

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.1 – O átomo e sua constituição

- átomos: partícula elementar da matéria, que, se subdividida, faz o elemento perder suas características.
- Molécula: menor porção possível de conjunto de átomos;
- Cada elemento tem uma estrutura própria;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.1 – O átomo e sua constituição

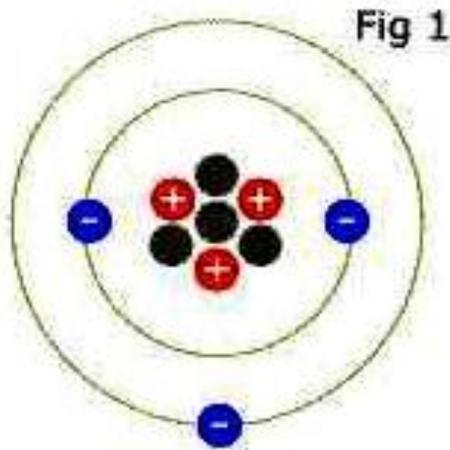
- Composição atômica
 - **prótons** estão sempre presentes no núcleo e têm carga elétrica positiva.
 - **nêutrons** podem estar ou não presentes no núcleo e não têm carga elétrica. Sua massa é próxima da do próton.
 - **elétrons** estão sempre nas órbitas e têm carga elétrica negativa, mas de magnitude igual à do próton
 - átomo é caracterizado pela quantidade de prótons no núcleo – **número atômico**

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.1 – O átomo e sua constituição

- Composição atômica



Lítio – 3 prótons, 4 nêutrons e 3 elétrons

Tabela Periódica dos Elementos

1 IA 1 H Hidrogênio 1.00794	2 IIA 4 Be Berílio 9.012182											13 IIIA 5 B Boro 10.811	14 IVA 6 C Carbono 12.0107	15 VA 7 N Nitrogênio 14.00674	16 VIA 8 O Oxigênio 15.9994	17 VIIA 9 F Fluor 18.9984032	18 VIIIA 2 He Hélio 4.002602	
3 Li Lítio 6.941	11 Na Sódio 22.989770	12 Mg Magnésio 24.3050	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 Al Alumínio 26.981538	14 Si Silício 28.0855	15 P Fósforo 30.973761	16 S Enxofre 32.066	17 Cl Cloro 35.453	18 Ar Argônio 39.948
19 K Potássio 39.0983	20 Ca Cálcio 40.078	21 Sc Escândio 44.955910	22 Ti Titânio 47.867	23 V Vanádio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganês 54.938049	26 Fe Ferro 55.8457	27 Co Cobalto 58.933200	28 Ni Níquel 58.6934	29 Cu Cobre 63.546	30 Zn Zinco 65.409	31 Ga Gálio 69.723	32 Ge Germaniô 72.64	33 As Arsênio 74.9216	34 Se Selênio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Criptônio 83.798	
37 Rb Rubídio 85.4678	38 Sr Estrôncio 87.62	39 Y Ítrio 88.90585	40 Zr Zircônio 91.224	41 Nb Nióbio 92.90638	42 Mo Molibdênio 95.94	43 Tc Técnicio (98)	44 Ru Rutênio 101.07	45 Rh Ródio 102.90550	46 Pd Paládio 106.42	47 Ag Prata 107.8682	48 Cd Cádmio 112.411	49 In Índio 114.818	50 Sn Estanho 118.710	51 Sb Antimônio 121.760	52 Te Telúrio 127.60	53 I Iodo 126.90447	54 Xe Xenônio 131.293	
55 Cs Césio 132.90545	56 Ba Bário 137.327	57 to 71	72 Hf Háfênio 178.49	73 Ta Tântalo 180.9479	74 W Tungstênio 183.84	75 Re Rênio 186.207	76 Os Ósmio 190.23	77 Ir Írídio 192.217	78 Pt Platina 195.078	79 Au Ouro 196.96655	80 Hg Mercúrio 200.59	81 Tl Tálio 204.3833	82 Pb Chumbo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98038	84 Po Polônio (209)	85 At Astató (210)	86 Rn Radônio (222)	
87 Fr Frâncio (223)	88 Ra Rádio (226)	89 to 103	104 Rf Ruterfórdio (261)	105 Db Dúbnio (262)	106 Sg Seabórgio (266)	107 Bh Bório (264)	108 Hs Hássio (269)	109 Mt Meitnério (268)	110 Ds Darmstádio (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquádmio (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (292)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium	

- Metais alcalinos
- Metais alcalinos-terrosos
- Metais de transição
- Lantanídeos
- Actinídios
- Outros metais
- Não-Metais
- Gases nobres
- Sólidos
- Líquidos
- Gases
- Sintético

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138.9055	58 Ce Cério 140.116	59 Pr Praseodímio 140.90765	60 Nd Neodímio 144.24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150.36	63 Eu Európio 151.964	64 Gd Gadolínio 157.25	65 Tb Térbio 158.92534	66 Dy Dísprio 162.500	67 Ho Hólmio 164.93032	68 Er Érbio 167.259	69 Tm Túlio 168.93421	70 Yb Ítério 173.04	71 Lu Lutécio 174.967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232.0381	91 Pa Protactínio 231.03588	92 U Urânio 238.02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (268)	102 No Nobélio (269)	103 Lr Laurêncio (262)

Periodic Table of the Elements, in Pictures

Periods
1
2
3
4
5
6
7

Group 1

H 1 Hydrogen
Sun & Stars
Water

Li 3 Lithium
Watch Batteries

Na 11 Sodium
Baking Soda

Group 2 Alkali Earth Metals

Be 4 Beryllium
Emeralds

Mg 12 Magnesium
Green Plants

Key

Symbol → **C** 6 ← Atomic Number
Name → Carbon
Use or Occurrence → Plants and Animals

Color Key

- Alkali Metals
- Alkali Earth Metals
- Transition Metals
- Other Metals
- Other Non-Metals
- Halogens
- Inert Gases
- Lanthanides
- Actinides
- Trans-Actinides

Solid
 Liquid
 Gas
 at room temperature

Radioactive
 Man-Made

Atoms

nucleus
orbits

proton
 neutron
 electron

Atoms have a nucleus of protons and neutrons surrounded by electrons.
The number of electrons in an uncharged atom is the same as the number of protons.

Molecules

H_2O

Atoms combine to make molecules by sharing or trading their outer electrons.
Many atoms prefer to have eight electrons in their outer orbit like the oxygen atom in H_2O .

Group 3 Boron Group

B 5 Boron
Heat-Resistant Glassware

Al 13 Aluminum
Foil

Group 4 Carbon Group

C 6 Carbon
Plants and Animals

Si 14 Silicon
Rocks, Sand, & Dirt

Group 5 Nitrogen Group

N 7 Nitrogen
Air

P 15 Phosphorus
Bones

Group 6 Oxygen Group

O 8 Oxygen
Air
Water

S 16 Sulphur
Egg Yolks

Group 7 Halogens

F 9 Fluorine
Toothpaste

Cl 17 Chlorine
Bleach

Group 8 Inert Gases

He 2 Helium
Balloons

Ne 10 Neon
Signs

Ar 18 Argon
Light Bulbs

T R A N S I T I O N M E T A L S

K 19 Potassium Fertilizer	Ca 20 Calcium Teeth	Sc 21 Scandium Aquamarines	Ti 22 Titanium Jets	V 23 Vanadium Springs	Cr 24 Chromium Car Trim	Mn 25 Manganese Rock Crushers	Fe 26 Iron Buildings	Co 27 Cobalt Magnets	Ni 28 Nickel Coins	Cu 29 Copper Electric Wires	Zn 30 Zinc Brass	Ga 31 Gallium Light-Emitting Diodes	Ge 32 Germanium Electronics	As 33 Arsenic Poison	Se 34 Selenium Solar Cells	Br 35 Bromine Sedatives	Kr 36 Krypton Lasers
Rb 37 Rubidium Solar Cells	Sr 38 Strontium Fireworks	Y 39 Yttrium Color Phosphors	Zr 40 Zirconium Zircon Gems	Nb 41 Niobium Mag Lev Trains	Mo 42 Molybdenum Cutting Tools	Tc 43 Technetium Medical Diagnosis	Ru 44 Ruthenium Electric Contacts	Rh 45 Rhodium Laboratory Crucibles	Pd 46 Palladium Pollution Control	Ag 47 Silver Film	Cd 48 Cadmium Rechargeable Batteries	In 49 Indium Electronics	Sn 50 Tin Cans	Sb 51 Antimony Type Metal	Te 52 Tellurium Solar Cells	I 53 Iodine Antiseptic	Xe 54 Xenon Lighthouses
Cs 55 Cesium Atomic Clocks	Ba 56 Barium Stomach X-Rays	Lanthanides See Below	Hf 72 Hafnium Nuclear Control	Ta 73 Tantalum Artificial Joints	W 74 Tungsten Light Bulbs	Re 75 Rhenium Special Light Bulbs	Os 76 Osmium Pen Points	Ir 77 Iridium Extinction Meteor	Pt 78 Platinum Jewelry	Au 79 Gold Jewelry	Hg 80 Mercury Thermometers	Tl 81 Thallium Poison	Pb 82 Lead Weights	Bi 83 Bismuth Fire Sprinklers	Po 84 Polonium Anti-Static Brushes	At 85 Astatine Few Uses Short-Lived	Rn 86 Radon Radiation Therapy
Fr 87 Francium Few Uses Short-Lived	Ra 88 Radium Luminous Paint	Actinides See Below	Rf 104 Rutherfordium	Db 105 Dubnium	Sg 106 Seaborgium	Bh 107 Bohrium	Hs 108 Hassium	Mt 109 Meitnerium	Uun 110 Ununnilium	Uuu 111 Unununium	Uub 112 Ununbium	Uut 113 Ununtrium	Uuq 114 Ununquadium	Uup 115 Ununpentium	Uuh 116 Ununhexium	Uus 117 Ununseptium	Uuo 118 Ununoctium

† Trans-Actinides: These man-made atoms exist for less than a second.

Element 112 was the highest-numbered element yet created, as of 1996.

Groups

The vertical columns are called groups. Elements in the same group behave similarly because they have the same number of outer electrons.

Group 1 has one outer electron, group 2 has two, etc. Most transition metals have two.

Lanthanides or Rare Earth Metals

Actinides

La 57 Lanthanum Arc Lamps	Ce 58 Cerium Lighter Flints	Pr 59 Praseodymium Welder's Goggles	Nd 60 Neodymium Telescopes	Pm 61 Promethium Spacecraft Power	Sm 62 Samarium Arc Lamps	Eu 63 Europium Color Phosphors	Gd 64 Gadolinium Nuclear Control	Tb 65 Terbium Lasers	Dy 66 Dysprosium Nuclear Control	Ho 67 Holmium Color Phosphors	Er 68 Erbium Color Phosphors	Tm 69 Thulium Color Phosphors	Yb 70 Ytterbium Color Phosphors	Lu 71 Lutetium Color Phosphors
Ac 89 Actinium Neutron Source	Th 90 Thorium Lantern Mantles	Pa 91 Protactinium Few Uses Very Rare	U 92 Uranium Nuclear Power	Np 93 Neptunium Neutron Detectors	Pu 94 Plutonium Nuclear Weapons	Am 95 Americium Smoke Detectors	Cm 96 Curium Spacecraft Power	Bk 97 Berkelium Few Uses	Cf 98 Californium Gauges	Es 99 Einsteinium Short-Lived (Months)	Fm 100 Fermium Short-Lived (Days)	Md 101 Mendelevium Short-Lived (Hours)	No 102 Nobelium Short-Lived (Minutes)	Lr 103 Lawrencium Short-Lived (Seconds)

Copyright © 1997 Keith Enevoldsen

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.1 – O átomo e sua constituição

- Isótopos: mesmo elemento com diferentes números de nêutrons
- Carga elétrica é nula: 3 prótons e 3 elétrons
- Ligação do elétron com o átomo pode ser rompida ou adicionada
- Íon positivo ou íon negativo

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.2 – Níveis de Energia

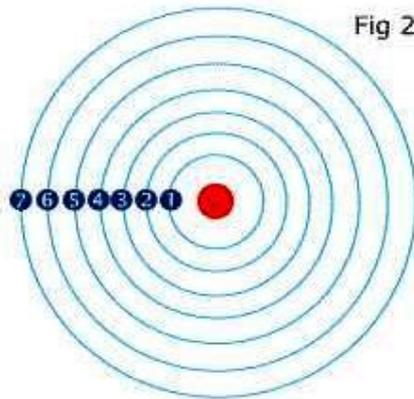
- Distribuição dos elétrons em torno do núcleo não é aleatória.
- **Um elétron tem uma energia potencial (EP) que depende da sua distância até o núcleo**
- **energia cinética (EC)** que depende da sua velocidade.
- soma de EP e EC é a energia total do elétron.
- A energia total que o elétron pode ter é definida em valores discretos
- O elétron só pode ocupar determinadas órbitas ou níveis de energia.

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.2 – Níveis de Energia

- Os níveis possíveis são **sete** e estão representados na Fig 2.



- Número máximo de elétrons em cada nível: limitado **princípio de exclusão de Pauli**
- $2n^2$ onde n é o número do nível.
 - Nível 1 poderá no máximo 2,
 - Nível 2 no máximo 8

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.2 – Níveis de Energia

- Regra geral na natureza: estabilização na menor energia possível.
 - Níveis são preenchidos na seqüência do menor para o maior
 - Elétrons em cada nível ocupam **subníveis** e cada um pode conter um número máximo de elétrons
 - subníveis são designados pelas letras **s**, **p**, **d** e **f** e os valores máximos são respectivamente 2, 6, 10 e 14.

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.3 - Valência

- elétrons em um átomo de cobre, número atômico 29.
- O nível mais externo (4, neste exemplo) é chamado de nível de valência;
- os elétrons presentes nele são os elétrons de valência.



Fig 3



Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.3 - Valência

- O número de elétrons de valência:
 - define a capacidade do átomo de ganhar ou perder elétrons e de se combinar com outros elementos.
 - propriedades químicas e elétricas dependem da valência.
- Para este caso do cobre: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$.

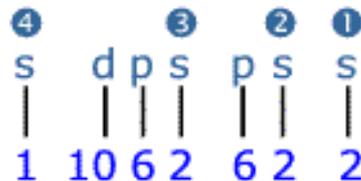


Fig 3



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.4 – Bandas de Energia

- Átomos juntos num material sólido:
 - as forças de interação entre os mesmos são significativas.
 - provoca uma alteração nos níveis de energia acima da valência.
 - podem existir níveis de energia não permitidos, logo acima da valência.
- Condução de eletricidade:
 - os elétrons de valência, sob ação de um potencial elétrico aplicado, saltem do nível de valência para um nível ou banda de condução.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.4 – Bandas de Energia

- **material condutor:**

- não existem níveis ou banda de energia proibida entre a condução e a valência;
- a corrente flui facilmente sob a ação do campo elétrico.

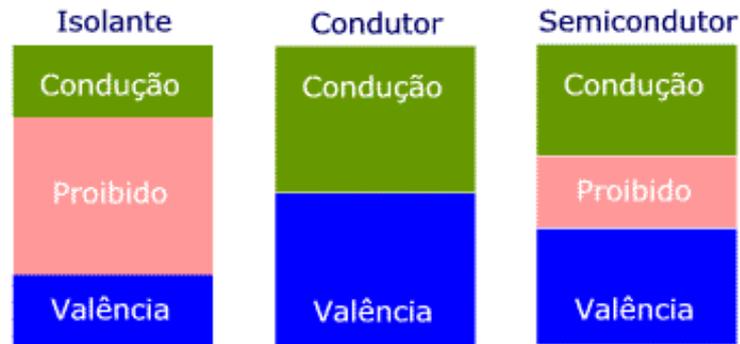


Fig 4

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.4 – Bandas de Energia

- **material isolante:** tem uma larga banda proibida entre a valência e condução. Dificilmente haverá condução da corrente.
- **semicondutores:** possuem bandas proibidas com larguras intermediárias. Isto significa que podem apresentar alguma condução, melhor que os isolantes mas pior que os condutores.

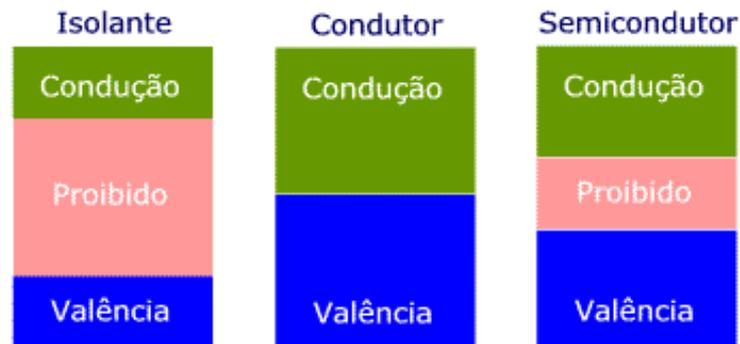
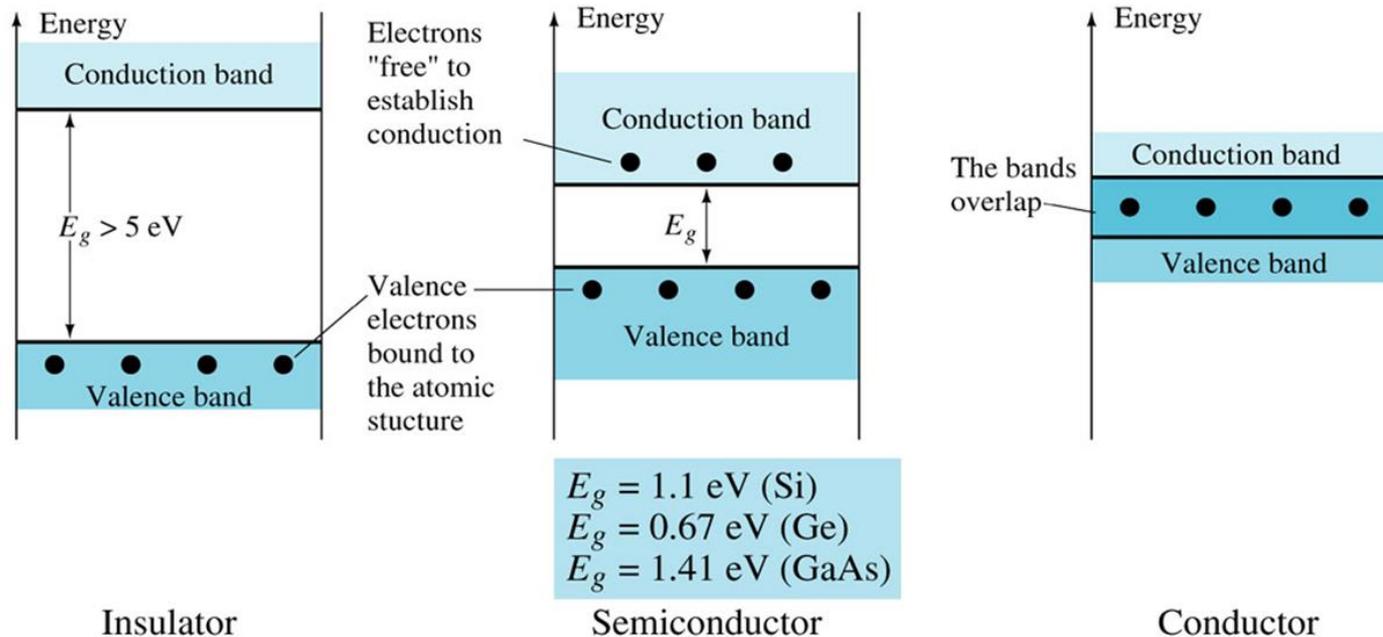


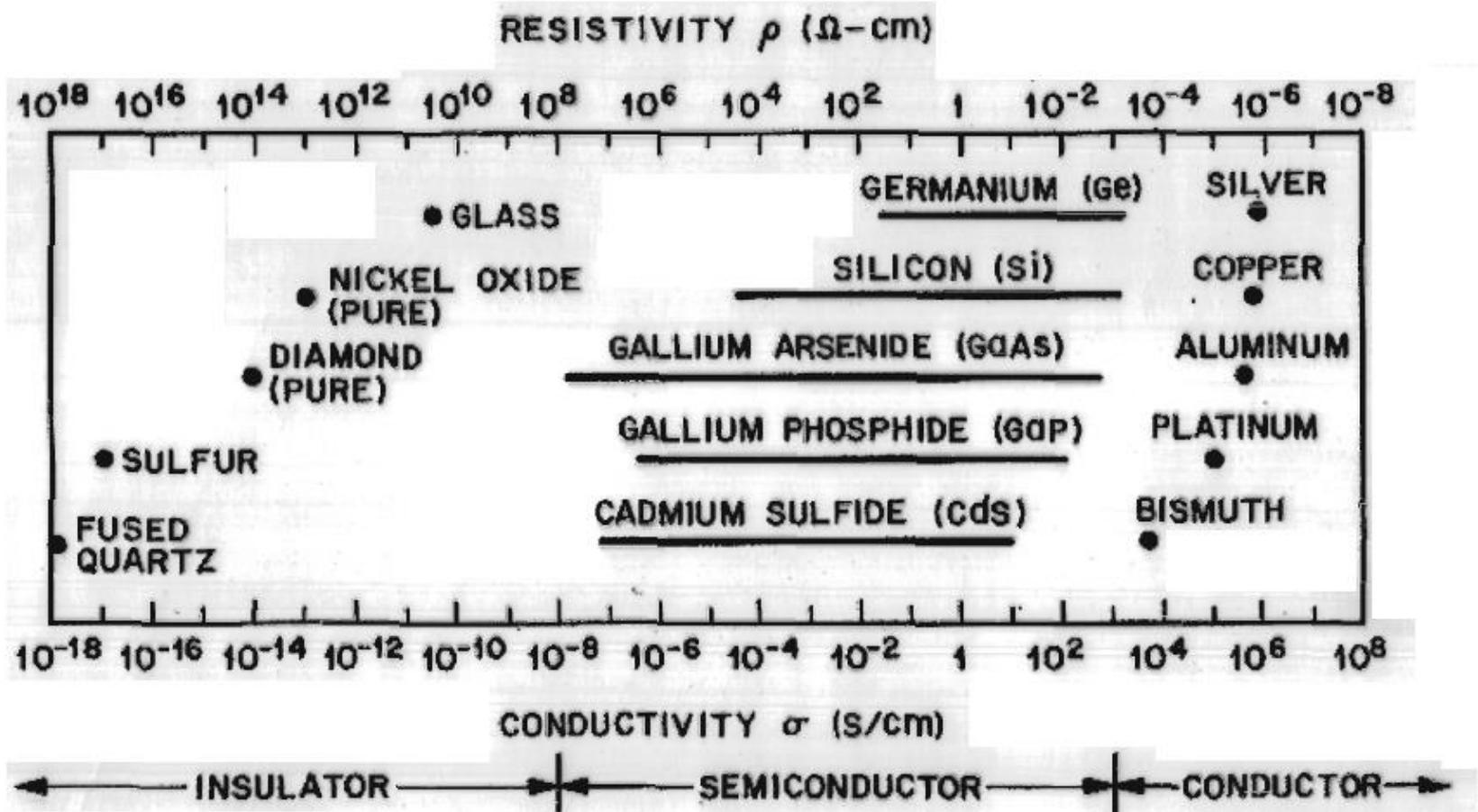
Fig 4

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.1.4 – Bandas de Energia



Materials para Eletrônica



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Materiais Semicondutores Puros

- capacidade de um átomo de se combinar com outros depende do número de elétrons de valência.
- A combinação só é possível quando este é menor que 8.
- Elementos com 8 elétrons de valência não se combinam. São estáveis e inertes.
- Silício, semicondutor mais usado e tem 4 elétrons de valência.

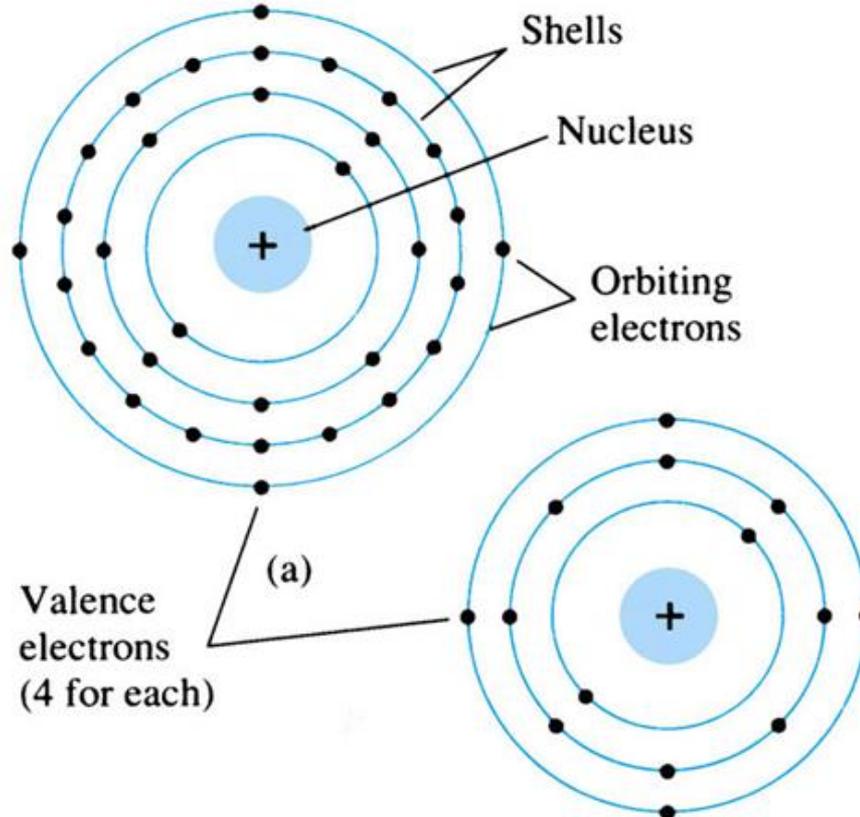
Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Materiais Semicondutores Puros

Estrutura Atômica

Germanio



Ge: 32 prótons
Si: 14 prótons

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Materiais Semicondutores Puros

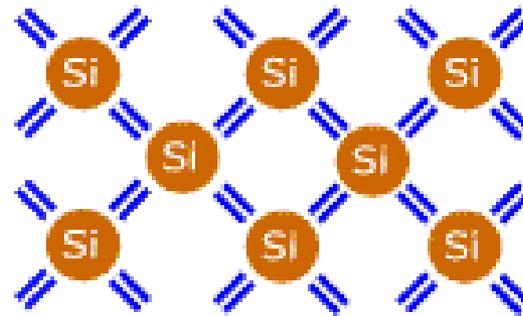
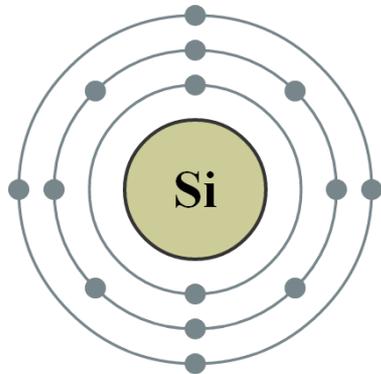


Fig 5

- No estado puro cada, pares de elétrons de átomos distintos formam a chamada **ligação covalente**, de forma que cada átomo fique no estado mais estável, isto é, com 8 elétrons na camada externa.
- estrutura cristalina homogênea, tridimensional.
- O material continua um semicondutor.

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Materiais Semicondutores Puros

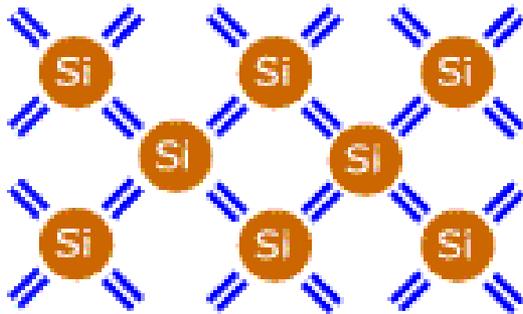
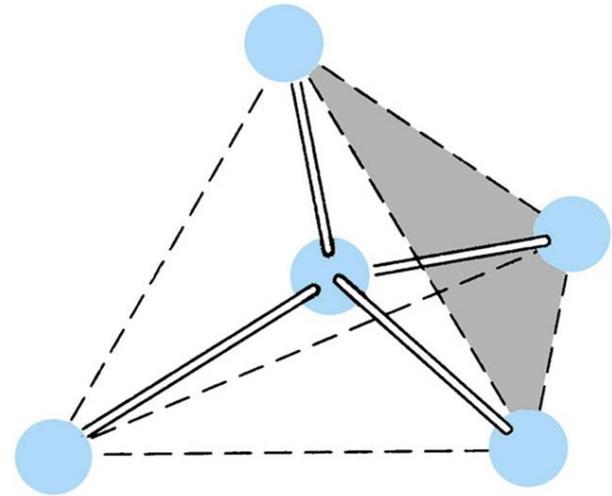


Fig 5



- estrutura cristalina homogênea, tridimensional.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Impurezas em Materiais Semicondutores

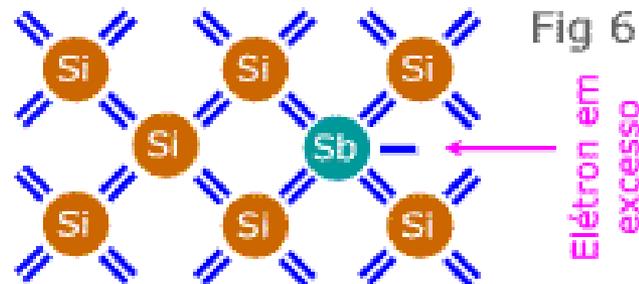
- Quando certas substâncias, chamadas impurezas são adicionadas, as propriedades elétricas são radicalmente modificadas;
- elemento **antimônio** (Stibium - $5s^2 5p^3$), que tem 5 elétrons de valência;
- alguns átomos deste substituírem o silício na estrutura cristalina;
- 4 dos 5 elétrons irão se comportar como se fossem os de valência do silício e o excedente será liberado para o nível de condução ;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Impurezas em Materiais Semicondutores

- Quando certas substâncias, chamadas impurezas são adicionadas, as propriedades elétricas são radicalmente modificadas;
- elemento **antimônio** (Stibium), que tem 5 elétrons de valência, for adicionado
- alguns átomos deste substituírem o silício na estrutura cristalina;
- 4 dos 5 elétrons irão se comportar como se fossem os de valência do silício e o excedente será liberado para o nível de condução ;

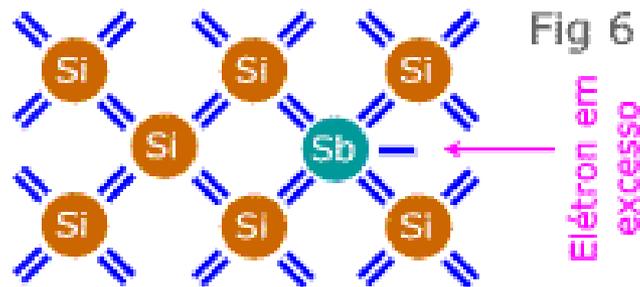


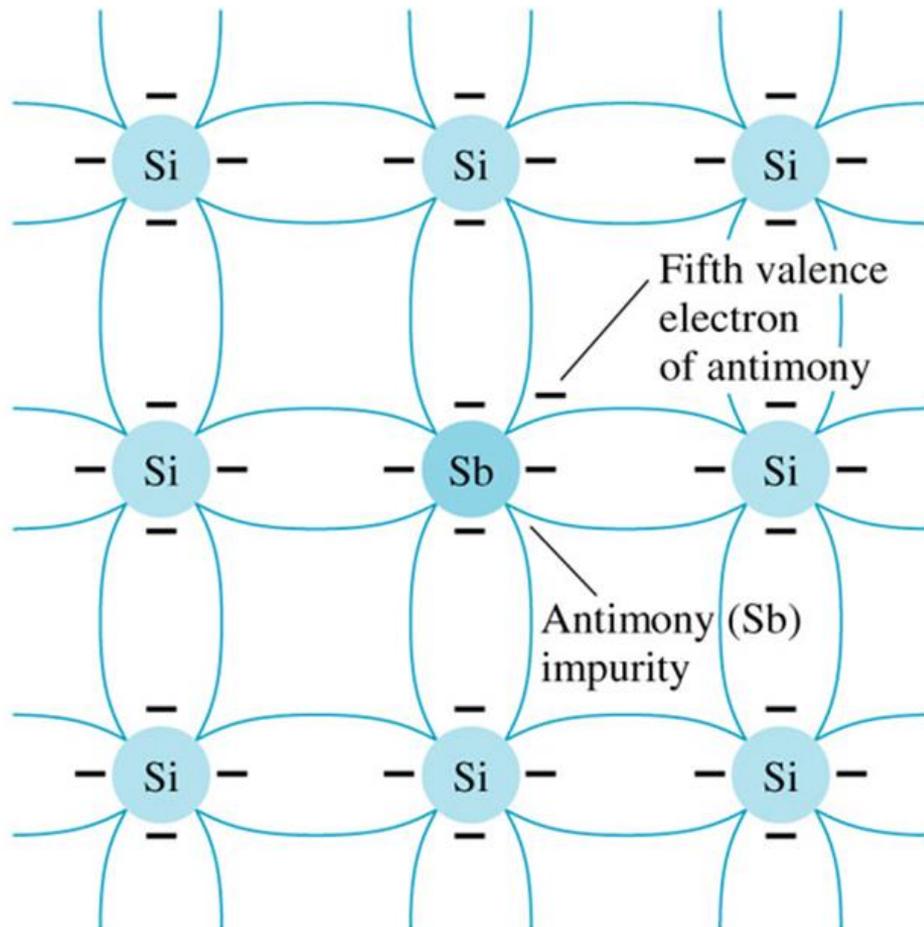
Eletrônica Básica – ELE 0937

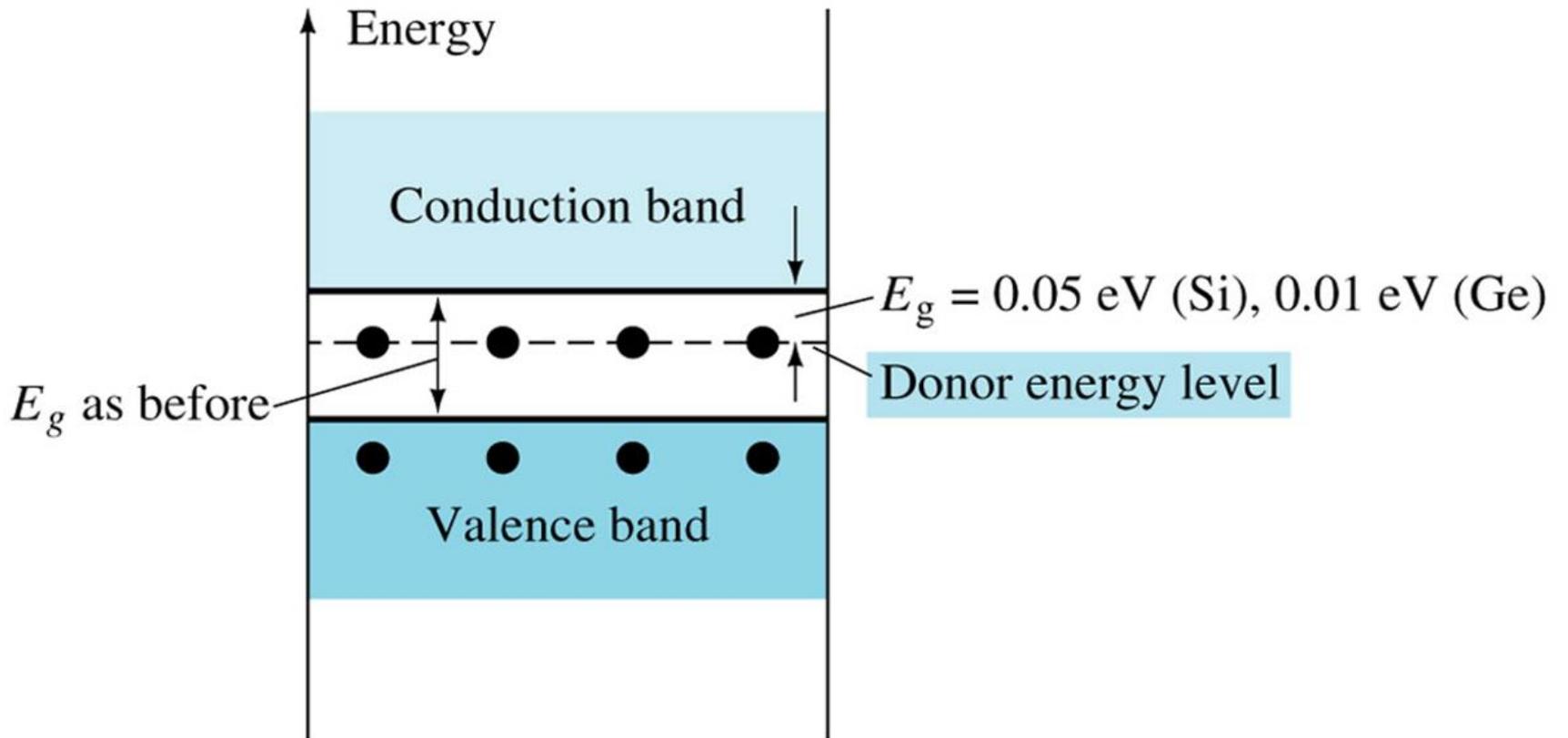
Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

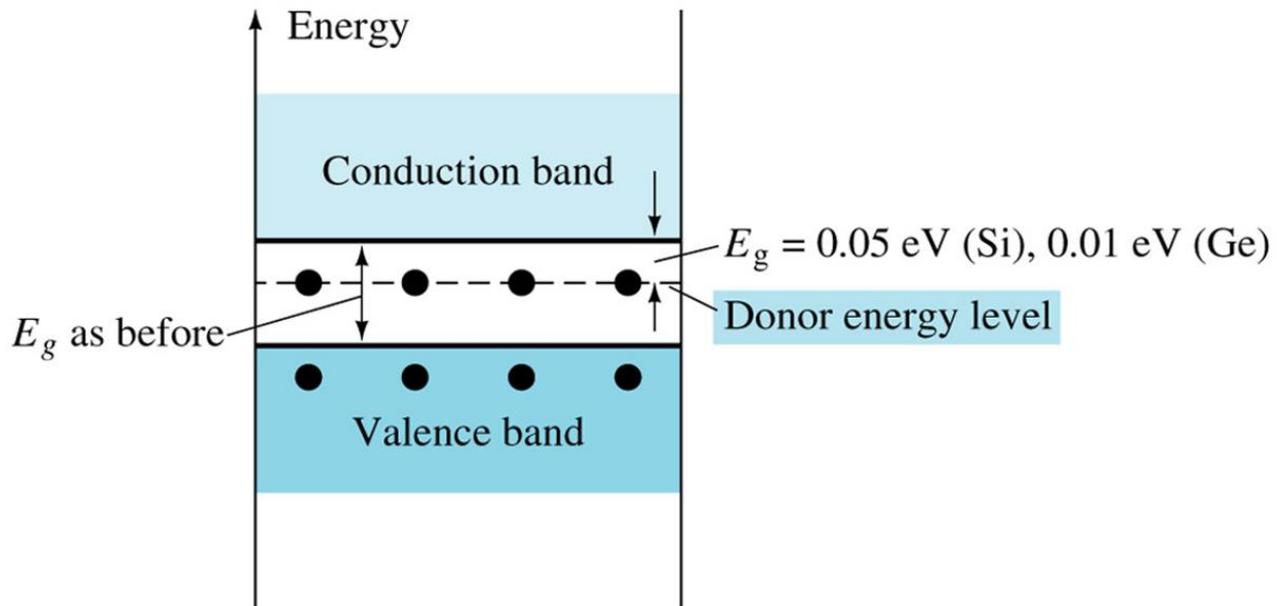
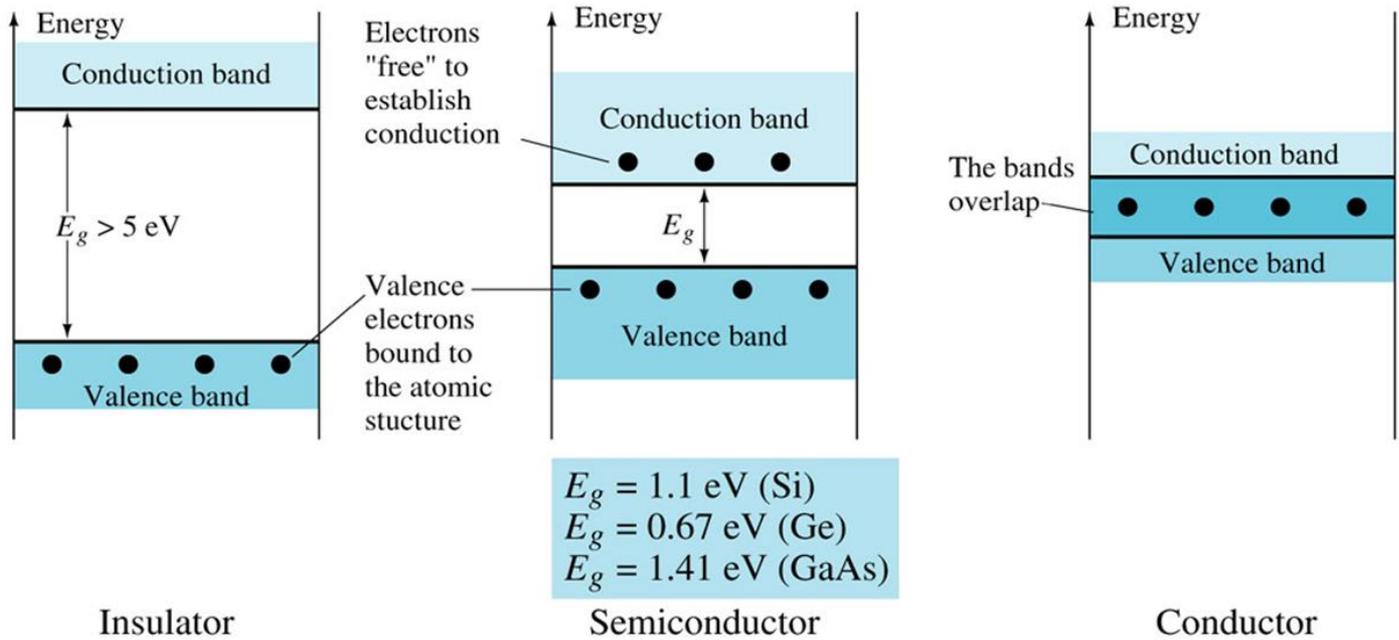
1.1.5 – Impurezas em Materiais Semicondutores

- O cristal irá conduzir e, devido à carga negativa dos portadores (elétrons), é denominado **semicondutor tipo n**.
- material continua eletricamente neutro pois os átomos têm o mesmo número de prótons e elétrons.
- a distribuição de cargas muda, de forma a permitir a condução.







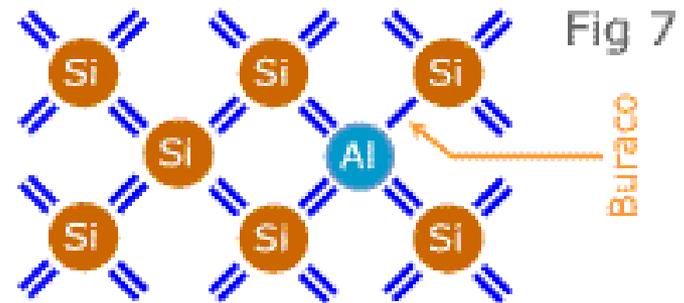
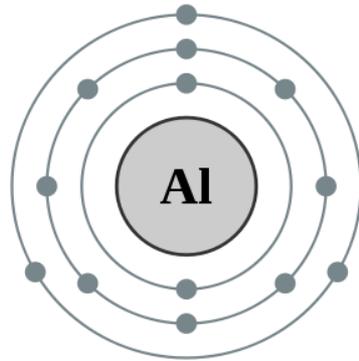


Eletrônica Básica – ELE 0937

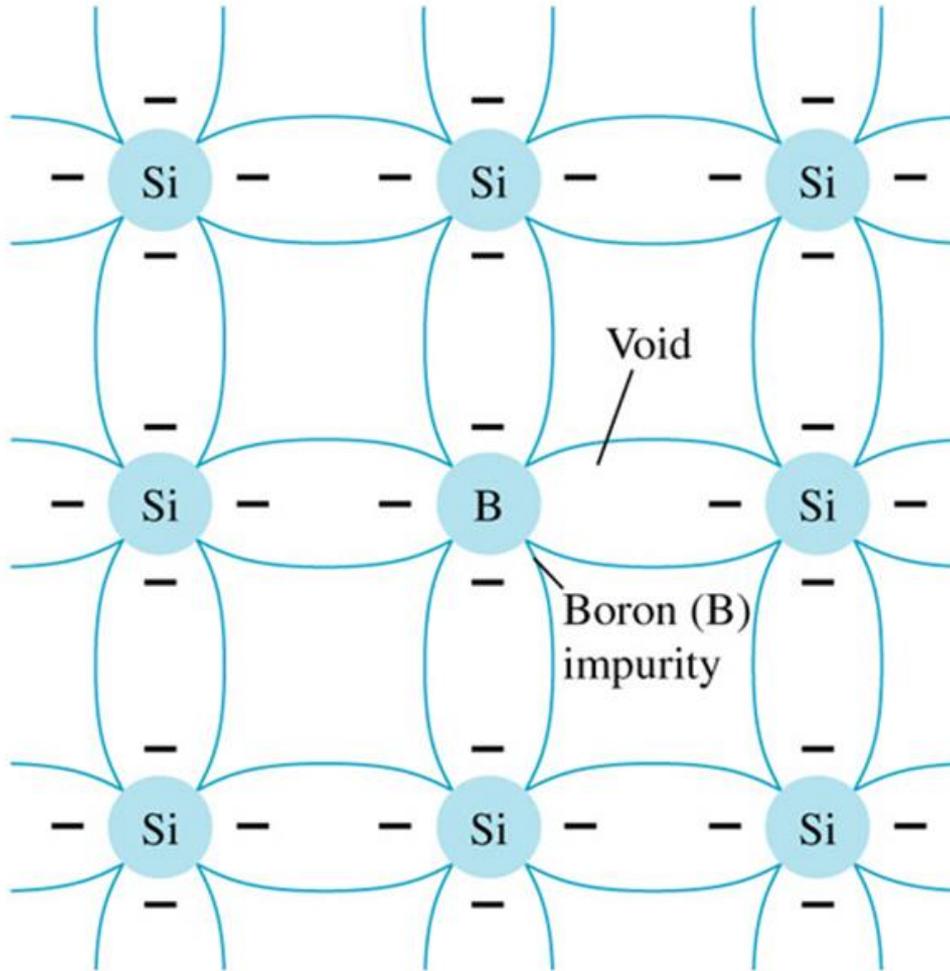
Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.1.5 – Impurezas em Materiais Semicondutores

- impureza com 3 elétrons de valência (alumínio) é adicionada.



- Alguns átomos de silício irão transferir um elétron de valência para completar a falta no átomo da impureza;
- Cria-se um buraco positivamente carregado no nível de valência e o cristal será um **semicondutor tipo p**, devido à carga positiva dos portadores (buracos).



Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 – Condução em Cristais: Metais

- Elétron do átomo de cobre na última camada;
- órbita extremamente grande (alto nível de energia), sente pequena atração do núcleo;
 - Banda de energia chamada *banda de condução*;
 - Conduzem correntes altas sob ação do campo elétrico.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

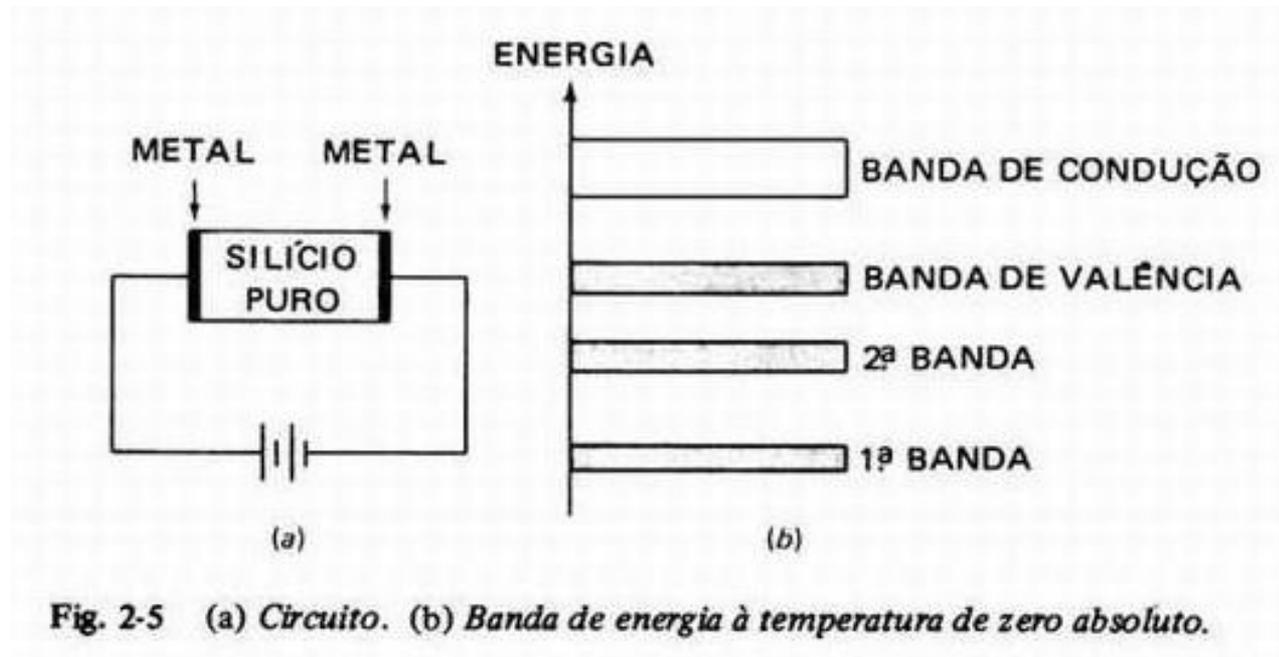
1.2 - Condução em Cristais - Semicondutores

- Barra de silício com extremidades metálicas, polarizada.
- Há passagem de corrente?
- Depende da existência de elétrons que possam deslocar-se;
- Em 0 K os elétrons não podem se mover dentro do cristal;
- Elétrons de valência fortemente presos pelos átomos de silício;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 - Condução em Cristais - Semicondutores



Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.1 – Condução em Cristais – Semicondutores

- Três primeiras faixas estão preenchidas,
- Elétrons dessas bandas não podem deslocar-se com facilidade porque não há órbitas vazias.
- Acima da banda de valência está a banda de condução.
- À temperatura de zero absoluto a banda de condução está vazia;
- Não pode haver nenhuma corrente no cristal de silício.

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 – Condução em Cristais

1.2.2 - ACIMA DO ZERO ABSOLUTO

- Energia térmica **quebra** algumas ligações covalentes;
- Elétrons saltam da banda de **valência** para a banda de **condução**;
- Nas órbitas de banda de condução, os elétrons estão fracamente presos pelos átomos;
- Sob a ação do campo elétrico, estes elétrons livres movem-se para a esquerda e estabelecem uma corrente.

Eletrônica Básica - ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 – Condução em Cristais

1.2.2 - ACIMA DO ZERO ABSOLUTO

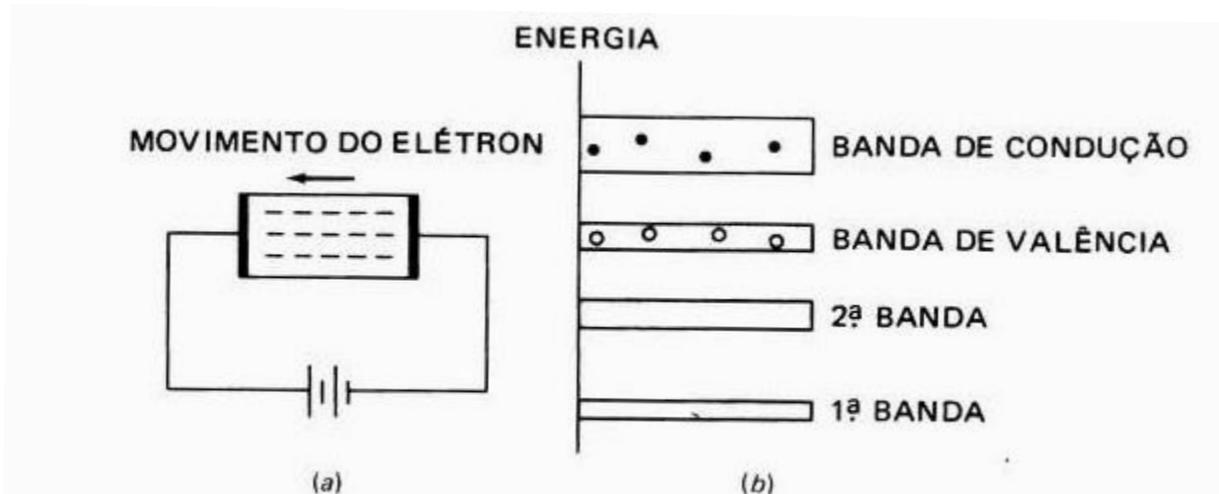


Fig. 2-6 (a) Fluxo de elétron. (b) Bandas de energia à temperatura ambiente.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.2 - ACIMA DO ZERO ABSOLUTO

- Elétron é **bombeado** para a banda de condução -> cria-se uma **lacuna** na banda de valência.
- Banda de valência já não está mais saturada ou preenchida;
- Cada **lacuna na banda de valência** representa uma **órbita** de rotação disponível.
- Quanto mais alta a temperatura, maior o número de elétrons de valência empurrados para a banda de condução e maior a corrente.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.3 - SILÍCIO VERSUS GERMÂNIO

- Germânio é outro elemento **tetravalente**;
- Contém **mais elétrons** que o silício;
- Silício totalmente **superior** ao germânio na fabricação de diodos, transistores e de outros componentes semicondutores.
- Falta de elétrons livres no silício puro constituir-se numa vantagem enorme.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.4 - CORRENTE DE LACUNAS (1/4)

- Lacunas num semicondutor também produzem uma corrente.
- Semicondutor oferece dois trajetos para a corrente,
 - Banda de **condução** (órbitas maiores)
 - Banda de **valência** (órbitas menores)
 - Corrente da banda de condução num semicondutor é semelhante à corrente no fio de cobre;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.4 - CORRENTE DE LACUNAS (2/4)

Corrente da banda de valência é bem diferente.

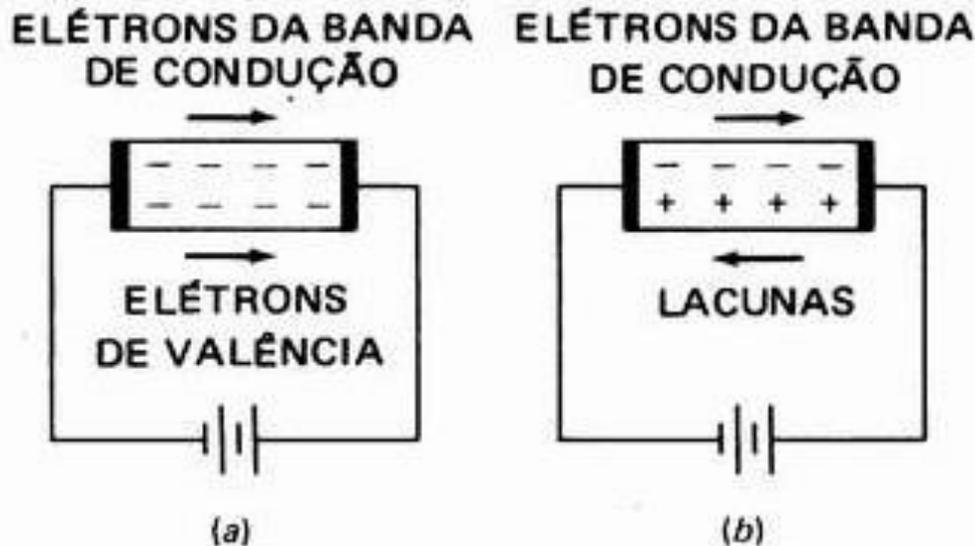


Fig. 2-8 *Dois trajetos para a corrente.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

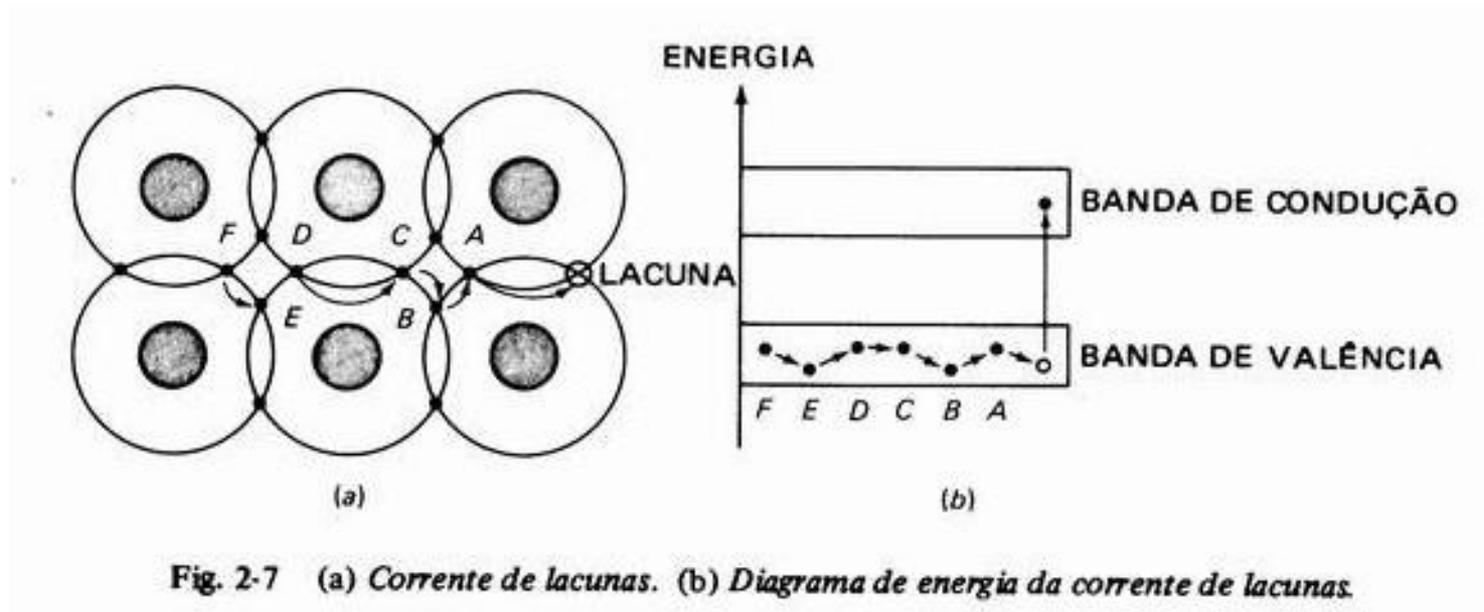
1.2.4 - CORRENTE DE LACUNAS (3/4)

- Elétron é excitado para a banda de condução;
- A lacuna que é criada atrai o elétron de valência em *A*;
- Com uma pequena variação na energia, o elétron de valência em *A* pode se deslocar para a lacuna.
- Lacuna inicial desaparece e uma nova lacuna aparece no ponto *A*.
- A nova lacuna em *A* pode atrair e capturar o elétron de valência em *B*.
- Quando o elétron de valência se desloca de *B* para *A*, a lacuna desloca-se de *A* para *B*.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.4 - CORRENTE DE LACUNAS (4/4)



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.5 - PARES ELÉTRON-LACUNA

- Tensão externa no cristal: força os elétrons a deslocarem-se.
- Dois tipos de elétrons móveis
 - Elétrons da banda de condução
 - Elétrons da banda de valência (ou movimento das lacunas).
- Semicondutor puro, a existência de cada elétron da banda de condução garante a existência de uma lacuna na órbita de valência de algum átomo.
- Energia térmica produz pares elétrons-lacuna.
- As lacunas agem como se fossem cargas positivas: indicadas com o sinal mais.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.6 – RECOMBINAÇÃO (1/2)

- **Órbita do elétron** da banda de condução de um átomo pode **interceptar** a **órbita da lacuna** de outro.
- Desaparecimento de um elétron livre e de uma lacuna é chamado ***recombinação***.
- Quando ocorre a **recombinação**, a **lacuna** não se desloca mais para lugar algum, ela **desaparece**.
- Processo está constantemente acontecendo num semicondutor.
- **Energia térmica**: mantém a produção de novas lacunas elevando os elétrons de valência até a banda de condução.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.6 – RECOMBINAÇÃO (2/2)

- Meia vida:
 - Tempo médio entre a criação e o desaparecimento de um par elétron-lacuna;
 - Varia de nanossegundos até vários microssegundos;
 - Depende da perfeição da estrutura do cristal e de outros fatores.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.7 - DOPAGEM

- Cristal de silício puro (apenas átomos de silício): **semicondutor *intrínseco***.
- Para a maioria das aplicações, não há elétrons livres nem causas suficientes num semicondutor intrínseco para produzir uma corrente utilizável;
- ***Dopagem***: introdução de átomos de impurezas num cristal de modo a aumentar tanto o número de elétrons livres quanto o número de lacunas;
- Cristal dopado: **semicondutor *extrínseco***.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

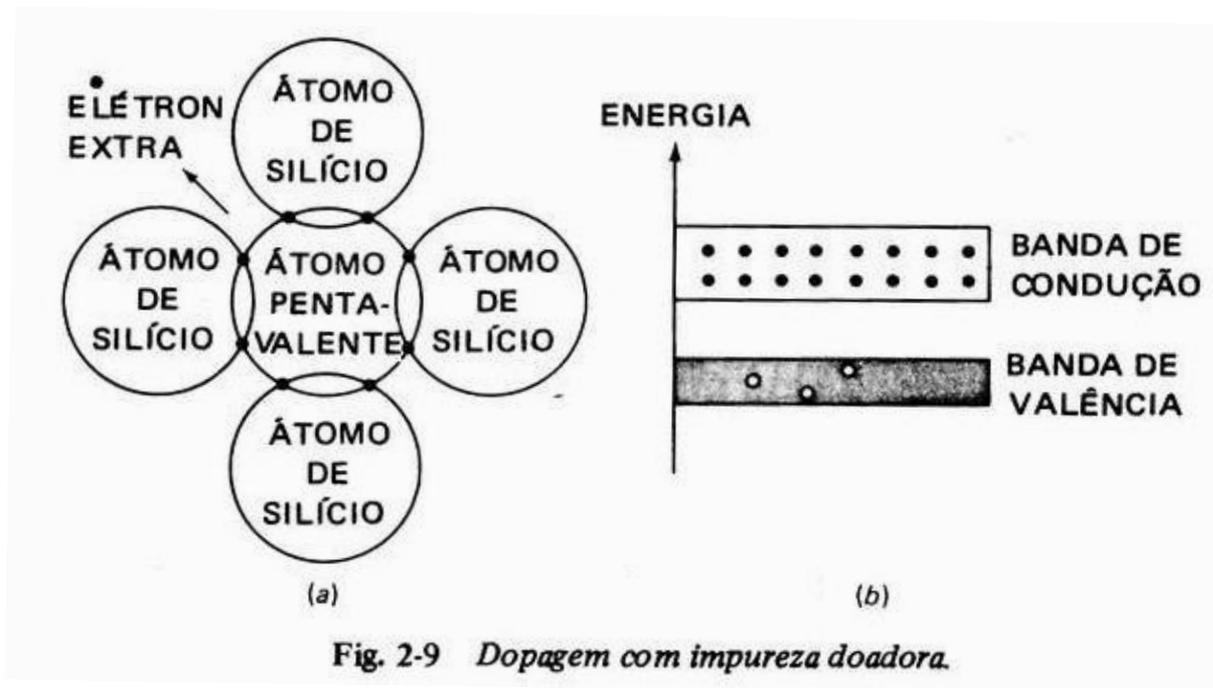
1.2.7.1 - SEMICONDUTOR TIPO-n (1/3)

- Átomos **pentavalente**: mais elétrons da banda de valência;
- Depois de formar ligações covalentes com quatro vizinhos, este átomo central tem um elétron a mais que sobra;
- órbita de valência: não pode conter mais de oito elétrons,
 - elétron que sobra precisa percorrer uma órbita da banda de condução.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.7.1 - SEMICONDUTOR TIPO-n (2/3)



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.7.1 - SEMICONDUTOR TIPO-n (3/3)

- Grande número de elétrons da banda de condução produzido principalmente pela dopagem.
- Elétrons são portadores *majoritários*
- Existem apenas algumas lacunas, criadas pela energia térmica.
 - Lacunas são os portadores *minoritários*.
 - Silício dopado é conhecido como um semicondutor do *tipo-n*,
 - *n* significa negativo.
- Átomos pentavalentes são chamados freqüentemente átomos *doadores*
- Exemplos de impurezas doadoras: arsênio, o antimônio e o fósforo.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.7 – DOPAGEM

1.2.7.2 - SEMICONDUTOR TIPO-P (1/3)

- Usando impureza trivalente (três elétrons na órbita mais externa);

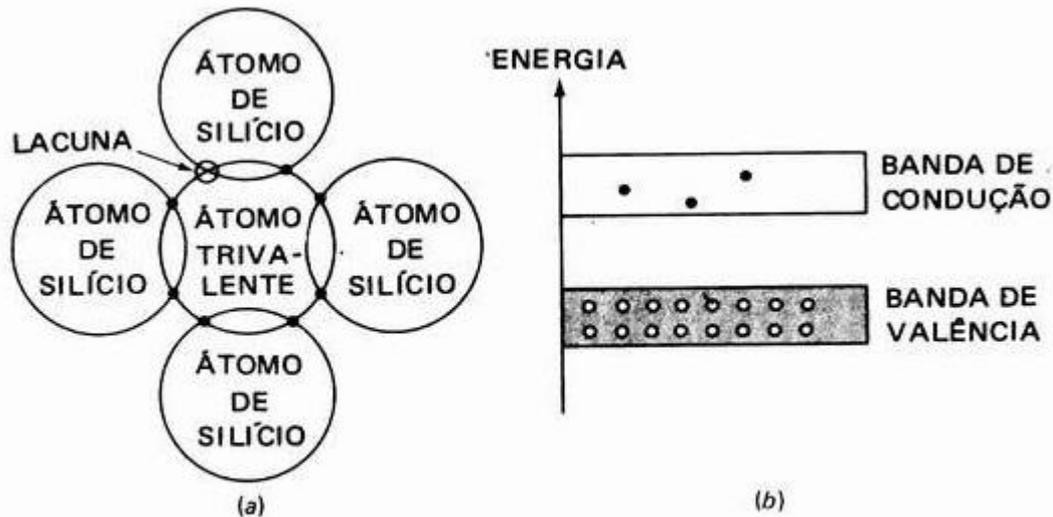


Fig. 2-10 Dopagem com impureza aceitadora.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 – Condução em Cristais

1.2.7.2 - SEMICONDUTOR TIPO-P (2/3)

- Cada átomo **trivalente** está cercado por quatro vizinhos
- Sete elétrons se encontrarão nas suas órbitas de valência.
 - Aparece uma **lacuna** em cada átomo trivalente.
 - Quantidade de impureza adicionada, pode-se controlar o número de lacunas no cristal dopado.
- Semicondutor dopado com uma impureza trivalente: semicondutor do tipo-p
- Lacunas no semicondutor tipo-p excedem de longe os elétrons da banda de condução.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2 - Junção PN – O Diodo

1.2.7.2 - SEMICONDUTOR TIPO-P (3/3)

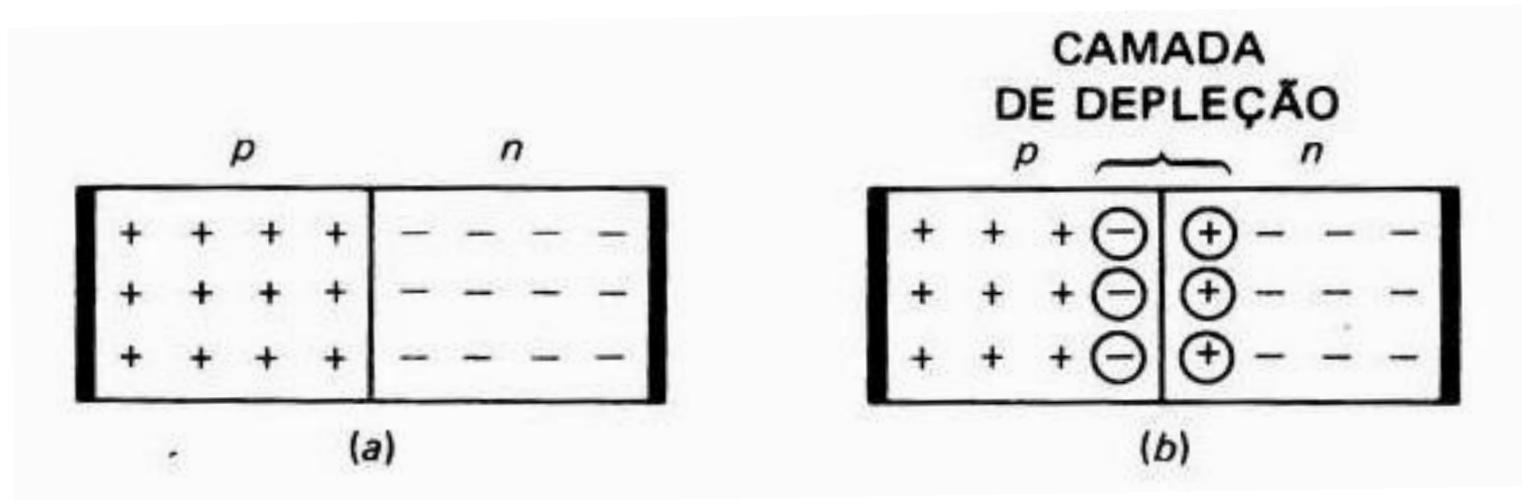
- Lacunas no semicondutor tipo-p excedem de longe os elétrons da banda de condução.
- Lacunas são os portadores **majoritários** num semicondutor tipo-p,
- Elétrons de banda de condução constituem os portadores **minoritários**.
- Átomos trivalentes também são conhecidos como átomos **aceitadores**
- Cada lacuna que eles fornecem pode aceitar um elétron durante a recombinação.
- Átomos aceitadores: alumínio, o boro e o gálio.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.8 - A Junção PN

- Cristal metade do **tipo-p** e metade do **tipo-n**;
- junção é a região onde se encontram os cristais;
- Um cristal pn é conhecido como *diodo*;

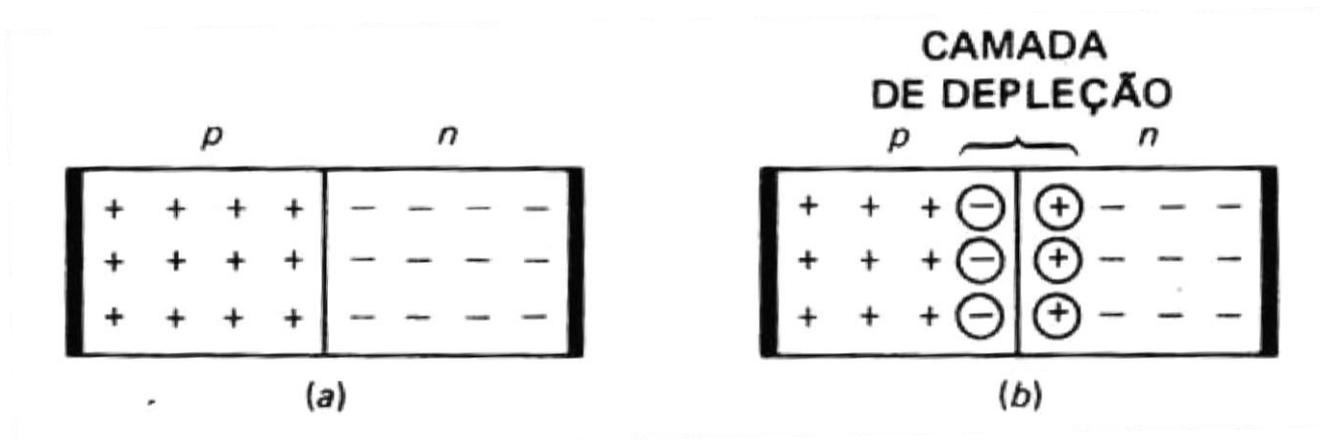


Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.8 - A Junção PN – O Diodo

- cristal pn no instante de sua formação.
 - **lado p** tem várias **lacunas** (portadores majoritários)
 - **lado n** possui vários **elétrons** livres (portadores majoritários).
- não há nenhuma tensão externa aplicada



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.9 - CAMADA DE DEPLEÇÃO

- repulsão mútua,
 - Elétrons livres no lado n difundem-se ou espalham-se em todas as direções, inclusive através da junção.
 - Elétron livre sai da região n, cria-se um íon positivo nela.
 - À medida que ele penetra na região p, o elétron livre torna-se um portador minoritário.
- Com lacunas em volta dele, este portador minoritário tem uma vida média curta;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.9 - CAMADA DE DEPLEÇÃO

- Na região p, o elétron livre preencherá uma lacuna.
 - Lacuna desaparece e o seu átomo torna-se um íon negativo;
 - Cada elétron que se difunde através da junção, cria um par de íons.
- Os íons estão fixos na estrutura do cristal por causa da ligação covalente
 - Conforme o número de íons aumenta, a região próxima à junção está totalmente esgotada de elétrons livres e lacunas;
 - Esta região é chamada de ***camada de depleção***.

Eletrônica Básica – ELE 0937

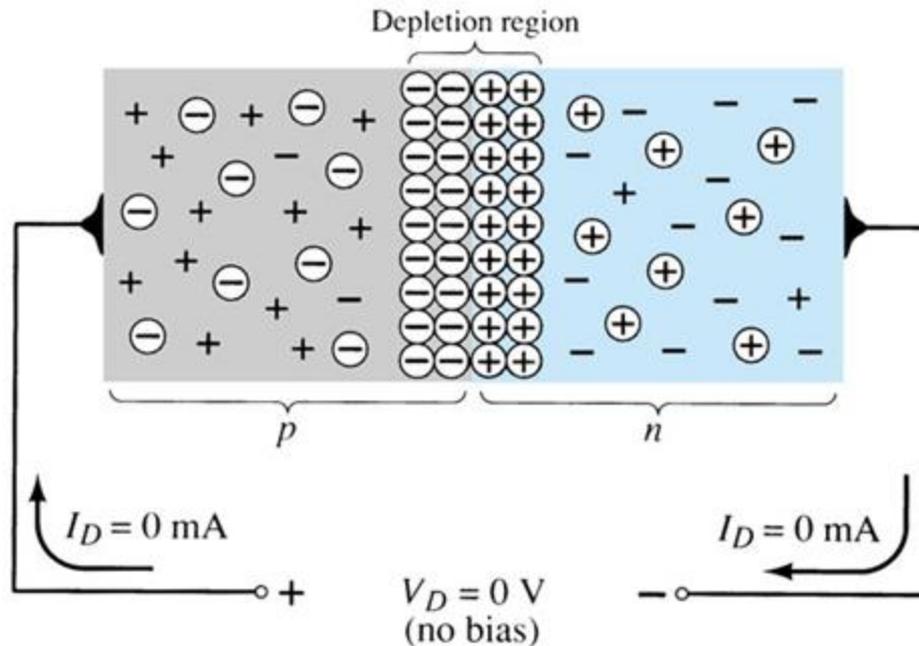
Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

1.2.10 - BARREIRA DE POTENCIAL

- A intensidade da camada de depleção continua aumentando com cada elétron que a atravessa até que se atinja um equilíbrio.
- Camada de depleção age como uma barreira impedindo a continuação da difusão de elétrons livres através da junção;
- A repulsão interna da camada de depleção interrompe a difusão dos elétrons livres através da junção.
- A diferença de potencial através da camada de depleção é chamada *barreira de potencial*;
- A 25°C, esta barreira de potencial é aproximadamente igual a 0,7 V para os diodos de silício;
- Diodo de germânio tem barreira de potencial de 0,3 V.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

Tópicos principais até então!

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica dos Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Semicondutor Intrínseco

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Semicondutor Intrínseco

Dopagem de Semicondutor - Tipo P –

Impureza Trivalente

Dopagem de Semicondutor - Tipo N –

Impureza Pentavalente

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Semicondutor Intrínseco

Dopagem de Semicondutor - Tipo P –

Impureza Trivalente

Dopagem de Semicondutor - Tipo N –

Impureza Pentavalente

Junção PN

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Semicondutor Intrínseco

Dopagem de Semicondutor - Tipo P - TRIVALENTE

Dopagem de Semicondutor - Tipo N - PENTAVALENTE

Junção PN

Camada de Depleção

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Teoria Básica de Semicondutores

Resumo Primeira Aula

Condutores, Semicondutores e Isolantes

Banda de Valência e Banda de Condução

Semicondutor Intrínseco

Dopagem de Semicondutor - Tipo P - TRIVALENTE

Dopagem de Semicondutor - Tipo N - PENTAVALENTE

Junção PN

Camada de Depleção

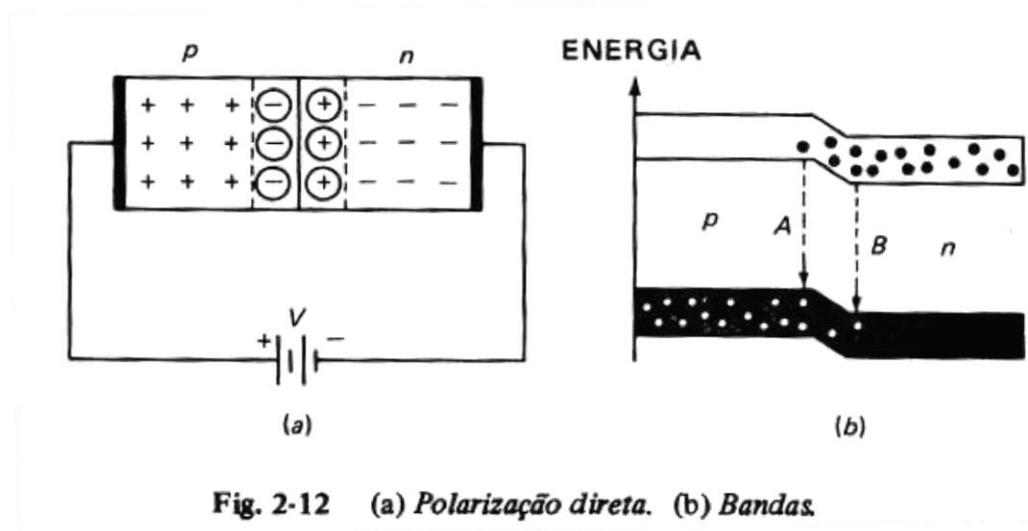
Barreira de Potencial

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.2.11 - POLARIZAÇÃO DIRETA

- Fonte cc aplicada através de um diodo;
- O terminal positivo da fonte está ligado ao material tipo-p, e o terminal negativo ao material tipo-n;
- ligação desse tipo é chamada de polarização *direta*.



Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.11 – Diodo - POLARIZAÇÃO DIRETA

- Os elétrons saem do terminal negativo e entram pela extremidade direita do cristal.
- Percorre a **região n** como um **elétron livre**.
- Próximo à junção **recombina-se** e tornam-se elétrons de valência.
- Passam pela **região p** como **elétrons** de valência.
- Saem pela extremidade esquerda do cristal, para o terminal positivo da fonte.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.12 – Diodo - BANDAS DE ENERGIA

- barreira de potencial dá às bandas p um pouco mais de energia do que para as bandas n - as bandas p são mais altas do que as bandas n .
- polarização direta empurra os elétrons da banda de condução na região n em direção à junção.
- Ao entrar na região p , cada elétron encontra uma lacuna (percurso A).
- Ele continua a sua jornada em direção à extremidade esquerda do cristal como elétron de valência.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.12 - BANDAS DE ENERGIA – Polarização Direta

- Elétron da banda de condução pode encontrar uma lacuna antes de atravessar a junção.
- Elétron de valência pode atravessar a junção da direita para a esquerda;
- Isto deixa uma lacuna exatamente à direita da junção. Esta lacuna não dura muito, ela é logo preenchida por um elétron de banda de condução (trajeto B).

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.12 - BANDAS DE ENERGIA – Polarização Direta

– Independentemente de onde a recombinação ocorre, o resultado é o mesmo.

- Um fluxo estável de elétrons de banda de condução desloca-se em direção à junção e preenche as lacunas próximas à junção.
- Os elétrons capturados (agora elétrons de valência) movem-se para a esquerda formando um fluxo estável através das lacunas da região p.
- Fluxo contínuo de elétrons através do diodo.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.12 - BANDAS DE ENERGIA – Polarização Direta

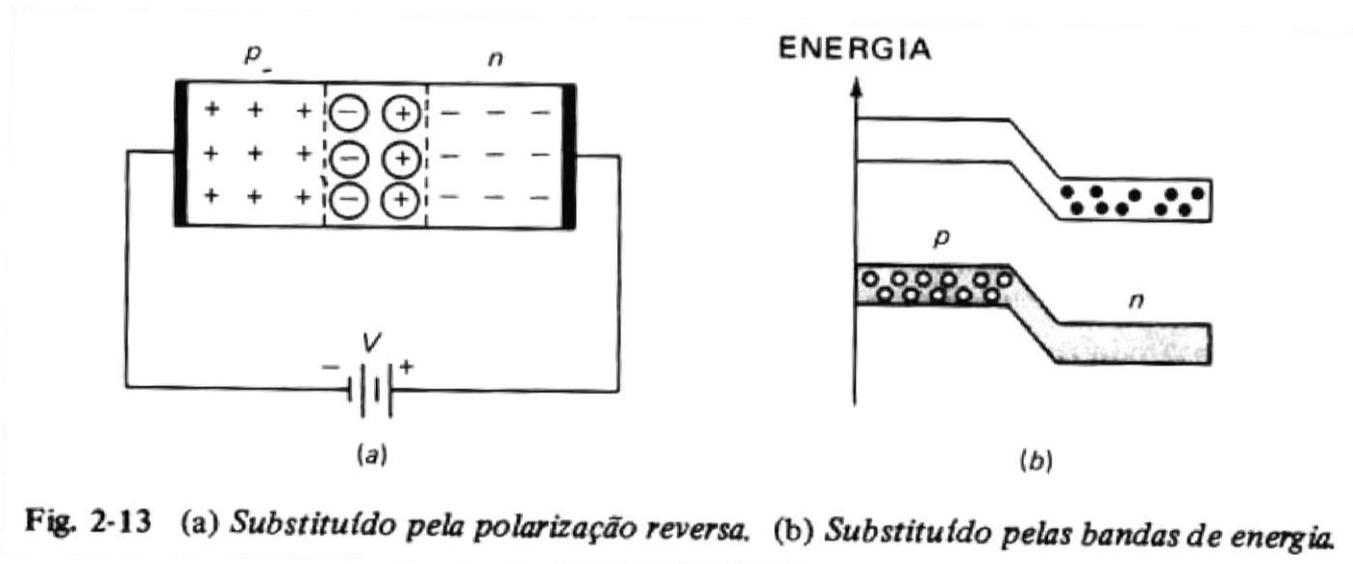
- à medida que os elétrons livres desaparecem ao longo dos trajetos A e B, eles descem de um nível mais alto de energia para um outro mais baixo.
- À medida que decaem, irradiam energia na forma de calor e de luz.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.2.13 - POLARIZAÇÃO REVERSA (1/3)

- O semicondutor **tipo-n** é ligado ao terminal + (positivo) e o semicondutor tipo-p é ligado ao terminal – (negativo);
- Qual o efeito produzido pela reversão da polarização?



Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.13 - POLARIZAÇÃO REVERSA (2/3)

- Qual o efeito produzido pela **reversão da polarização**?
- Força os **elétrons livres** na **região n** a se afastarem da junção em direção ao terminal positivo da fonte;
- **Lacunas** da **região p** também se deslocam da junção para o **terminal negativo**.
- **Elétrons** que saem deixam mais **íons positivos** próximos à junção, e as **lacunas** ao se afastarem deixam **mais íons negativos**.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.13 - POLARIZAÇÃO REVERSA (3/3)

- Camada de depleção fica mais larga.
 - Quanto maior a **polarização reversa**, maior torna-se a **camada de depleção**.
- A camada de depleção para de aumentar quando a sua diferença de potencial se iguala à tensão da fonte.
- Visão em bandas de energia:
 - A camada de depleção torna-se maior até que a sua diferença de potencial se iguale à tensão da fonte.
 - Quando isto ocorre, os elétrons livres e as lacunas param de se movimentarem.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.14 - CORRENTE DE PORTADORES MINORITÁRIOS (1/2)

- Há alguma corrente depois da camada de depleção para ajustar-se a sua nova largura?
 - Sim, uma corrente muito pequena.
 - Energia térmica cria continuamente um número limitado de elétrons livres e de lacunas de ambos os lados da junção (portadores minoritários).
- Corrente reversa produzida pelos portadores minoritários é chamada **corrente de saturação**;
- O nome saturação se refere que não pode ter mais corrente do que a produzida pela energia térmica.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.14 - CORRENTE DE PORTADORES MINORITÁRIOS (2/2)

- Aumentando-se a **tensão reversa**, **não haverá aumento** no número de portadores minoritários criados termicamente;
- Somente um aumento de temperatura pode aumentar I_s ;
- Um diodo de silício tem um valor de I_s muito menor do que um diodo de germânio. Esta é uma das razões pelas quais o silício domina o campo dos componentes semicondutores.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.2.15 - CORRENTE DE FUGA SUPERFICIAL

- Além da corrente reversa através do cristal, há uma **corrente pequena na superfície do cristal**.
- Esta outra componente da corrente reversa é chamada ***corrente de fuga superficial***
- Ela é produzida por impurezas da superfície que criam trajetos ôhmicos para a corrente.
- corrente de fuga superficial é extremamente pequena..

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.16 - TENSÃO DE RUPTURA (1/3)

- Aumento na tensão reversa atingirá um ponto de ruptura, chamado **tensão de ruptura do diodo**.
- Para diodos retificadores a tensão de ruptura é geralmente maior do que 50 V.
- Atingida a tensão de ruptura, o diodo pode conduzir intensamente.
- **De onde provém subitamente os portadores?**
 - Considere um **elétron livre produzido termicamente** e uma lacuna **dentro da camada de depleção**.
 - Devido à polarização reversa, o elétron livre é empurrado para a direita.

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.16 - TENSÃO DE RUPTURA (2/3)

- À medida que se **desloca**, ele ganha **velocidade**.
- Quanto **maior a polarização reversa**, mais rápido desloca-se o elétron (o que equivale que ele ganha mais energia).
- Pouco depois o **elétron livre** pode colidir com um **elétron de valência**;
- Se o elétron livre tiver energia suficiente, ele **pode desalojar o elétron de valência**, de modo a **formar dois elétrons livres**;
- Os dois podem se acelerar e desalojar outros elétrons de valência até ocorrer a **maior avalanche** possível;

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.2.16 - TENSÃO DE RUPTURA (3/3)

- Por causa do **grande número de elétrons livres**, o diodo conduzirá **intensamente** e será danificado pela **excessiva potência dissipada**;
- Não se deve permitir na maioria dos diodos que cheguem ao rompimento;
- a **tensão reversa** através de um diodo retificador é sempre mantida abaixo da sua tensão de ruptura;

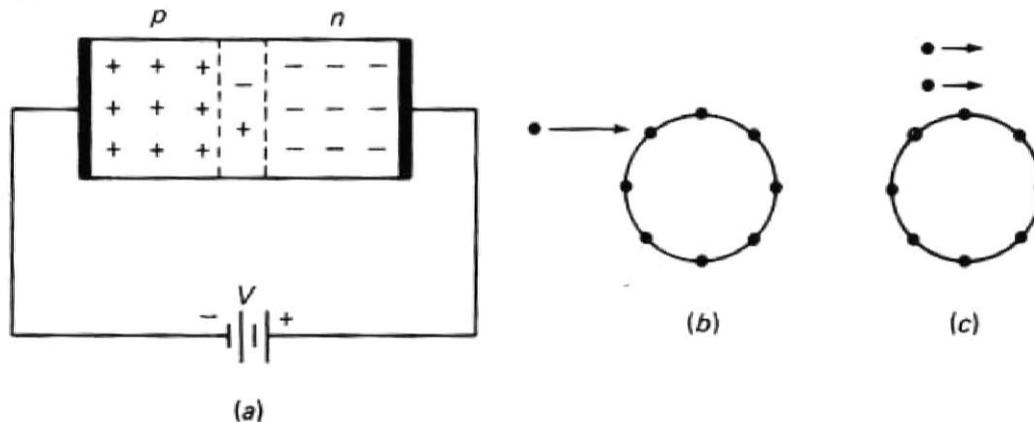


Fig. 2-14 Ruptura. (a) Portadores minoritários na camada de depleção. (b) O elétron livre atinge o elétron de valência. (c) Dois elétrons livres.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3 - Curva Característica do Diodo

1.3.1 – Componentes Lineares

- Lei de Ohm: corrente em um resistor é proporcional à tensão aplicada;

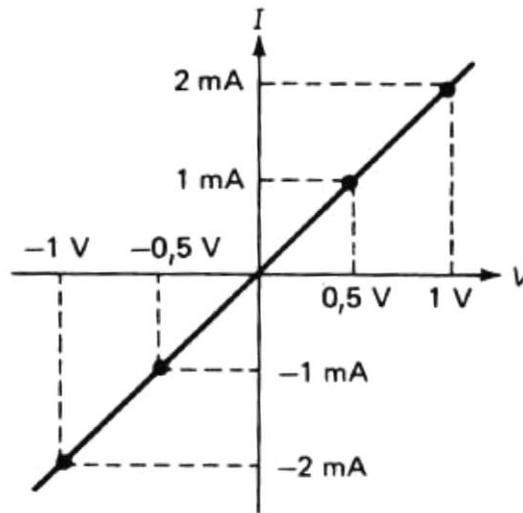


Fig. 2-15 *Corrente versus tensão num resistor linear.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.1 – Componentes Lineares

- Resistor de 500Ω
- Reversão da tensão não produz efeito sobre a linearidade
- Resistor é um componente linear
- componente passivo – dissipa potência
- bateria – componente ativo

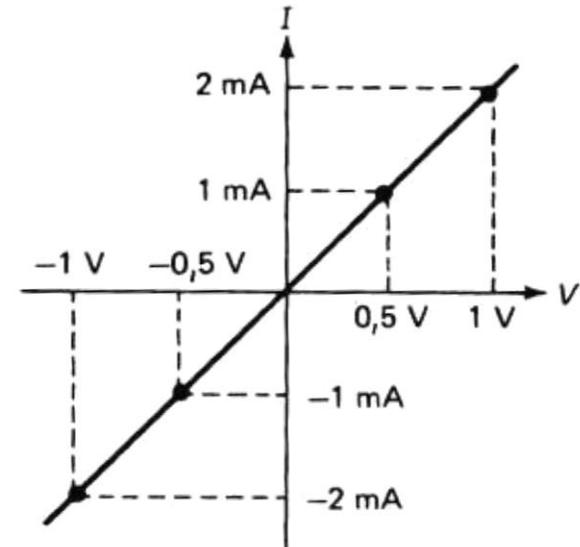
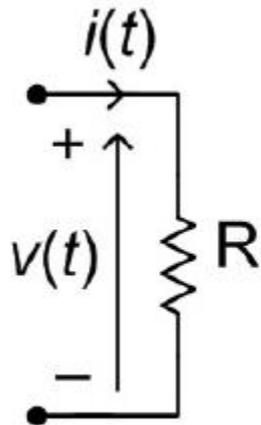


Fig. 2-15 *Corrente versus tensão num resistor linear.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.1 – Componentes Lineares



$$v(t) = R i(t)$$

Sistema Linear

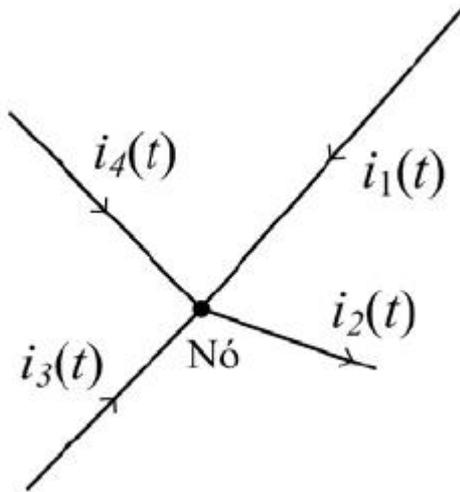
Figura 1.8 – Símbolo do resistor.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.1 – Componentes Lineares

1ª Lei de Kirchhoff - Soma de correntes no nó



$$\sum i = 0$$

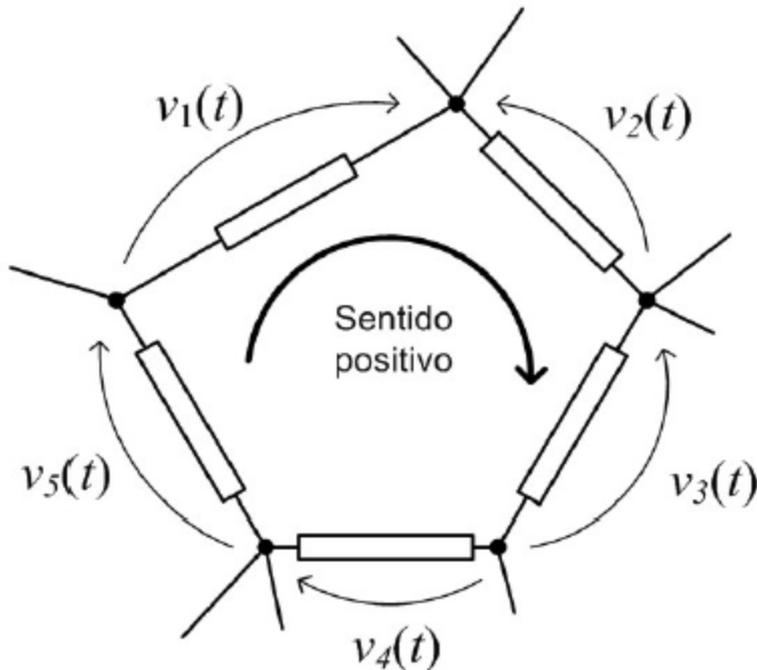
$$i_1(t) - i_2(t) + i_3(t) + i_4(t) = 0$$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.1 – Componentes Lineares

2ª. Lei de Kirchhoff - Soma de tensões na malha



$$\sum v = 0$$

$$v_1(t) - v_2(t) - v_3(t) + v_4(t) + v_5(t) = 0$$

Figura 2.2 – Malha de uma rede elétrica.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

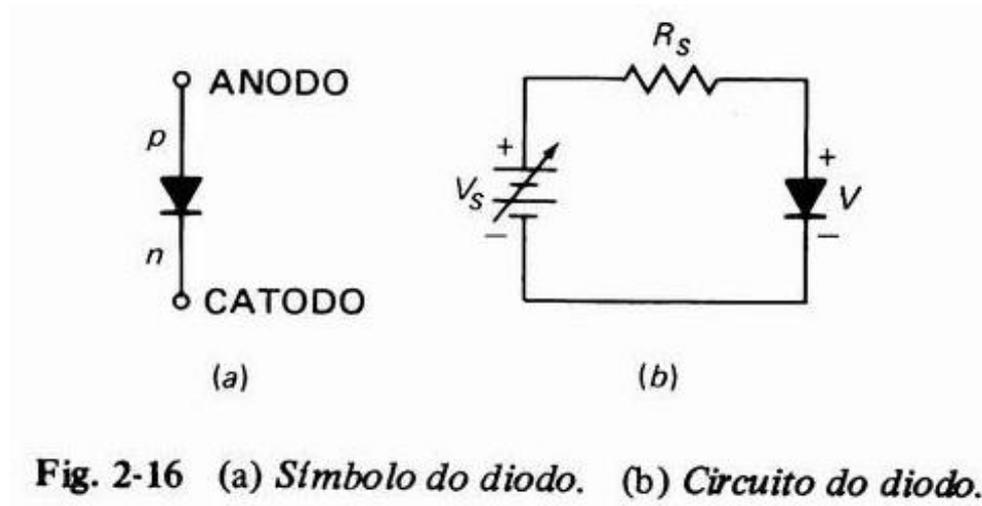
1.3.2 – Gráfico do Diodo

- Símbolo esquemático do diodo retificador
- Lado p – anodo
- Lado n – cátodo
- Polarização Direta / Reversa com fonte de tensão

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.3.2 – Gráfico do Diodo

- Símbolo esquemático do diodo retificador
- Lado p – anodo / Lado n – catodo
- Polarização Direta / Reversa com fonte de tensão



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.2 – Gráfico do Diodo

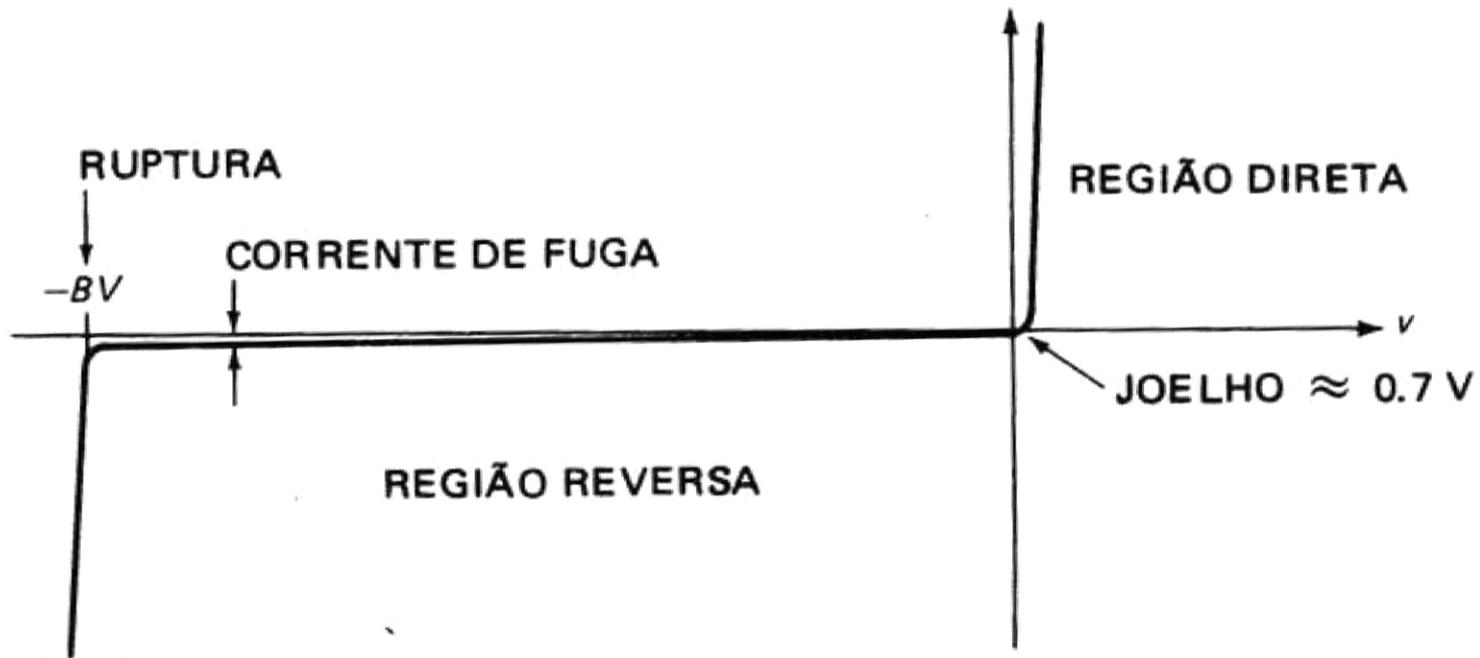


Fig. 2-17 *Curva do diodo.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.3.2 – Gráfico do Diodo

- Símbolo esquemático do diodo retificador
- Lado p – anodo
- Lado n – catodo
- Polarização Direta / Reversa com fonte de tensão
- Circuito para obter a curva do diodo

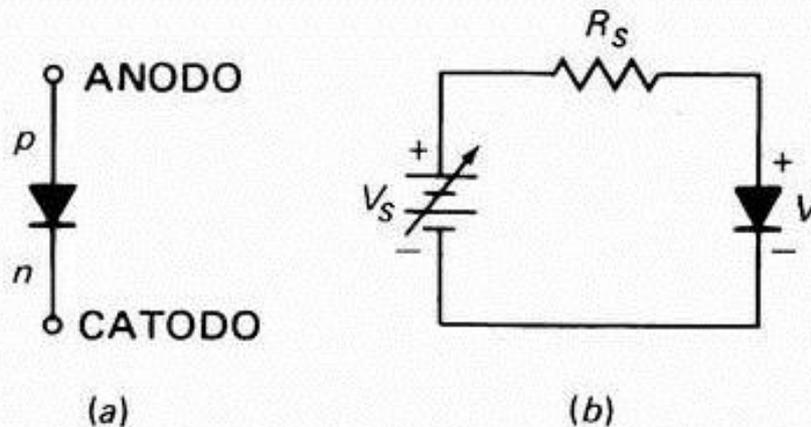


Fig. 2-16 (a) *Símbolo do diodo.* (b) *Circuito do diodo.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.3.2 – Gráfico do Diodo

- Medição de corrente e tensão
- Diodo é não linear;
- Tensão de joelho: diodo não conduz até ser atingido potencial maior que a tensão da barreira de potencial (tensão de limiar);

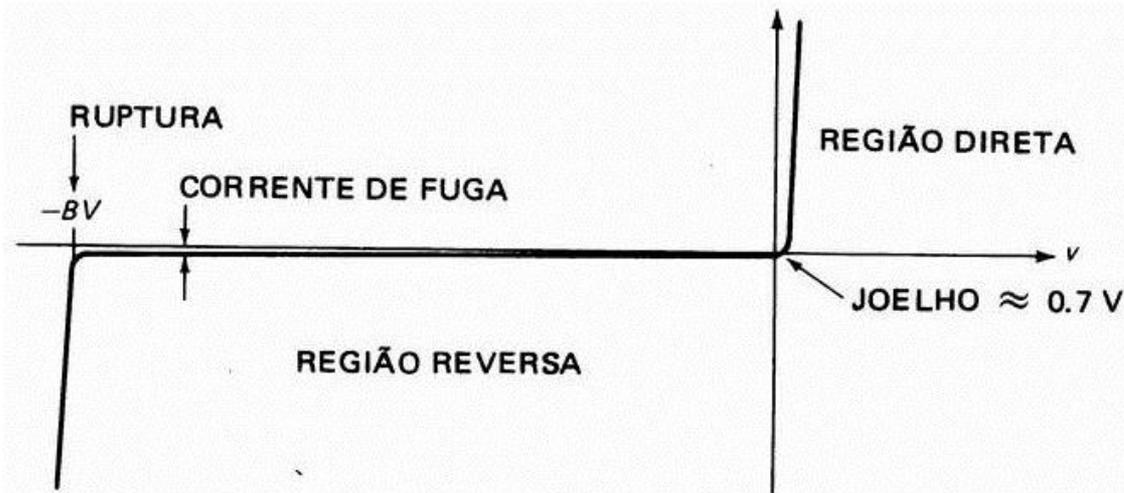


Fig. 2-17 Curva do diodo.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Para tensões maiores que a tensão de limiar, a corrente aumenta consideravelmente;
- Acima da tensão de limiar, a corrente é limitada apenas pela resistência de corpo – resistência ôhmica da região pn, que é linear;
- Portanto, o diodo associa duas “resistências”
 - Uma altamente não linear na junção PN (abaixo de 0,7 V)
 - Outra resistência linear, das regiões P e N fora da camada de depleção (acima de 0,7 V);
- Região reversa : corrente de saturação pequena (corrente de fuga), da ordem de nano ou micro amperes;
- Tensão de ruptura: - BV – avalanche provoca aumento brusco na corrente reversa;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Resistor no circuito com diodo:
 - Usado em serio com o diodo (Figura 2.16.b)
 - Resistor limitador de corrente;
 - Valor de R_S é calculado de forma a manter a corrente máxima direta abaixo das especificações;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.3 – Reta de Carga

- **Determinação exata do valor de corrente e tensão no diodo;**
- **A corrente no circuito é:**

$$I = \frac{V_s - V}{R_s}$$

- **Se, $V_s = 2\text{ V}$ e $R_s = 100\ \Omega$, então:**

$$I = \frac{2 - V}{100}$$

- **Pontos de cruzamento nos eixos :**
 - **$V = 0$ ($I = 20\text{ mA}$) – ponto de corte**
 - **$I = 0$ ($V = 2\text{ V}$) – ponto de saturação**
 - **Outros valores permitem calcular os pontos da reta de carga**

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Ponto Q (quiescente) – ponto de operação
 - Ponto de intersecção entre a reta de carga e a curva do diodo;
 - $V_Q = 0,75 \text{ V}$ e $I_Q = 12,5 \text{ mA}$;
 - Outras retas de carga:

$$I = \frac{V_s}{R_s} \quad \text{e} \quad V = V_s$$

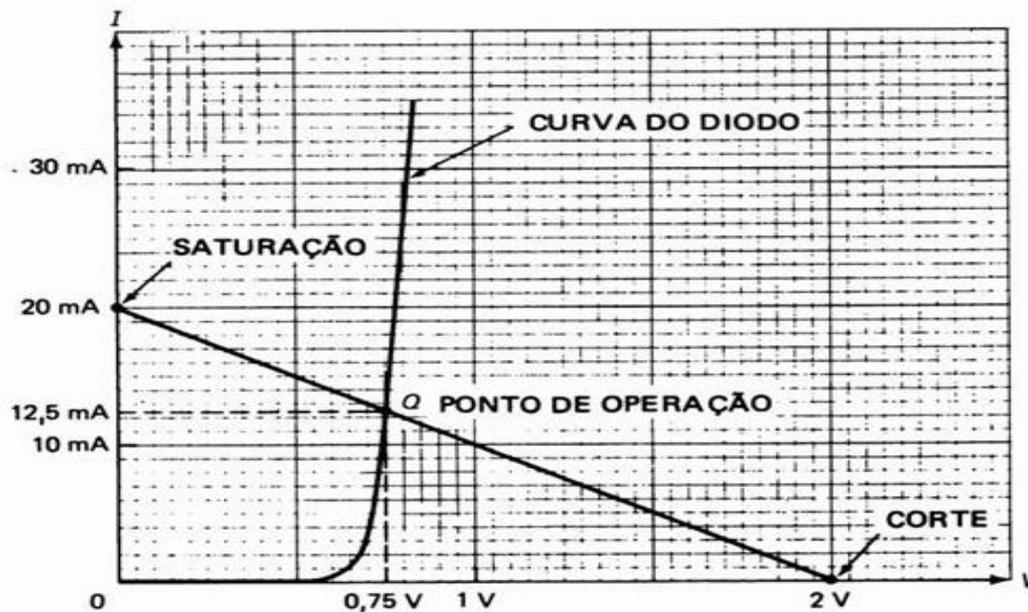


Fig. 2-19 A linha de carga intercepta a curva do diodo no ponto de operação.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

$$I = \frac{V_S}{R_S} \quad \text{e} \quad V = V_S$$

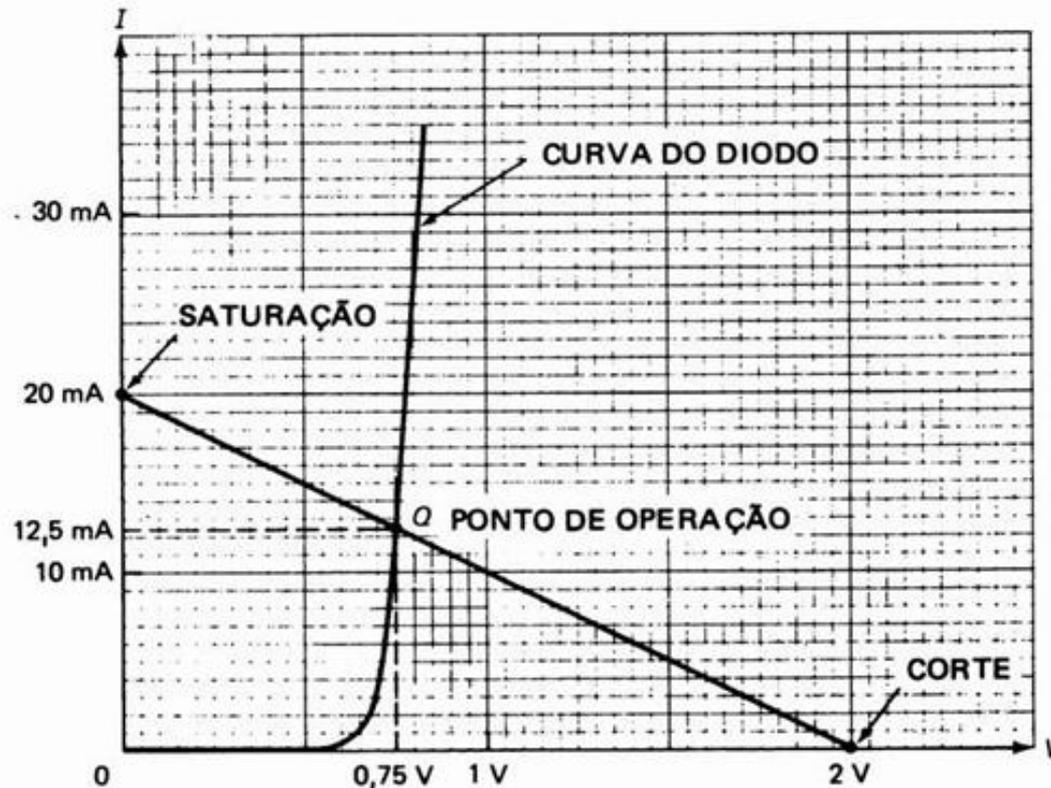


Fig. 2-19 A linha de carga intercepta a curva do diodo no ponto de operação.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Exercício

- Calcule a reta de carga para $V_S = 3\text{ V}$ e $R_S = 100\ \Omega$ e determine o ponto quiescente.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

○ Exercício

- Calcule a reta de carga para $V_S = 3\text{ V}$ e $R_S = 100\ \Omega$ e determine o ponto quiescente.

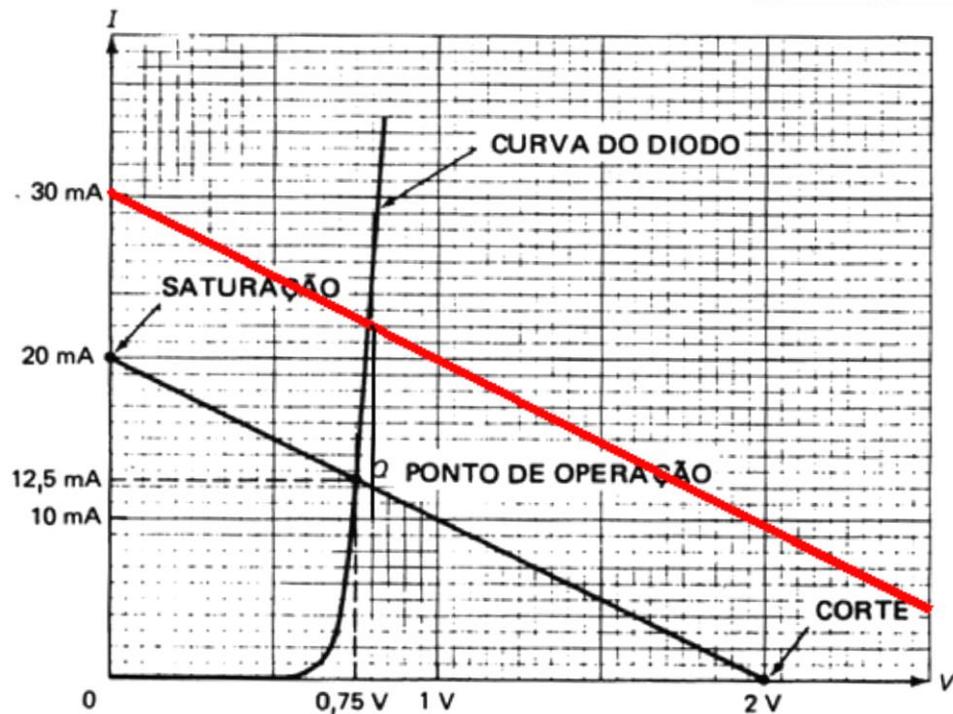


Fig. 2-19 A linha de carga intercepta a curva do diodo no ponto de operação.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.3.4 – Circuitos Equivalente dos Diodos

- Tensão de limiar: aproximações de 10%;
- Primeira aproximação: Diodo Ideal
 - Condução direta e bloqueio quando polarizado reversamente;



Fig. 2-20 (a) Diodo ideal (b) Uma chave é equivalente a um diodo ideal.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Segunda aproximação:

- Tensão de limiar constante de 0,7 V – inclusão de uma fonte dc;



Fig. 2-21 (a) Segunda aproximação. (b) A chave e a bateria formam o circuito equivalente.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- Terceira aproximação:
 - Inclusão de uma resistência r_B

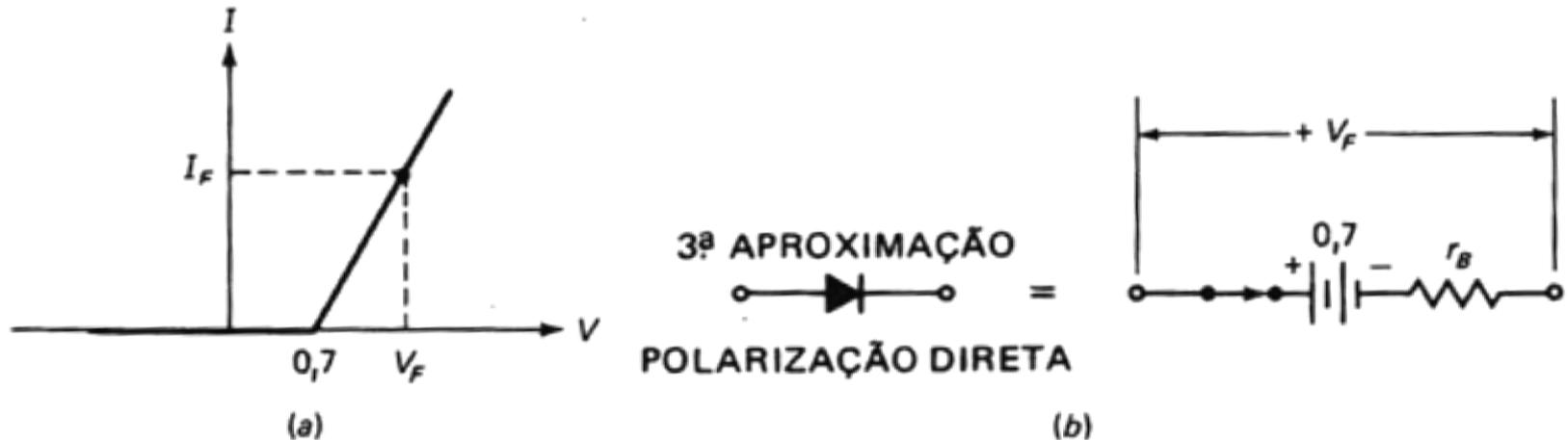


Fig. 2-22 (a) Terceira aproximação. (b) Circuito equivalente.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Exercício

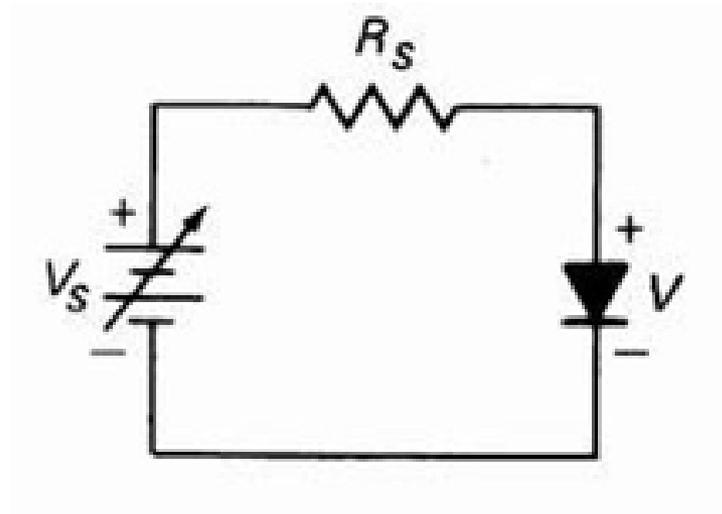
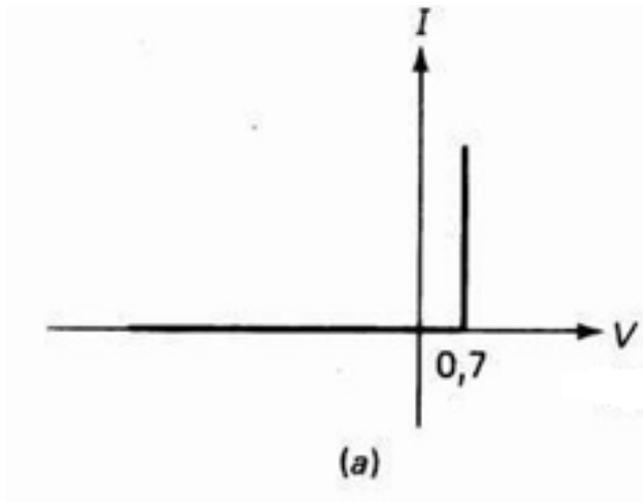
Usando a segunda aproximação, determine a corrente no diodo para o circuito: $V_s = 10\text{ V}$, $R_S = 5\text{ k}\Omega$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Exercício

Usando a segunda aproximação, determine a corrente no diodo para o circuito: $V_s = 10\text{ V}$, $R_s = 5\text{ k}\Omega$

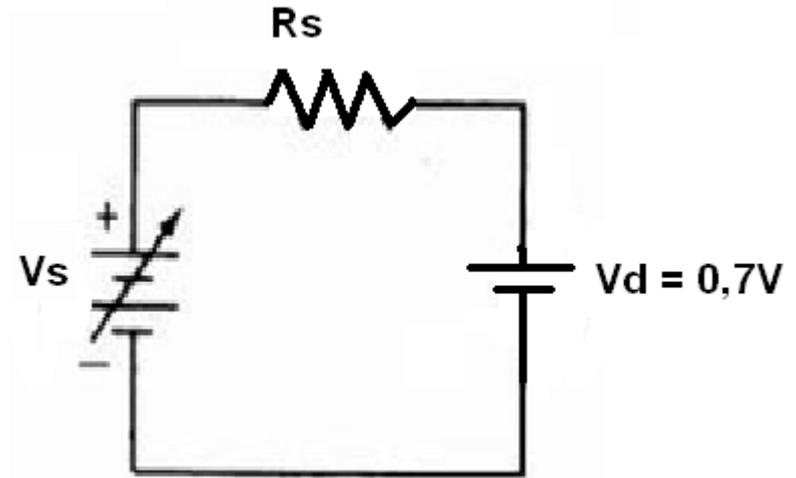
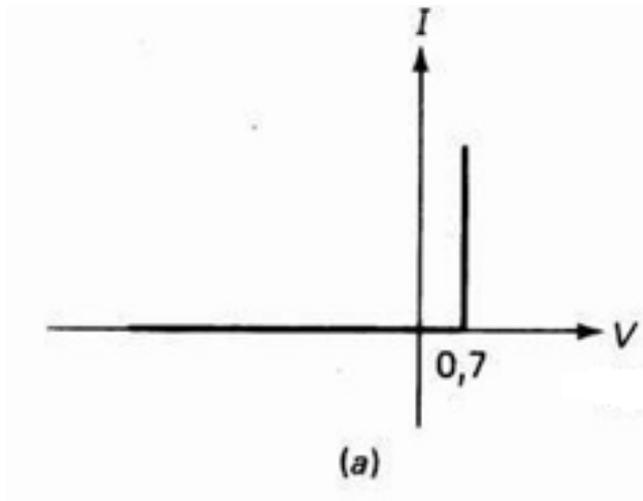


Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Exercício

Usando a segunda aproximação, determine a corrente no diodo para o circuito: $V_s = 10\text{ V}$, $R_s = 5\text{ k}\Omega$



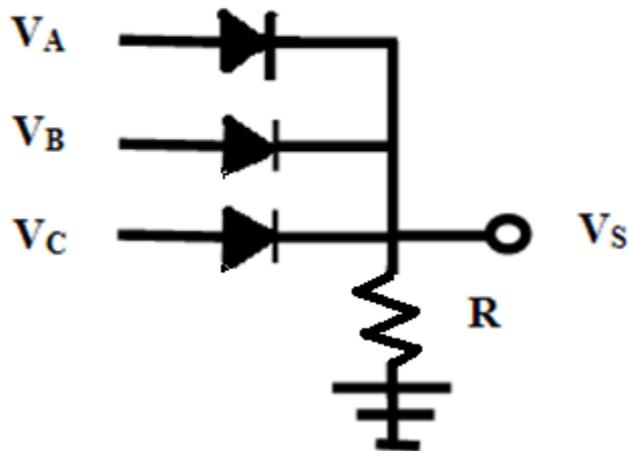
$$I_s = \frac{V_s - 0,7}{R_s} = \frac{9,3}{5} * 10^3 = 1,86\text{ mA}$$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.4 - Circuitos Digitais Usando Diodos

- Portas Lógicas:
 - Circuitos baseados em diodos e resistores podem realizar operações lógicas.
 - Porta OR

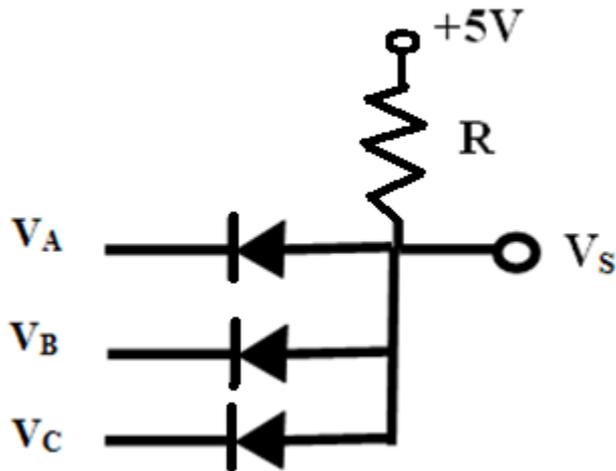


V_A	V_B	V_C	V_S
0	0	0	
0	0	5	
0	5	0	
0	5	5	
5	0	0	
5	0	5	
5	5	0	
5	5	5	

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

○ Porta AND



V_A	V_B	V_C	V_S
0	0	0	
0	0	5	
0	5	0	
0	5	5	
5	0	0	
5	0	5	
5	5	0	
5	5	5	

- Cada diodo com tensão 0 V fica polarizado diretamente, forçando a tensão V_S a manter-se próximo deste valor.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5 – Circuitos com Diodos Retificadores

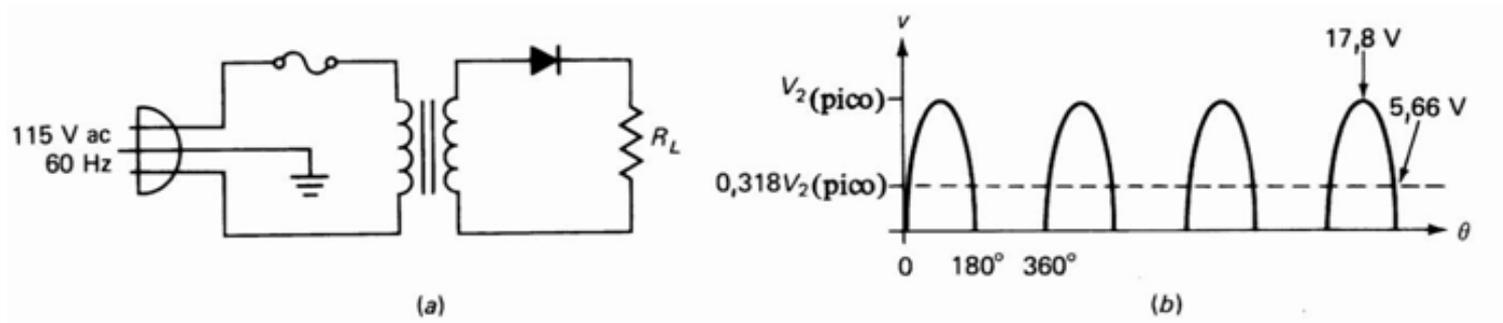
- **Transformador:**
 - Dois enrolamentos de cobre em chapas de material com alta permeabilidade magnética;
 - Terminais primário e secundário;
 - máquina estática que transforma a tensão de alimentação (primário), numa tensão de saída maior ou menor (secundário);
 - acoplamento magnético;
 - alto rendimento ($> 97\%$);
 - mesma frequência (geralmente 60 Hz);
- **Retificação:** processo de conversão de tensão alternada em tensão com uma única polaridade;
- **Tensão contínua:** pode ser obtida com melhoria na tensão retificada.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.1 – Retificador de Meia Onda

- Utiliza apenas um diodo;



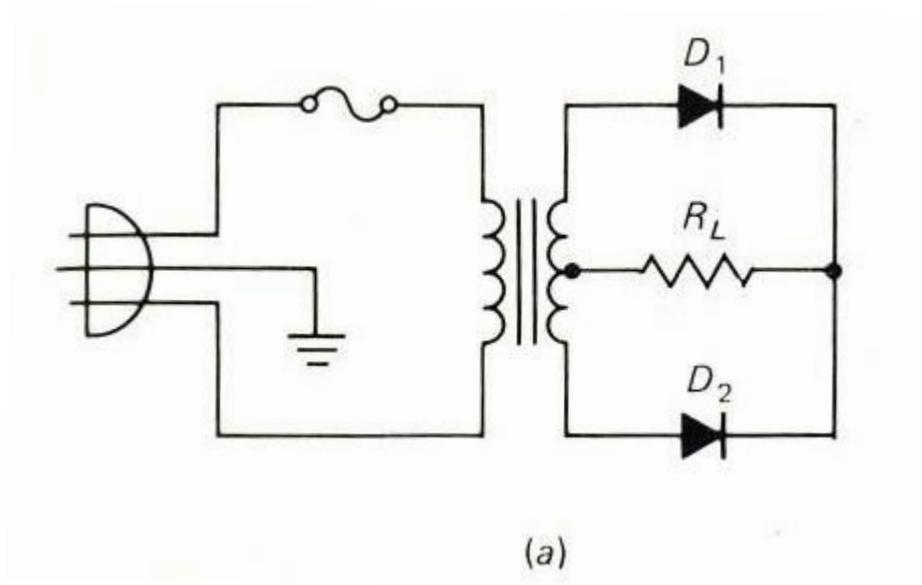
- Semiciclo positivo: diodo polarizado diretamente;
- Semiciclo negativo: diodo polarizado reversamente;
- Tensão de Pico Inversa: Igual à tensão de pico do secundário do transformador;
- Tensão Média (deduzir): $0,318 V_{\text{PICO}}$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.2 - Retificador de Onda Completa

- Transformador Center TAP



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.2 Retificador de Onda Completa

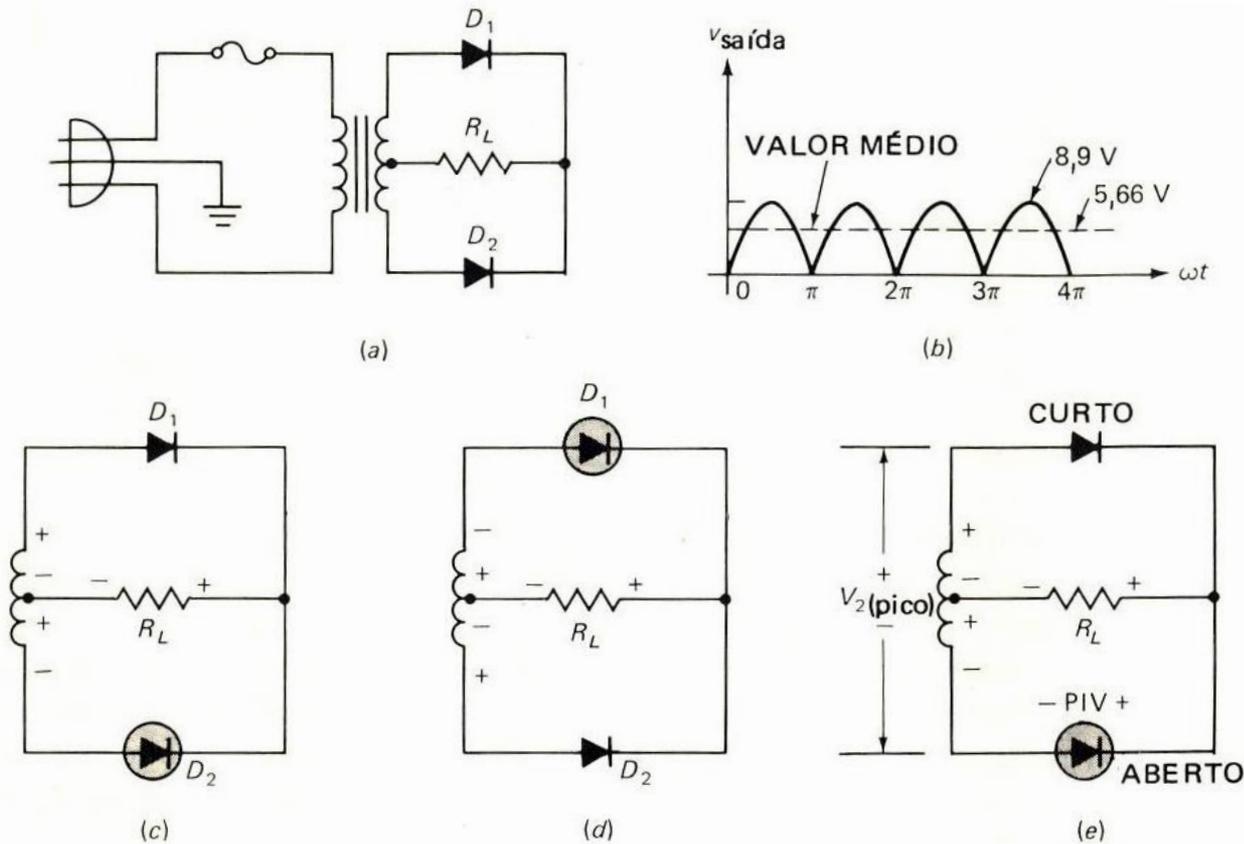
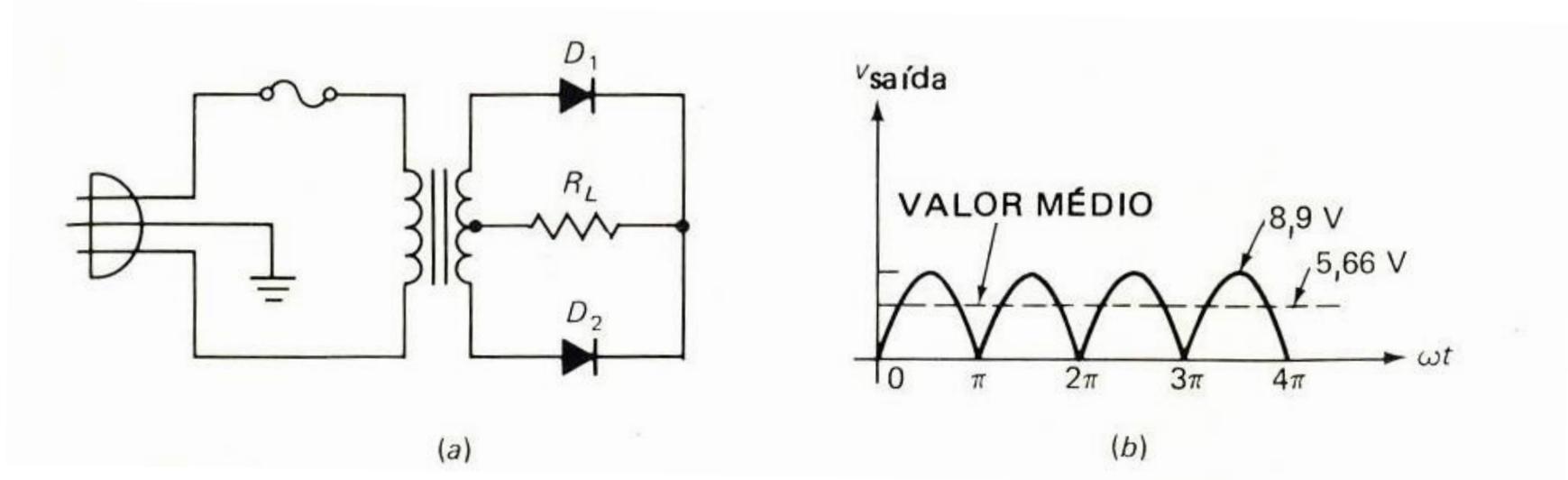


Fig. 3-5 (a) Retificador de onda completa. (b) Saída refiticada. (c) Semiciclo positivo. (d) Semiciclo negativo. (e) Tensão de pico inversa.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.2 Retificador de Onda Completa



$$V_{\text{saída (pico)}} = 0,5 V_{2(\text{pico})}$$

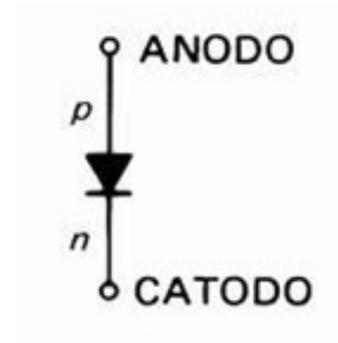
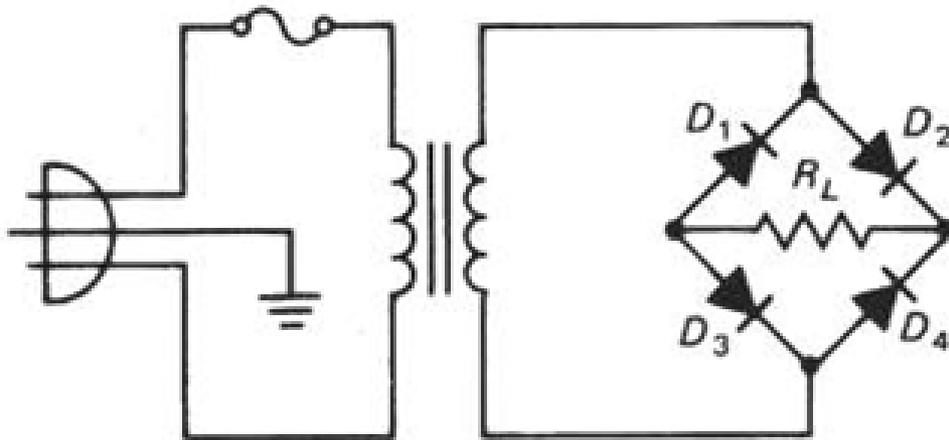
$$V_{\text{cc}} = 0,636 V_{\text{saída (pico)}}$$

$$V_{\text{cc}} = \frac{2 V_{\text{saída (pico)}}}{\pi}$$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

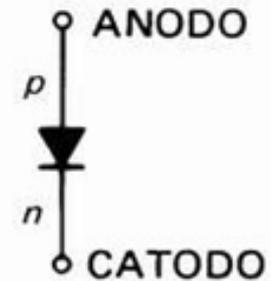
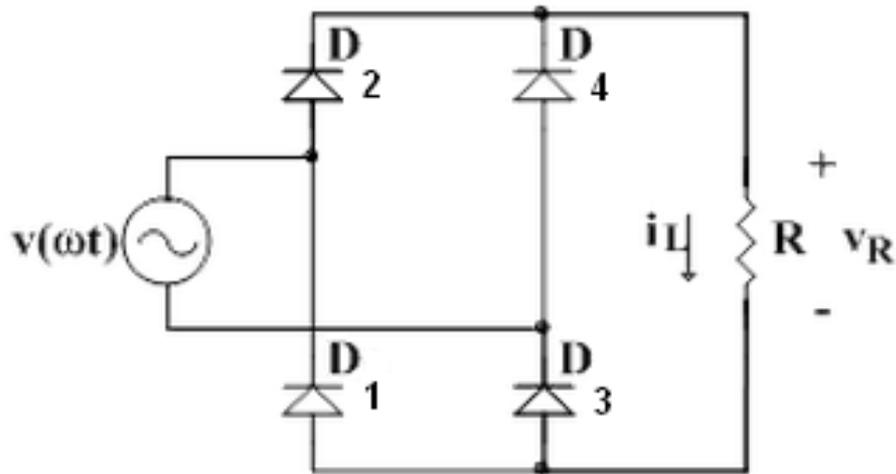
1.5.3 – Retificador em ponte



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.3 – Retificador em Ponte



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.2 – Retificador de Onda Completa (Retificador em Ponte)

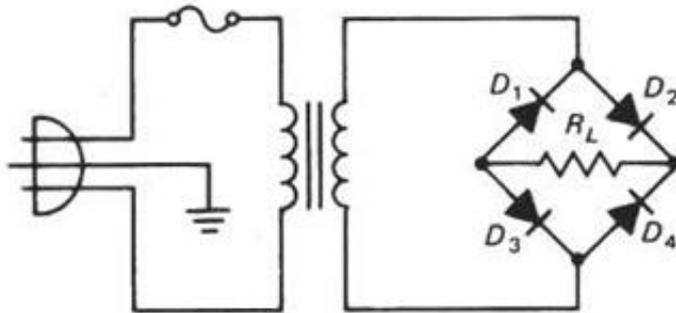
- **Maior valor médio e eficaz;**
- **Corrente balanceada em ambos os semiciclos;**
- **Semiciclo positivo: D_2 e D_3 polarizados diretamente**
- **semiciclo negativo: D_1 e D_4 polarizados diretamente**
- **qualquer semiciclo, a tensão na carga tem a mesma polaridade;**
- **freqüência de saída é o dobro da freqüência de entrada;**

Eletrônica Básica – ELE 0937

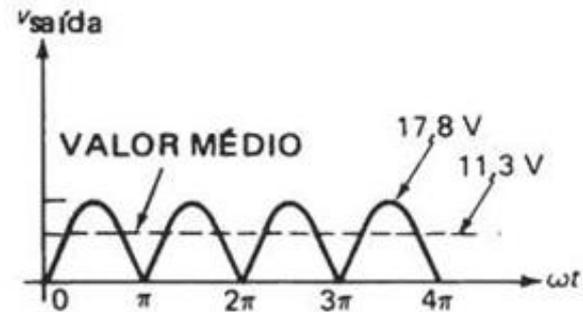
Capítulo 1 – Diodos

- tensão de pico inversa: V_2 (pico)
- Tensão Média (deduzir):

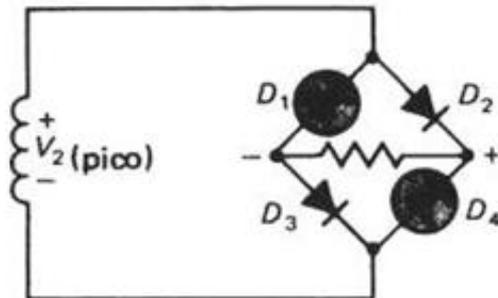
$$V_{CC} = 0,636 V_2 \text{ (pico)}$$



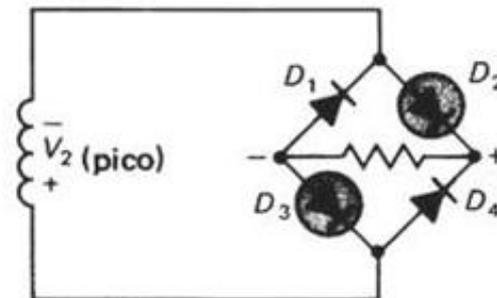
(a)



(b)



(c)



(d)

Tabela 3-2. Retificadores Médios Ideais

	Meia Onda	Onda Completa	Ponte
Número de diodos	1	2	4
Tensão de pico de saída	$V_{2(\text{pico})}$	$0,5 V_{2(\text{pico})}$	$V_{2(\text{pico})}$
Tensão <i>cc</i> de saída	$0,318 V_{\text{saída}(\text{pico})}$	$0,636 V_{\text{saída}(\text{pico})}$	$0,636 V_{\text{saída}(\text{pico})}$
Corrente <i>cc</i> do diodo	I_{cc}	$0,5 I_{\text{cc}}$	$0,5 I_{\text{cc}}$
Tensão de pico inversa	$V_{2(\text{pico})}$	$V_{2(\text{pico})}$	$V_{2(\text{pico})}$
Frequência da ondulação	f_{ent}	$2f_{\text{ent}}$	$2f_{\text{ent}}$
Tensão <i>cc</i> de saída	$0,45 V_{2(\text{rms})}$	$0,45 V_{2(\text{rms})}$	$0,9 V_{2(\text{rms})}$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

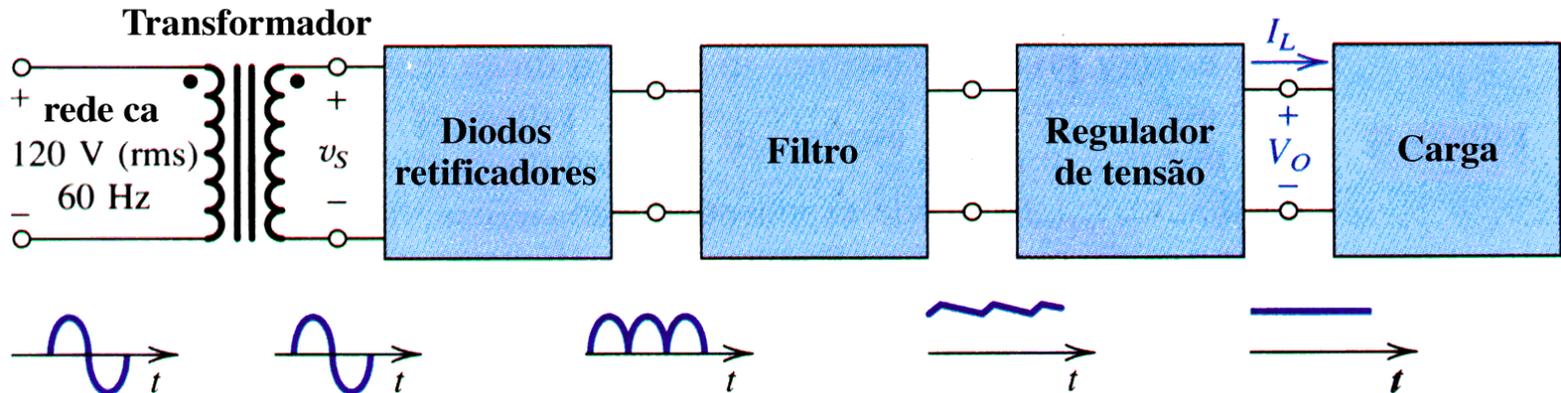
1.5.3 - Filtro com capacitor de Entrada

- Tensão de saída de um retificador é um sinal pulsante;
- usado em: carga de baterias, motores CC
- alimentação de circuitos eletrônicos: tensão cc, constante
- Acoplamento de capacitor na saída do retificador
- Funcionamento:
 - Tensão retificada (pulsante) sobre o capacitor;
 - Capacitor é carregado até V_P ;
 - Diodo entra em corte, polarizado reversamente pelo capacitor;
 - Capacitor se descarrega através da resistência de carga;
 - Constante de tempo elevada: carga diminua pouco no semiciclo negativo;

Eletrônica Básica – ELE 0937

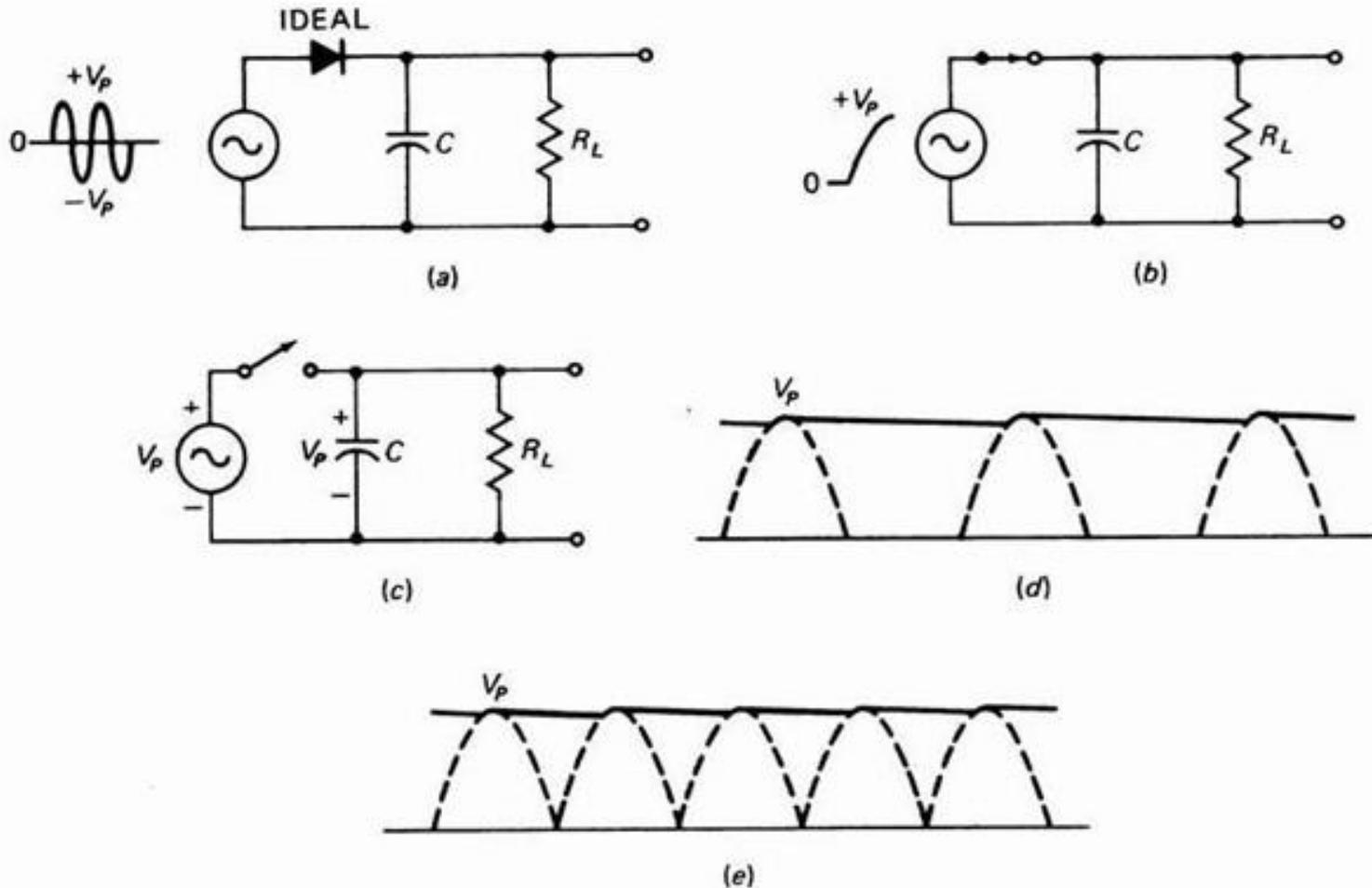
Capítulo 1 – Diodos

- No semiciclo positivo seguinte, o diodo conduz apenas quando a tensão na saída do retificador supera a tensão no capacitor, carregando-o novamente.
- Ondulações de tensão na carga: regulação da fonte;
- Filtro com Retificador de Onda completa: Figura (e)



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.4 – Multiplicadores de Tensão

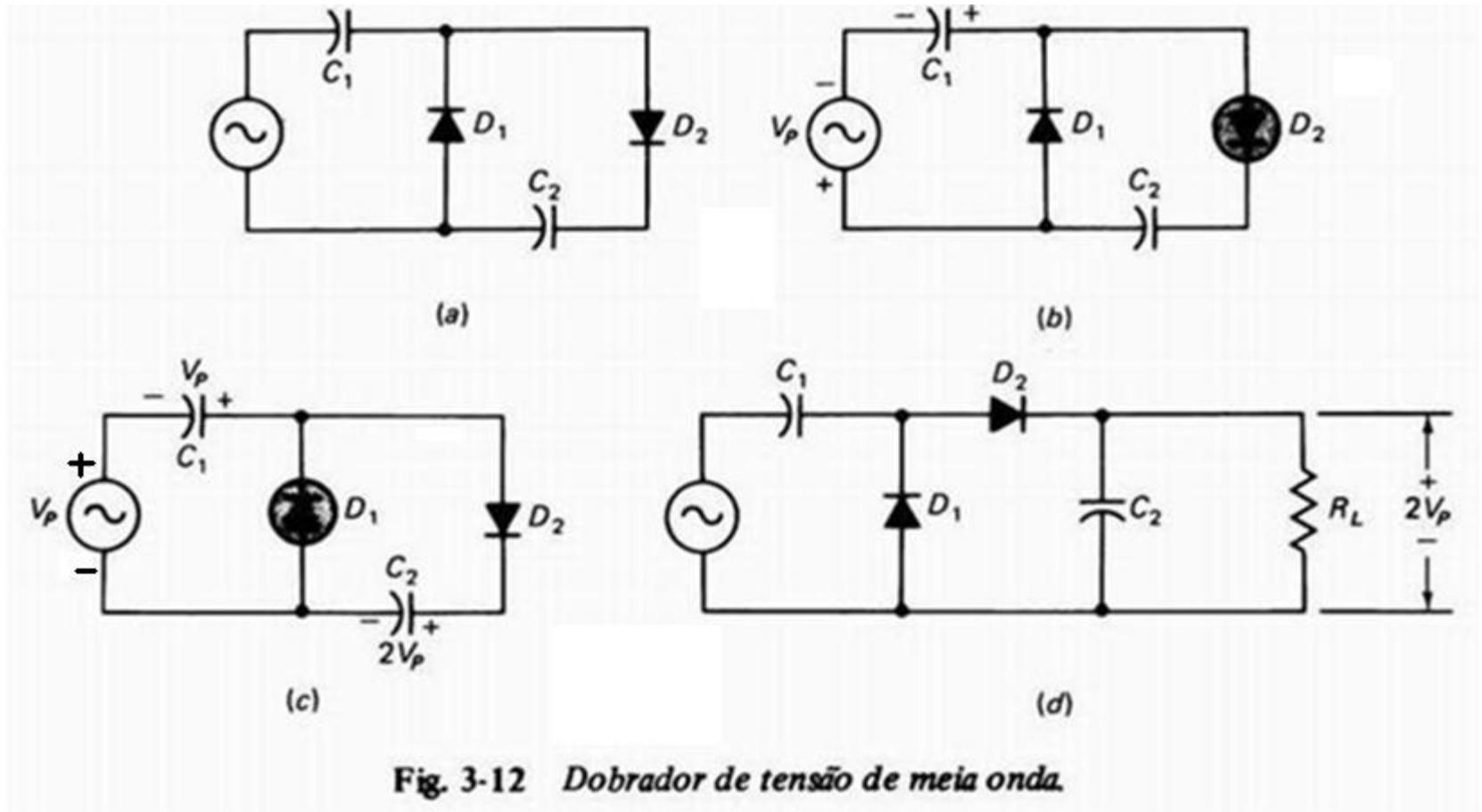
- Circuitos formados por dois ou mais retificadores de pico
- Produz tensão cc de saída igual a um múltiplo da tensão de pico da entrada;
- Usados em fonte de alimentação de alta tensão e baixa corrente

1.5.4.1 – Dobrador de Tensão de Meia Onda

- Figura 3.12 – Usa dois capacitores e dois diodos;
- Semiciclo negativo, D_1 polarizado direto e D_2 reverso;
- C_1 se carrega com tensão V_P
- Semiciclo positivo: D_1 reverso e D_2 direto;
- C_2 se carrega com $2V_P$

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.5.4.2 – Dobrador de Tensão de Onda Completa

- Carga em ambos os semiciclos;
- Não tem ponto de aterramento comum ligando entrada e saída;

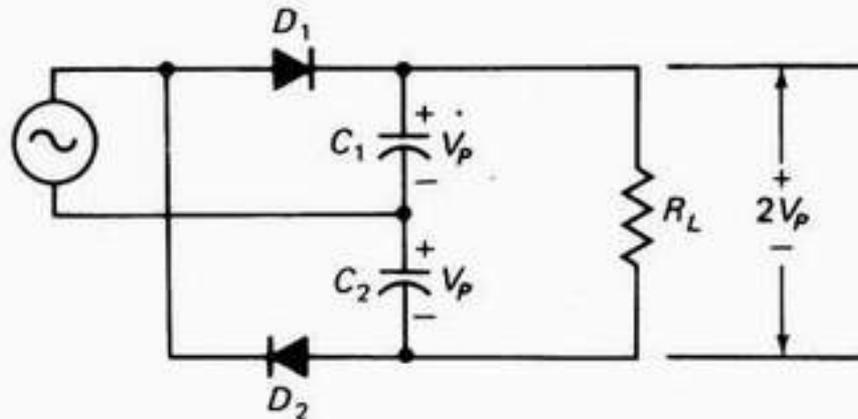


Fig. 3-13 Dobrador de tensão de onda completa.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.6 - Circuitos Limitadores

- Retira tensões do sinal acima ou abaixo de um determinado nível;
- Usados para variar a forma de onda do sinal e proteger os circuitos.

1.6.1 – Limitador Positivo

- Figura 3.15 - ceifador;
- Retira partes positivas do sinal: todos semiciclos positivos são cortados ($< 0,7V$);
- Na polarização reversa, a tensão de entrada é aplicada à carga;
- R_L deve ser bem maior que R

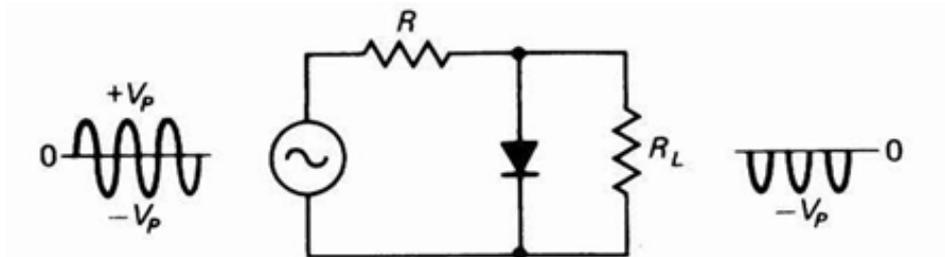


Fig. 3-15 *Limitador positivo.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.6.2 – Limitador Positivo Polarizado

- Desloca o nível de corte da tensão para $V+0,7V$

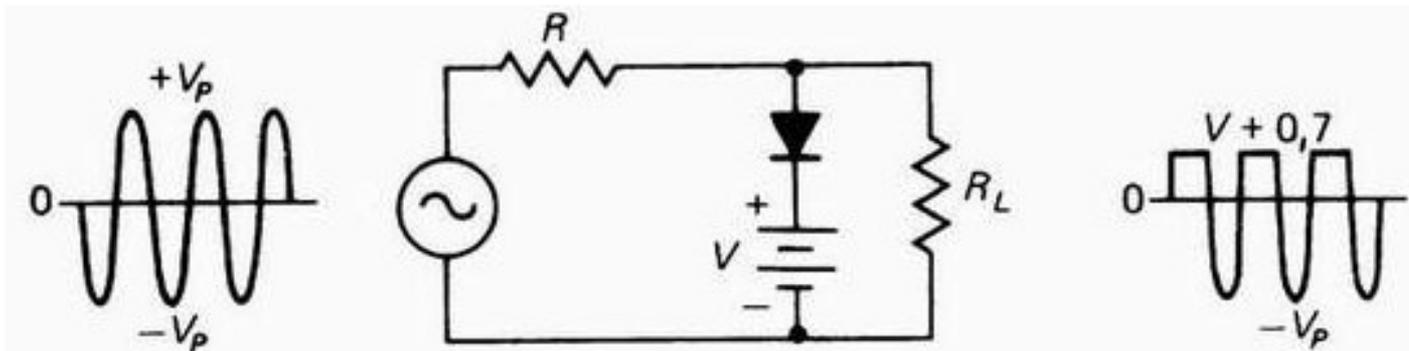


Fig. 3-16 *Limitador positivo polarizado.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- dois limitadores de tensão positiva e negativa podem ser associados (Fig. 3-17)

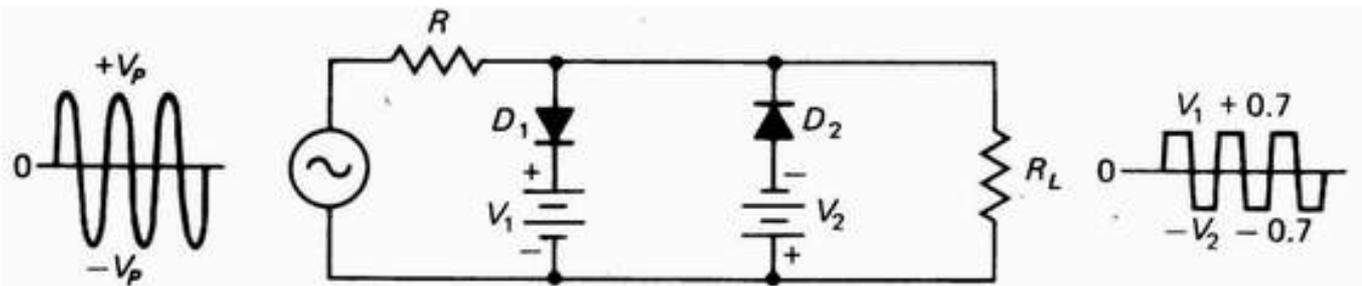


Fig. 3-17 Associação de limitadores.

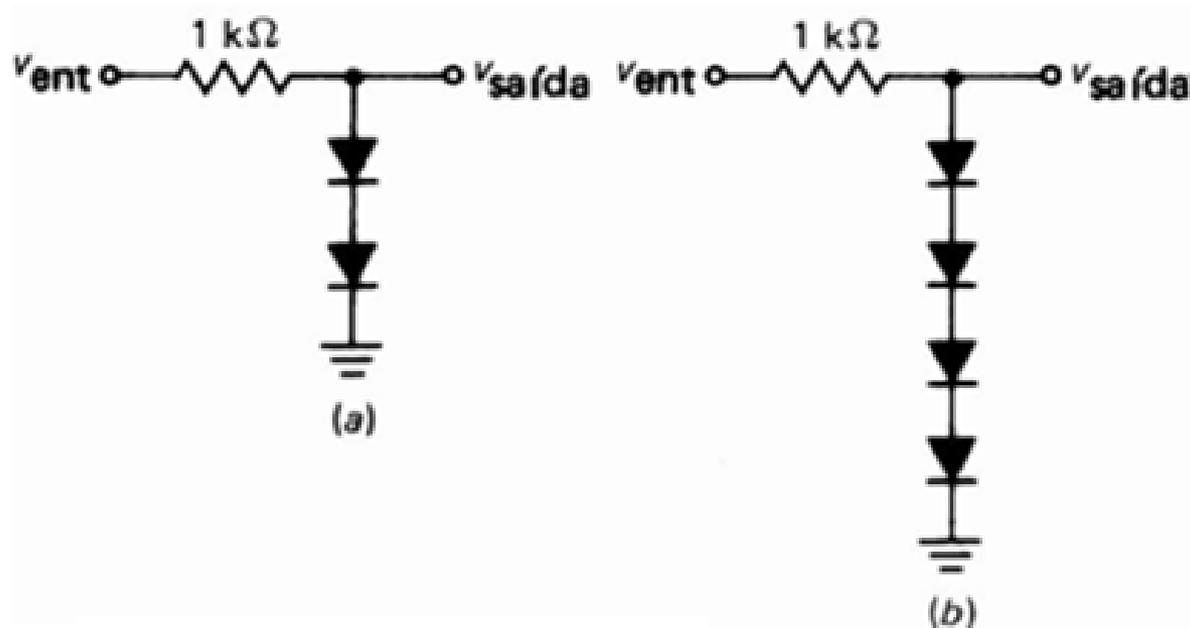
- quando o nível da tensão de saída for muito grande, a forma de onda do sinal de saída será próximo de uma onda quadrada;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.6.3 - Grupo de diodos

- Interligação de um ou mais diodos que serve para grampear a tensão de saída;

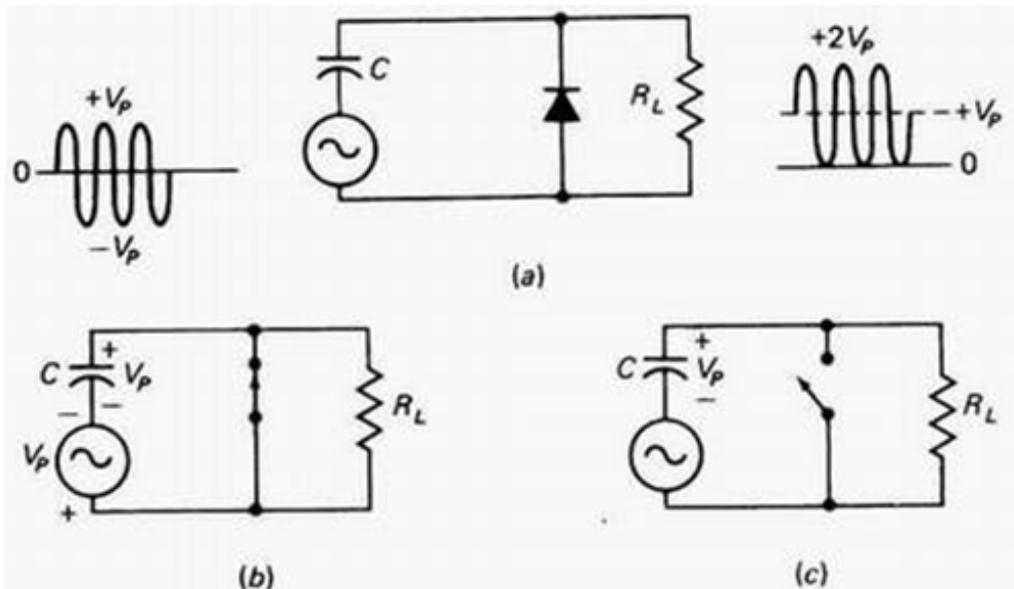


Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

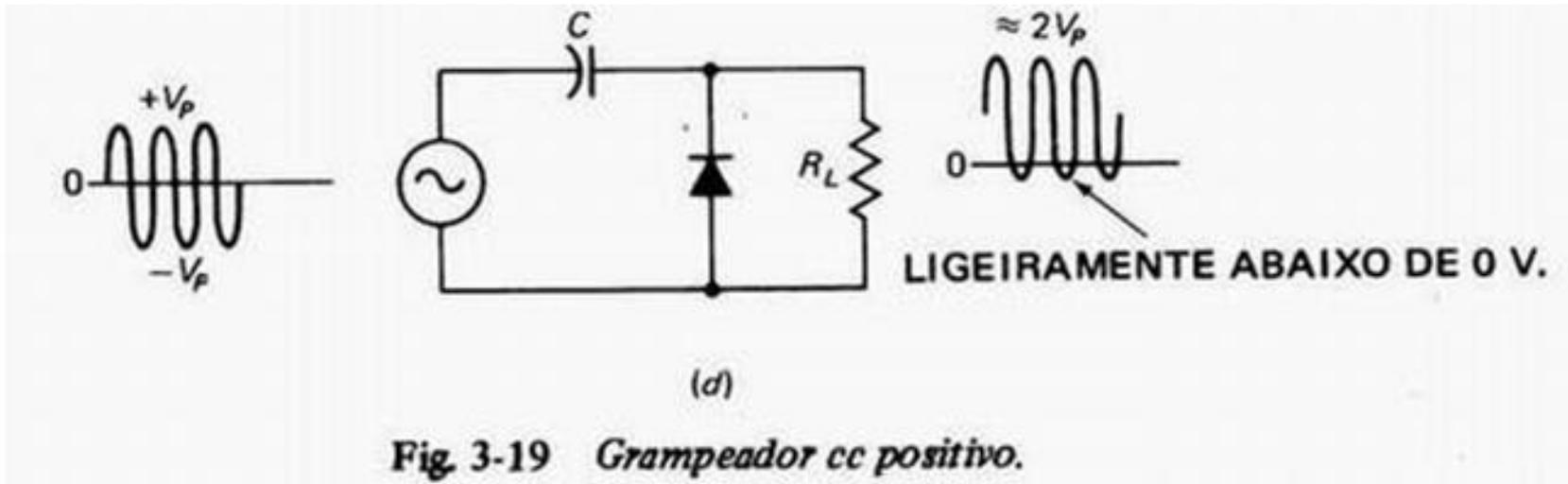
1.6.4 – Grampeadores CC

- Soma tensão CC ao sinal alternado;
- Fig 3.19 – Grampeador cc positivo;
- Primeiro Semiciclo negativo: diodo conduz e carrega capacitor com V_p
- Depois do pico negativo, diodo abre e a carga vê a associação da tensão do capacitor mais a tensão da fonte;



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.7 – Outros Tipos de Diodos

- Diodos retificadores e de pequeno sinal: otimizados para retificação;
- Outros diodos podem ser usados em funções diferentes;

Eletrônica Básica – ELE 0937

1.7.1. – Diodo Zener

- Região de ruptura deve ser evitada num diodo retificador;
- Diodo Zener: otimizado para trabalhar na região de ruptura (diodo de ruptura);
- Usado intensivamente em reguladores de tensão;
- Mantém a tensão de saída constante apesar de grandes variações da tensão de entrada e da resistência da carga;
- De acordo com a dopagem, a tensão de ruptura varia de 2 a 200 V;
- Figura 4.1:

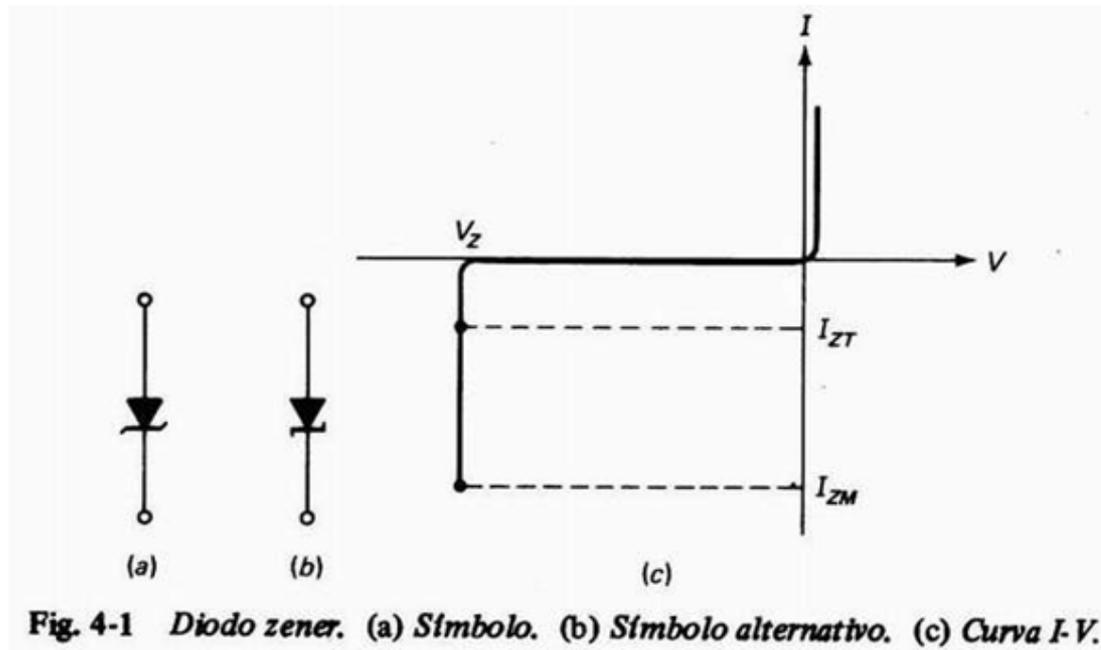
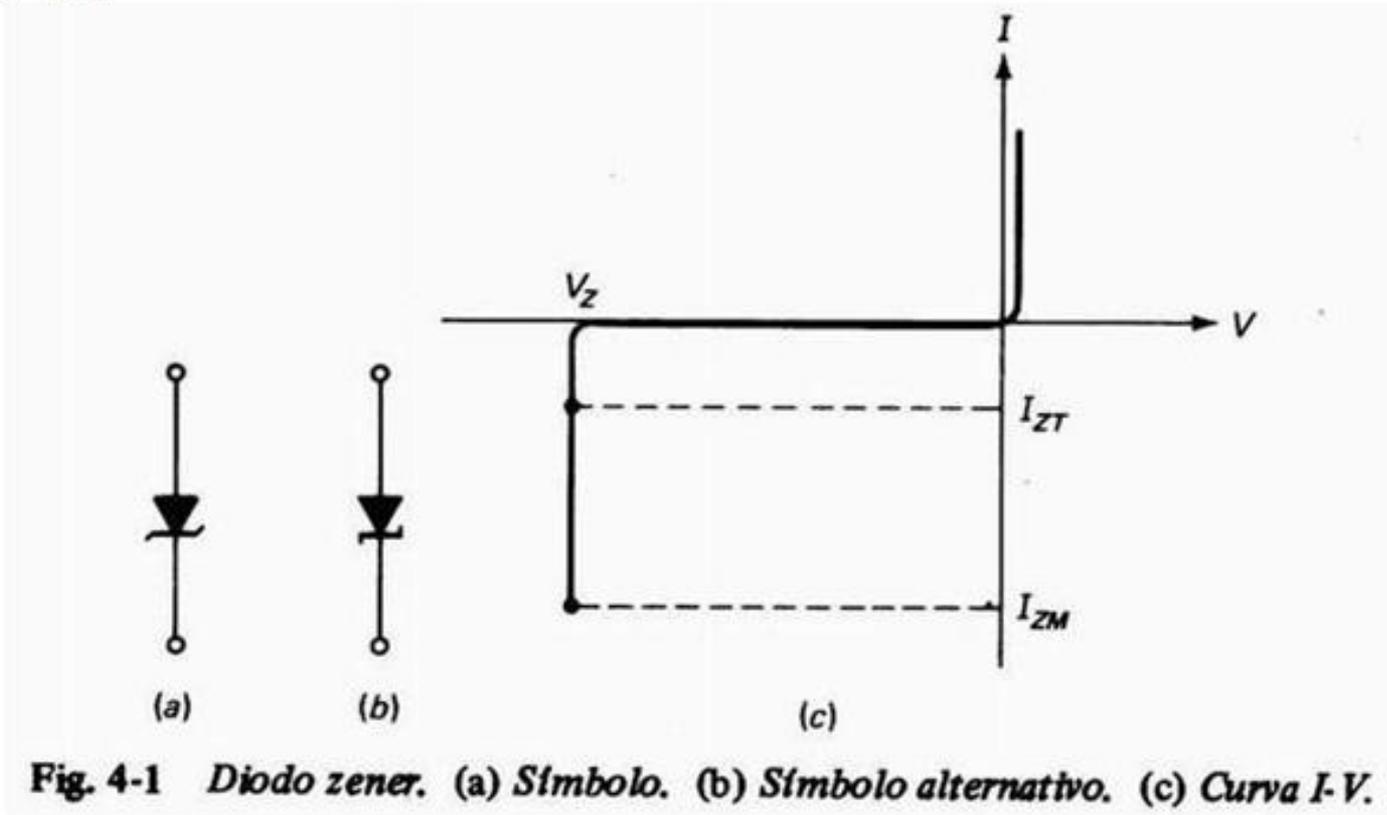


Fig. 4-1 Diodo zener. (a) Símbolo. (b) Símbolo alternativo. (c) Curva I-V.

Eletrônica Básica – ELE 0937

- Figura 4.1:



- ao atingir V_Z (com I_{ZT}), a tensão permanece constante;
- I_{ZT} – corrente zener máxima

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.7.2 – Diodo Emissor de Luz (LED – Light Emitter Diode)

- energia luminosa que os elétrons livres liberam ao atravessar a junção e descenderem para a banda de valência;
- usam diferentes elementos semicondutores para obter cores diferentes, inclusive infravermelho;
- queda de tensão típica da entre 1,5 V a 2,5 V e corrente entre 10 e 50 mA;
- queda típica de 2 V (calcular corrente na circuito da 4.11.a);

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

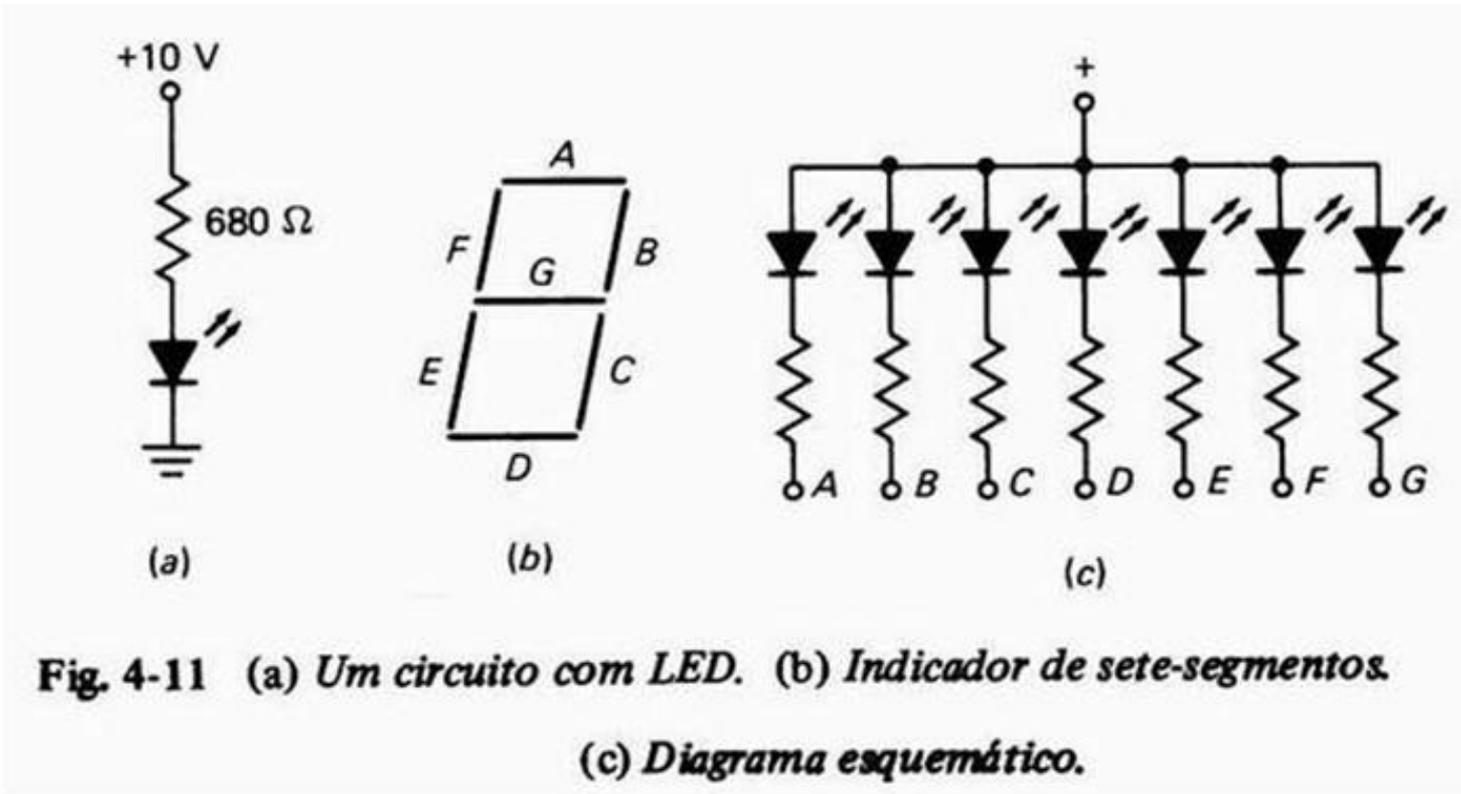


Fig. 4-11 (a) *Um circuito com LED.* (b) *Indicador de sete-segmentos.*
(c) *Diagrama esquemático.*

- Indicador de sete-segmentos (tabela de valores);
- Cada segmento é um LED;
- Pontos aterrados indicam quais segmentos estão acessos.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.7.3 – Fotodiodo

- polarização reversa no diodo: corrente reversa devido ao fluxo de portadores minoritários;
- energia luminosa sobre a junção PN pode desajolar elétrons de valência;
- quantidade de energia luminosa controlando a corrente;
- fotodiodo: diodo otimizado para sua sensibilidade a luz;
 - janela permite que a luz chegue na junção;

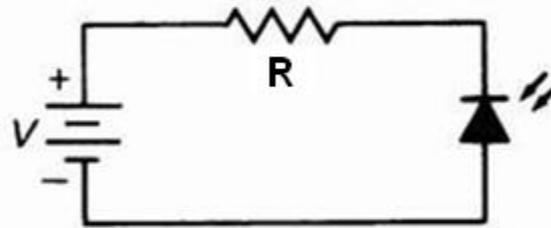


Fig. 4-12 *Fotodiodo.*

- usado como fotodetector: transforma luz incidente em grandeza elétrica;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- **Optoacoplador**

- Associa um LED a um fotodetector num único dispositivo;
- isolação elétrica entre os circuitos - Megaohms

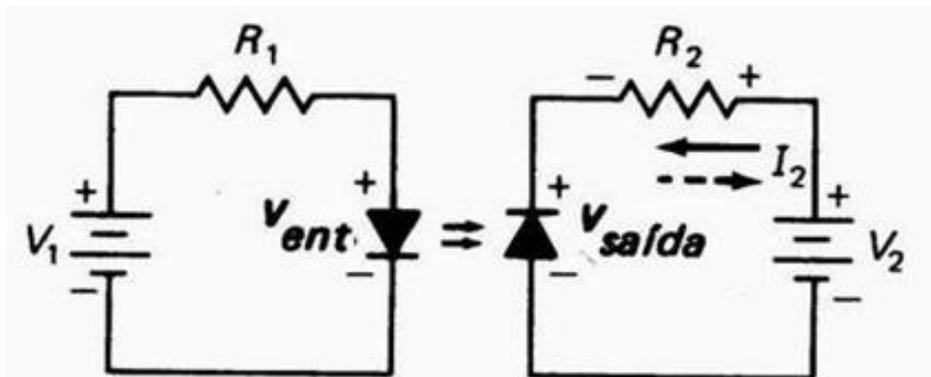


Fig. 4-13 *Optoacoplador.*

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

1.7.4 – Diodo Schottky

- Diodo comum pode entrar em corte facilmente quando a polarização é revertida;
- Com aumento da frequência, as cargas armazenadas demoram a ser retirada e o diodo conduz mesmo quando reversamente polarizado até que as cargas sejam retiradas da junção;
- A retificação não é mais perfeita;
- Diodo Schottky:
 - Emprega metal de um lado da junção e silício dopado do outro lado;
 - Queda de tensão direta de 0,25V;

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

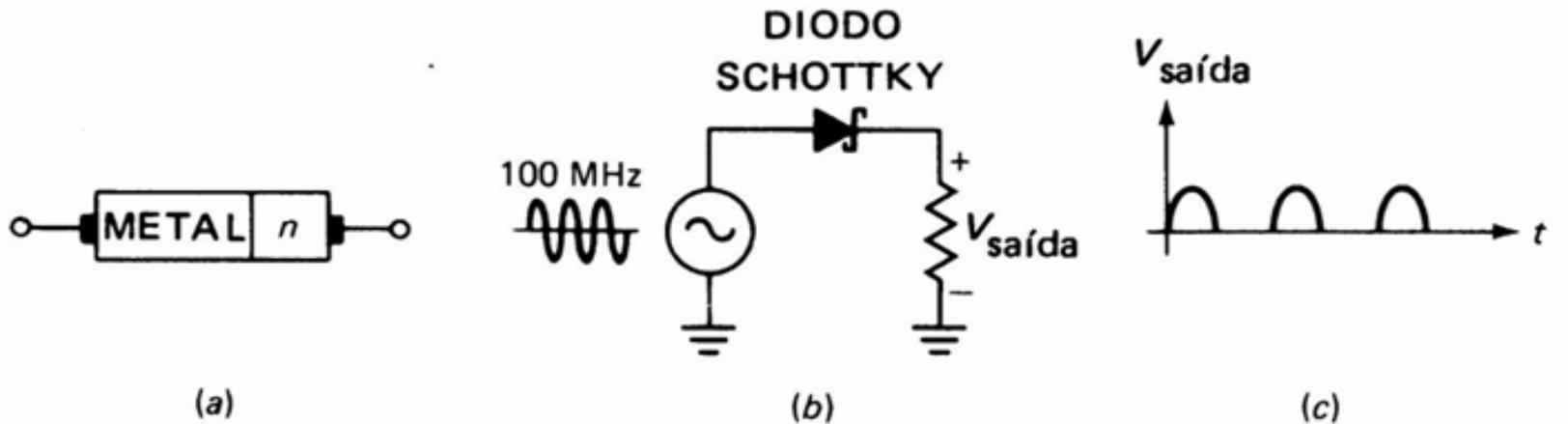


Fig. 4-17 Diodo Schottky. (a) Estrutura. (b) Circuito. (c) Saída em 100 MHz.

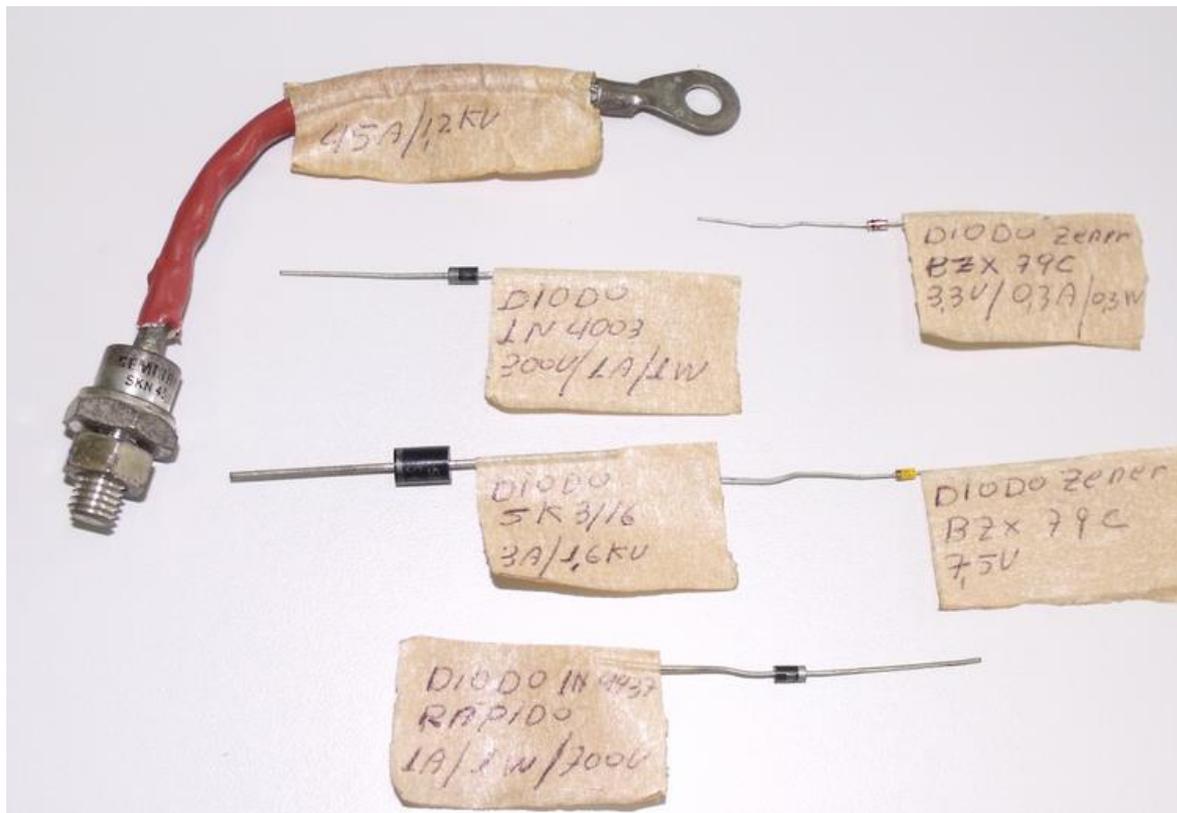
Eletrônica Básica – ELE 0937

Alguns diodos: SKN 45 - 45 A, 1200 V - R\$ 33 a R\$ 45

1N4003 – 1 A, 300 V – R\$ 0,06 a R\$ 0,14

SK 3/16 – 3A, 1,6 kV

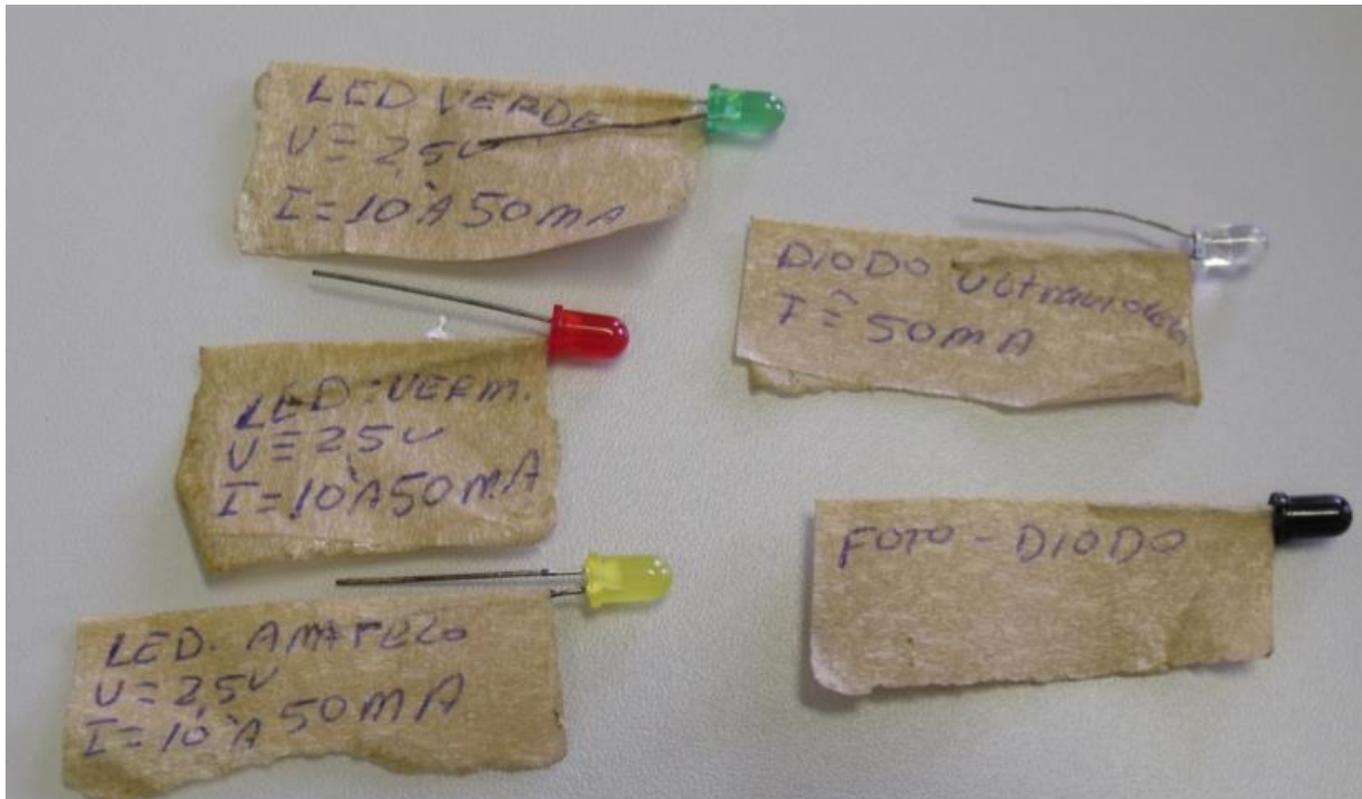
1N4937 1A, 700 V



Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

LEDs – Verde Amarelo Vermelho, Ultravioleta, Foto Diodo



Datasheet



May 2009

1N4001 - 1N4007 General Purpose Rectifiers

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41

COLOR BAND DENOTES CATHODE

Absolute Maximum Ratings * $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single Half-Sine-Wave	30							A
I^2t	Rating for Fusing ($t < 8.3\text{ms}$)	3.7							A^2sec
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

1N4001 - 1N4007 — General Purpose Rectifiers

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

Electrical Characteristics $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_F	Forward Voltage @ 1.0A	1.1	V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^{\circ}\text{C}$	30	μA
I_R	Reverse Current @ Rated V_R $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ $T_A = 100^{\circ}\text{C}$	5.0 50	μA μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{V}$, $f = 1.0\text{MHz}$	15	pF

V_{RSM} V	V_{RRM} V	$I_{FRMS} = 80$ A (maximum value for continuous operation) $I_{FAV} = 45$ A (sin. 180; $T_c = 125$ °C)		
400	400	SKN 45/04	SKR 45/04	
800	800	SKN 45/08	SKR 45/08	
1200	1200	SKN 45/12	SKR 45/12	
1400	1400	SKN 45/14	SKN 45/14	
1600	1600	SKN 45/16	SKR 45/16	

Symbol	Conditions	Values	Units
I_{FAV}	sin. 180; $T_c = 100$ °C	50	A
I_D	K 5; $T_a = 45$ °C; B2 / B6	40 / 57	A
	K 1,1; $T_a = 45$ °C; B2 / B6	86 / 120	A
I_{FSM}	$T_{vj} = 25$ °C; 10 ms	700	A
	$T_{vj} = 180$ °C; 10 ms	600	A
i^2t	$T_{vj} = 25$ °C; 8,3 ... 10 ms	2500	A ² s
	$T_{vj} = 180$ °C; 8,3 ... 10 ms	1800	A ² s
V_F	$T_{vj} = 25$ °C; $I_F = 150$ A	max. 1,6	V
$V_{(TO)}$	$T_{vj} = 180$ °C	max. 0,85	V
r_T	$T_{vj} = 180$ °C	max. 5	mΩ
I_{RD}	$T_{vj} = 180$ °C; $V_{RD} = V_{RRM}$	max. 10	mA
Q_{TT}	$T_{vj} = 160$ °C; $-di_F/dt = 10$ A/μs	70	μC
$R_{th(j-c)}$		0,85	K/W
$R_{th(c-s)}$		0,25	K/W
T_{vj}		- 40 ... + 180	°C
T_{stg}		- 55 ... + 180	°C

DIFFUSED SILICON PLANAR

• BV ... 125 V (MIN) @ 100 μ A (BAY73)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Temperatures

Storage Temperature Range	-65°C to +200°C
Maximum Junction Operating Temperature	+175°C
Lead Temperature	+260°C

Power Dissipation (Note 2)

Maximum Total Power Dissipation at 25°C Ambient	500 mW
Linear Power Derating Factor (from 25°C)	3.33 mW/°C

Maximum Voltage and Currents

WIV	Working Inverse Voltage	BAY73	100 V
-----	-------------------------	-------	-------

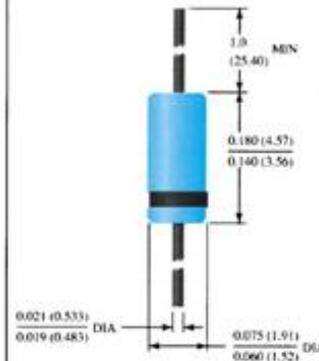
I_O	Average Rectified Current	200 mA
-------	---------------------------	--------

I_F	Continuous Forward Current	500 mA
-------	----------------------------	--------

i_f	Peak Repetitive Forward Current	600 mA
-------	---------------------------------	--------

$i_{f(surge)}$	Peak Forward Surge Current	
	Pulse Width = 1 s	1.0 A
	Pulse Width = 1 μ s	4.0 A

DO-35 OUTLINE



NOTES:

- Copper clad steel leads, tin plated
- Gold plated leads available
- Hermetically sealed glass package
- Package weight is 0.14 gram

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (25°C Ambient Temperature unless otherwise noted)

SYMBOL	CHARACTERISTIC	BAY73		UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	MAX		
V_F	Forward Voltage	0.85	1.00	V	$I_F = 200$ mA
		0.81	0.94	V	$I_F = 100$ mA
		0.78	0.88	V	$I_F = 50$ mA
		0.69	0.80	V	$I_F = 10$ mA
		0.67	0.75	V	$I_F = 5.0$ mA
		0.60	0.68	V	$I_F = 1.0$ mA
I_R	Reverse Current		500	nA	$V_R = 20$ V, $T_A = 125^\circ$ C
			5.0	nA	$V_R = 100$ V
			1.0	μ A	$V_R = 100$ V, $T_A = 125^\circ$ C
				nA	$V_R = 180$ V
				μ A	$V_R = 180$ V, $T_A = 100^\circ$ C
BV	Breakdown Voltage	125		V	$I_R = 100$ μ A
C	Capacitance		8.0	pF	$V_R = 0$, $f = 1.0$ MHz
t_{rr}	Reverse Recovery Time		3.0	μ s	$I_F = 10$ mA, $V_R = 35$ V $R_L = 1.0$ to 100 k Ω $C_L = 10$ pF, JAN 256

NOTES

- These ratings are limiting values above which the serviceability of the diode may be impaired.
- These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulses or low duty-cycle operation.

FIGURE 1-41a Terminal characteristics of a high-voltage diode.

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTIC CURVES
at 25°C ambient temperature unless otherwise noted

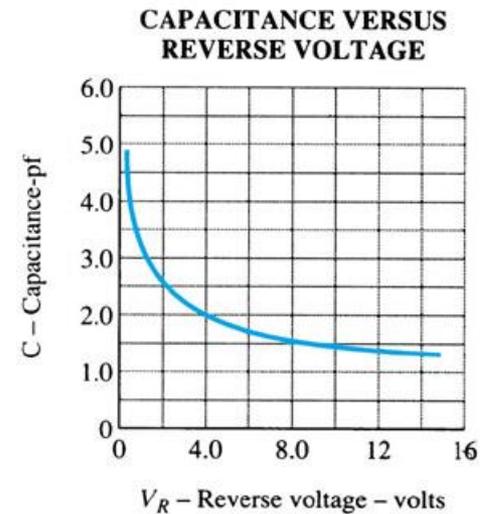
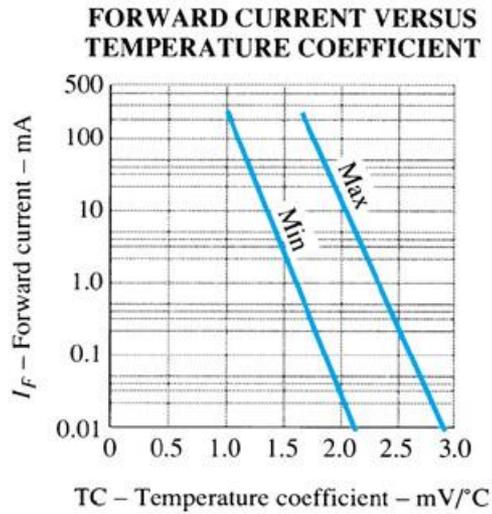
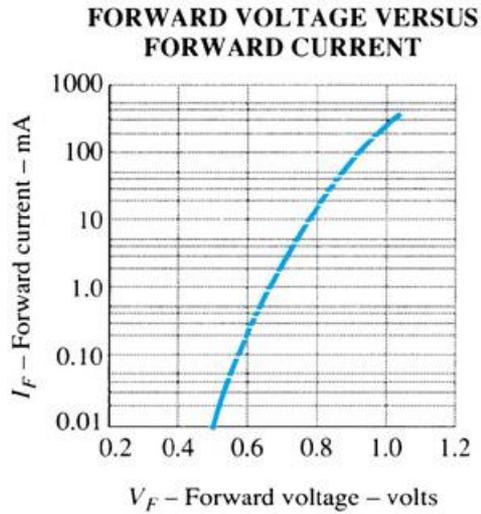


FIGURE 1-41b Terminal characteristics of a high-voltage diode. (*Continued*)

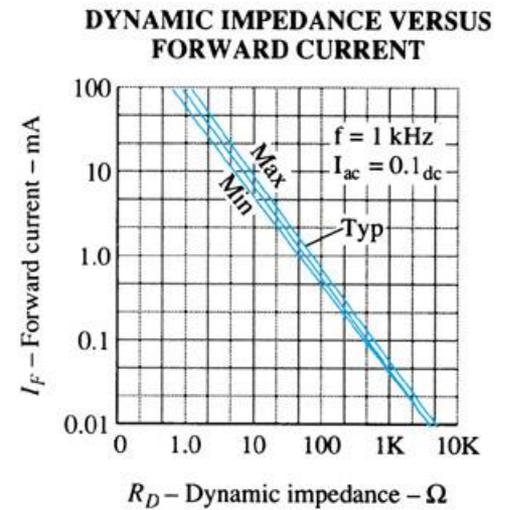
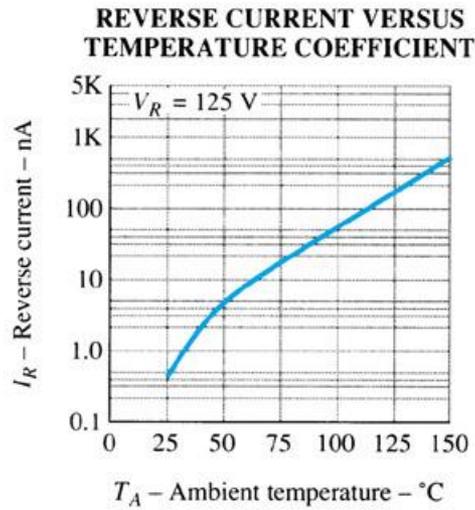
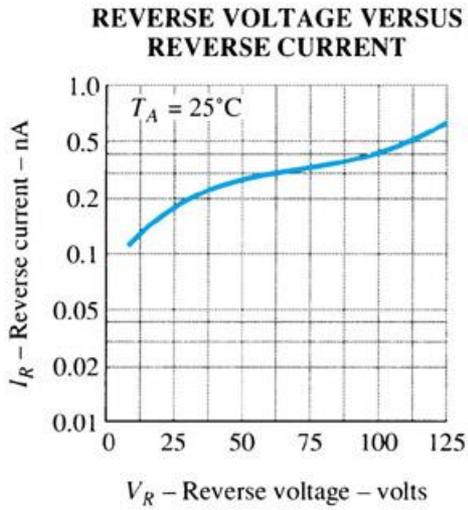
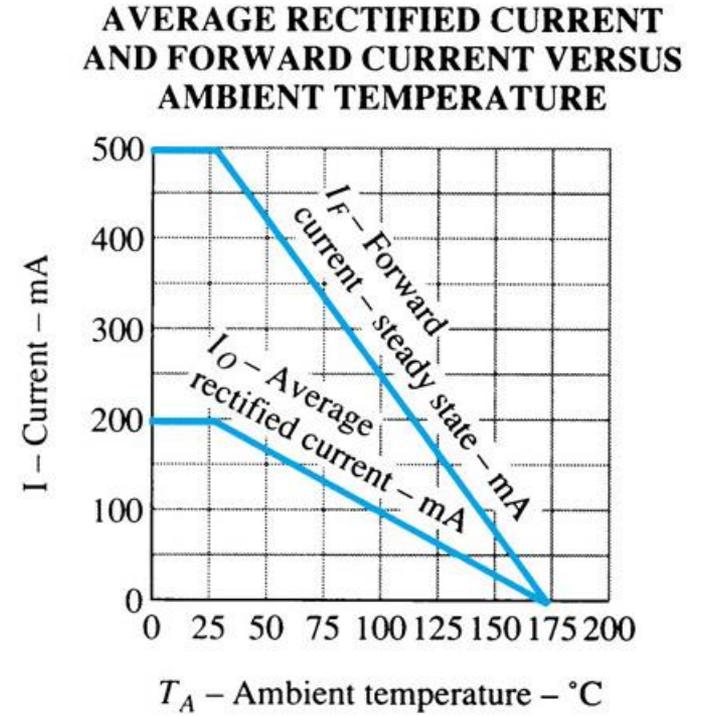
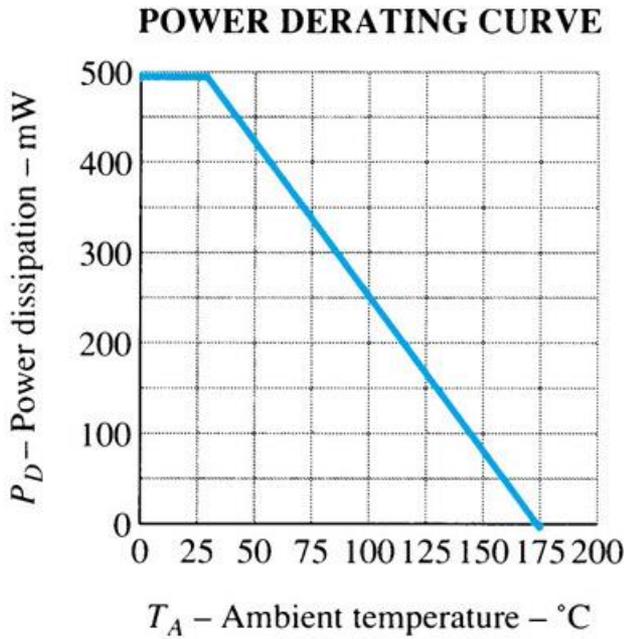


FIGURE 1-41c Terminal characteristics of a high-voltage diode. (*Continued*)



Eletrônica Básica – ELE 0937

Lista de Exercícios 2 – Diodos

Até 3 alunos – para 23/12

Livro Eletrônica – vol.1 - Malvino – Edição revisada

Capítulo 2

- 2.4 – Qual a potência dissipada num diodo de silício com polarização direta se a tensão for de 0,7 V e a corrente de 100 mA?
- 2.5 – Faça o gráfico V_{xl} de um resistor de 2 k Ω . Marque o ponto onde a corrente é de 4 mA.
- 2.6 – Esboce o gráfico V_{xl} do diodo de silício com uma compensação de 0,7V e uma PIV de 50 V. Explique com suas próprias palavras cada parte do gráfico.
- 2.7 – Na figura 2.25 a seguir, qual é a dissipação de potência aproximada do diodo se a corrente for de 50 mA? Qual a potência dissipada quando a corrente for de 10 mA?

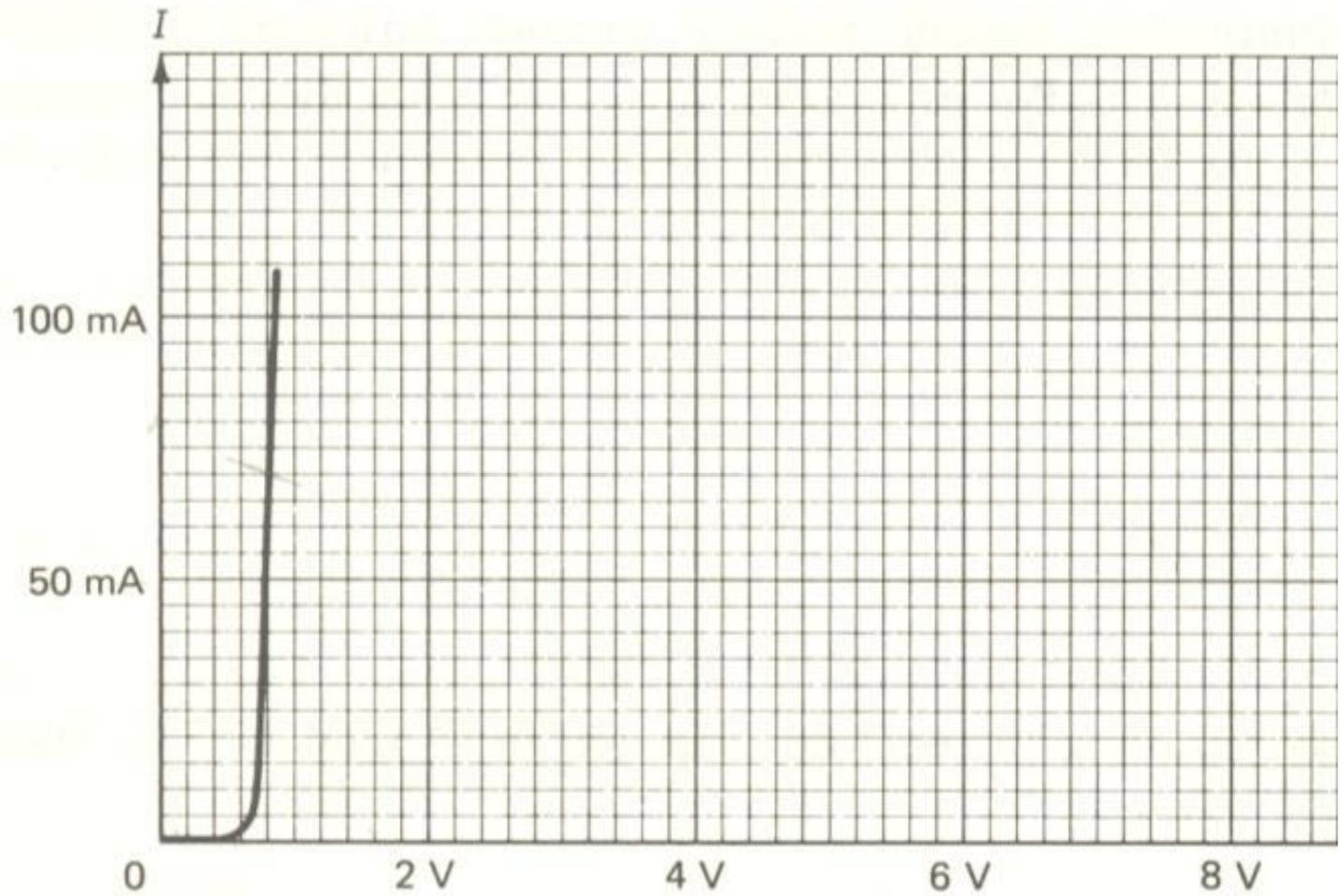


Fig. 2-25

Figura 2.25

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Capítulo 2

- 2.8 – Uma fonte de tensão de 8 V leva o diodo a ter um resistor limitador de corrente de 100Ω . Se o diodo tiver a curva característica da figura 2.25, qual a corrente na extremidade superior da linha de carga? A tensão na extremidade mais baixa na linha de carga? Quais os valores aproximados da tensão e da corrente no ponto Q? Qual a potência dissipada pelo diodo?
- 2.9 – Repita o exercício 2.8 para uma resistência de 200Ω . Descreva o que acontece com a linha de carga.
- 2.10 – Repita o exercício 2.8 para uma fonte de tensão de 2 V. Descreva o que acontece com a linha de carga.

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Retificador Meia Onda

Tensão Média: $V_{CC} = 0,318 V_{2(\text{PICO})}$

Retificador Onda completa

Tensão Média: $V_{CC} = 0,636 V_{2(\text{PICO})}$

- 3-1 A tensão da linha é tipicamente de 115 V ca ± 10 por cento. Calcule o valor de pico para uma linha baixa e para uma linha alta.
- 3-2 O transformador da Fig. 3-26a tem uma tensão do secundário de 30 V ca. Qual a tensão de pico através da resistência de carga? A tensão média? A corrente média através da resistência de carga?

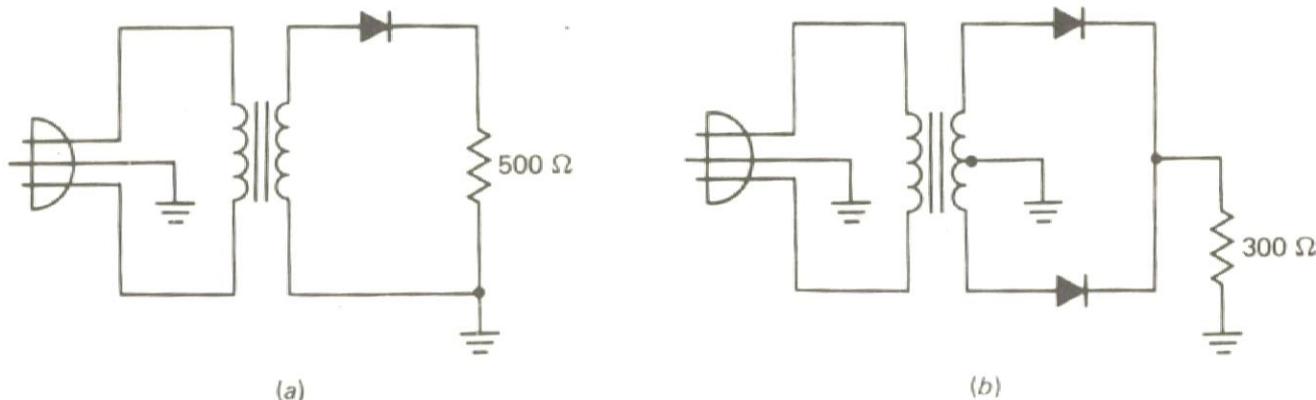


Fig. 3-26

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

3.3 Aqui estão alguns diodos e a sua especificação I_O :

- a. 1N914: $I_O = 50 \text{ mA}$
- b. 1N3070: $I_O = 100 \text{ mA}$
- c. 1N4002: $I_O = 1 \text{ A}$
- d. 1N1183: $I_O = 35 \text{ A}$

Se a tensão do secundário for de 115 V ca na Fig. 3-26a, qual o tipo de diodo dado acima que pode ser usado?

3.4 Aqui estão alguns diodos e a sua especificação PIV:

- a. 1N914: 20 V
- b. 1N1183: 50 V
- c. 1N4002: 100 V
- d. 1N3070: 175 V

Dada uma tensão do secundário de 60 V ca na Fig. 3-26a, qual a PIV através do diodo? Qual dos diodos anteriores pode ser usado?

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

- 3.5 Na Fig. 3-26b, a tensão do secundário é de 40 V ca. Qual a tensão de pico da carga? Qual a tensão cc da carga? Qual a corrente de carga cc?
- 3.6 Se a tensão do secundário for de 60 V ca na Fig. 3-26b, qual dos diodos dados nos Probs. 3-3 e 3-4 têm especificações de I_O e PIV suficiente para ser usado?
- 3.7 Dada uma tensão do secundário de 40 V ca na Fig. 3-26b, calcule a corrente de carga cc e a PIV através de cada diodo. Qual a corrente média retificada que passa através de cada diodo?
- 3.8 Se a tensão do secundário na Fig. 3-27a for de 30 V ca, qual a tensão de carga cc? Qual a corrente de carga cc? Qual a PIV através de cada diodo?
- 3.9 A tensão do secundário na Fig. 3-27a é de 60 V ca. Qual a corrente de carga cc? Qual a corrente cc através de cada diodo? Qual a PIV através de cada diodo?
- 3.10 Na Fig. 3-27a, a tensão no secundário é de 40 V ca. Quais são as tensões de carga cc? Quais as correntes de carga cc? Qual a corrente cc através de cada diodo? Qual a PIV através de cada diodo?
- 3.11 Os diodos da Fig. 3-27a têm uma especificação I_O de 150 mA e uma especificação PIV de 75 V. Estes diodos são adequados para uma tensão do secundário de 40 V ca?

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

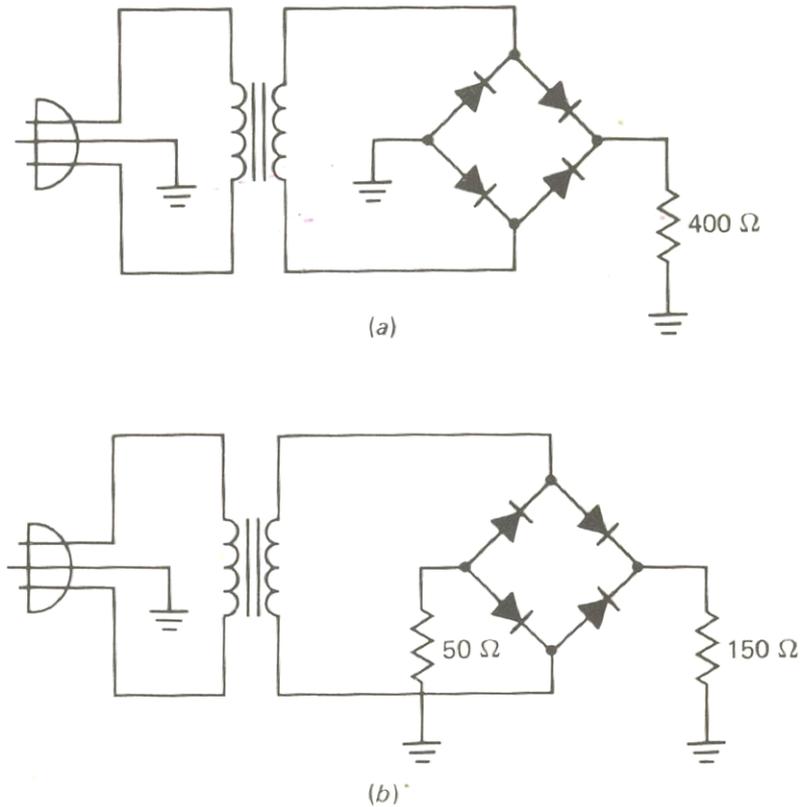


Fig. 3-27

Eletrônica Básica – ELE 0937

Capítulo 1 – Diodos

Capítulo 4

4.1 – Um diodo zener tem 15 V aplicada sobre ele com uma corrente de 20 mA através dele. Qual a potência dissipada?

4.2 – Se um diodo zener tiver uma especificação de potência de 5W e uma tensão zener de 20 V, qual o valor de sua corrente I_{ZM} ?

4.3 – Um diodo zener tem uma resistência zener de 5 Ω . Se a corrente variar de 10 a 20 mA, qual a variação de tensão através do diodo zener?

4.4 – Uma variação de corrente de 2 mA através de um diodo zener produz uma variação de tensão de 15 mV. Qual o valor de resistência zener?