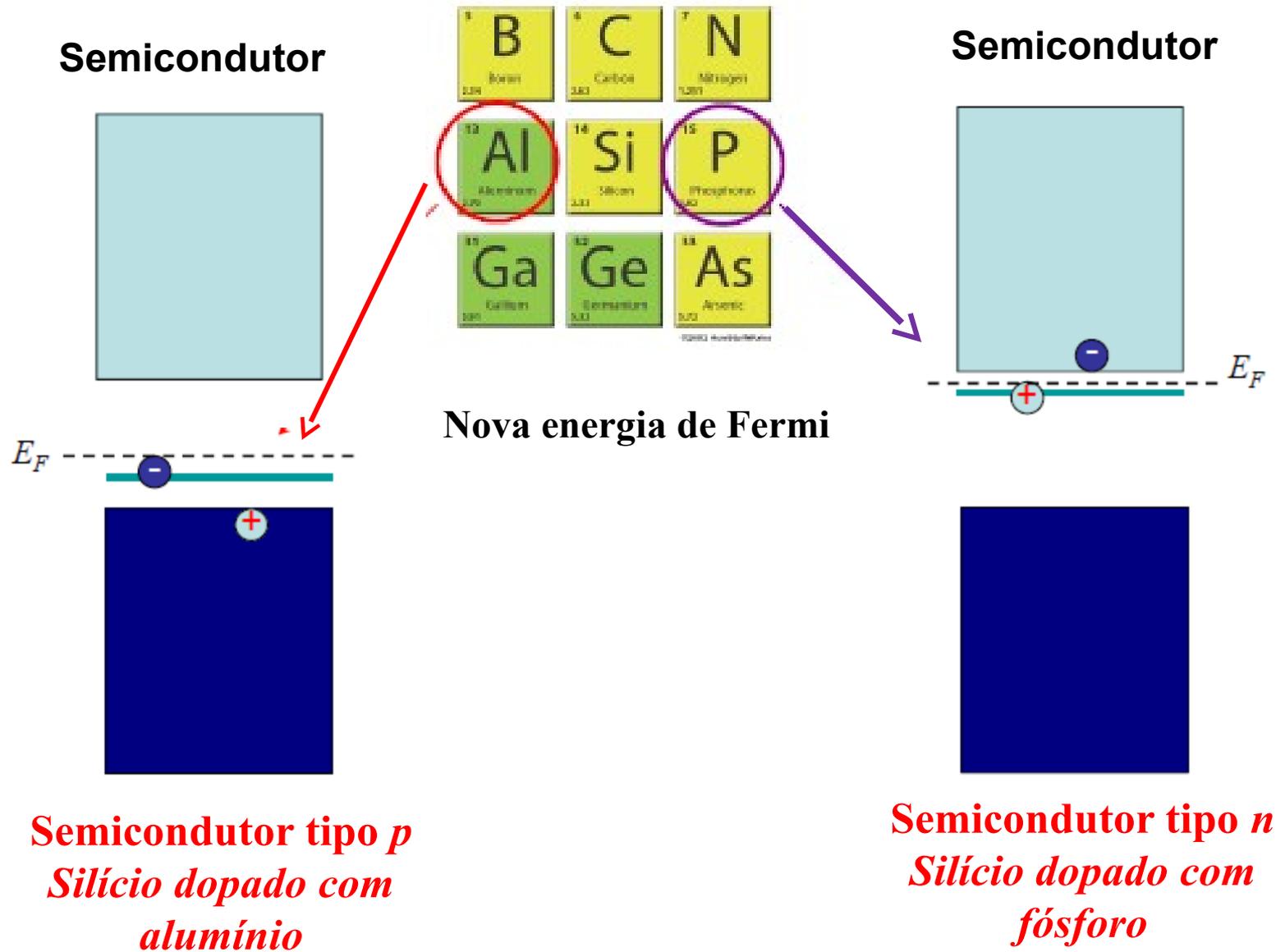
$\Rightarrow$  **Portadores em minoria: elétrons**

$\Rightarrow$  **Semicondutor dopado tipo p (p: positivo)**

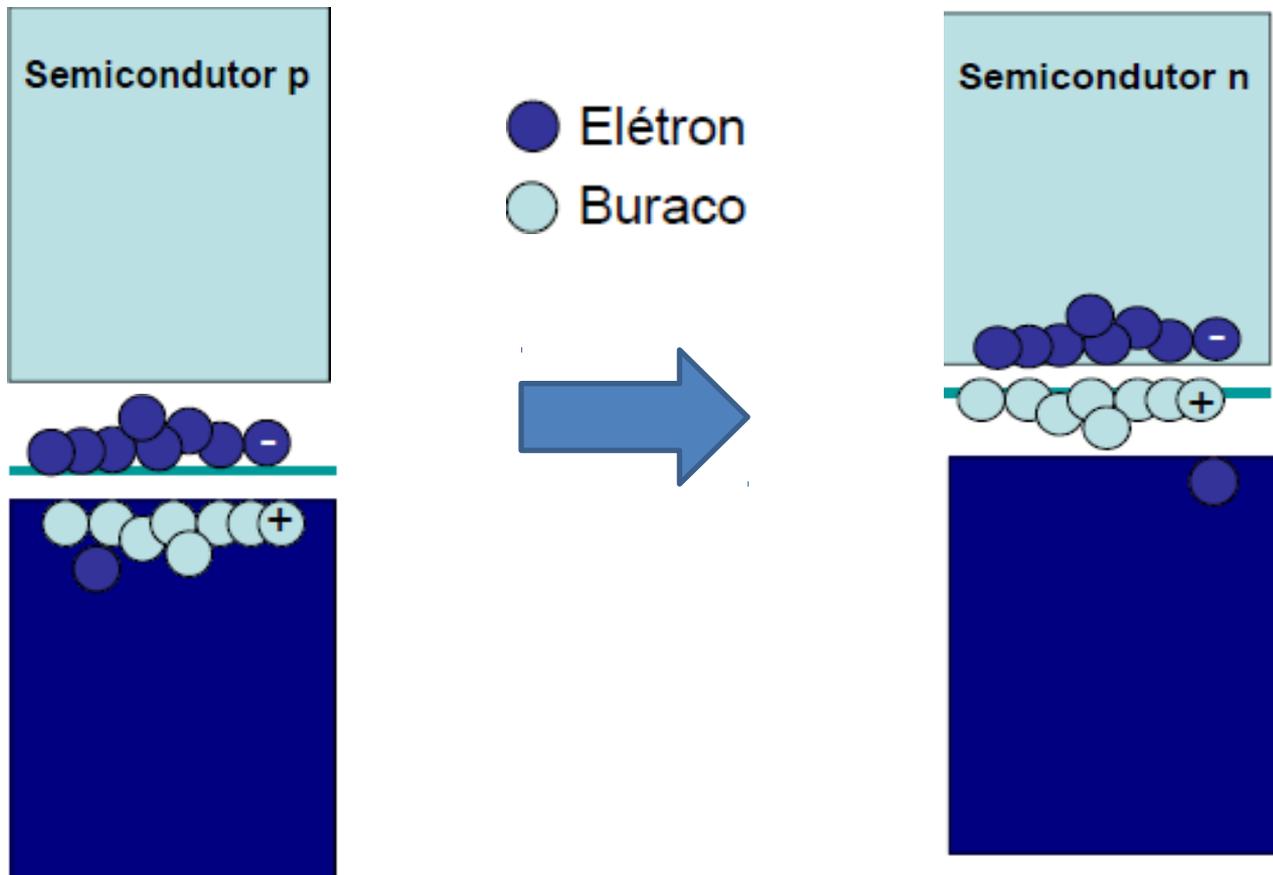
Nível aceitador,  
muito próximo da  
BV



# Semicondutores dopados.(Resumo)



# Junção $p$ - $n$ : *semicondutor tipo $p$ em contato com semicondutor tipo $n$*



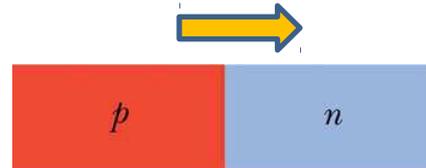
# Junção $p-n$

## Movimento dos portadores em maioria

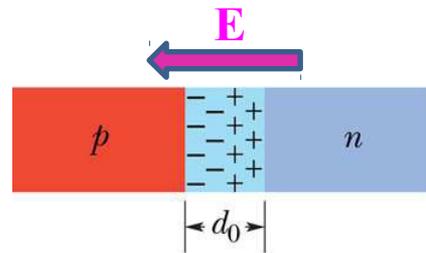
- **Corrente de difusão** do lado  $p$  para  $n$ :
  - Elétrons do lado  $n$  próximos da junção tendem a passar para o lado  $p$ , onde há poucos elétrons  
(O inverso ocorre com os buracos do lado  $p$ )
- **Carga espacial**:
  - Quando elétron sai do lado  $n$ , deixa a impureza doadora (átomo preso à rede) positivamente carregada
  - Ao chegar no lado  $p$ , recombina-se com buraco, deixando a impureza aceitadora negativamente carregada  
( O inverso ocorre com os buracos)
- A região de transição (interface) entre os dois tipos de semicondutores chama-se **“camada de depleção”**

# Junção $p-n$

Corrente de difusão



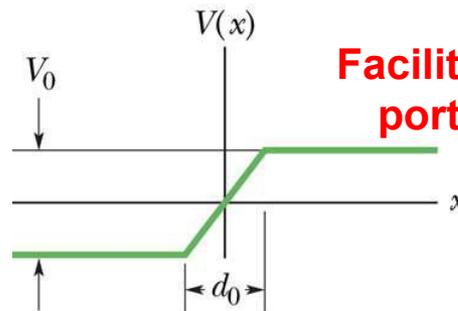
(a)



(b)

Barreira para os portadores em maioria

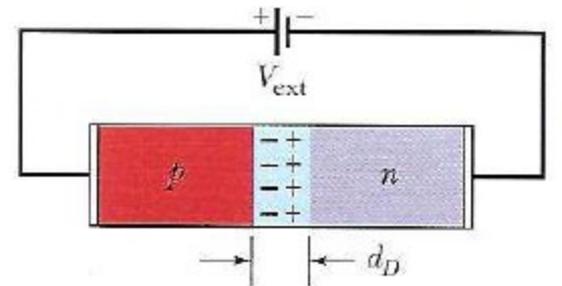
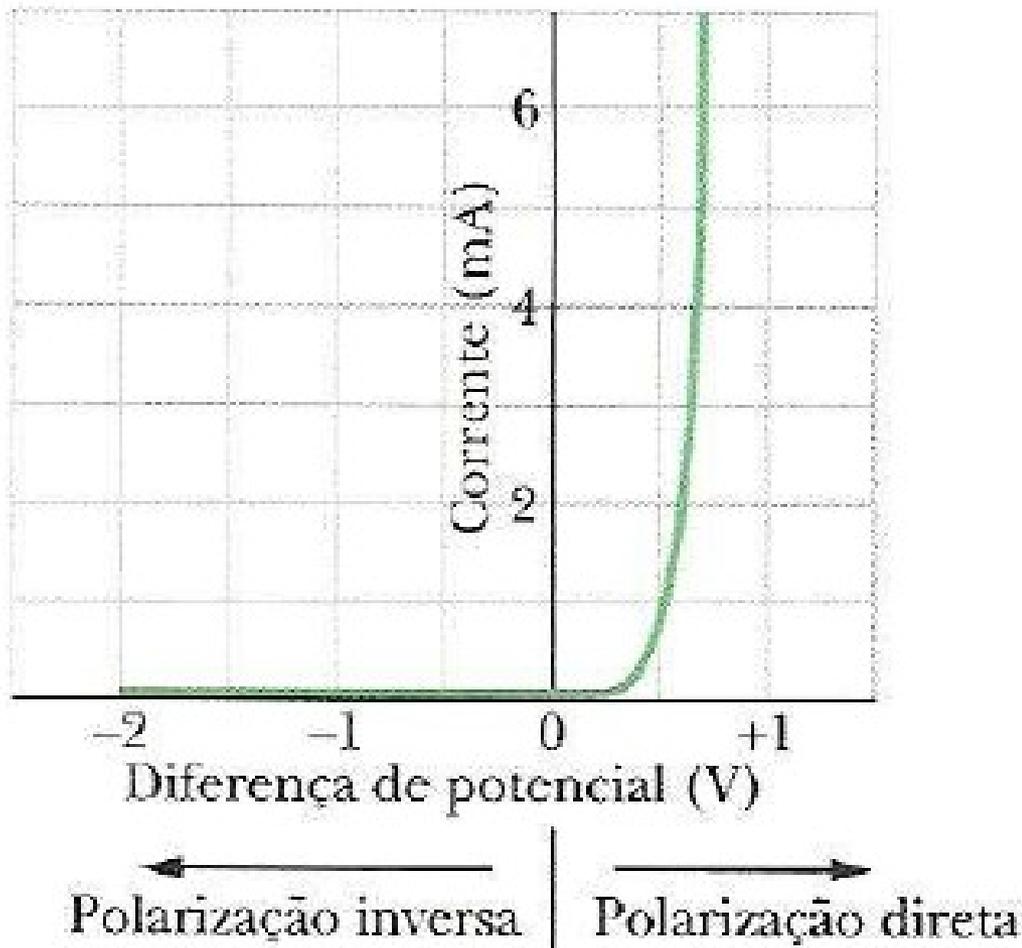
Facilita movimentação dos portadores em minoria



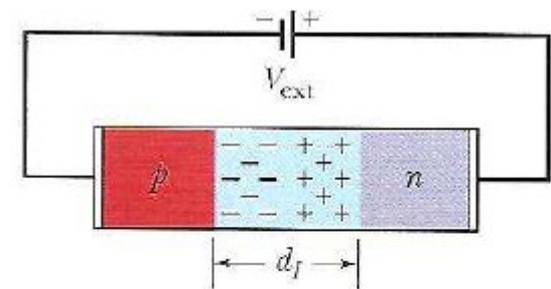
Corrente de deriva

$d_0$  é largura da camada de depleção

# Aplicação diodo retificador



Polarização direta



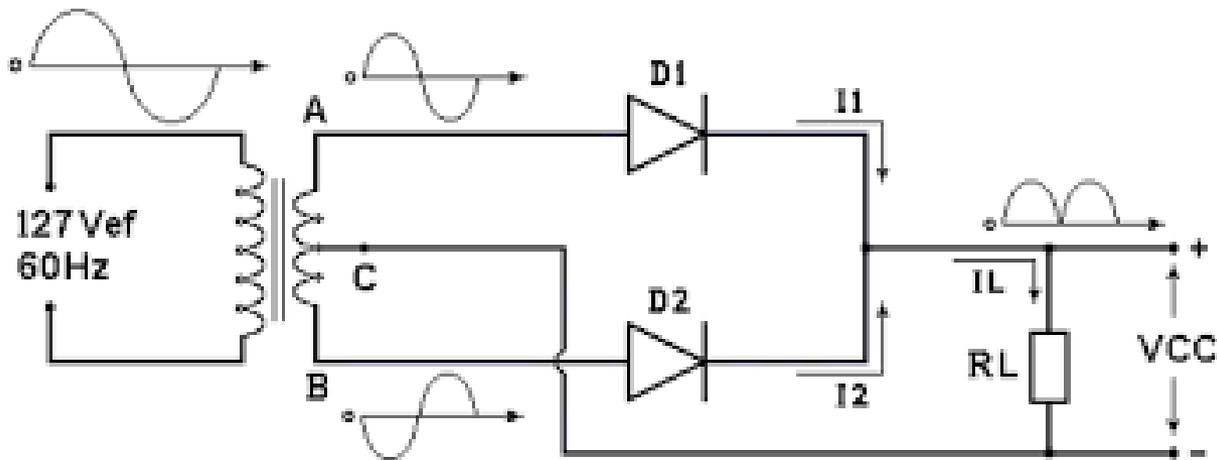
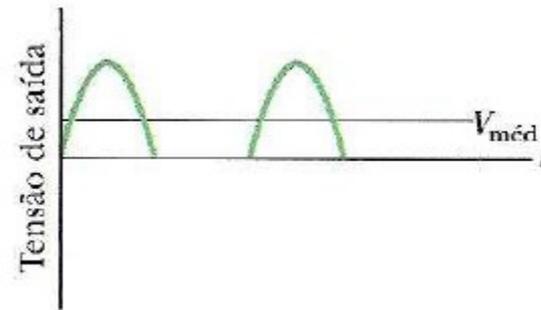
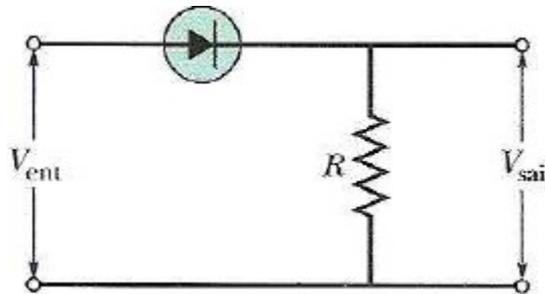
Corrente de difusão  $I_{dif}$

Corrente de deriva  $I_{der}$

Polarização inversa

# Aplicação diodo retificador

## Retificador de meia onda:



## Retificador de meia completa:

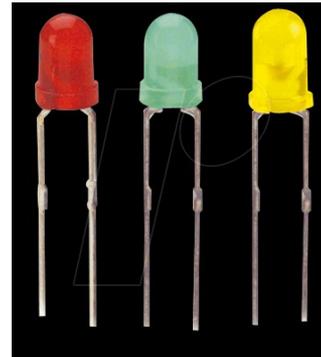
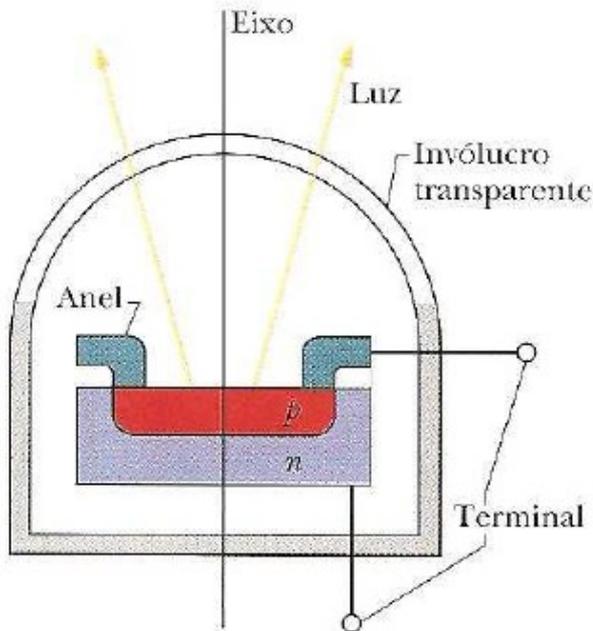


# Diodo emissor de luz (led)

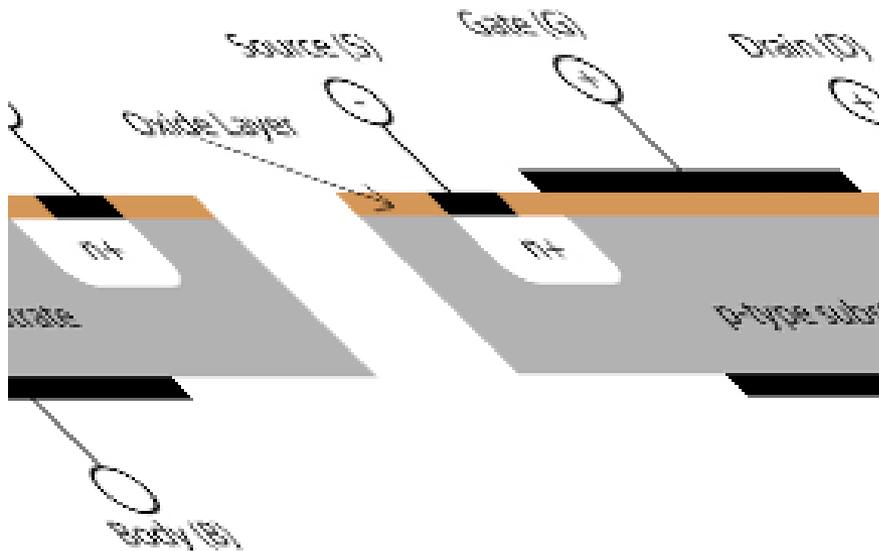
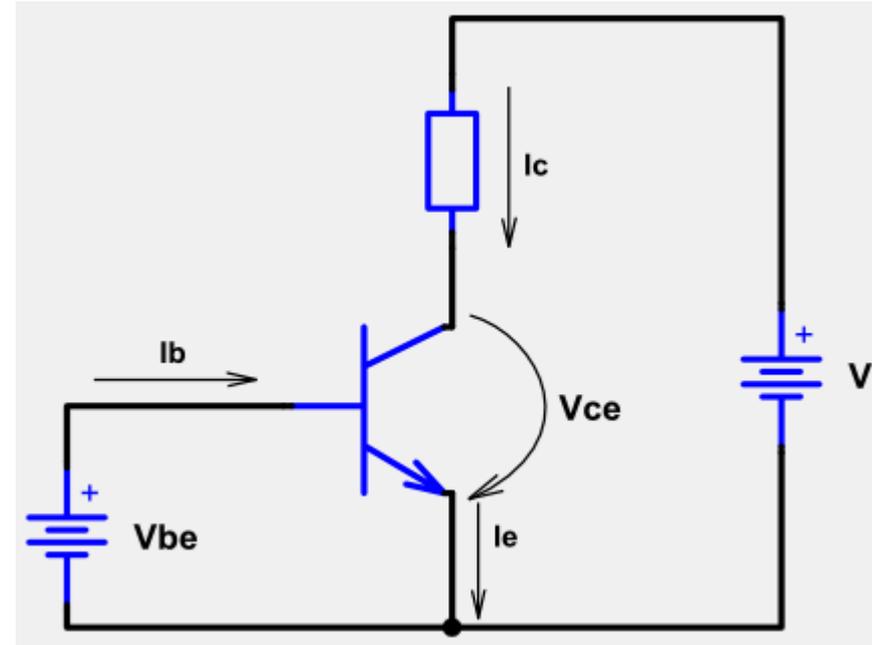
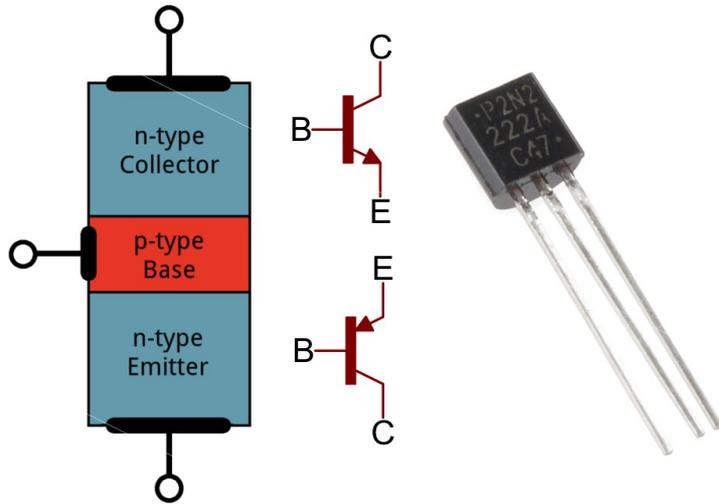
Quando um elétron da banda de condução se combina com um “buraco” da banda de valência, há uma variação de energia igual a energia do “gap” ( $E_g$ ), que é compensada pela emissão de um fóton com energia igual a energia perdida no processo.

Em termos numérico:

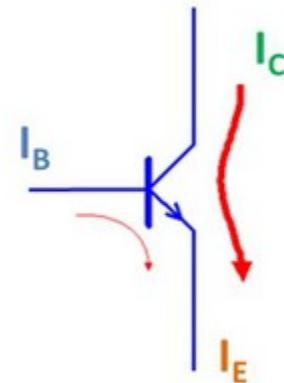
$$E_g = hf = hc / \lambda \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{hc}{E_g}$$



# Transistor



$$\beta = \frac{I_c}{I_B}$$



**MOSFET**