

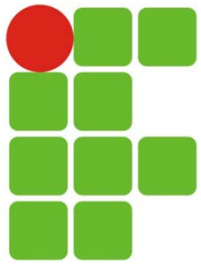
INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO GRANDE DO NORTE

Transistores Bipolares Parte I

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

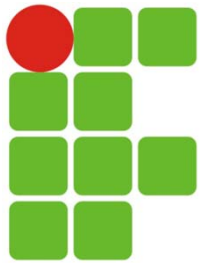
www.ifrn.edu.br





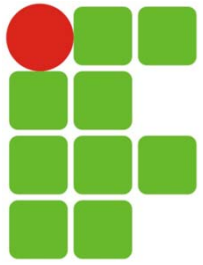
Programa da aula

- Introdução/Evolução
- Transistor Bipolar
 - Características construtivas
 - Funcionamento como amplificador
 - Configurações básicas
 - Curva característica
 - Reta de carga
 - Circuitos de polarização
 - Transistor como regulador
- Bibliografia



Introdução

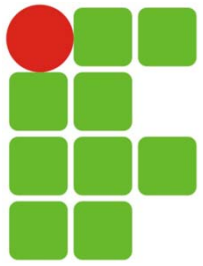
- Em 1948, na Bell Telephone, um grupo de pesquisadores, liderados por Shockley, apresentou um dispositivo formado por três camadas de material semicondutor com tipos alternados, ou seja, um dispositivo com duas junções. O dispositivo recebeu o nome de **TRANSISTOR**.



Introdução



Figura 1 - O primeiro transistor de junção de germânio da Bell Laboratories, 1950



Evolução

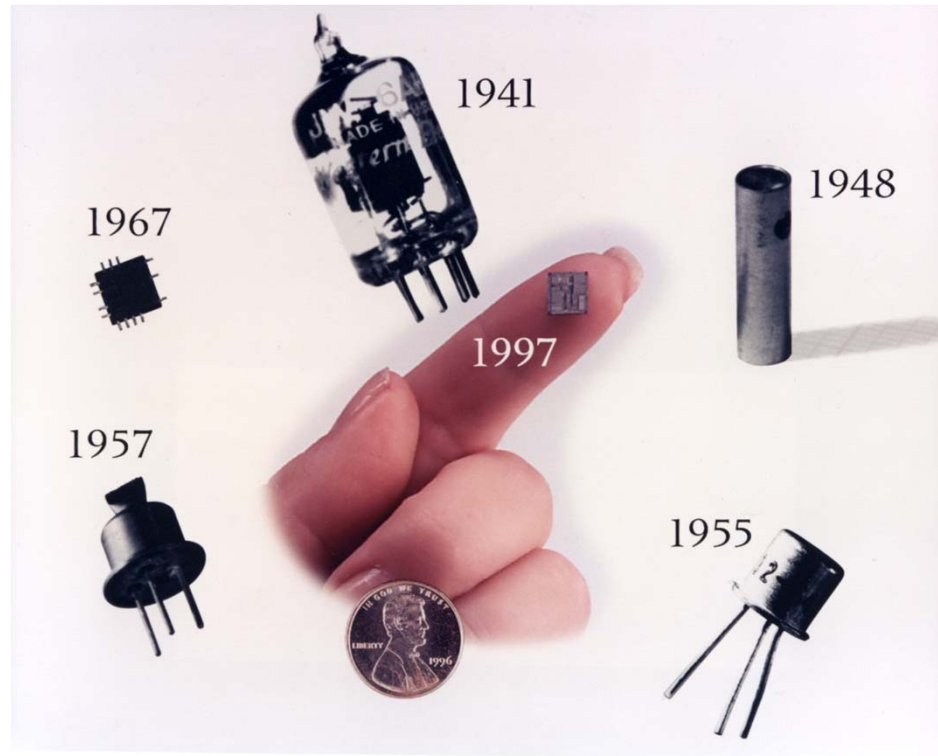
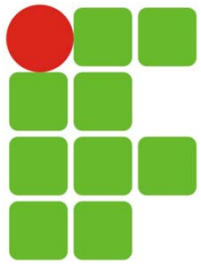
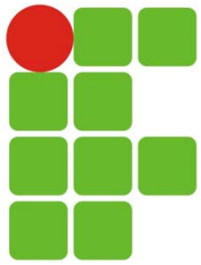


Figura 2 – Evolução do Transistor



Evolução

- Praticamente todos os equipamentos eletrônicos projetados hoje em dia usam componentes semicondutores. As vantagens sobre as difundidas válvulas eram bastantes significativas, tais como:
 - Menor tamanho, mais leve e mais resistente
 - Não precisava de filamento
 - Mais eficiente, pois dissipa menos potência
 - Não necessita de tempo de aquecimento
 - Menores tensões de alimentação



Transistor Bipolar

- O transistor pode controlar a corrente;
- Ele é montado numa estrutura de cristais semicondutores, formando duas camadas de um tipo (N) e no meio delas o outro cristal (P);
- Cada uma dessas camadas recebe um nome em relação à sua função na operação do transistor;

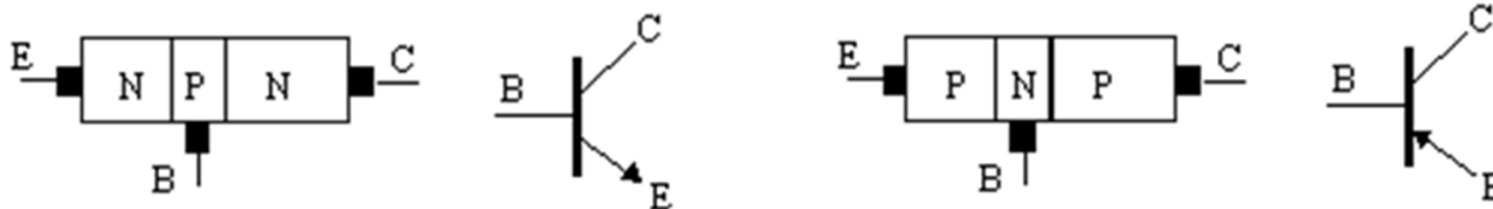
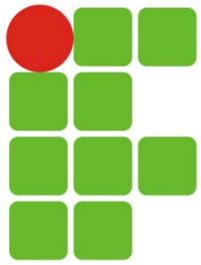
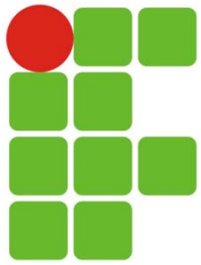


Figura 3 - Transistor da esquerda é chamado de NPN e o outro de PNP



Transistor Bipolar

- Características construtivas
 - O emissor tem a propriedade de emitir portadores de carga;
 - A base é muito fina, não consegue absorver todos os portadores emitidos pelo emissor;
 - O coletor é a maior das camadas, sendo o responsável pela coleta dos portadores vindos do emissor.



Transistor Bipolar

- Características construtivas (cont.)
 - Da mesma forma que nos diodos, são formadas barreiras de potencial nas junções das camadas P e N.

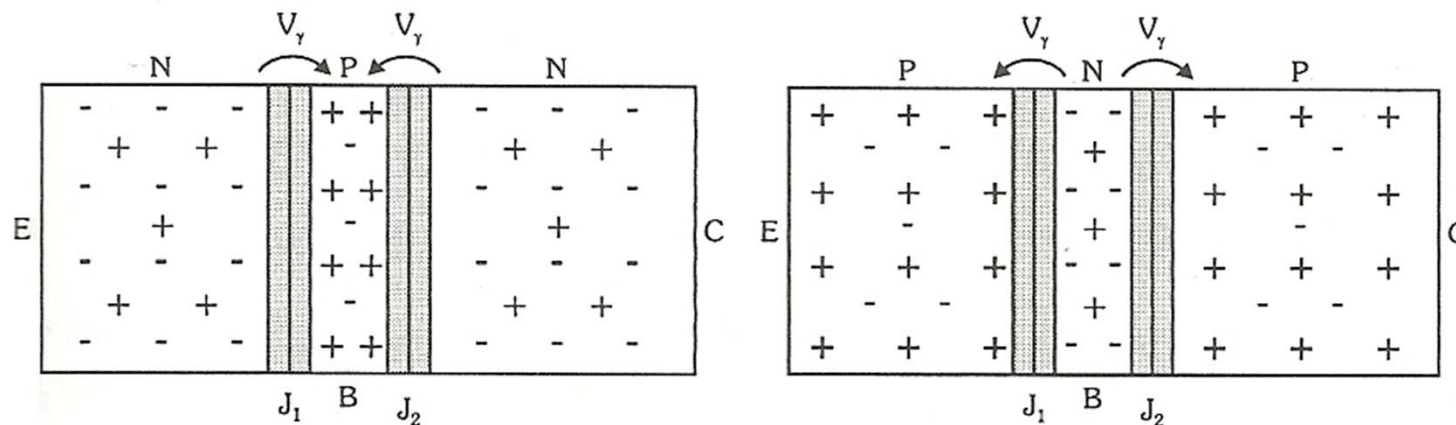
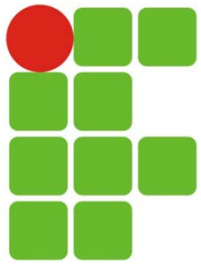
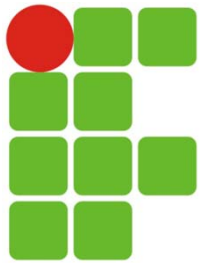


Figura 4 – Barreiras de potencial nos transistores NPN e PNP



Transistor Bipolar

- Características construtivas (cont.)
 - O comportamento básico dos transistores em circuitos eletrônicos é fazer o controle da passagem de corrente entre o emissor e o coletor através da base. Para isto é necessário polarizar corretamente as junções do transistor.



Transistor Bipolar

- Funcionamento como amplificador (NPN)
 - Polarizando diretamente a junção emissor-base

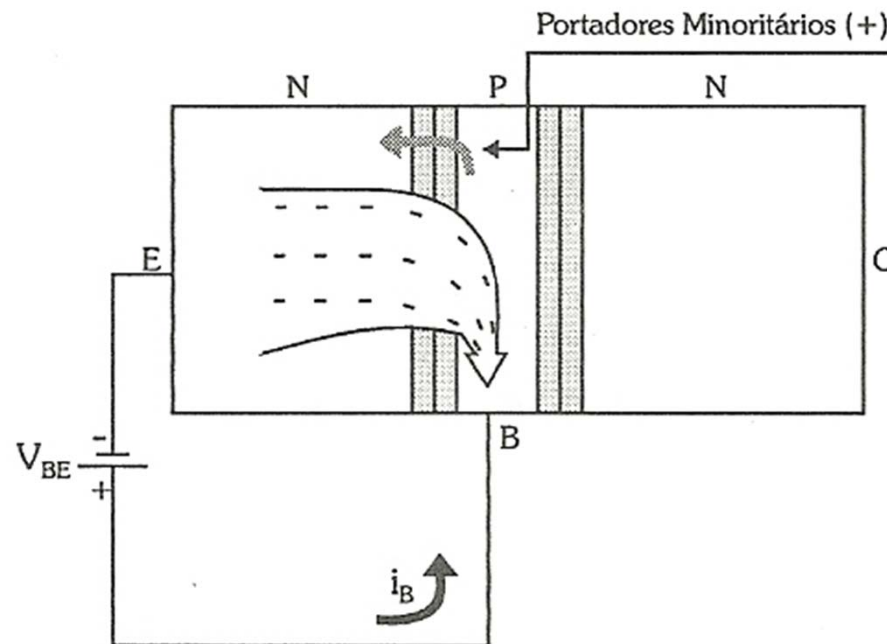
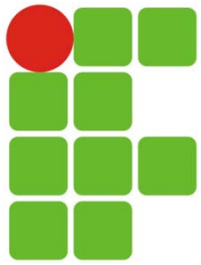


Figura 5 – Polarização direta da junção emissor-base



Transistor Bipolar

- Funcionamento como amplificador (NPN)
 - Polarizando inversamente a junção base-coletor

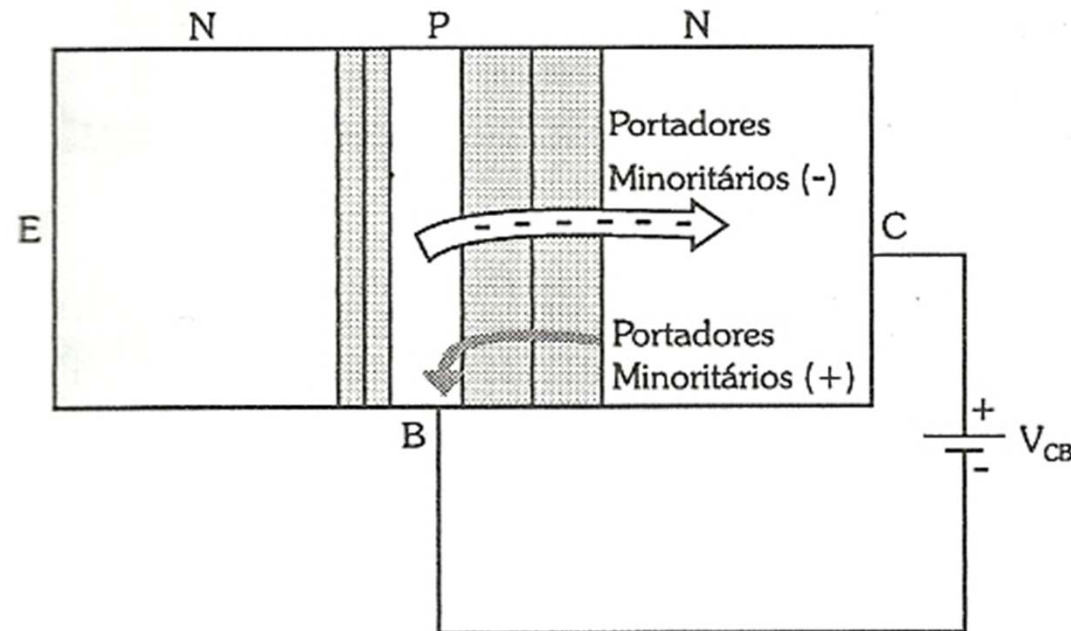
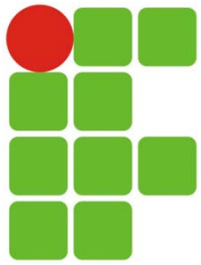


Figura 6 – Polarização reversa da junção base-coletor



Transistor Bipolar

- Funcionamento como amplificador (NPN)
 - Polarização completa, a corrente de coletor **IC** passa a ser controlada pela corrente de base **IB**.

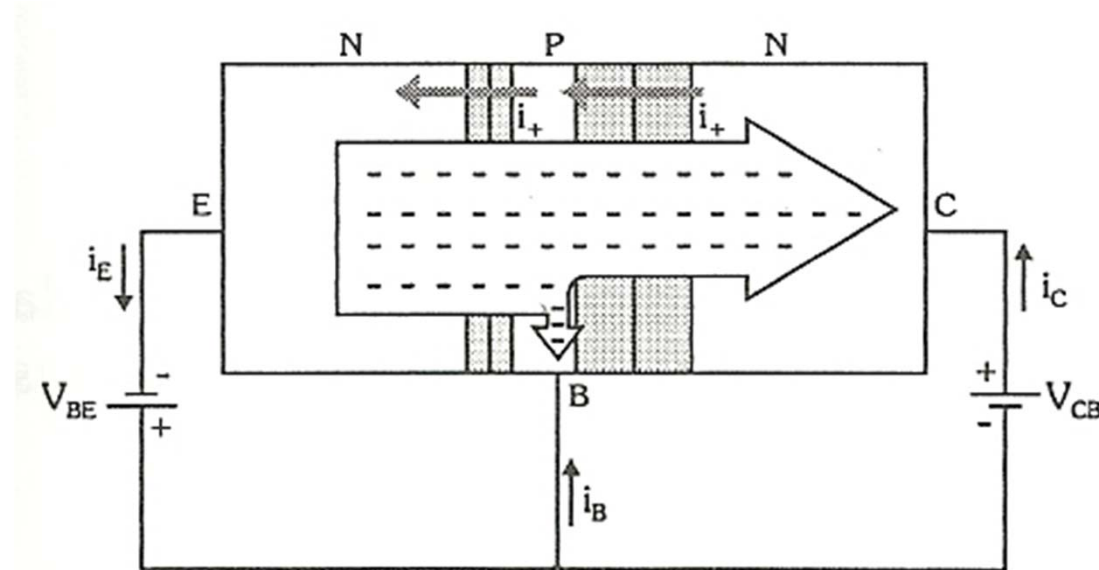
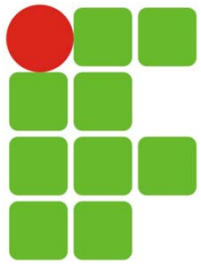
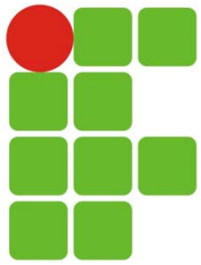


Figura 7 – Transistor controlando corrente



Transistor Bipolar

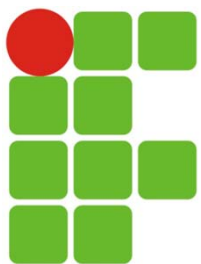
- Funcionamento como amplificador (cont.)
 - Um aumento na corrente de base **I_B** provoca um aumento na corrente de coletor **I_C** .
 - A corrente de base sendo bem menor que a corrente de coletor, uma pequena variação de **I_B** provoca uma grande variação de **I_C** . Isto significa que a variação de corrente de coletor é um reflexo amplificado da variação da corrente na base.



Transistor Bipolar

- Funcionamento como amplificador (cont.)
 - O fato do transistor possibilitar a amplificação de um sinal faz com que ele seja considerado um dispositivo ativo.
 - Este **efeito amplificação**, denominado **ganho de corrente**, pode ser expresso matematicamente pela relação entre a variação de corrente do coletor e a variação da corrente de base , isto é:

$$\text{Ganho}(\beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$



Transistor Bipolar

- Funcionamento como amplificador (cont.)

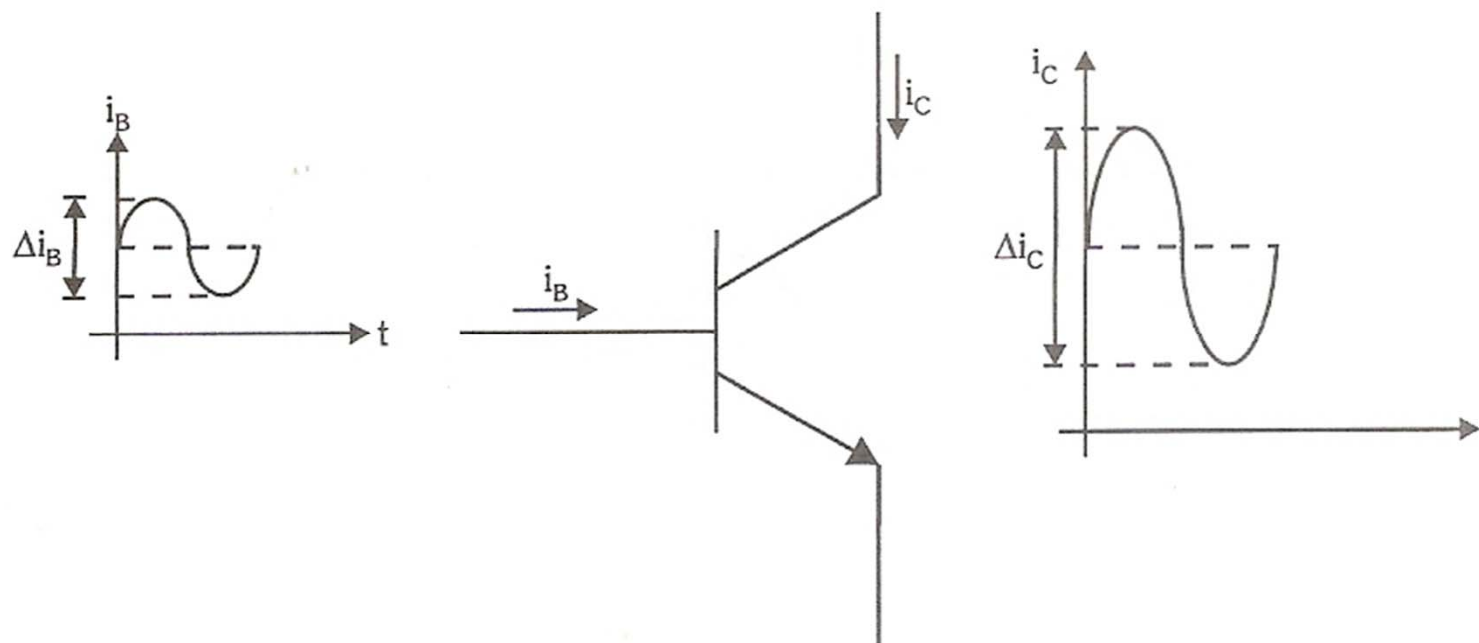
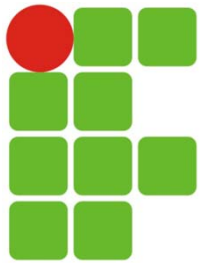


Figura 8 – Efeito Amplificação no Transistor NPN

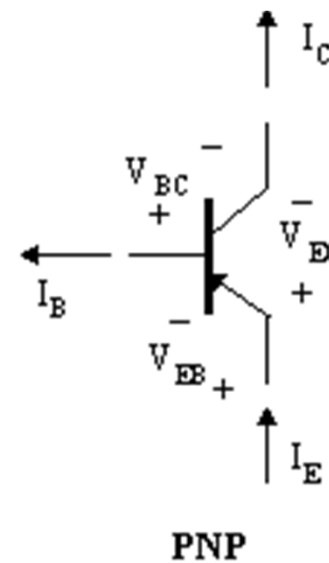
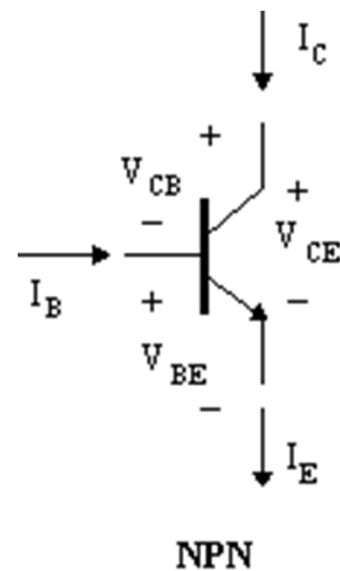


Transistor Bipolar

■ Tensões e Correntes nos Transistores

$$I_E = I_C + I_B$$

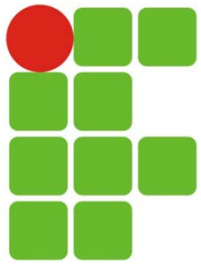
$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$



$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$$

Figura 9 - Tensões e Correntes



Transistor Bipolar

■ Configurações Básicas

- Os transistores podem ser utilizados em três configurações básicas: **Base Comum (BC)**, **Emissor comum (EC)**, e **Coletor comum (CC)**. O termo comum significa que o terminal é comum a entrada e a saída do circuito.

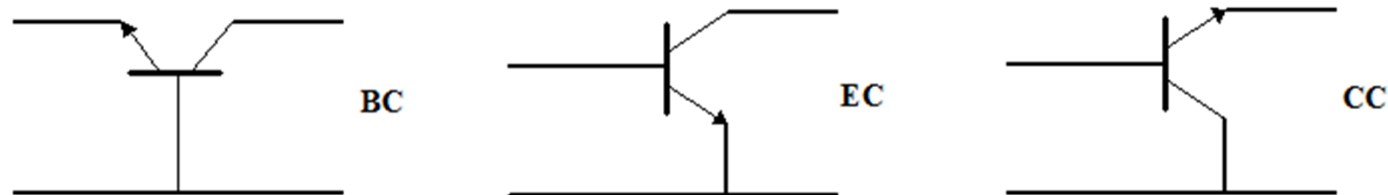
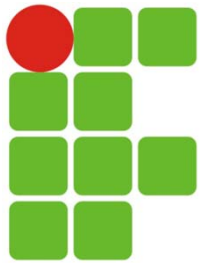


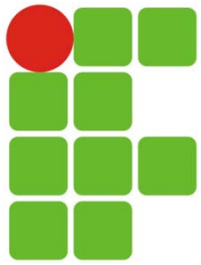
Figura 10 - Configurações Básicas



Transistor Bipolar

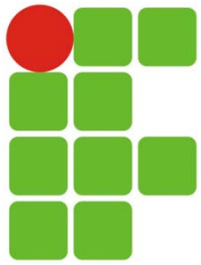
■ Configurações Básicas (cont.)

Base Comum	Ganho de tensão elevado Ganho de corrente menor que 1 Ganho de potência intermediário Impedância de entrada baixa Impedância de saída alta
Coletor Comum	Ganho de tensão menor que 1 Ganho de corrente elevado Ganho de potência intermediário Impedância de entrada alta Impedância de saída baixa
Emissor Comum	Ganho de tensão elevado Ganho de corrente elevado Ganho de potência elevado Impedância de entrada baixa Impedância de saída alta



Transistor Bipolar

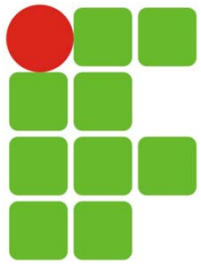
- Configurações Básicas (cont.)
 - A configuração Emissor-Comum é a mais utilizada em circuitos transistorizados.
 - Por isso, os diversos parâmetros dos transistores fornecidos pelos manuais técnicos têm como referência esta configuração.



Transistor Bipolar

■ Curva Característica - EC

- Podemos trabalhar com a chamada curva característica de entrada. Para cada valor constante de **VCE**, varia-se a tensão de entrada **VBE**, obtendo-se uma corrente de entrada **IB**, resultando num gráfico conforme figura abaixo.
- Observa-se que é possível controlar a corrente de base, variando-se a tensão entre a base e o emissor.



Transistor Bipolar

■ Curva Característica – EC

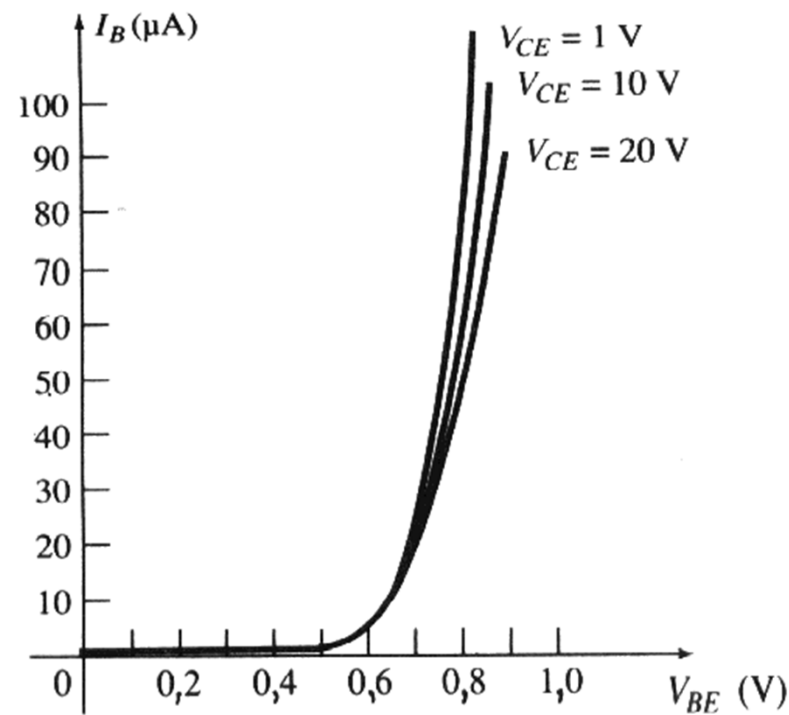
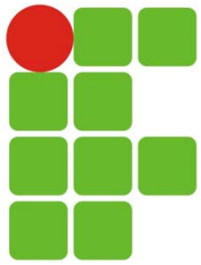
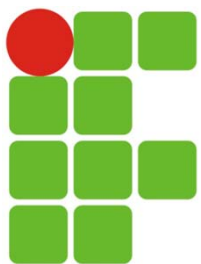


Figura 11 - Curva Característica de Entrada EC



Transistor Bipolar

- Curva Característica – EC
 - Para cada constante de corrente de entrada **I_B** , variando-se a tensão de saída **V_{CE}** , obtém-se uma corrente de saída **I_C** , cujo gráfico tem o seguinte aspecto.



Transistor Bipolar

■ Curva Característica – EC

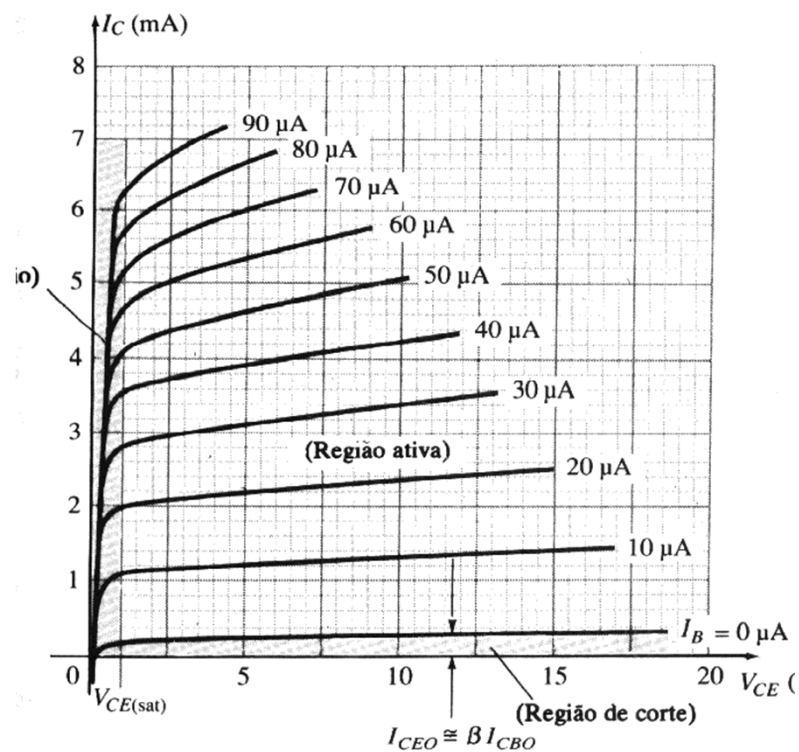
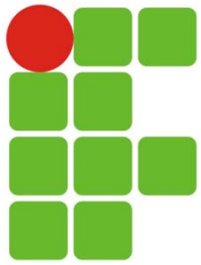
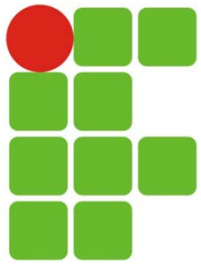


Figura 12 -Curva Característica de Saída EC



Transistor Bipolar

- Funcionamento como chave
 - A utilização do transistor nos seus estados de SATURAÇÃO e CORTE, isto é, de modo que ele ligue conduzindo totalmente a corrente entre emissor e o coletor, ou desligue sem conduzir corrente alguma é conhecido como operação como chave.
 - No exemplo a seguir, ao se ligar a chave S1, fazendo circular uma corrente pela base do transistor, ele satura e acende a lâmpada.



Transistor Bipolar

- Funcionamento como chave
 - O resistor ligado a base é calculado, de forma que, a corrente multiplicada pelo ganho dê um valor maior do que o necessário o circuito do coletor, no caso, a lâmpada.

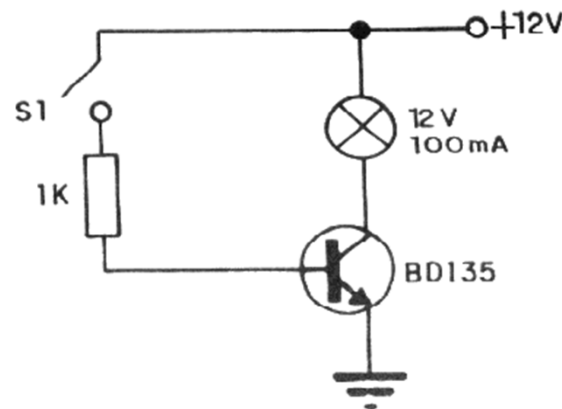
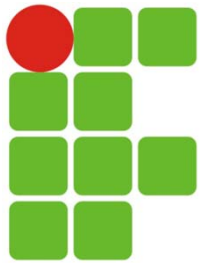
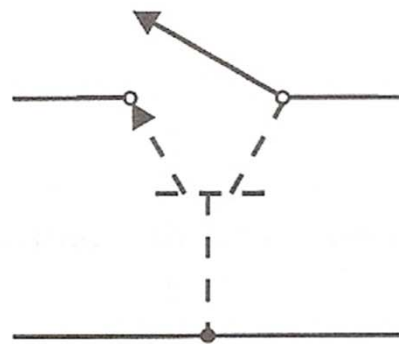


Figura 13 – Exemplo de utilização como chave

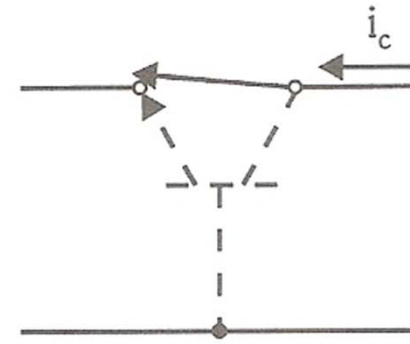


Transistor Bipolar

- Funcionamento como chave

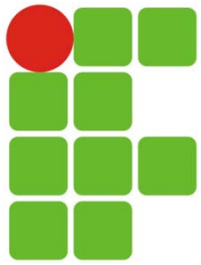


(a) *Transistor Cortado*



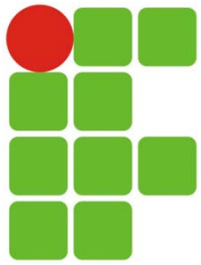
(b) *Transistor Saturado*

Figura 14 – Analogia de um transistor com uma chave



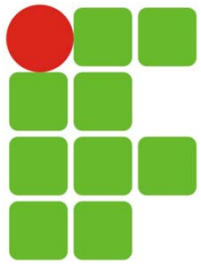
Transistor Bipolar

- Ponto de Operação (Quiescente)
 - Os transistores são utilizados como elementos de amplificação de corrente e tensão, ou como elementos de controle ON-OFF. Tanto para estas como para outras aplicações, o transistor deve estar polarizado corretamente.
 - Polarizar um transistor é fixá-lo num ponto de operação em corrente contínua, dentro de suas curvas características.



Transistor Bipolar

- Ponto de Operação (Quiescente)
 - Também chamado de polarização DC, este ponto de operação (ou quiescente) pode estar localizado nas regiões de corte, saturação ou ativa da curva característica de saída.
 - Os pontos **QA** (região ativa), **QB** (região de saturação) e **QC** (região de corte) da figura a seguir caracterizam as três regiões citadas.



Transistor Bipolar

■ Ponto de Operação (Quiescente)

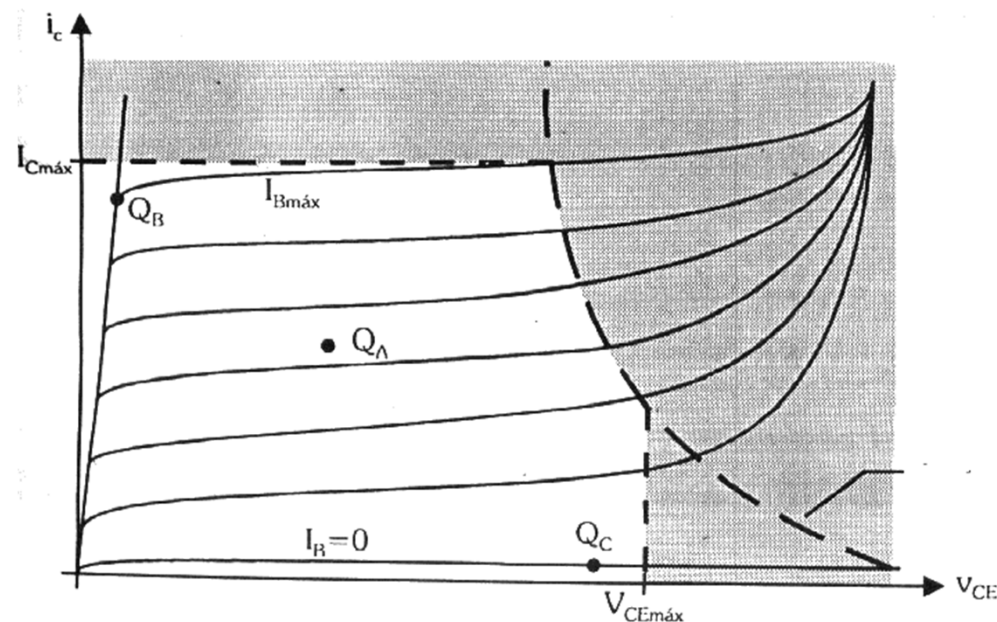
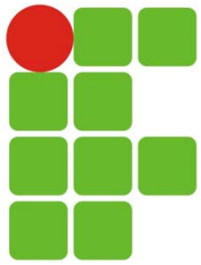


Figura 15 – Pontos Quiescentes de um Transistor



Transistor Bipolar

■ Reta de carga

- É o lugar geométrico de todos os pontos de operação possíveis para uma determinada polarização.

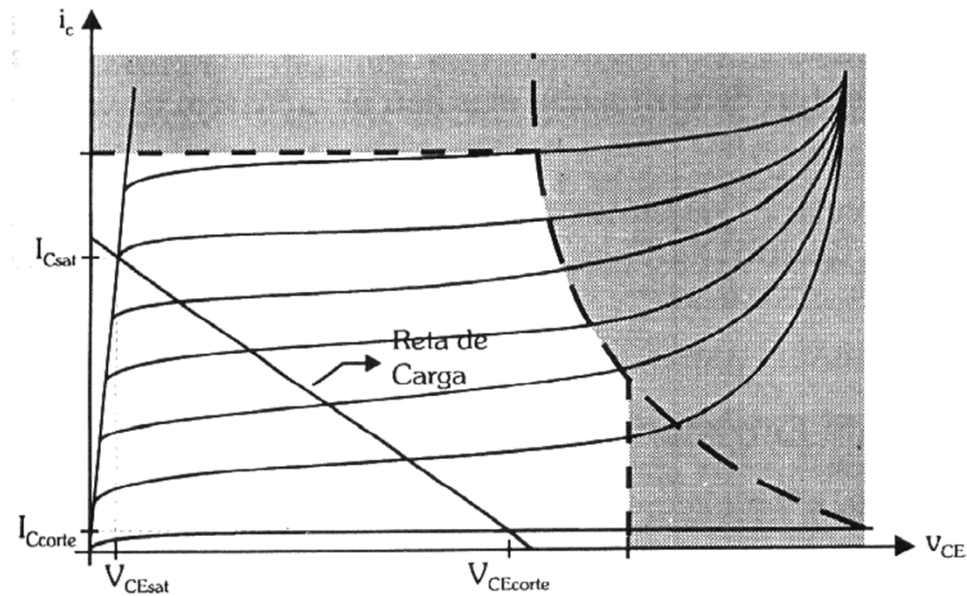
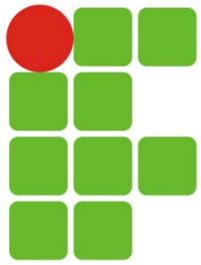
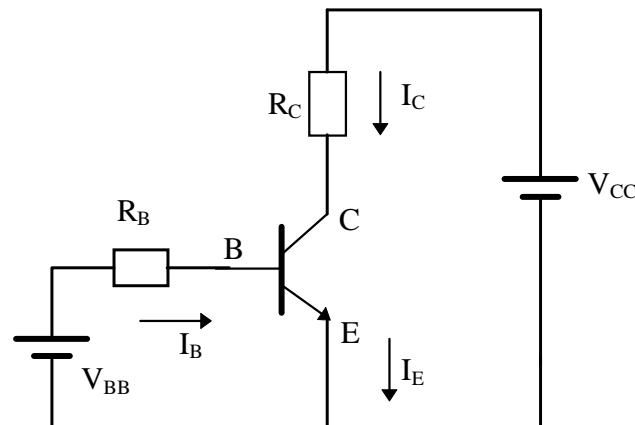


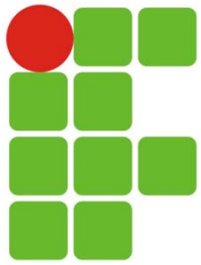
Figura 16 – Reta de Carga de um Transistor



Transistor Bipolar

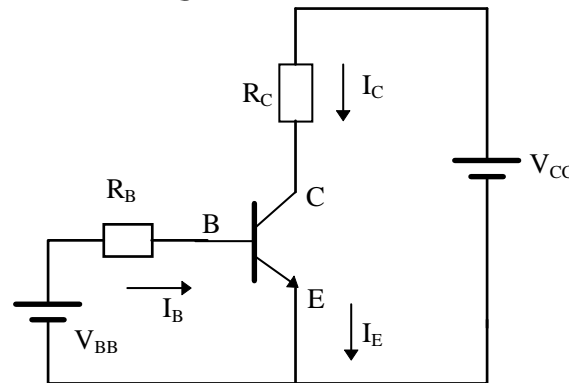
- Circuito de Polarização em Emissor Comum
 - Nesta configuração, a junção BE é polarizada diretamente e a junção BC reversamente. Para isso, utilizam-se duas baterias e dois resistores para limitar as correntes e fixar o ponto de operação.





Transistor Bipolar

■ Circuito de Polarização em Emissor Comum

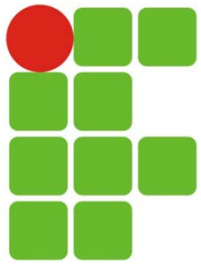


- Malha de entrada: $R_B \cdot I_B + V_{BE} = V_{BB}$ então,

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$

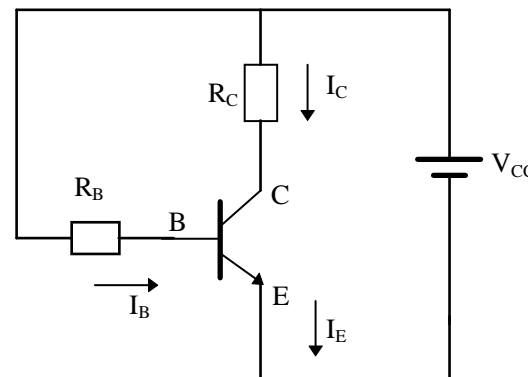
- Malha de saída: $R_C \cdot I_C + V_{CE} = V_{CC}$ então,

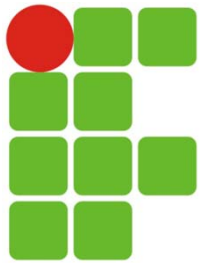
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$



Transistor Bipolar

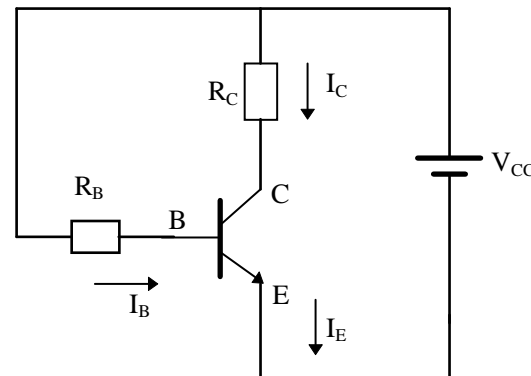
- Circuito de polarização EC com corrente de base constante
 - Para eliminar a fonte de alimentação da base V_{BB} , pode-se utilizar somente a fonte V_{CC} .
 - Para garantir as tensões corretas para o funcionamento do transistor R_B deve ser maior que R_C .





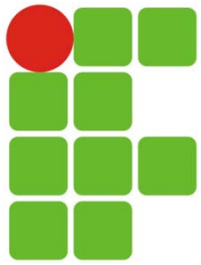
Transistor Bipolar

- Circuito de polarização EC com corrente de base constante



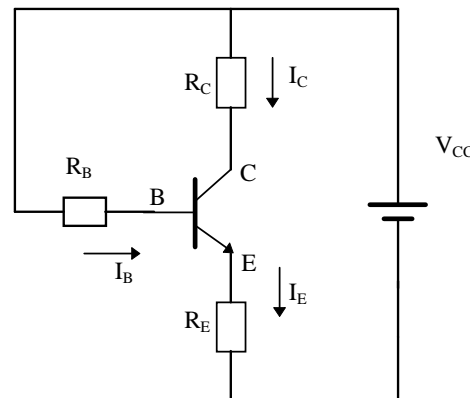
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

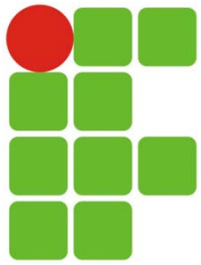


Transistor Bipolar

- Circuito de Polarização EC com corrente de emissor constante.
 - Neste circuito de polarização é inserido um resistor R_E entre o emissor e a fonte de alimentação

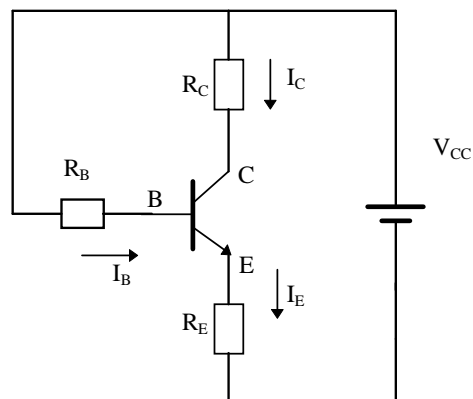


- A idéia é compensar possíveis variações de ganho devido a mudanças de temperatura.



Transistor Bipolar

- Circuito de Polarização EC com corrente de emissor constante



$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_E \cdot I_E}{I_B}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - R_E \cdot I_E}{I_C}$$

- Adota-se $V_{RE} = V_{CC} / 10$