

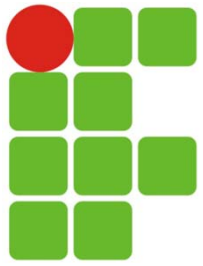
INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

Teoria dos Semicondutores e o Diodo Semicondutor

Prof. Jonathan Pereira
<jonathan.pereira@ifrn.edu.br>

www.ifrn.edu.br





Bandas de Energia

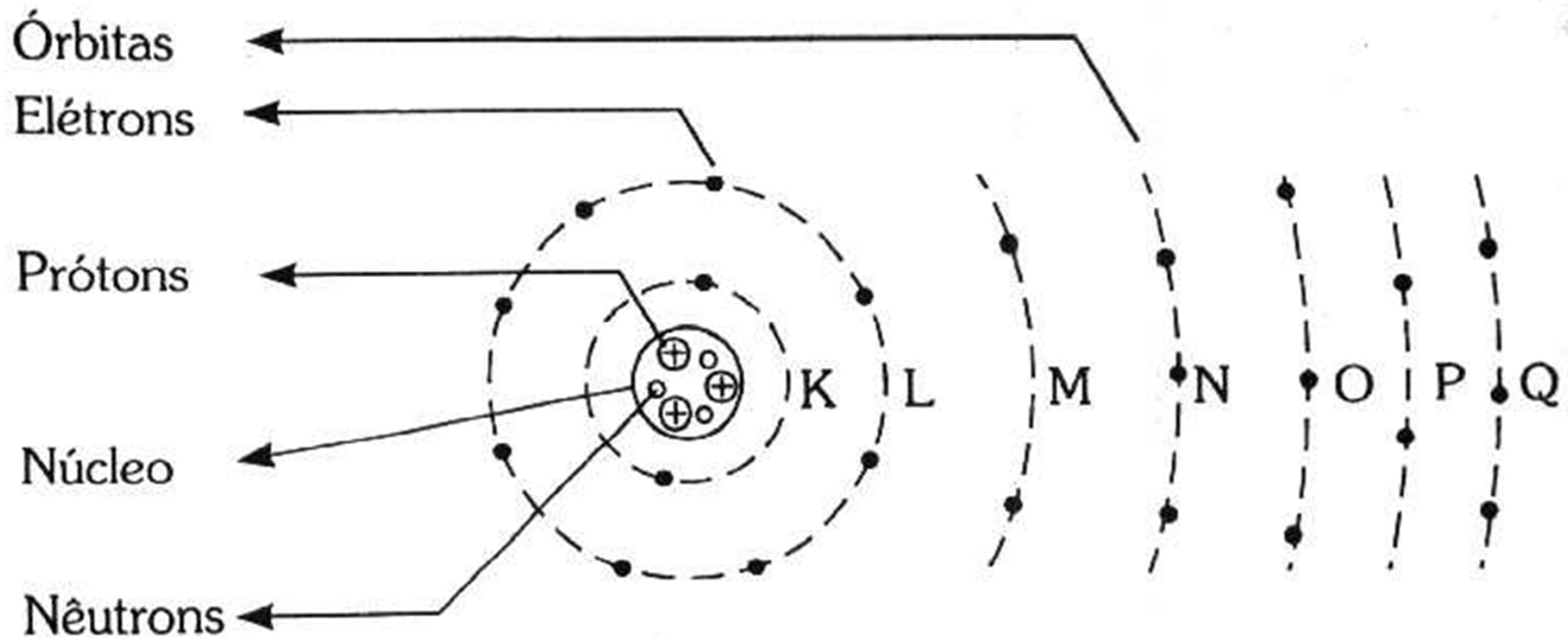
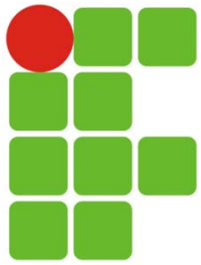


Figura 1 - Modelo atômico de Niels Bohr



Bandas de Energia

- A quantidade de elétrons da última camada define quantos deles podem se libertar do átomo em função da absorção de energia externa ou se esse átomo pode se ligar a outro através de ligações covalentes.

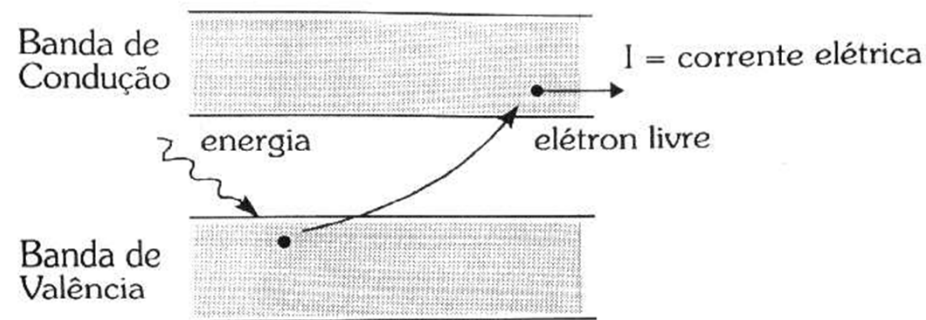
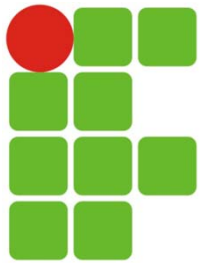
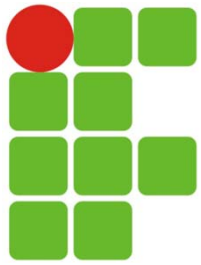


Figura 2 - Elétron Livre e Banda de condução



Bandas de Energia

- Os elétrons da banda de valência são os que têm mais facilidade de sair do átomo.
 - Eles têm uma energia maior
 - Por causa da distância ao núcleo ser grande, a força de atração é menor (menor energia externa)
- A região entre uma órbita e outra do átomo é denominada banda proibida, onde não é possível existir elétrons.
- O tamanho da banda proibida na última camada de elétrons define o comportamento elétrico do material.



Bandas de Energia

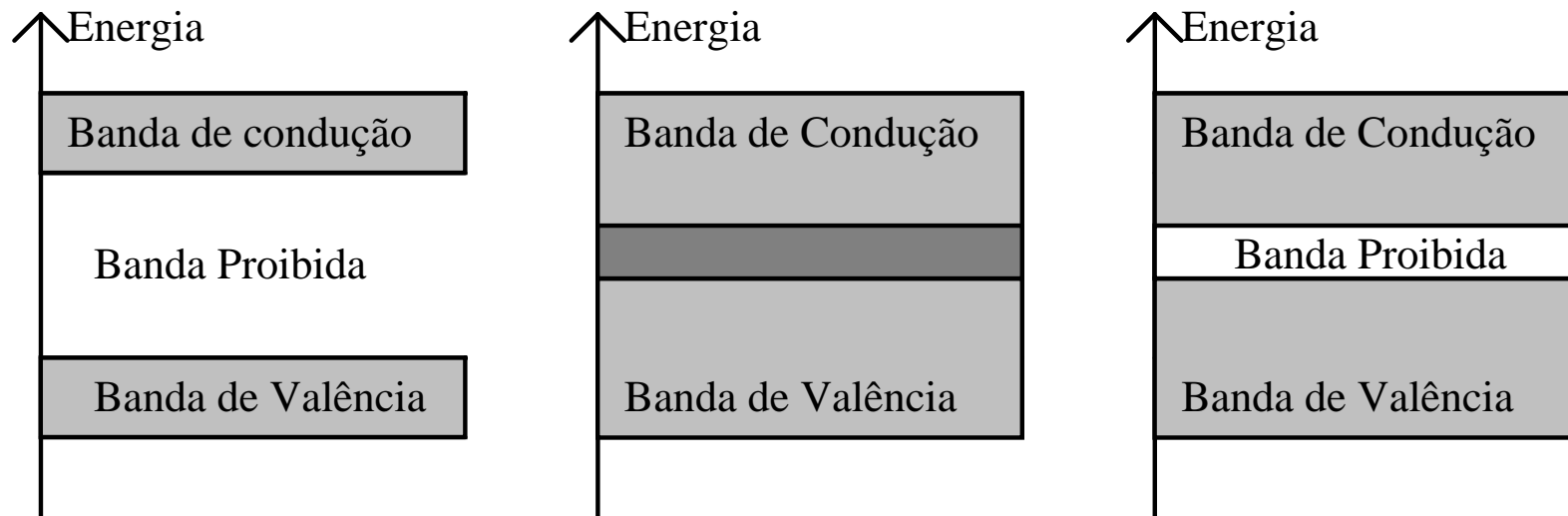
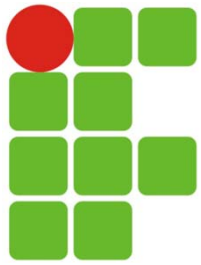
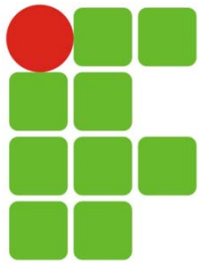


Figura 3 - Isolantes, Condutores e Semicondutores



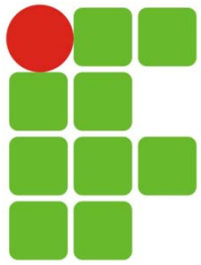
Bandas de Energia

- Material isolante: banda proibida grande exigindo do elétron muita energia para se livrar do átomo.
- Material condutor: um elétron pode passar facilmente da banda de valência para a banda de condução sem precisar de muita energia.
- Material semiconductor: um elétron precisa dar um salto pequeno. Os semicondutores possuem características intermediárias em relação aos dois anteriores.



Definição – Materiais

- Condutor é qualquer material que sustenta um fluxo de carga, quando uma fonte de tensão com amplitude limitada é aplicada através de seus terminais.
- Isolante é o material que oferece um nível muito baixo de condutividade sob pressão de uma fonte de tensão aplicada.
- Um semicondutor é, portanto, o material que possui um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e um condutor.

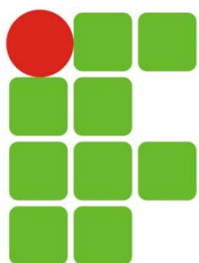


Definição – Materiais

- A classificação dos materiais em condutor, semicondutor ou isolante é feita pelo seu valor de resistividade (ρ).
- A Tabela I apresenta os valores de resistividades típicos dos materiais.

Tabela I – Valores de resistividade típicos

Condutor	Semicondutor	Isolante
$1,72 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (Cobre)	$0,46 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ (Germânio)	$9 \times 10^{14} \Omega\text{m}$ (Mica)
$2,82 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (Alumínio)	$640 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ (Silício)	

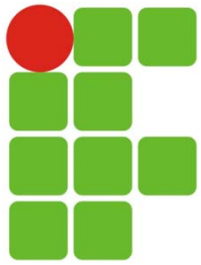


Definição – Materiais

Número Atômico → 100794 → Peso Atômico
 → H → Símbolo Químico
 → Hidrogênio → Nome do Elemento

1A (1)	2A (2)											3A (13)	4A (14)	5A (15)	6A (16)	7A (17)	8A (18)
1 100794 H Hidrogênio	2 4,002602 He Hélio	3 6,941 Li Lítio	4 9,012182 Be Berílio	5 10,811 B Boro	6 12,0107 C Carbono	7 14,00674 N Nitrogênio	8 15,9994 O Oxigênio	9 18,99840 F Flúor	10 20,1797 Ne Neônio	11 22,989770 Na Sódio	12 24,3050 Mg Magnésio	13 26,98153 Al Alumínio	14 28,0855 Si Silício	15 30,9737 P Fósforo	16 32,006 S Enxofre	17 35,4527 Cl Cloro	18 39,948 Ar Argônio
19 39,0983 K Potássio	20 40,078 Ca Cálcio	21 44,9559 Sc Escândio	22 47,867 Ti Titânio	23 50,9415 V Vanádio	24 51,9661 Cr Cromo	25 54,938 Mn Manganês	26 55,845 Fe Ferro	27 58,9332 Co Cobalto	28 58,6934 Ni Níquel	29 63,546 Cu Cobre	30 65,39 Zn Zinco	31 69,723 Ga Gálio	32 72,61 Ge Germânio	33 74,9216 As Arsênio	34 78,96 Se Selênio	35 79,904 Br Bromo	36 83,8 Kr Criptônio
37 85,4678 Rb Rubídio	38 87,62 Sr Estrôncio	39 88,905 Y Ítrio	40 91,224 Zr Zircônio	41 92,906 Nb Níbio	42 95,94 Mo Molibdênio	43 96,049 Tc Tecnécio	44 101,07 Ru Rutênio	45 102,9055 Rh Ródio	46 106,42 Pd Paládio	47 107,8682 Ag Prata	48 112,411 Cd Cádmio	49 114,818 In Índio	50 118,71 Sn Estanho	51 121,75 Sb Antimônio	52 127,6 Te Telúrio	53 126,9044 I Iodo	54 131,29 Xe Xenônio
55 132,90545 Cs Césio	56 137,327 Ba Bário	57 * 71 Hf Háfnio	72 178,49 Ta Tântalo	73 180,947 W Tungstênio	74 183,84 Re Rênio	75 186,207 Os Ósmio	76 190,23 Ir Íridio	77 192,217 Pt Platina	78 195,078 Au Ouro	79 196,966 Hg Mercúrio	80 200,59 Tl Tálio	81 204,3833 Pb Chumbo	82 207,2 Bi Bismuto	83 208,9803 Po Polônio	84 210 At Astato	85 210 Rn Radônio	
87 223,0197 Fr Frâncio	88 226,02 Ra Rádio	89 ** 103 Rf Ruterfórdio	104 261,11 Db Dúbnio	105 262,11 Sg Seabórgio	106 263,11 Bh Bóhrio	107 262,12 Hs Hássio	108 269 Mt Meitnênio	109 269 Uun Unúnio	110 269 Uuu Unúmbio	111 272 Uub Anúmbio							
		*	138,9055 57 La Lantânio	140,116 58 Ce Cério	140,9076 59 Pr Praseodímio	144,24 60 Nd Neodímio	145,7 61 Pm Promécio	150,36 62 Sm Samário	151,964 63 Eu Európio	157,25 64 Gd Gadolínio	158,9253 65 Tb Térbio	162,50 66 Dy Disprósio	164,9303 67 Ho Hólmio	167,26 68 Er Érbio	168,9342 69 Tm Túlio	173,04 70 Yb Íterbio	174,967 71 Lu Lutécio
		**	227 89 Ac Actínio	232,0381 90 Th Tório	231,0358 91 Pa Protactínio	238,0289 92 U Urânio	237 93 Np Netúnio	244 94 Pu Plutônio	243 95 Am Américio	247 96 Cm Cúrio	247 97 Bk Berquílio	251 98 Cf Califórnio	252 99 Es Einstênio	100 257 Fm Férmio	101 258 Md Mendelévio	102 259 No Nobélio	103 262 Lr Laurêncio

Hidrogênio
 Metais
 Semi-metais
 Não-metais
 Gases nobres



Definição – Materiais

- Semicondutores Intrínsecos
 - Os semicondutores mais comuns e mais utilizados são o silício (Si) e o germânio (Ge).
 - Eles são elementos tetravalentes, possuindo quatro elétrons na camada de valência.

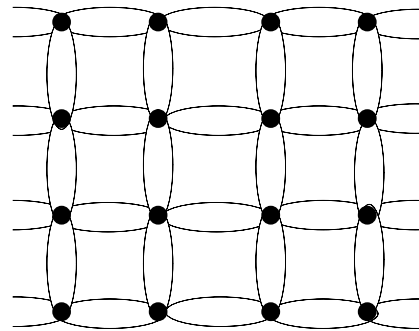
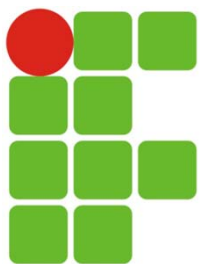


Figura 4 - Representação Plana dos Semicondutores



Definição – Materiais

- Semicondutores Intrínsecos
 - Cada átomo compartilha 4 elétrons com os vizinhos, de modo a haver 8 elétrons em torno de cada núcleo

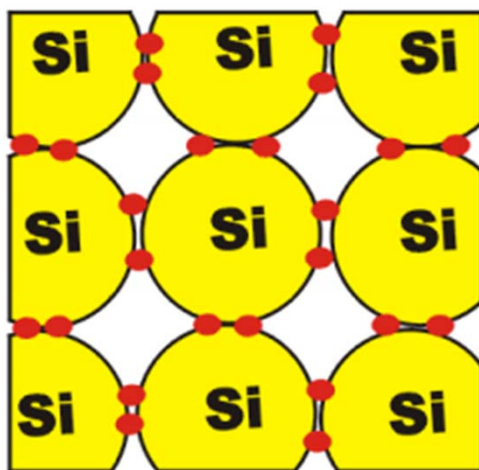
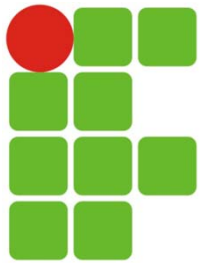


Figura 5 – Compartilhamento de elétrons



Semicondutores Tipo N e P

- Se um cristal de silício for dopado com átomos pentavalente (arsênio, antimônio ou fósforo), também chamados de impurezas doadora, será produzido um semicondutor do tipo N (negativo) pelo excesso de um elétron nessa estrutura.

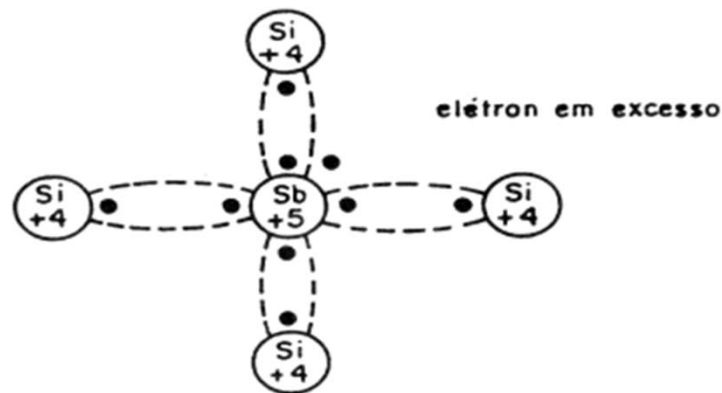
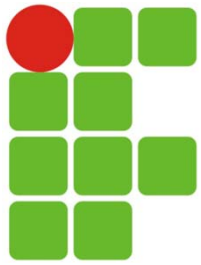


Figura 6 – Semicondutor tipo N



Semicondutores Tipo N e P

- Material semicondutor tipo N

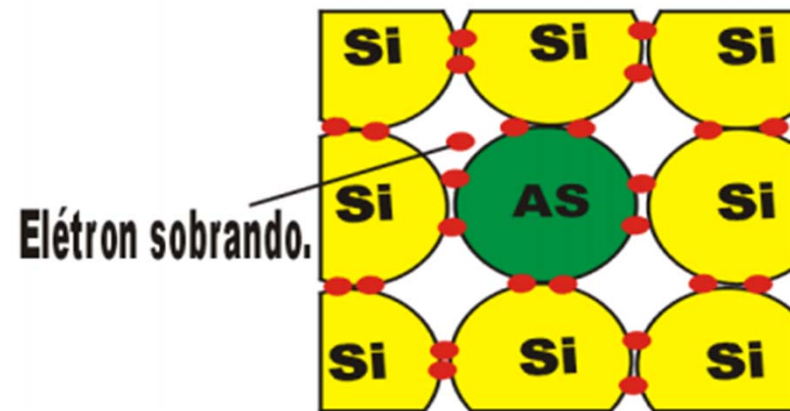
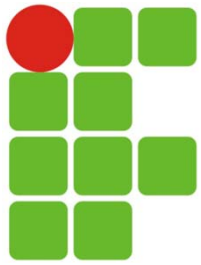


Figura 7 – Semicondutor tipo N com Arsênio



Semicondutores Tipo N e P

- Assim, o número de elétrons livres é maior que o número de lacunas. Neste semicondutor os elétrons livres são portadores majoritários e as lacunas são portadores minoritários.

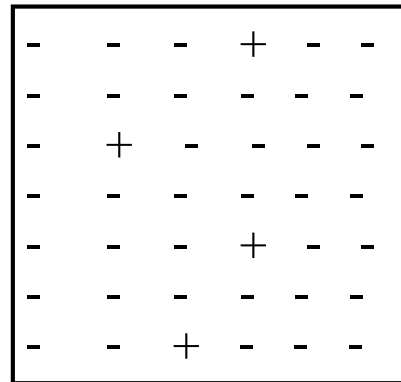
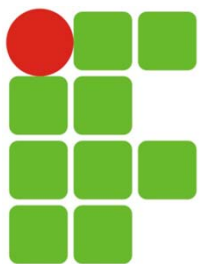


Figura 8 - Semicondutor Tipo N



Semicondutores Tipo N e P

- Se um cristal de silício for dopado com átomos trivalente (alumínio, boro ou gálio), também chamados de impurezas aceitadora, será produzido um semicondutor do tipo P (positivo) pelo falta de um elétron nessa estrutura.

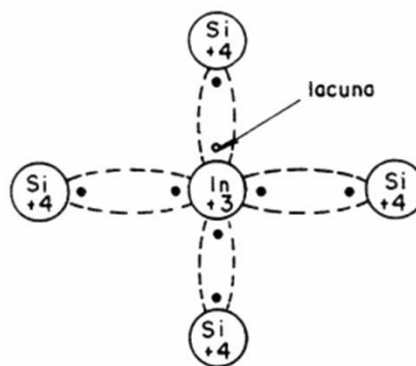
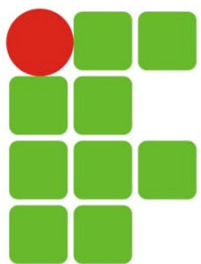


Figura 9 – Semicondutor tipo P



Semicondutores Tipo N e P

- Material semiconductor tipo P

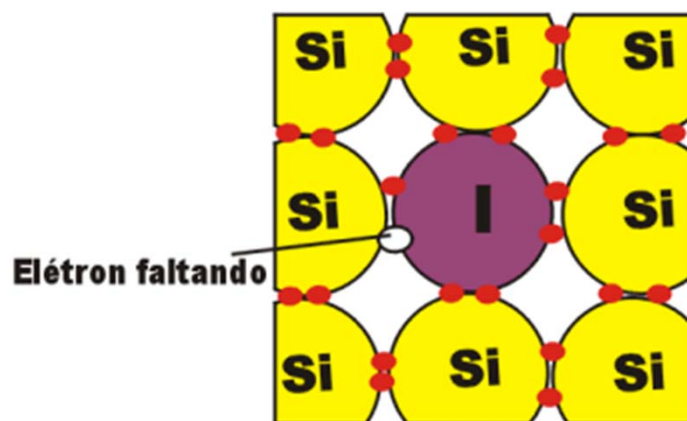
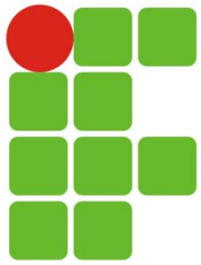


Figura 9 – Semicondutor tipo P com Índio



Semicondutores Tipo N e P

- Assim, o número de lacunas é maior que o número de elétrons livres. Neste semicondutor as lacunas são portadores majoritário e os elétrons livres são portadores minoritários.

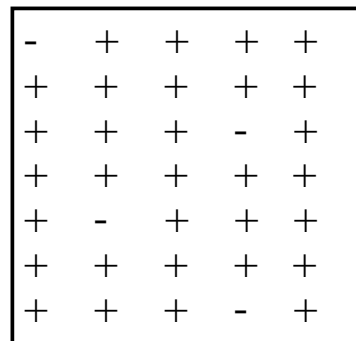
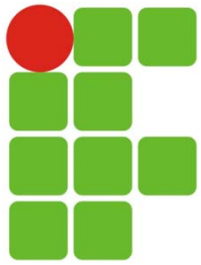


Figura 8 - Semicondutor Tipo P



Diodo Semicondutor

■ Junção PN

- A união de dois cristais (P e N) provoca uma recombinação de elétrons e lacunas na região da junção, formando uma barreira de potencial.

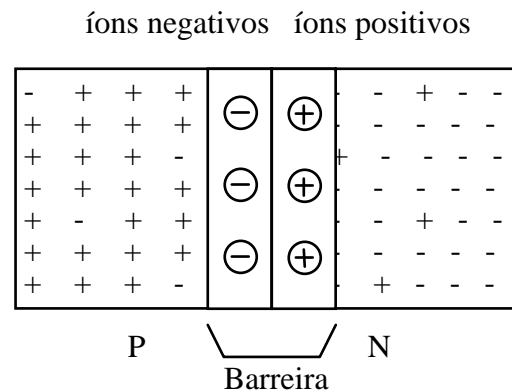
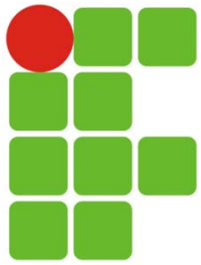


Figura 9 – Barreira de Potencial



Diodo Semicondutor

■ Junção PN

- Cada lado do diodo recebe um nome: O lado P chama-se de anodo (A) e o lado N chama-se de catodo (K).

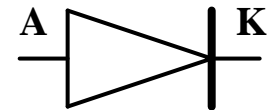
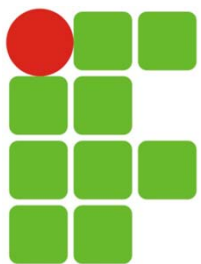


Figura 10 – Imagem e símbolos do Diodo



Diodo Semicondutor

- Polarização direta da junção PN

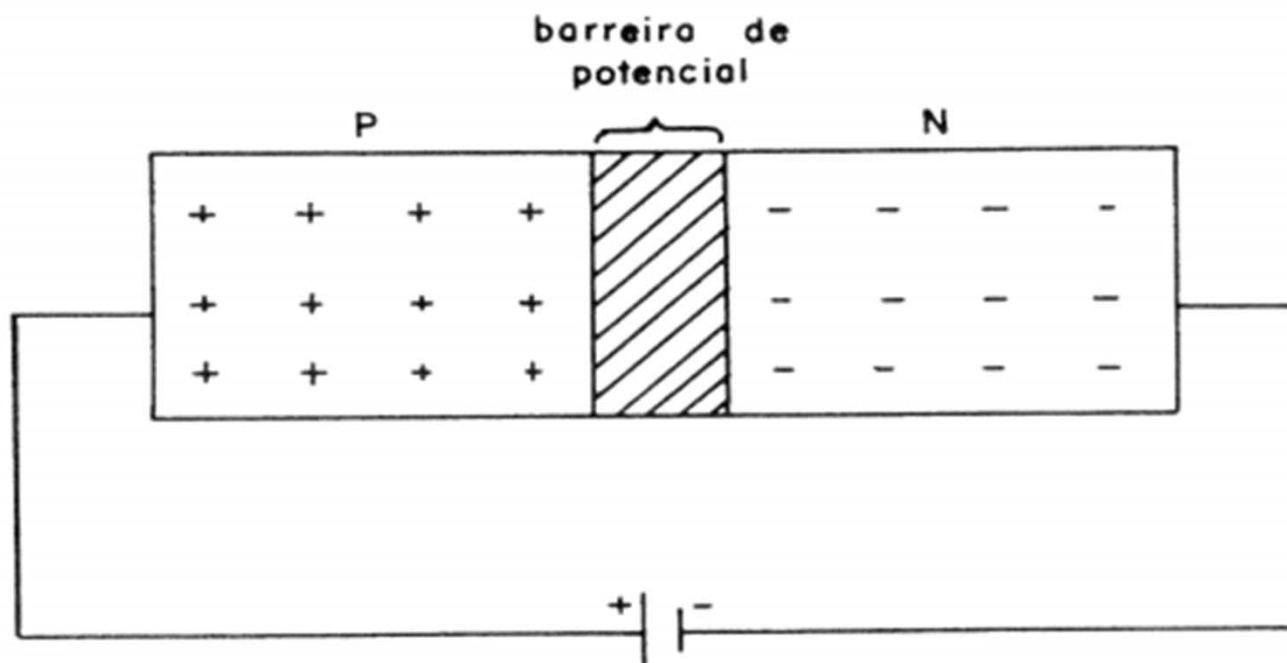
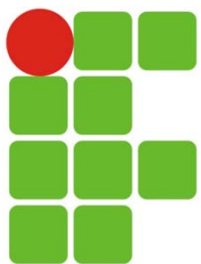


Figura 11 – Junção PN polarizada diretamente



Diodo Semicondutor

- Polarização inversa da junção PN

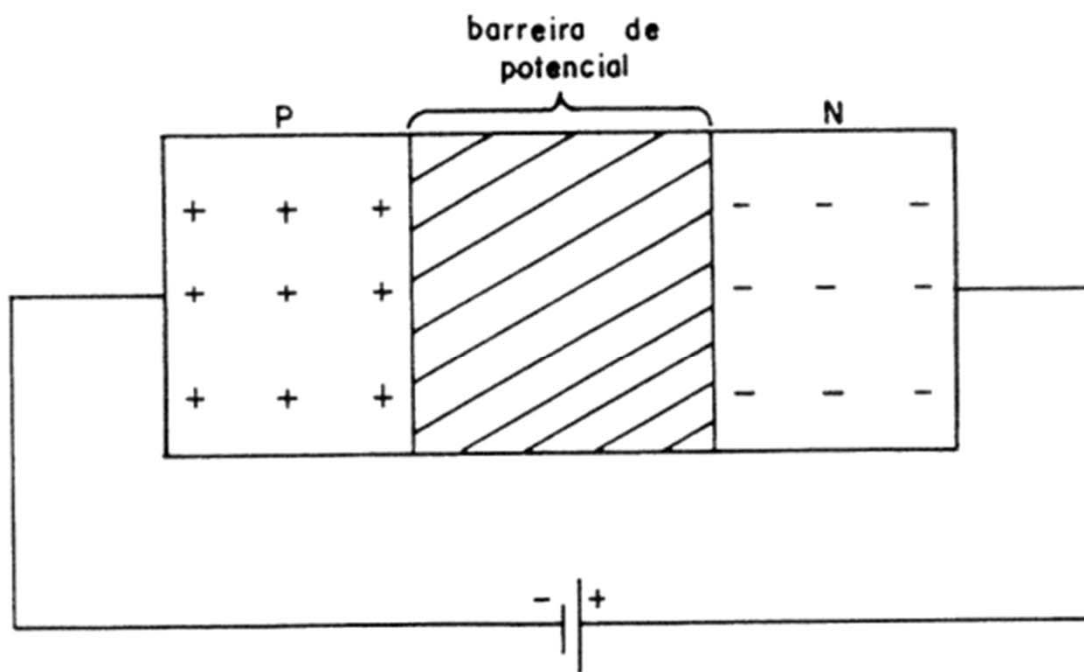
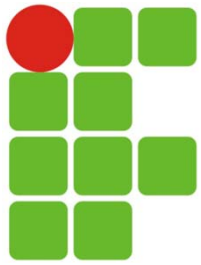
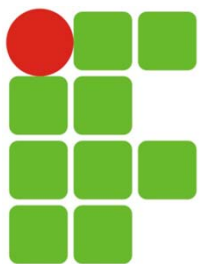


Figura 12 – Junção PN polarizada inversamente



Diodo Semicondutor

- Principais Especificações do Diodo
 - Na polarização direta só existe corrente elétrica se a tensão aplicada ao diodo for maior que **V_d** (0,7V). Existirá uma corrente máxima que o diodo poderá conduzir (**I_{dm}**) e uma potência máxima de dissipação (**P_{dm}**): $P_{dm} = V \cdot I_{dm}$
 - Na polarização reversa existe uma tensão máxima chamada de tensão de ruptura ou breakdown (**V_{br}**) e uma corrente muito pequena denominada de corrente de fuga. (**I_f**)



Diodo Semicondutor

- Curva Característica do Diodo
 - Na polarização direta

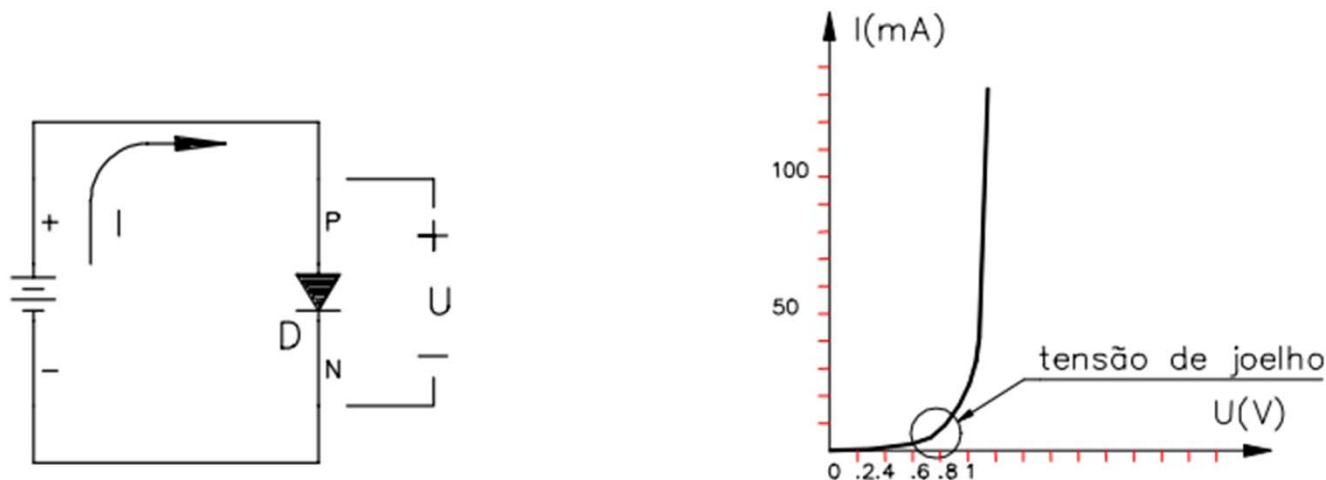
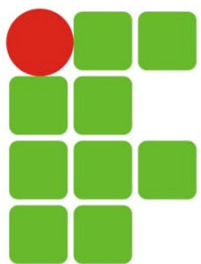


Figura 12 – Diodo polarizado diretamente e sua curva característica



Diodo Semicondutor

- Curva Característica do Diodo
 - Na polarização inversa

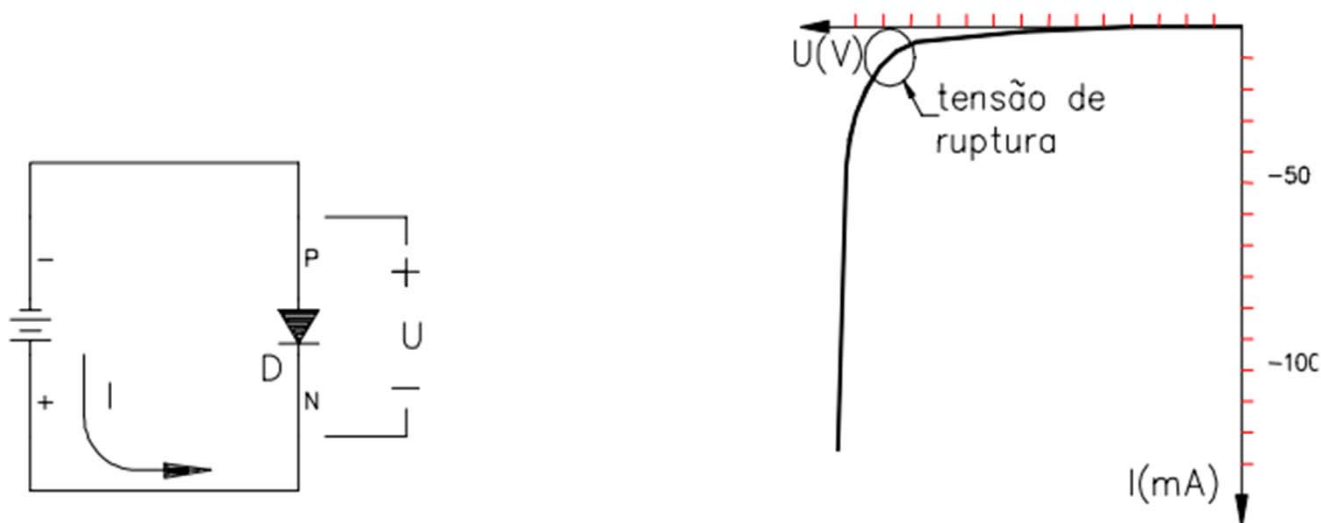
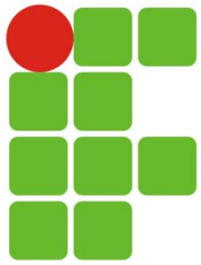


Figura 13 – Diodo polarizado inversamente e sua curva característica



Diodo Semicondutor

- Curva Característica do Diodo
 - Gráfico completo

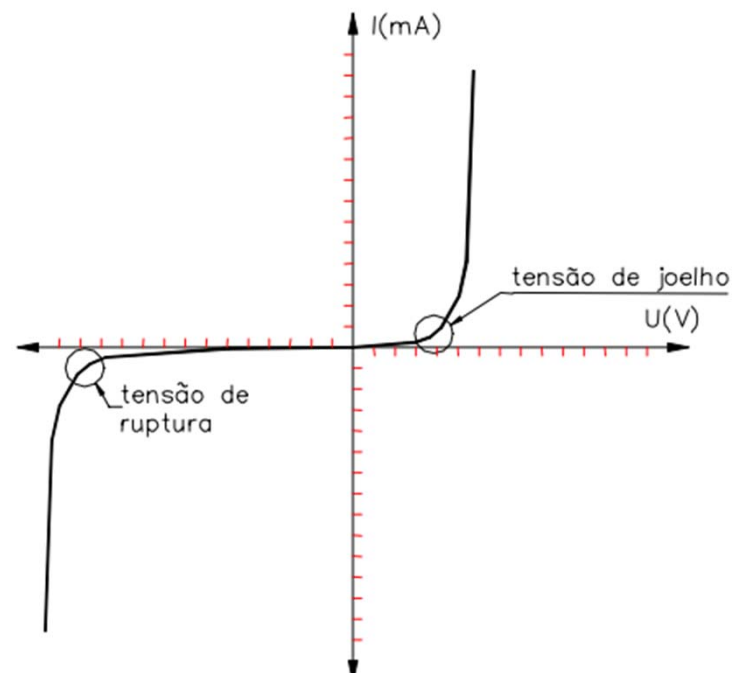
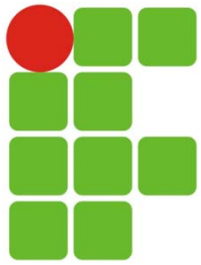


Figura 14 – Curva característica do Diodo



Diodo Semicondutor

■ Reta de Carga

- Método para determinar o valor exato da corrente e da tensão sobre o diodo.

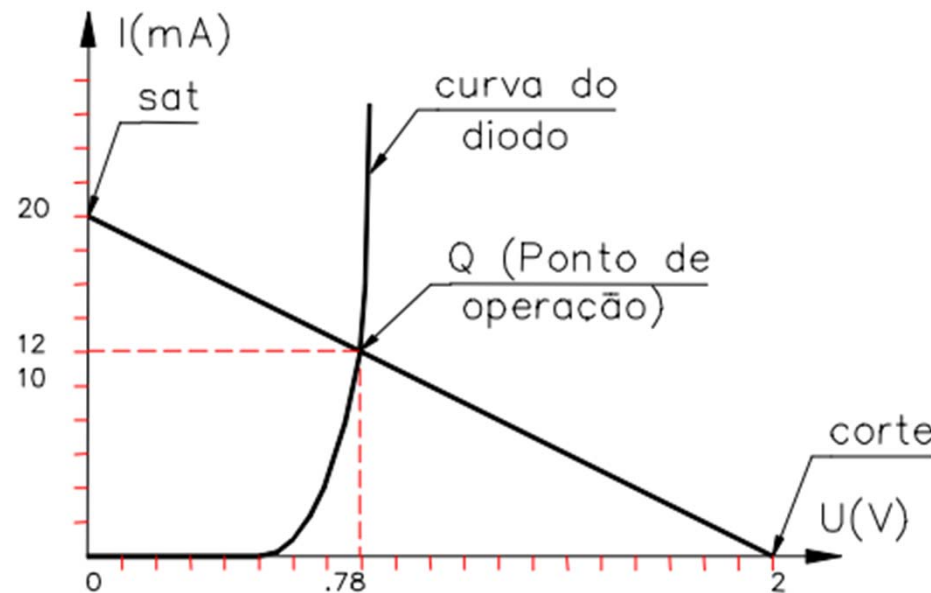
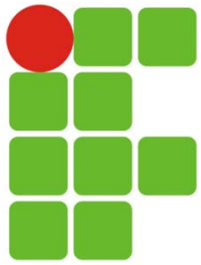


Figura 14 – Reta de carga do Diodo



Diodo Semicondutor

- Aproximações do Diodo
 - 1ª aproximação (Diodo ideal)

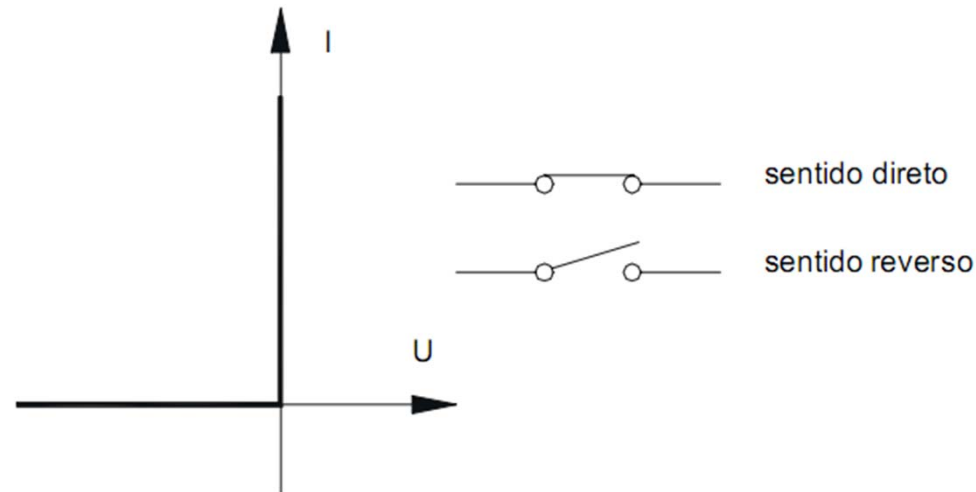
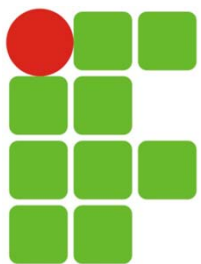


Figura 15 – Diodo como chave



Diodo Semicondutor

- Aproximações do Diodo
 - 2ª aproximação

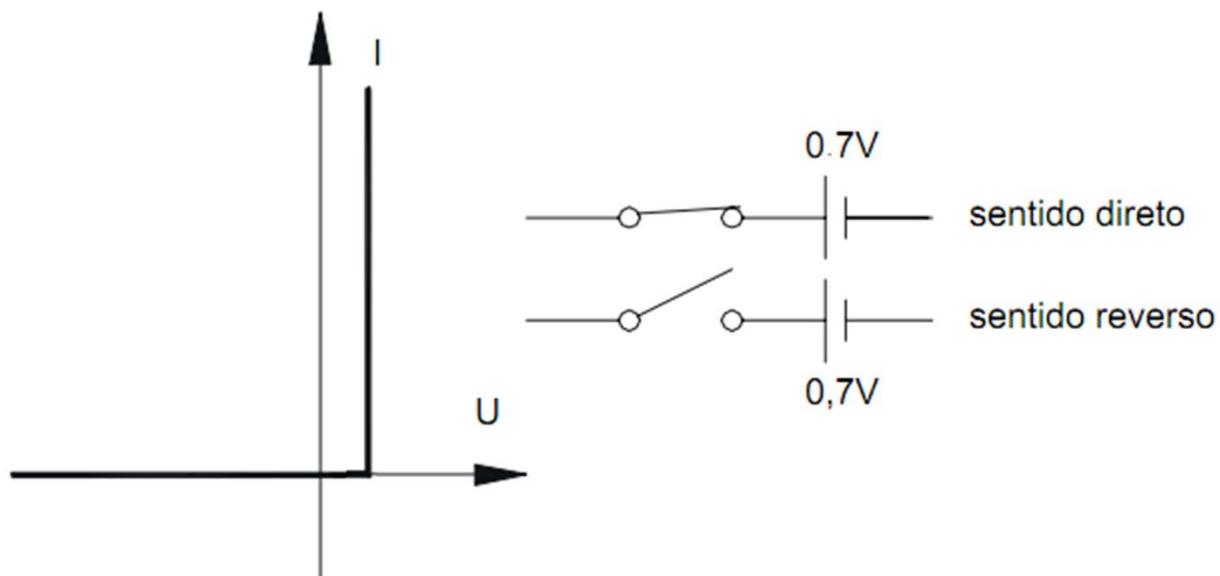
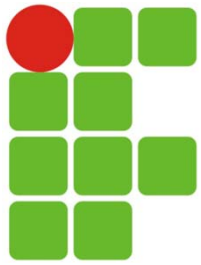


Figura 16 – Diodo como chave e fonte



Diodo Semicondutor

- Aproximações do Diodo
 - 3ª aproximação

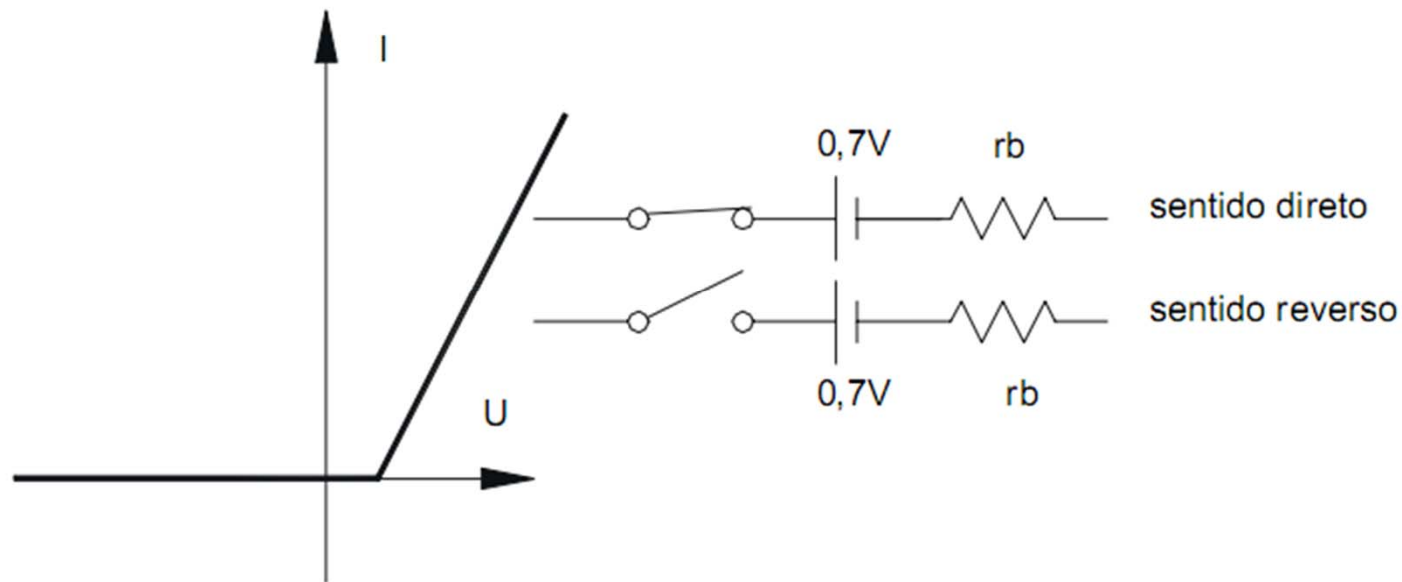
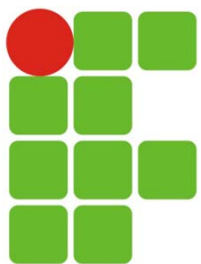


Figura 17 – Diodo como chave, fonte e resistência



Diodo Semicondutor

■ Teste de Diodos com Multímetro Digital

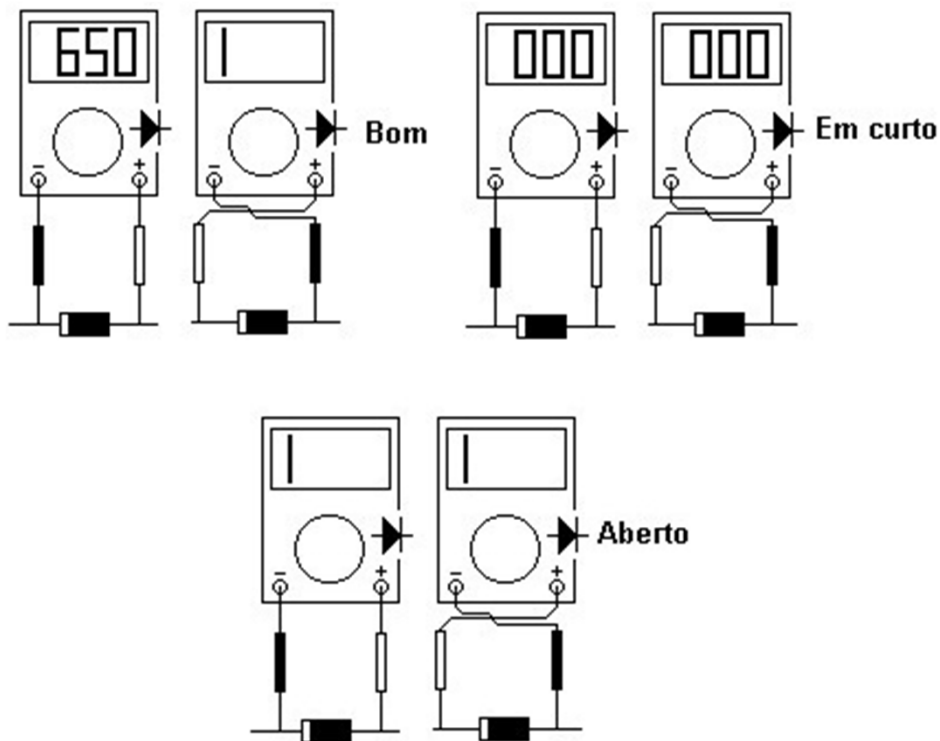


Figura 18 – Diodo como chave, fonte e resistência

Fonte: <http://www.burgoseletronica.net>