



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Campus Joinville**  
**Centro Tecnológico de Joinville - CTJ**  
**Departamento de Engenharias da Mobilidade**

# **EMB5116 – ELETRÔNICA ANALÓGICA**

## **INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA ANALÓGICA, DIODOS IDEAIS E REAIS**

**Prof<sup>a</sup> Jéssika Melo de Andrade, Dra. Eng.**

**[melo.jessika@ufsc.br](mailto:melo.jessika@ufsc.br)**

**Joinville, 2025**

# SUMÁRIO



- Semicondutor;
- Material tipo  $p$  e tipo  $n$ ;
- Junção PN;
- Diodo semicondutor;
- Curva característica;
- Resistência CC e CA;
- Circuitos Equivalentes;
- Tempo de Recuperação Reversa;
- Teste do diodo;
- Outros tipos de diodo.

# SEMICONDUCTORES



- São materiais capazes de atuar como condutores elétricos ou isolantes elétricos. Possuem resistividade elétrica intermediária.
- Condutores: propícios para conduzir corrente elétrica;
- Isolantes: propícios para isolar cargas elétricas;
- Semicondutor é um meio termo entre condutores e isolantes.

# SEMICONDUCTORES

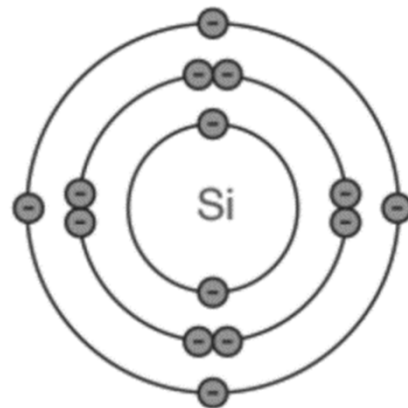
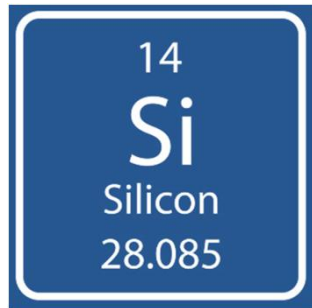


Material	Resistividade (temperatura ambiente)
Cobre (condutor)	$1,68 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$
Silício (semicondutor)	$6,40 \times 10^2 \Omega\text{m}$
Vidro (isolante)	$10 \times 10^{10}$ a $10 \times 10^{14} \Omega\text{m}$

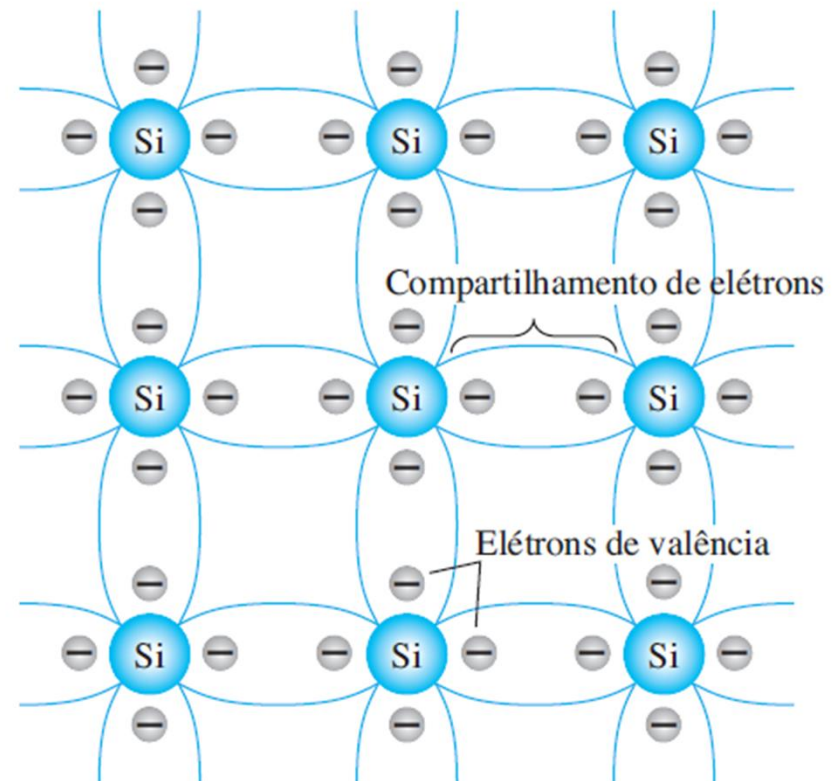
# SEMICONDUCTORES



- Os semicondutores são utilizados na construção de circuitos eletrônicos e o material mais utilizado é o silício (Si), devido suas características e baixo custo.



- 14 elétrons
- 4 elétrons na camada de valência (camada mais externa)
- Se estabilizam quando possuem 8 elétrons na camada de valência.



# SEMICONDUCTORES



- Os semicondutores são sensíveis a presença de impurezas e isso afeta significativamente as características do material.
- Impurezas podem ser adicionadas propositalmente em um processado chamado de dopagem.
- Semicondutores intrínsecos: material sem impurezas;
- Semicondutores extrínsecos: material que foi submetido ao processo de dopagem.
- Dopagem é o processo de adicionar impurezas ao cristal semiconductor.

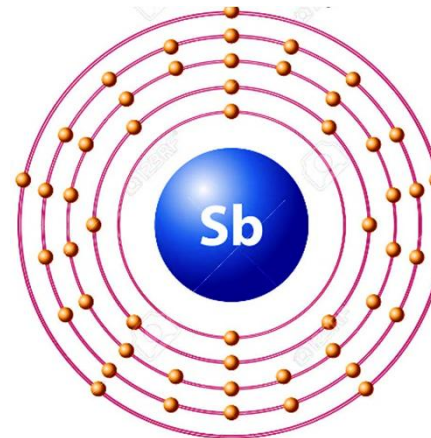
# SEMICONDUTOR EXTRÍNSECO



- Impurezas são materiais com átomos que possuem 3 ou 5 elétrons na camada de valência.

5 elétrons na  
camada de  
valência

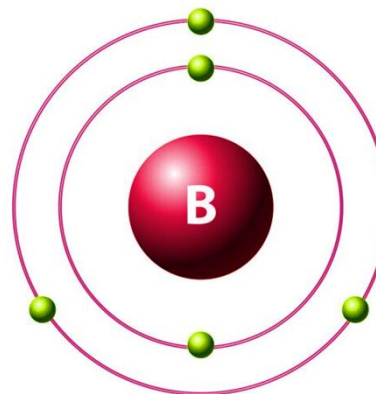
Antimônio  
Arsênio  
Fósforo



Impureza doadora  
(doa elétrons)

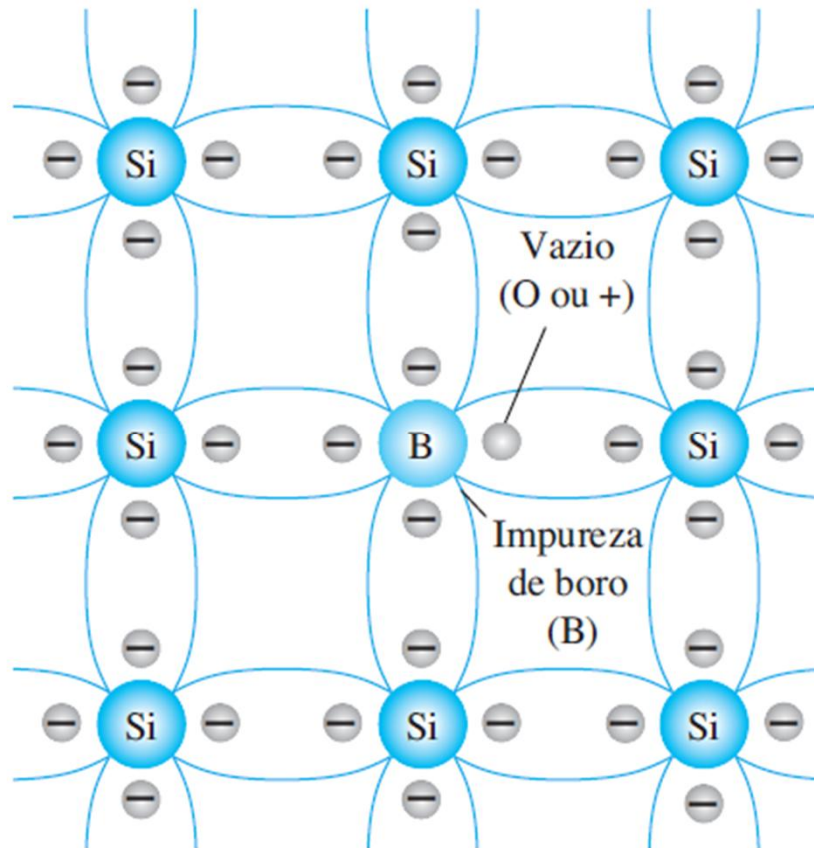
3 elétrons na  
camada de  
valência

Boro  
Alumínio  
Gálio



Impureza  
aceitadora (aceita  
elétrons)

# SEMICONDUTOR EXTRÍNSECO

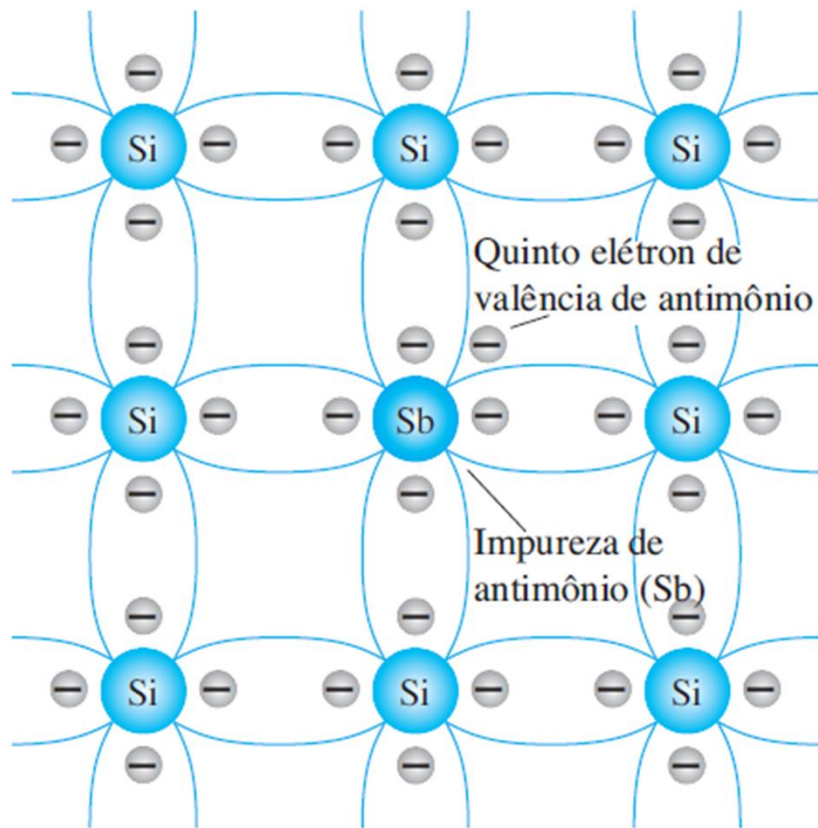


Impureza: Boro  
3 elétrons na camada de valência

- Número de elétrons insuficientes para completar as ligações covalentes (falta um elétron).
- O espaço vazio resultante é chamado de lacuna (ausência de um elétron);
- Quanto mais impurezas, mais lacunas;
- Esse material é chamado de tipo p. Material dopado positivamente.



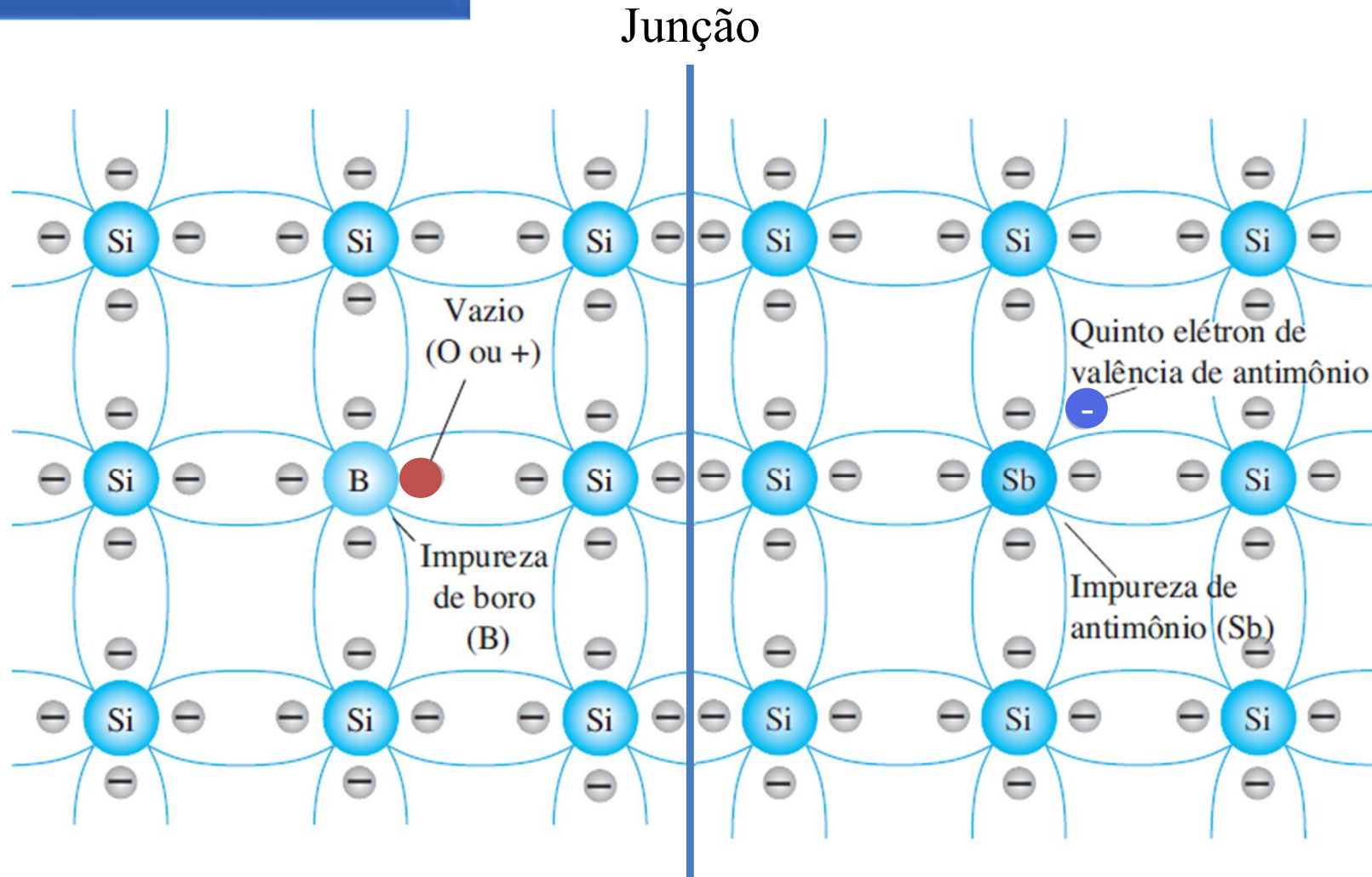
# SEMICONDUTOR EXTRÍNSECO



Impureza: Antimônio  
5 elétrons na camada de valência

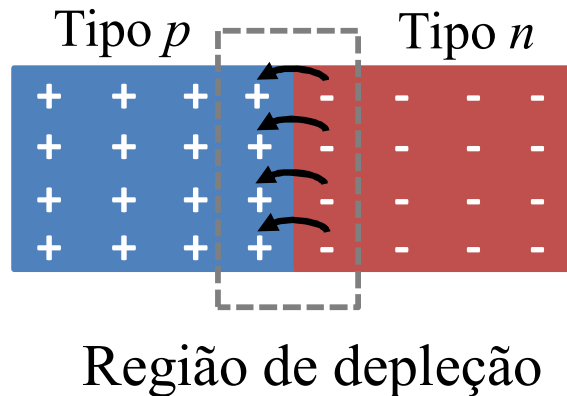
- Número de elétrons sobrando para completar as ligações covalentes (sobra um elétron).
- Esse elétron é chamado de elétron livre.
- Como possui um elétron a mais, diz-se que está dopado negativamente;
- Esse material é chamado de tipo n.

# JUNÇÃO PN



Quando junta os materiais, os elétrons livres no material tipo  $n$  (mais próximos da junção) são atraídos automaticamente para as lacunas vazias no material tipo  $p$ . Os mais afastados não são afetados.

# JUNÇÃO PN

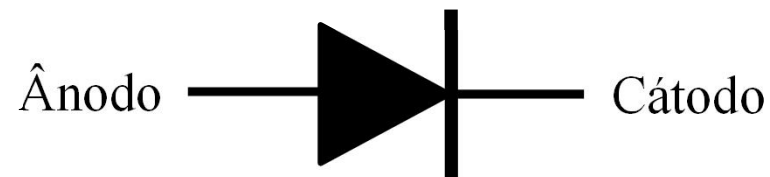
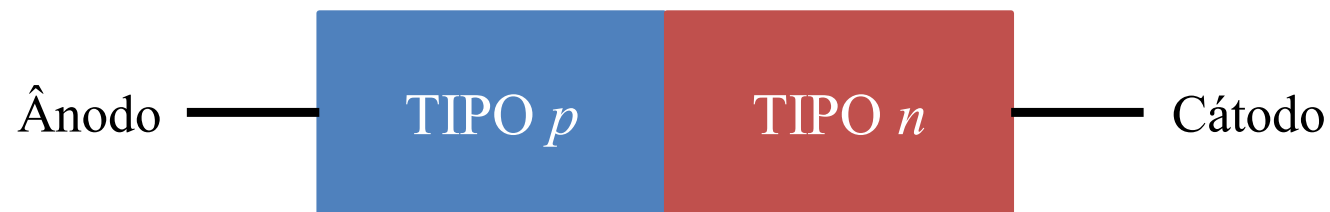


- Quando junta os materiais, os elétrons livres no material tipo  $n$  (mais próximos da junção) são atraídos automaticamente para as lacunas vazias no material tipo  $p$ . Os mais afastados não são afetados.
- Isso cria um região, na qual, não existem elétrons livres, nem lacunas (camada de valência completa).
- Essa região é chamada de depleção;

# JUNÇÃO PN



- Essa junção PN, também é chamada de diodo.
- É um semicondutor com dois terminais.

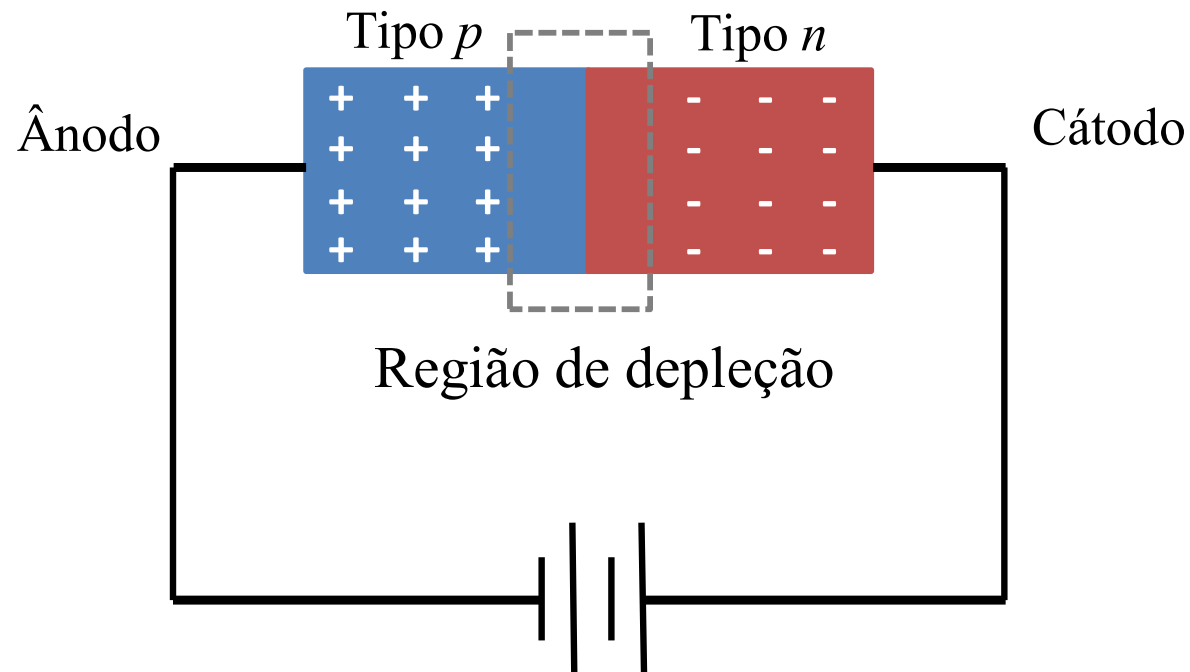


Simbologia



Componente

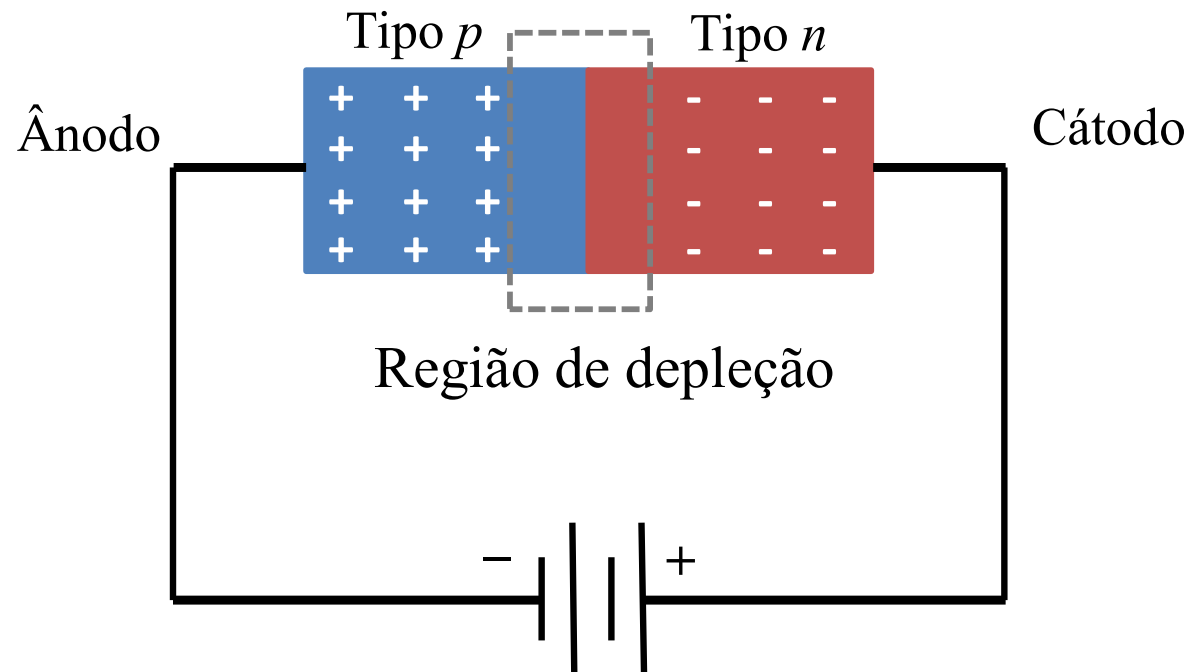
# DIODO SEMICONDUTOR



Polarização: refere-se a aplicação de uma tensão externa nos terminais do diodo, pode ser de dois tipos:

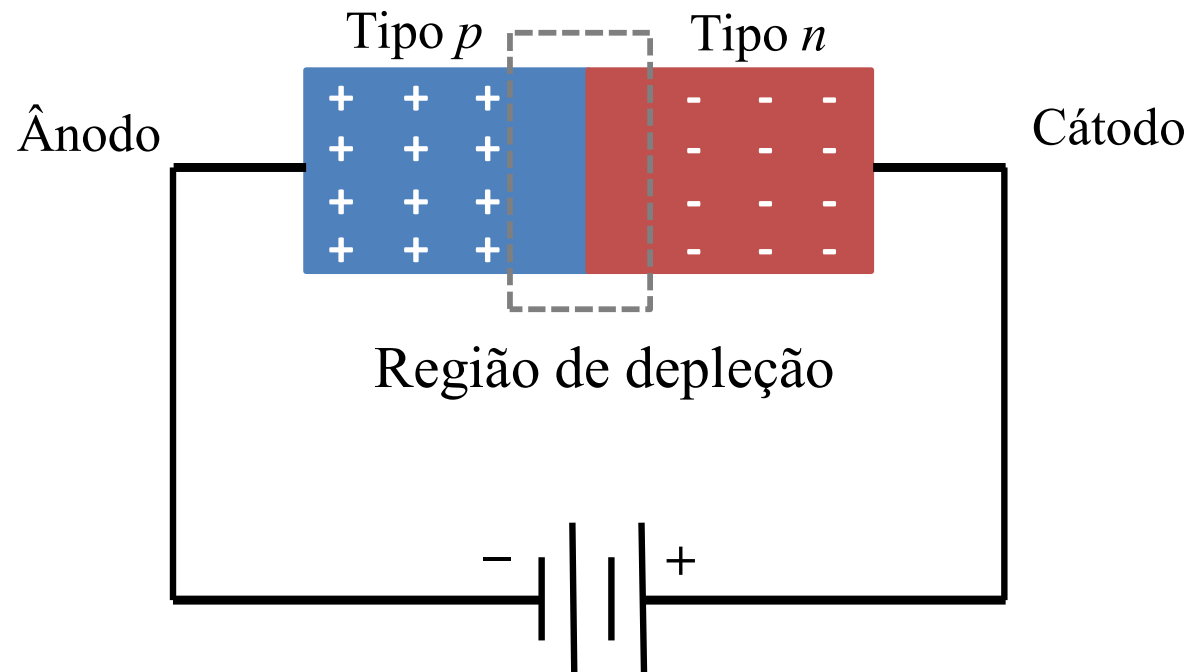
- Reversa;
- Direta.

# DIODO SEMICONDUTOR



**Polarização Reversa**

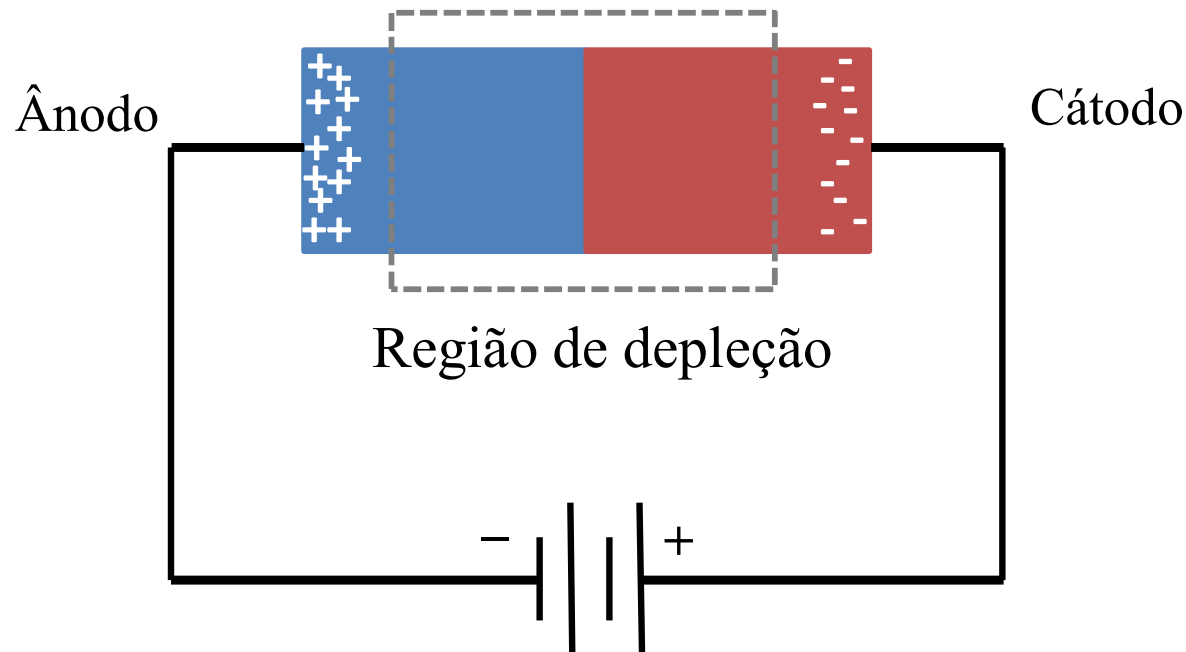
# DIODO SEMICONDUTOR



**Polarização Reversa**

CIRCULA CORRENTE?

# DIODO SEMICONDUTOR



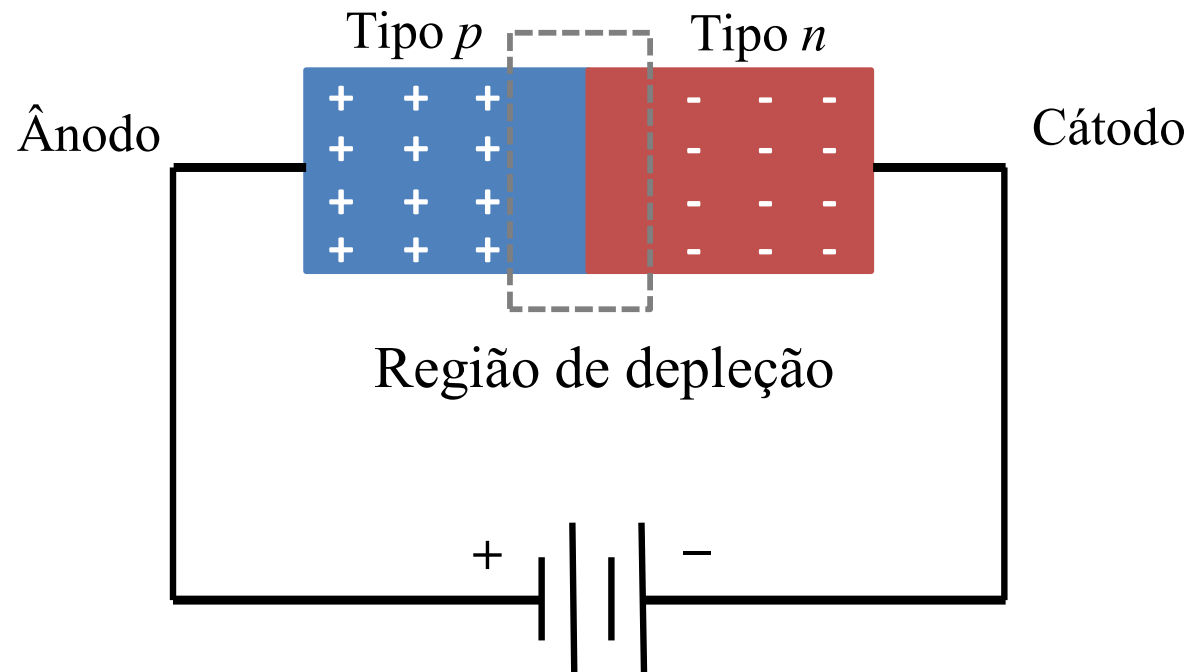
## Polarização Reversa

CIRCULA CORRENTE? **NÃO**

MOTIVO: As cargas positivas serão **atraídas** pelo polo negativo da fonte e a os elétrons livres serão **atraídos** pelo polo positivo da fonte. Com isso, a região de depleção irá aumentar (barreira grande demais para passar corrente).

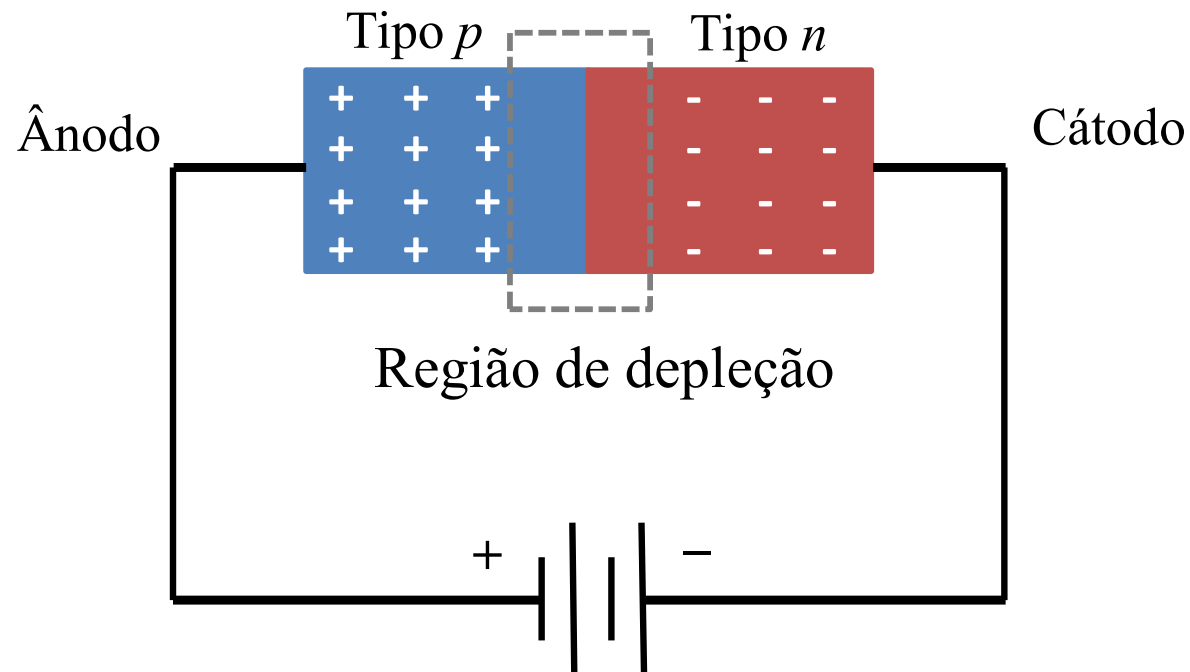


# DIODO SEMICONDUTOR



**Polarização Direta**

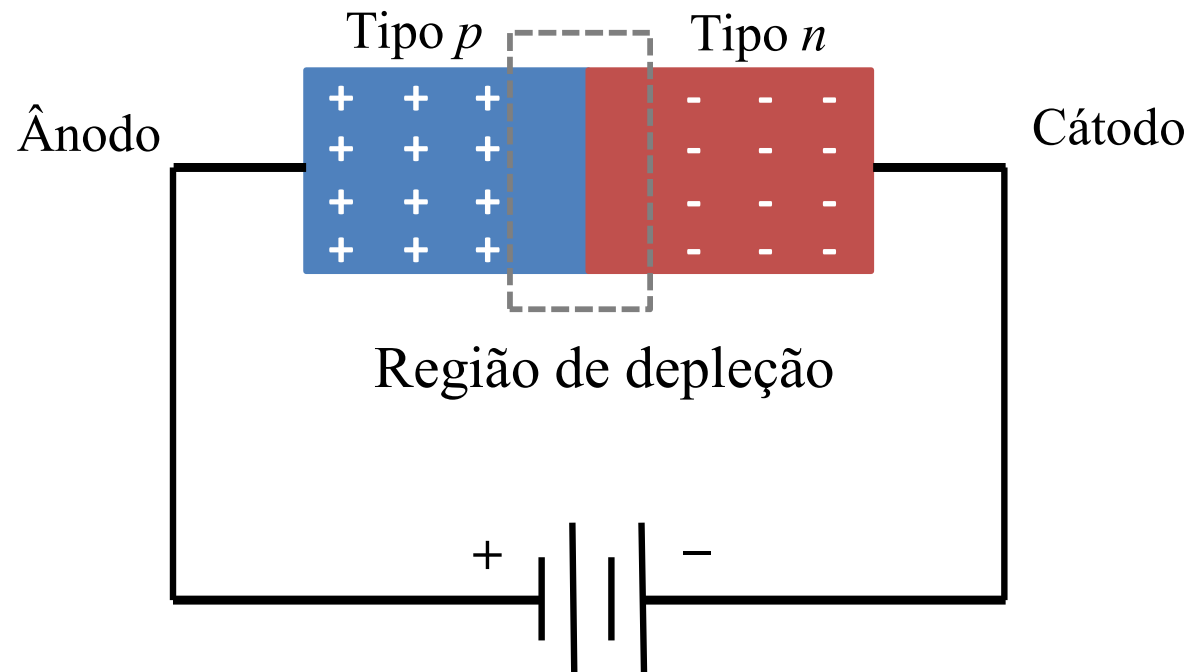
# DIODO SEMICONDUTOR



**Polarização Direta**

CIRCULA CORRENTE?

# DIODO SEMICONDUTOR



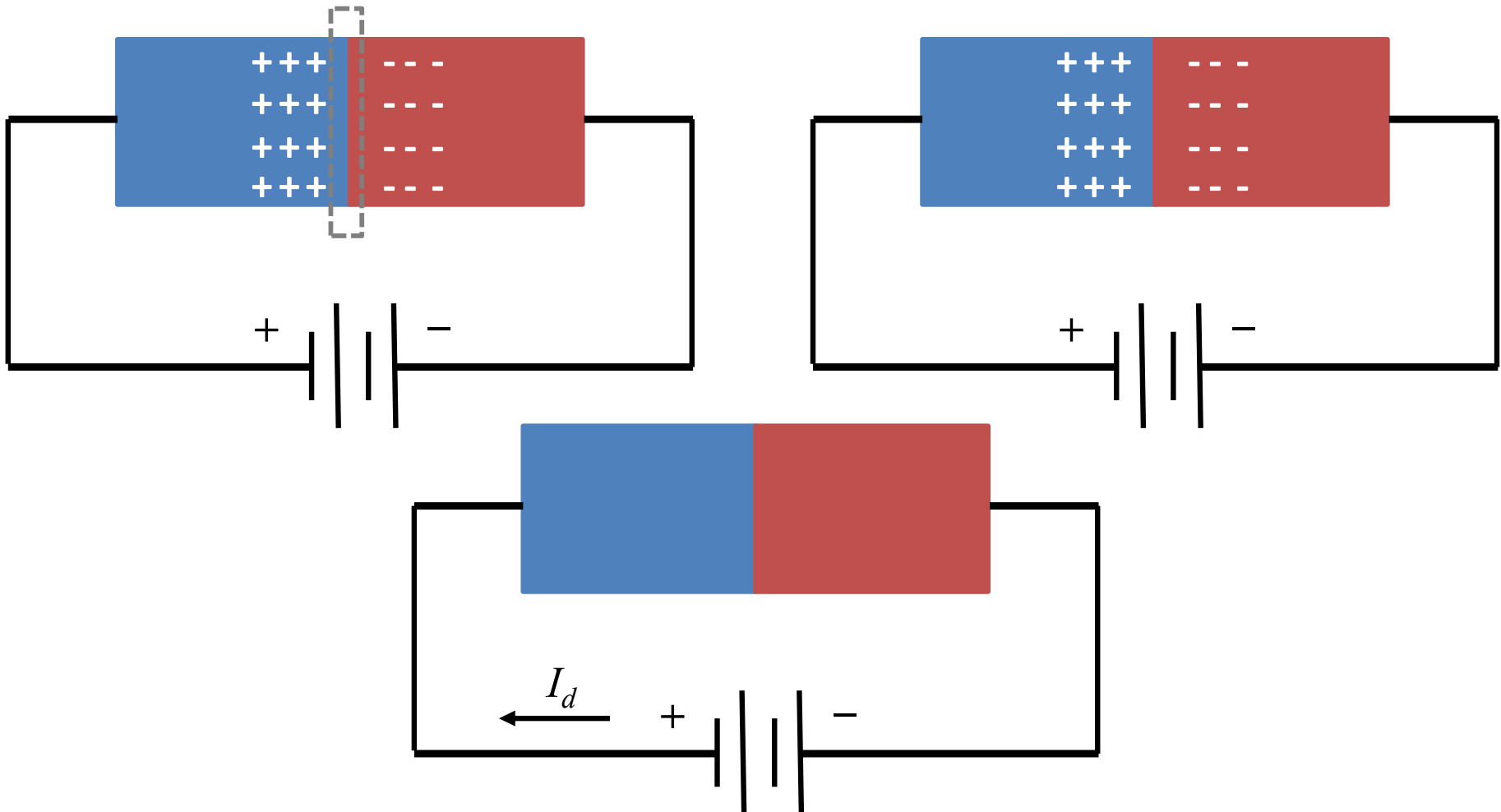
**Polarização Direta**  
CIRCULA CORRENTE? **SIM**

# DIODO SEMICONDUTOR



## Polarização Direta

CIRCULA CORRENTE? **SIM**



# DIODO SEMICONDUTOR



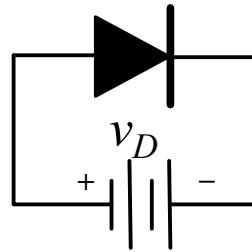
- É o mais simples dos componentes eletrônicos, possui somente dois terminais;
- Permite a circulação de corrente em somente um sentido (somente se estiver polarizado diretamente);
- Polarizado diretamente: curto circuito (conduz corrente);
- Polarizado reversamente: circuito aberto (não conduz corrente “isolante”).

# CARVA CARACTERÍSTICA IDEAL

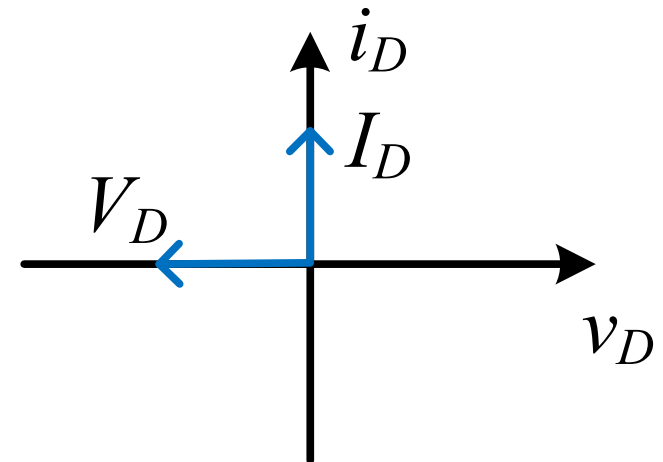
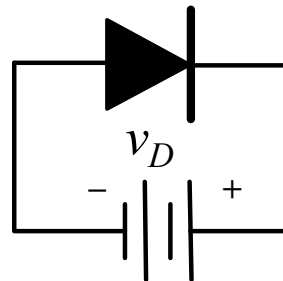


## ▪ CARACTERÍSTICAS IDEAIS:

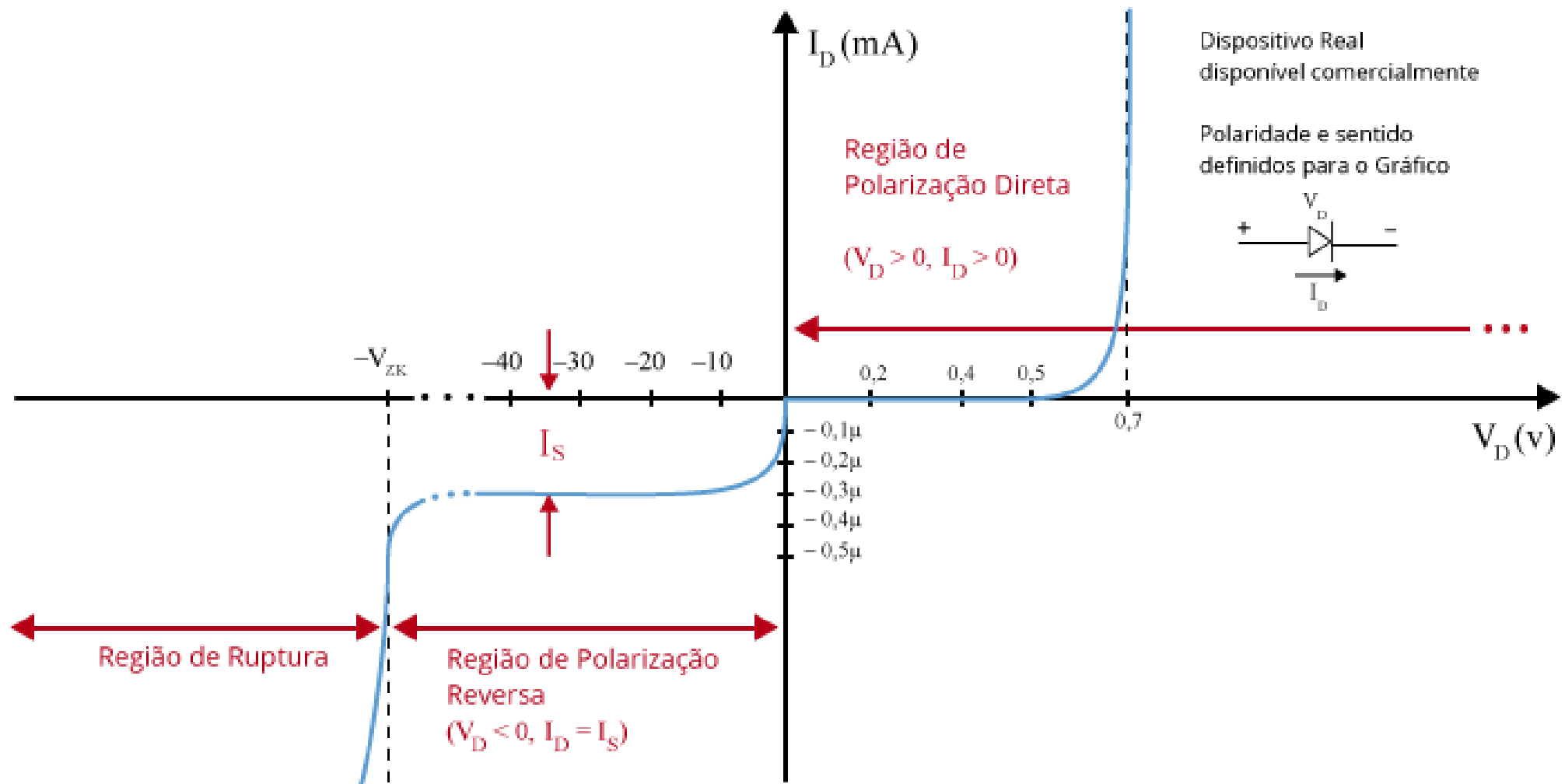
- ❑ Quando polarizado diretamente, independente do nível de tensão, conduz uma corrente  $i_D$  instantaneamente.



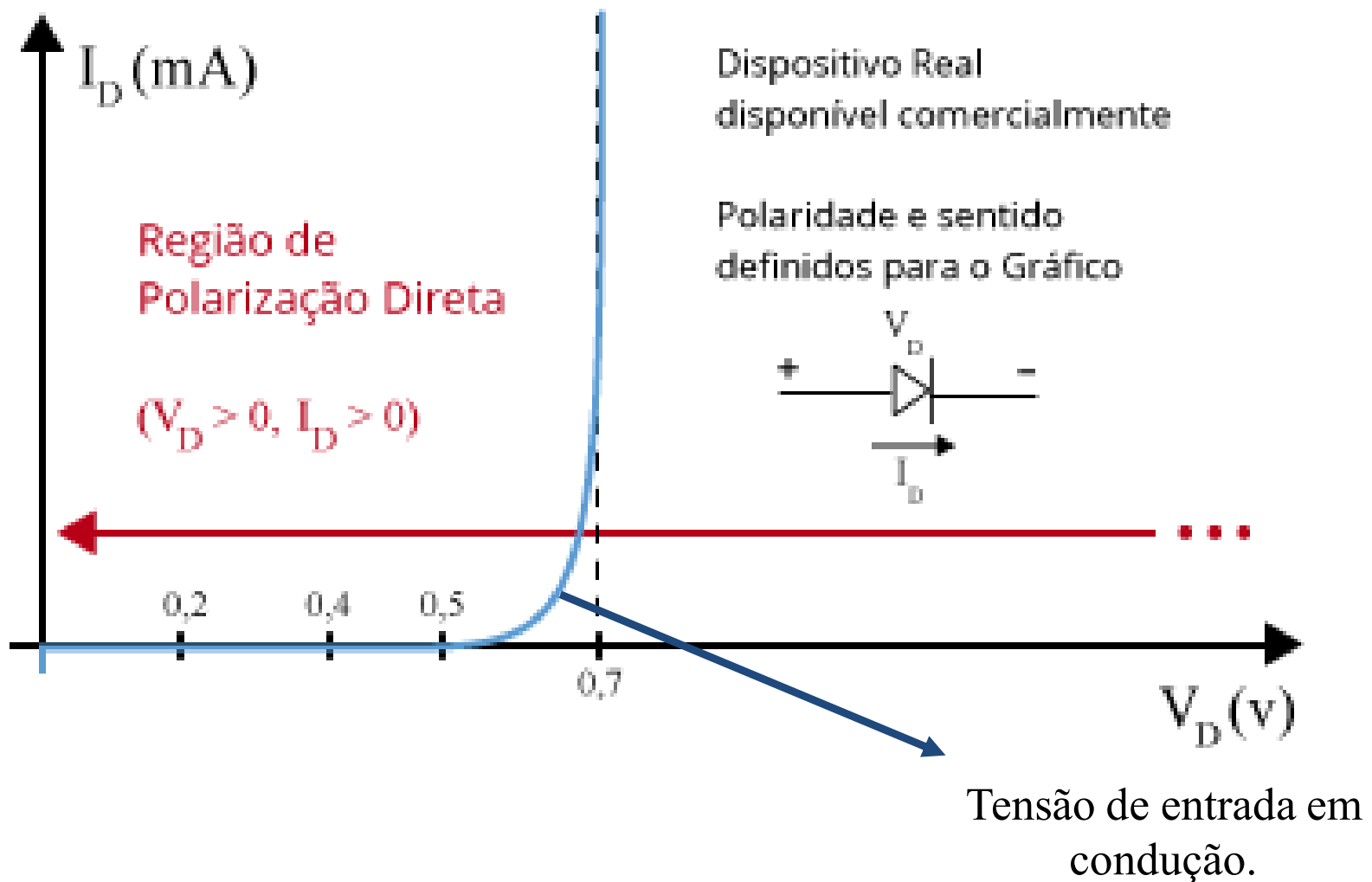
- ❑ Quando polarizado reversamente, suporta uma tensão reversa infinita.



# CURVA CARACTERÍSTICA

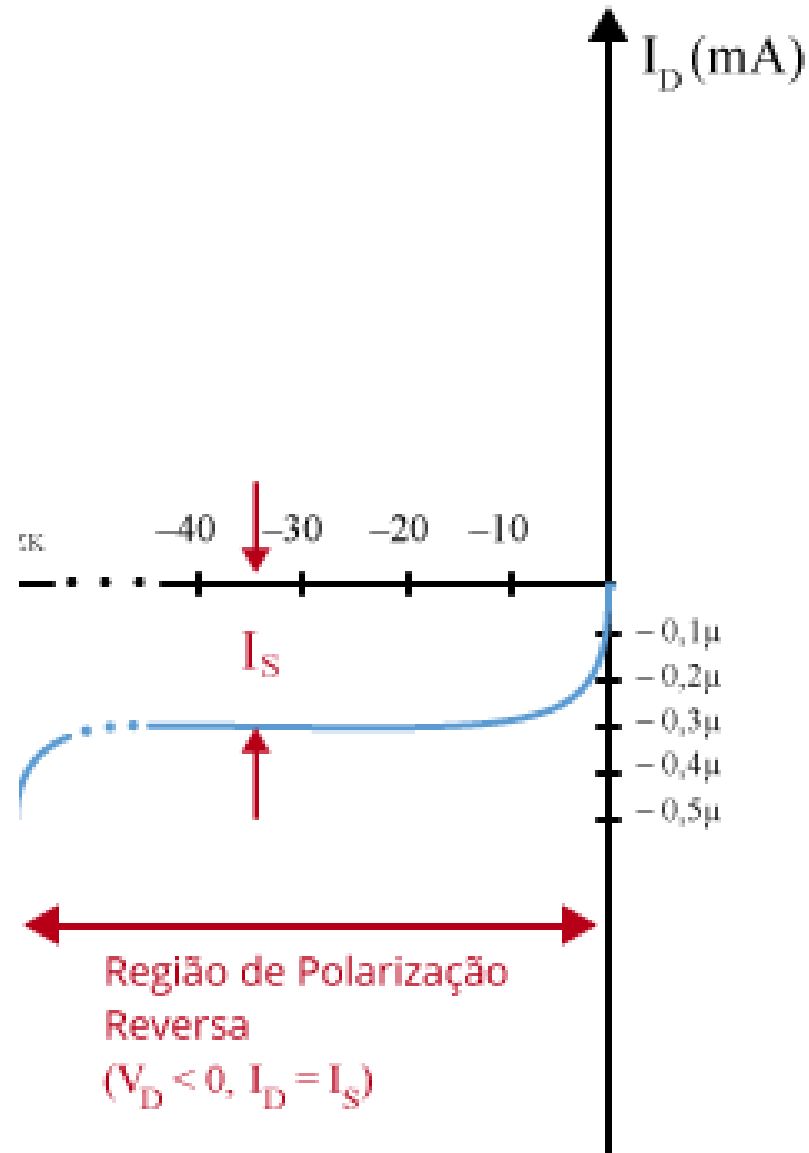


# CURVA CARACTERÍSTICA

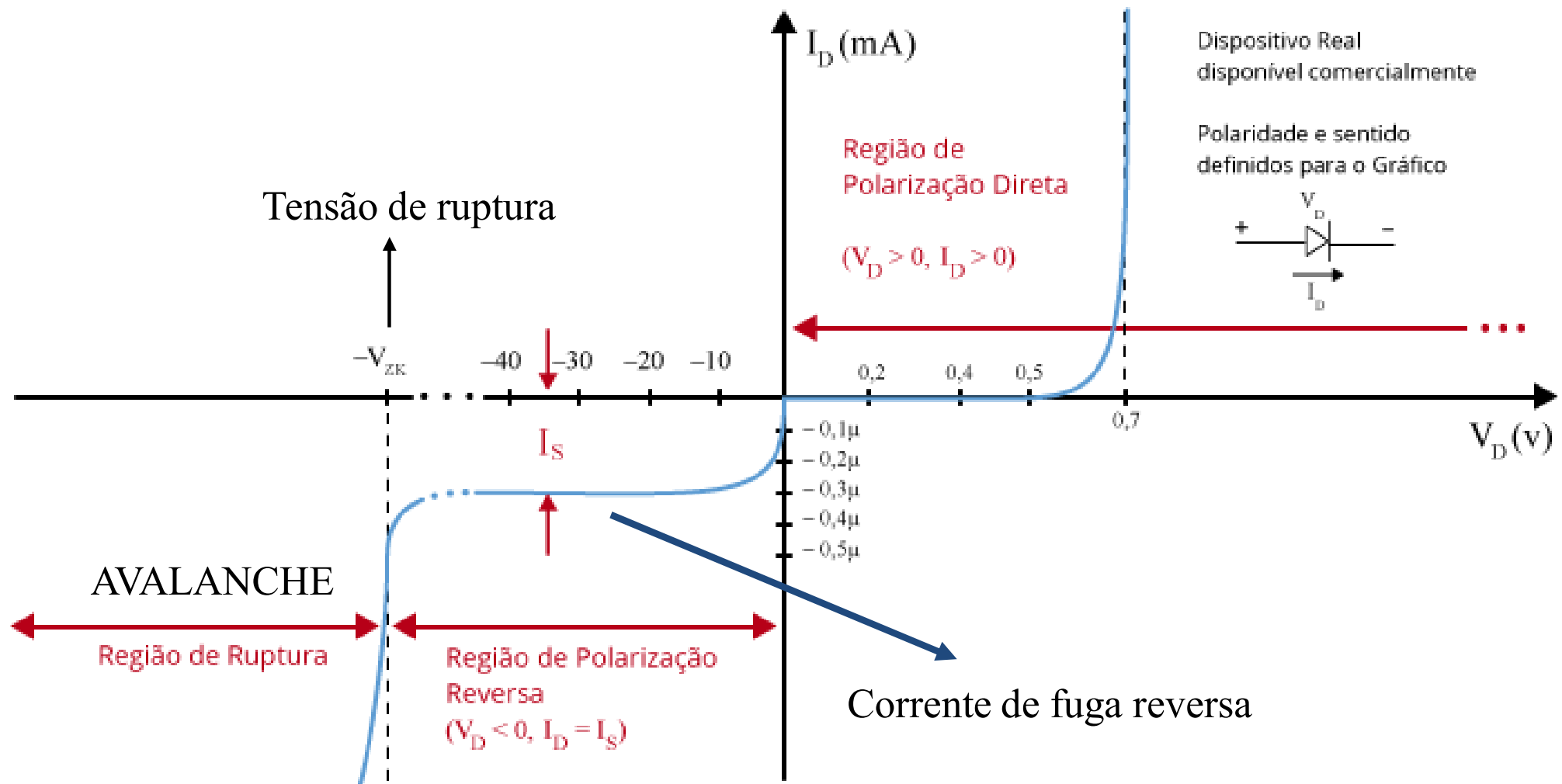




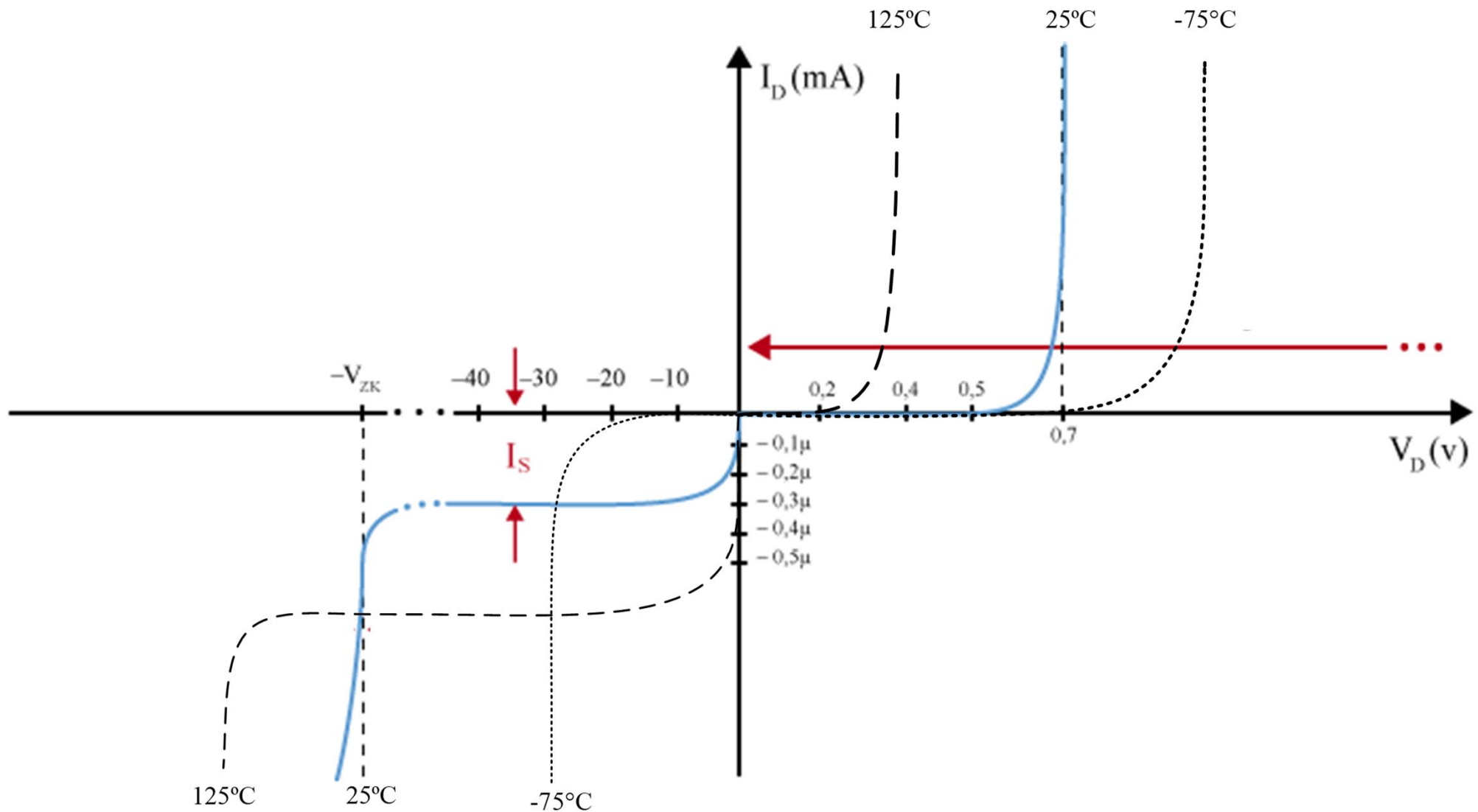
# CURVA CARACTERÍSTICA



# CURVA CARACTERÍSTICA



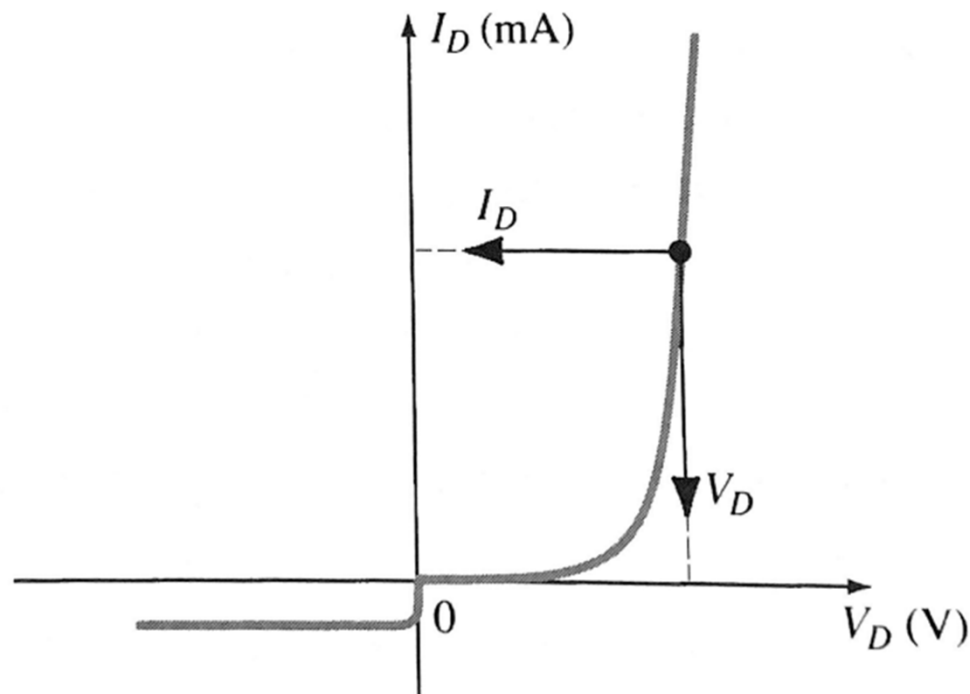
# CURVA CARACTERÍSTICA



# RESISTÊNCIA CC OU ESTÁTICA



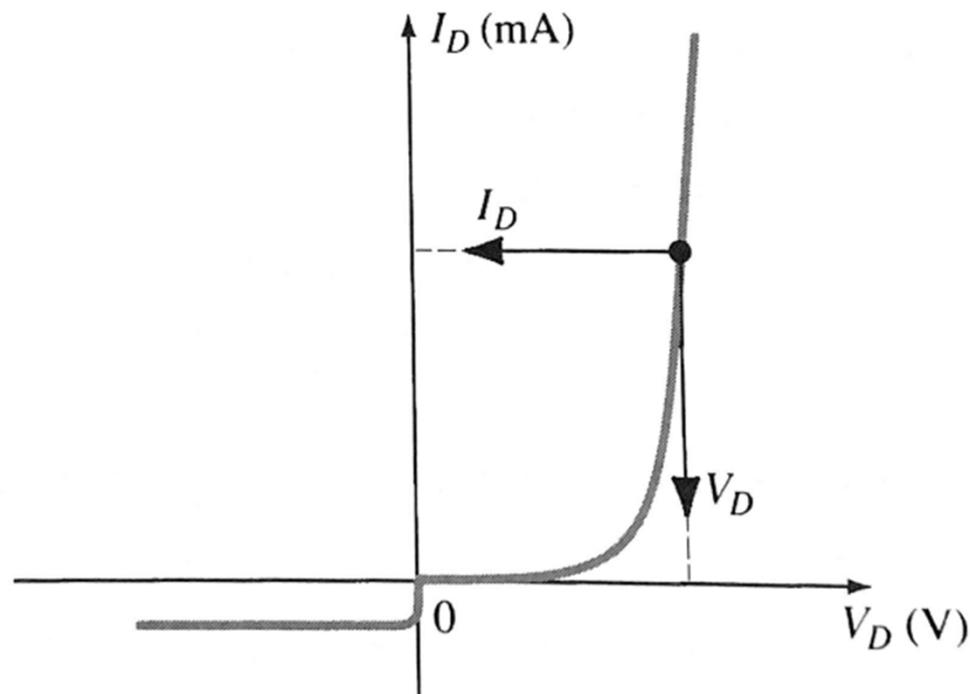
- A aplicação de um tensão CC a um circuito que contenha um diodo semicondutor resultará em um ponto de operação na curva característica que não mudará com o tempo.



# RESISTÊNCIA CC OU ESTÁTICA



- A aplicação de uma tensão CC a um circuito que contenha um diodo semicondutor resultará em um ponto de operação na curva característica que não mudará com o tempo.



**Lei de Ohm:**

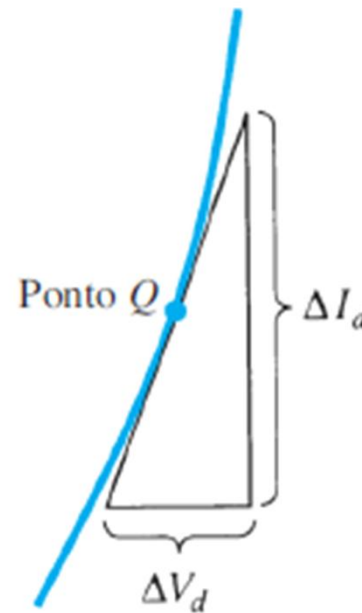
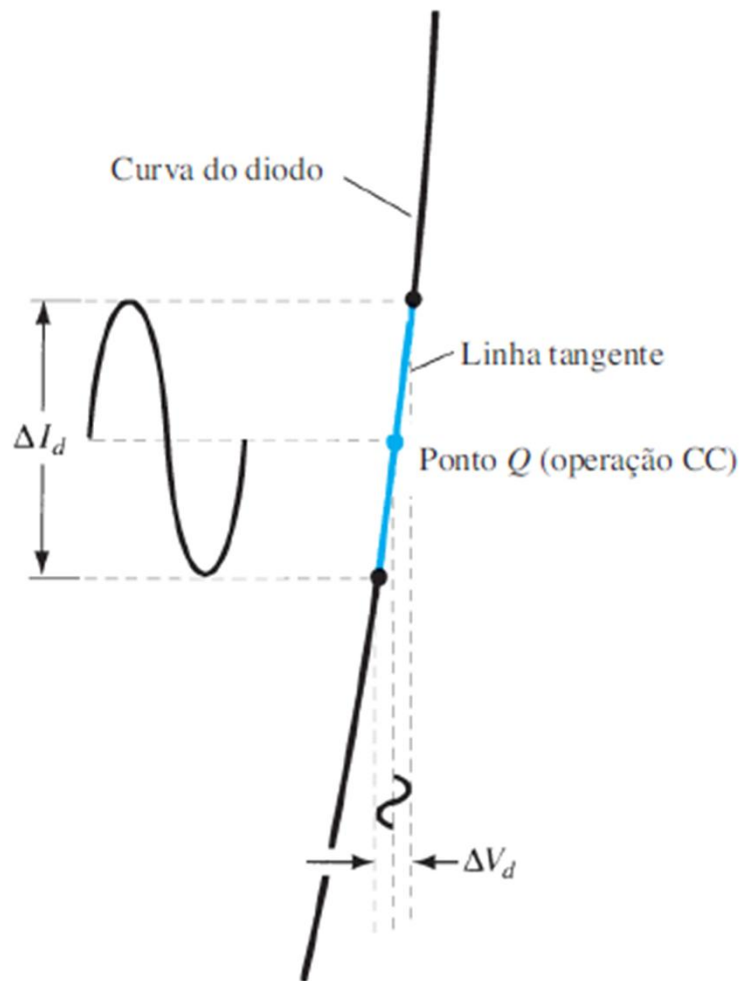
$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

Quanto maior a corrente,  
menor a resistência.

# RESISTÊNCIA CA OU DINÂMICA



- Aplicação de uma tensão CA:



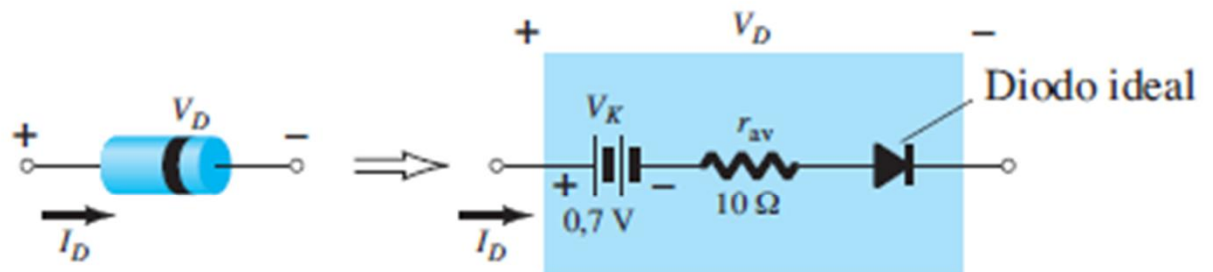
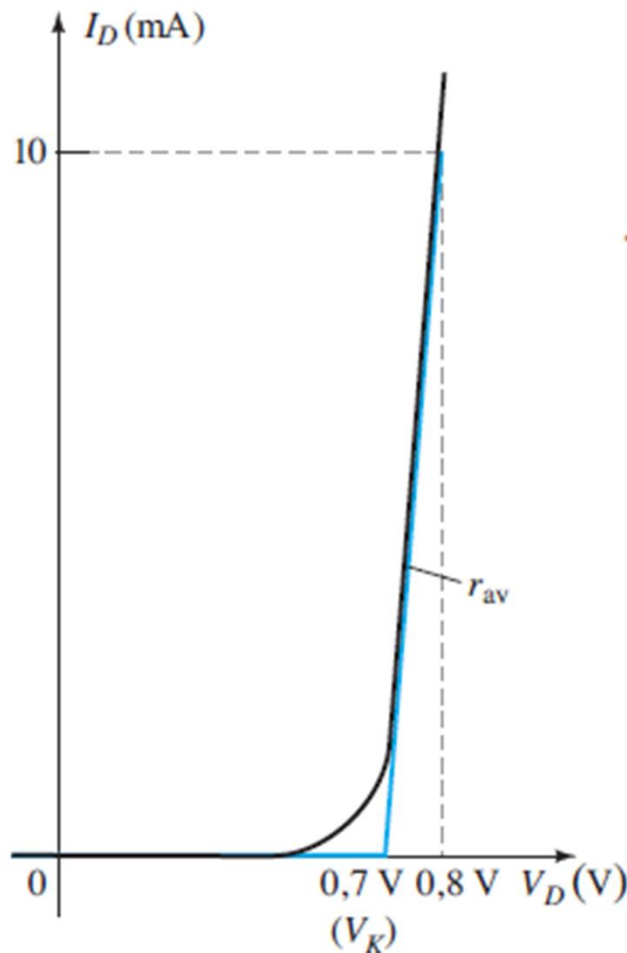
**Lei de Ohm:**

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

# CIRCUITOS EQUIVALENTES



- Circuito equivalente linear por partes:

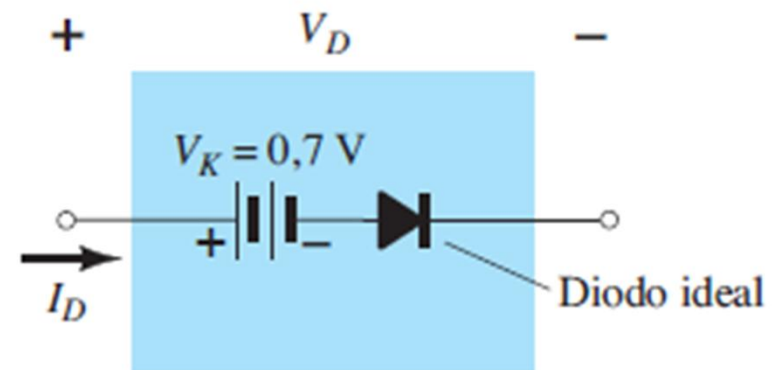
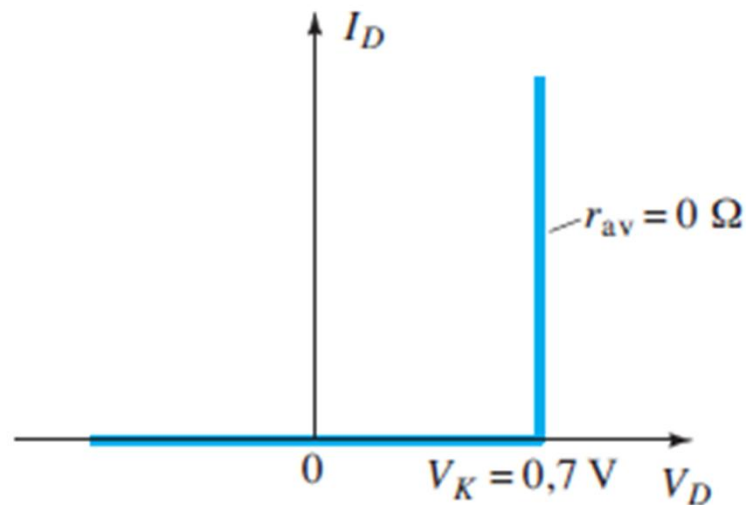


$$r_{av} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0,8 - 0,7}{10m - 0} = 10\Omega$$

# CIRCUITOS EQUIVALENTES



- Circuito equivalente simplificado:

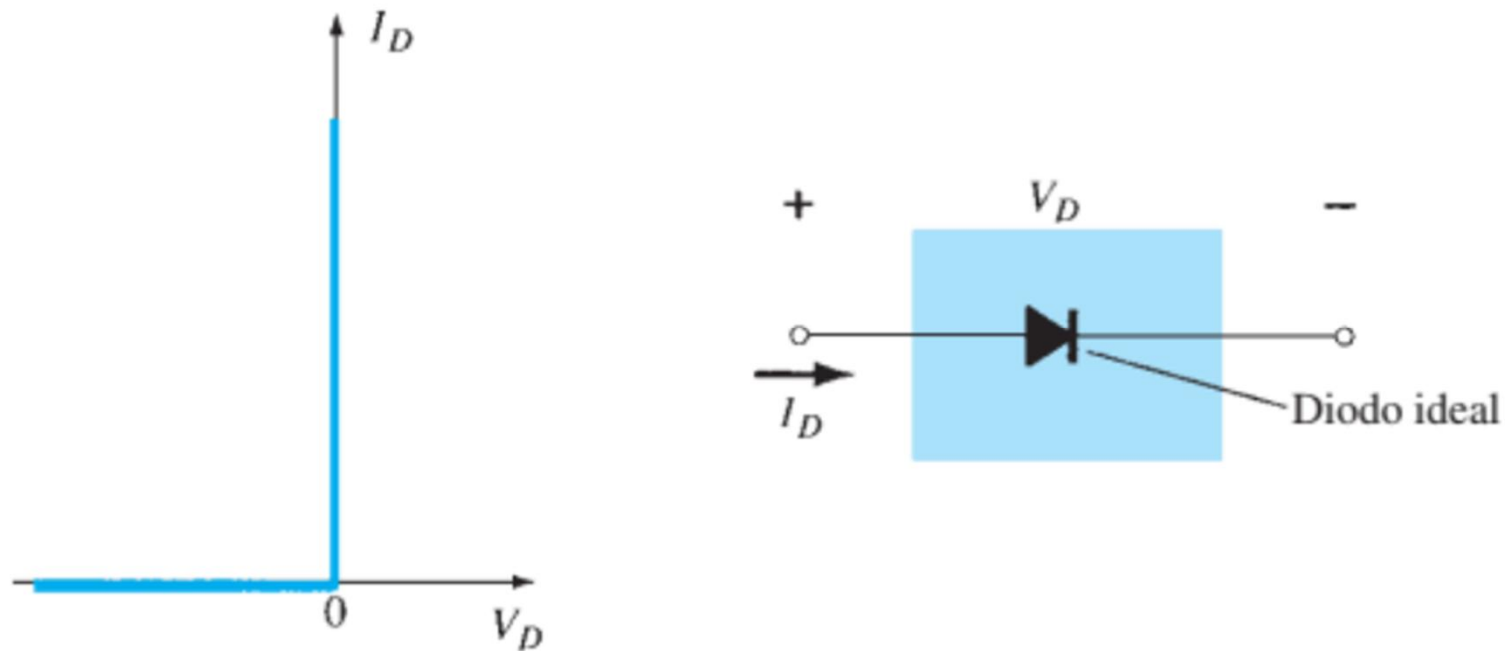




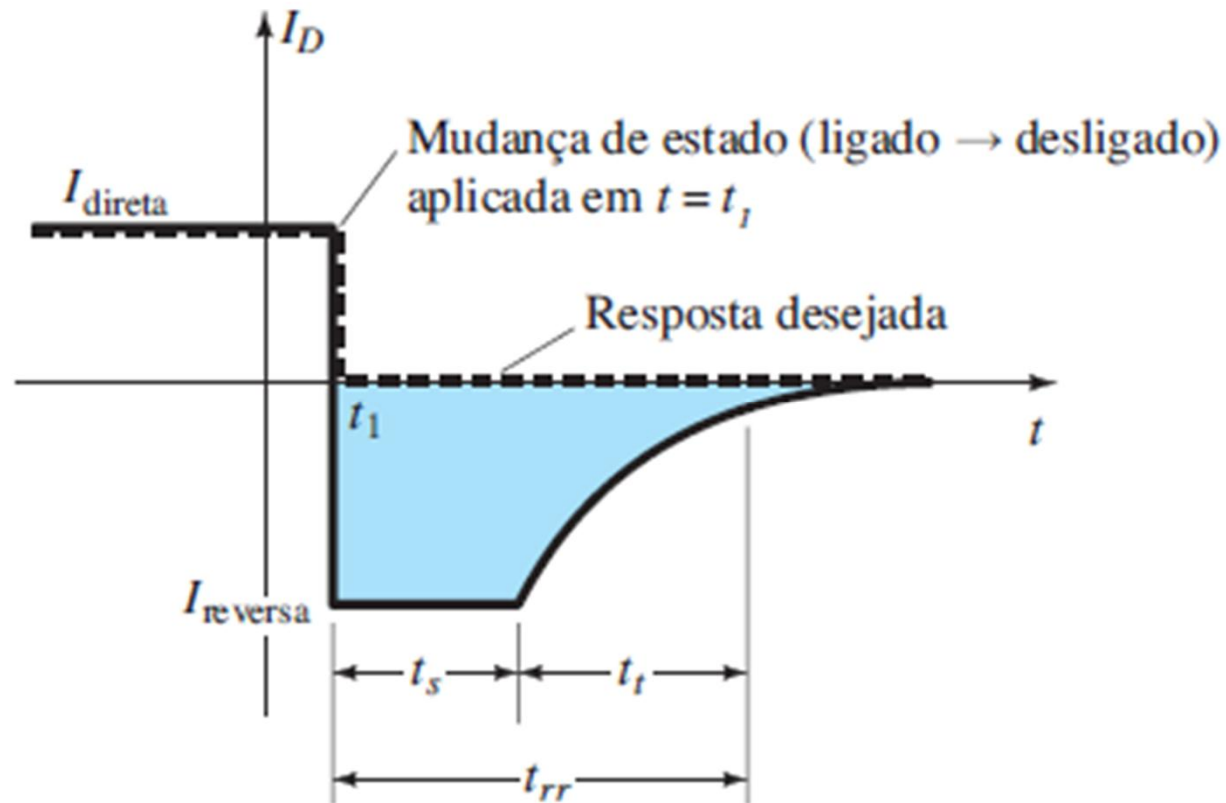
# CIRCUITOS EQUIVALENTES



- Circuito equivalente ideal:



# TEMPO DE RECUPERAÇÃO REVERSA





[www.vishay.com](http://www.vishay.com)

**1N4148**

Vishay Semiconductors

## Small Signal Fast Switching Diodes



### FEATURES

- Silicon epitaxial planar diode
- Electrically equivalent diodes:  
1N4148 - 1N914
- Material categorization:  
for definitions of compliance please see  
[www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



**RoHS**  
COMPLIANT  
HALOGEN  
**FREE**

### APPLICATIONS

- Extreme fast switches

**DESIGN SUPPORT TOOLS** click logo to get started



### MECHANICAL DATA

**Case:** DO-35 (DO-204AH)

**Weight:** approx. 105 mg

**Cathode band color:** black

**Packaging codes / options:**

TR/10K per 13" reel (52 mm tape), 50K/box

TAP/10K per ammpack (52 mm tape), 50K/box

# FOLHA DE DADOS



## PARTS TABLE

PART	ORDERING CODE	TYPE MARKING	CIRCUIT CONFIGURATION	REMARKS
1N4148	1N4148-TAP or 1N4148TR	V4148	Single	Tape and reel / ammpack

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak reverse voltage		$V_{RRM}$	100	V
Reverse voltage		$V_R$	75	V
Peak forward surge current	$t_p = 1\text{ }\mu\text{s}$	$I_{FSM}$	2	A
Repetitive peak forward current		$I_{FRM}$	500	mA
Forward continuous current		$I_F$	300	mA
Average forward current	$V_R = 0$	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	$l = 4\text{ mm}, T_L = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$	$P_{tot}$	440	mW
	$l = 4\text{ mm}, T_L \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$P_{tot}$	500	mW

## THERMAL CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Thermal resistance junction to ambient air	$l = 4\text{ mm}, T_L = \text{constant}$	$R_{thJA}$	350	K/W
Junction temperature		$T_j$	175	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	-65 to +150	$^{\circ}\text{C}$

# FOLHA DE DADOS



<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b> ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	$V_F$			1	V
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	$I_R$			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	$I_R$			50	$\mu\text{A}$
	$V_R = 75\text{ V}$	$I_R$			5	$\mu\text{A}$
Breakdown voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_p/T = 0.01,$ $t_p = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz},$ $V_{HF} = 50\text{ mV}$	$C_D$			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	$\eta_r$	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA},$ $i_R = 1\text{ mA}$	$t_{rr}$			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V},$ $i_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	$t_{rr}$			4	ns

# FOLHA DE DADOS

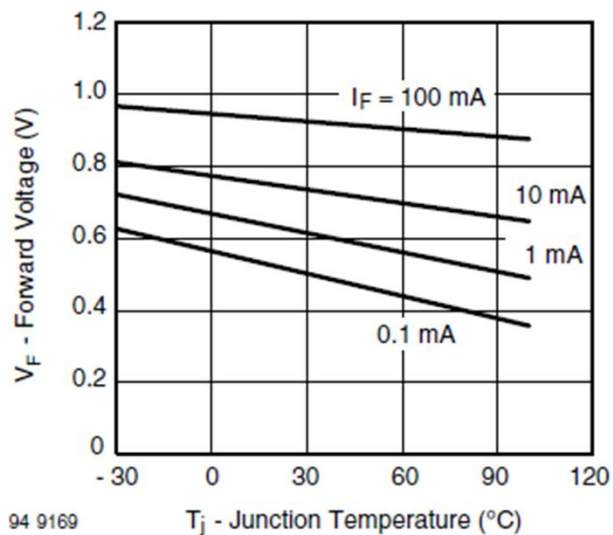


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature

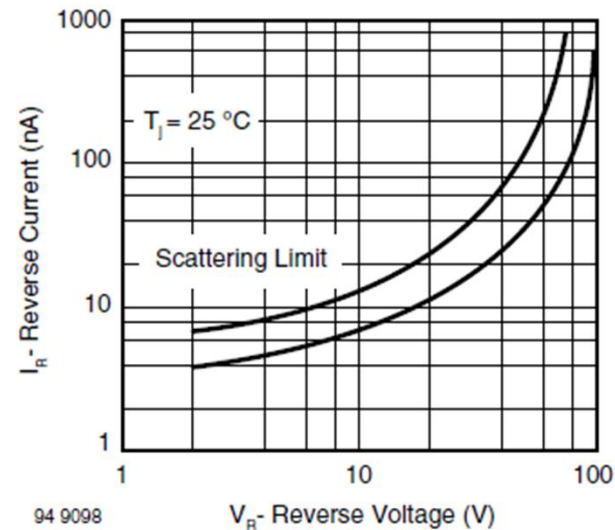


Fig. 3 - Reverse Current vs. Reverse Voltage

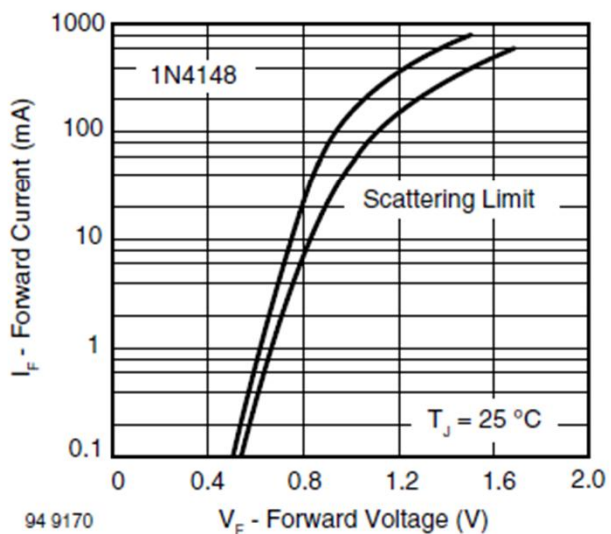


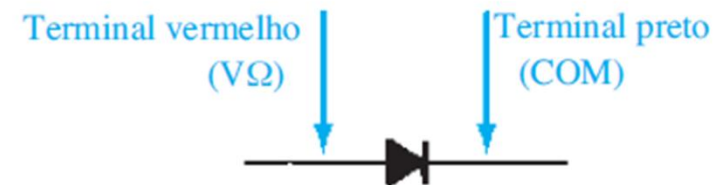
Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage



# TESTE DO DIODO



Testes com multímetro:

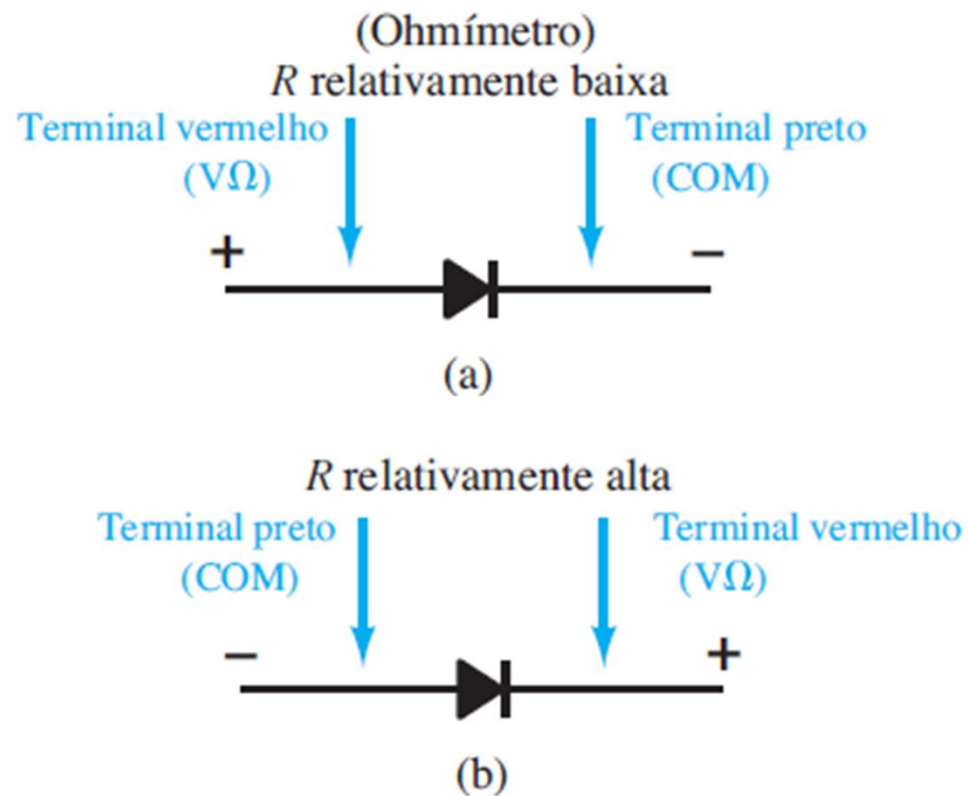


Diodo deve estar no estado “ligado” (*on*) e sua tela fornecerá uma indicação de tensão de polarização direta.

# TESTE DO DIODO



Testes com ohmímetro:





# OUTROS TIPOS DE DIODOS

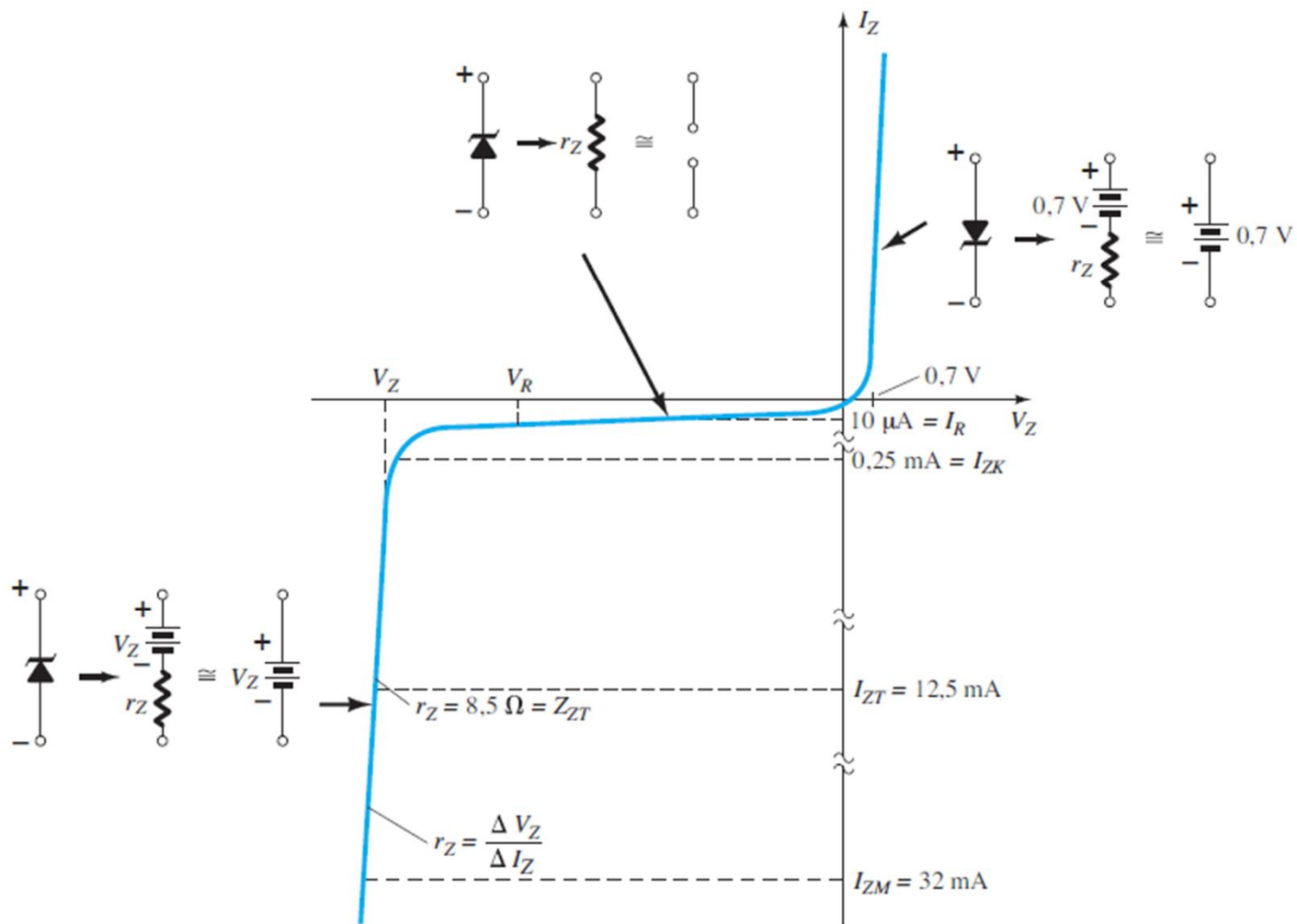
# DIODO ZENER



Símbolo

- Fabricado justamente para operar com a polarização reversa.
- Quando a tensão de ruptura do diodo zener é atingida, a mesma torna-se praticamente constante independentemente da corrente que passa pelo diodo.
- Quando polarizado diretamente, opera como o diodo semicondutor visto anteriormente.
- Utilizado para proteção em alguns circuitos.

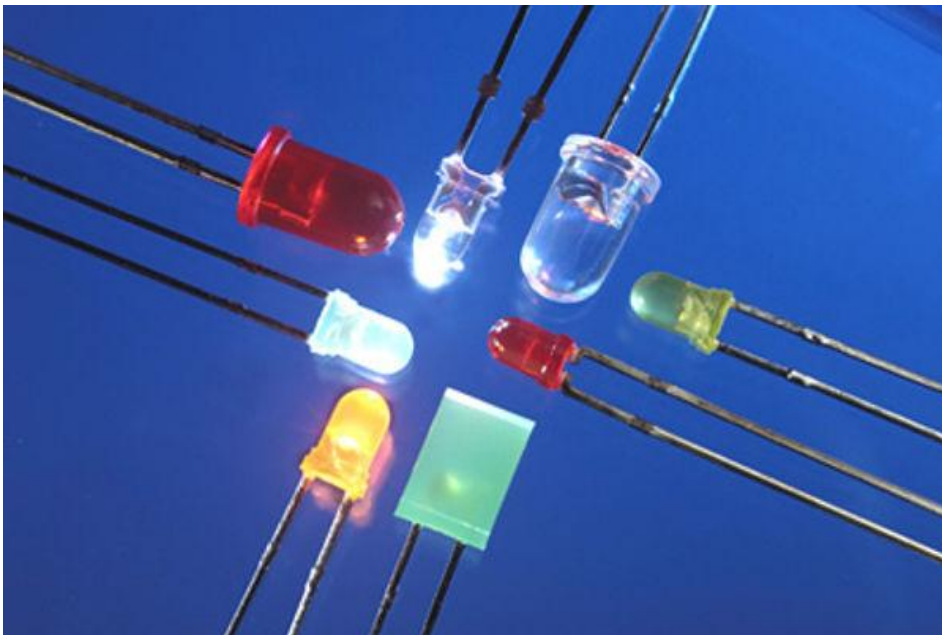
# DIODO ZENER



# DIODO EMISSOR DE LUZ



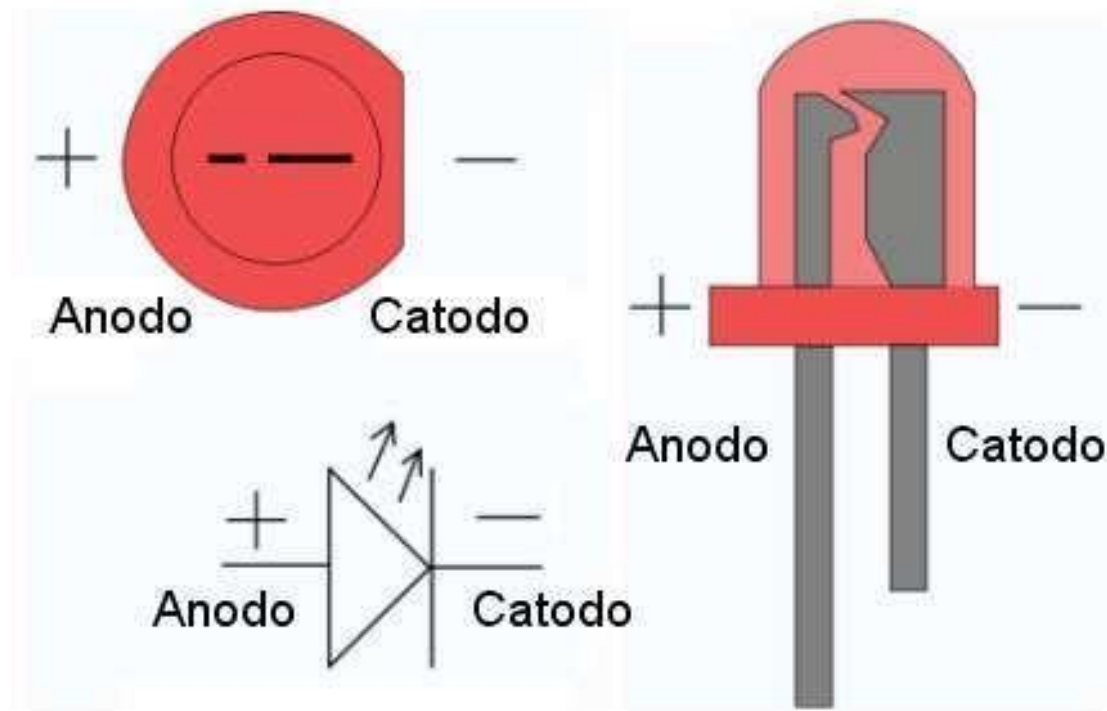
- LEDs



# DIODO EMISSOR DE LUZ



- LEDs



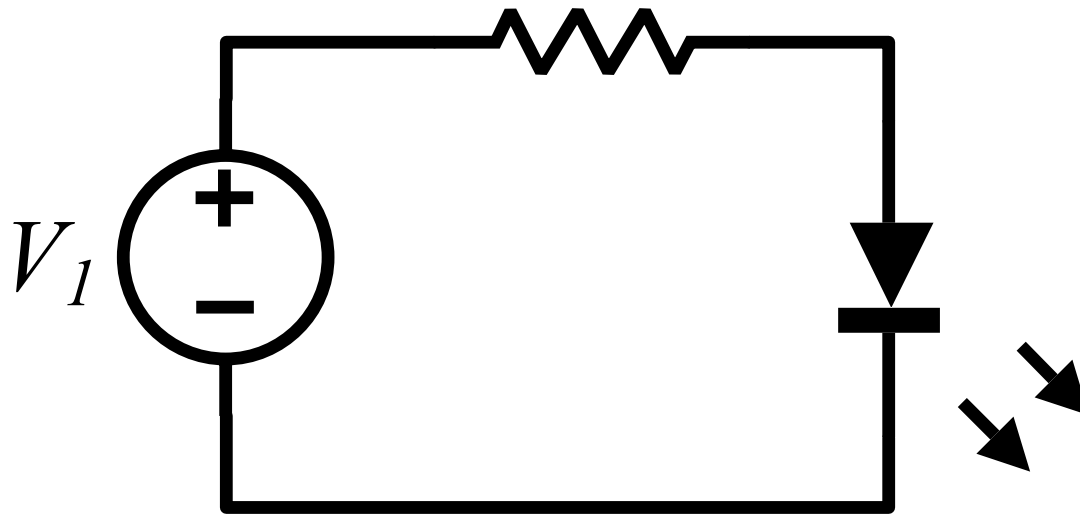
Símbolo

# DIODO EMISSOR DE LUZ



- Para emitir luz precisam estar polarizados diretamente, e a corrente deve ser limitada em aproximadamente 20 m A.

Resistor pra limitar a corrente



# REFERÊNCIA



- BOYLESTAD, R.L., NASCHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 11ed., Prentice-Hall, 2013.
- <https://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Campus Joinville**  
**Centro Tecnológico de Joinville - CTJ**  
**Departamento de Engenharias da Mobilidade**

**Até a próxima aula!**