



Introdução a transistores bipolar de junção

Prof. Alceu André Badin

Transistor Bipolar de Junção (BJT)

Transistor:

Dispositivo (semicondutor) de 3 terminais, cujo princípio de operação baseia-se no controle da corrente num dos terminais pela tensão aplicada nos outros dois.

Modos de Utilização:

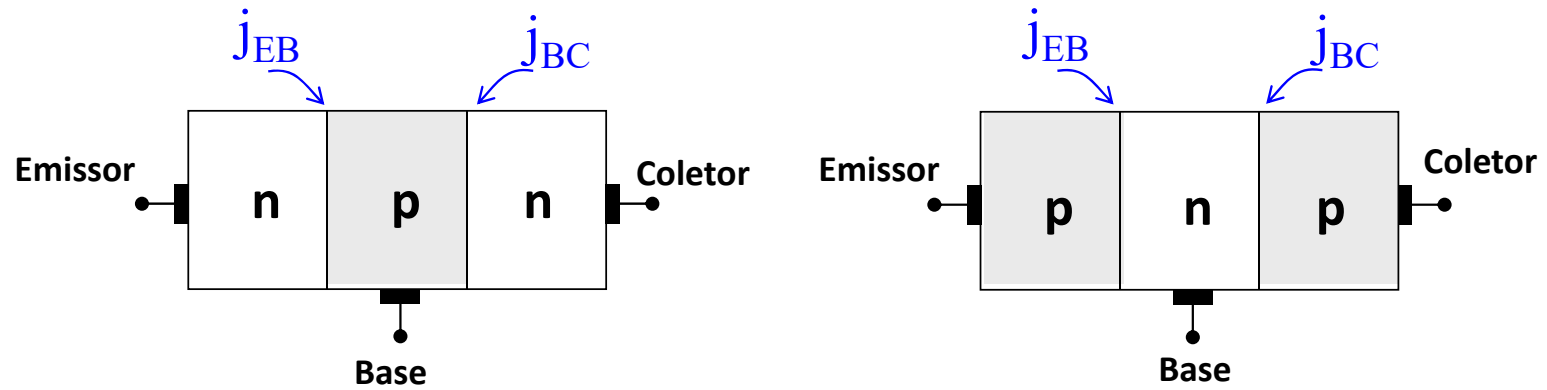
Fonte Controlada \Rightarrow AMPLIFICADORES

Interruptor (chave) \Rightarrow CIRCUITOS DIGITAIS



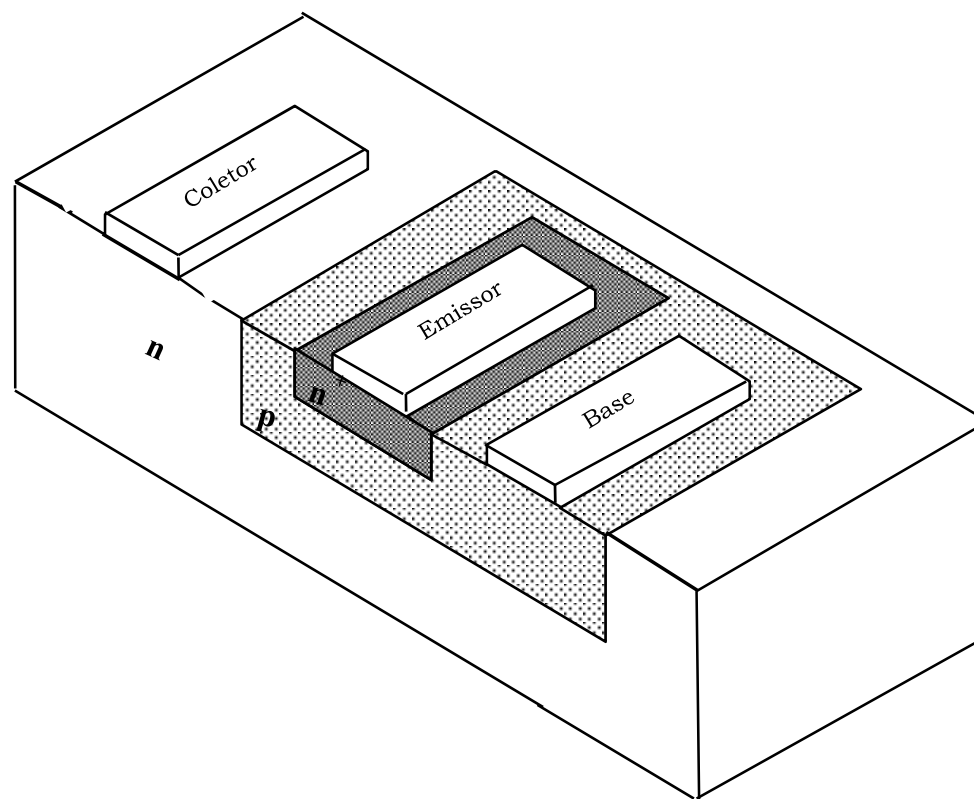
John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain (Nobel de Física de 1956)

2.1 – Estrutura Física do BJT

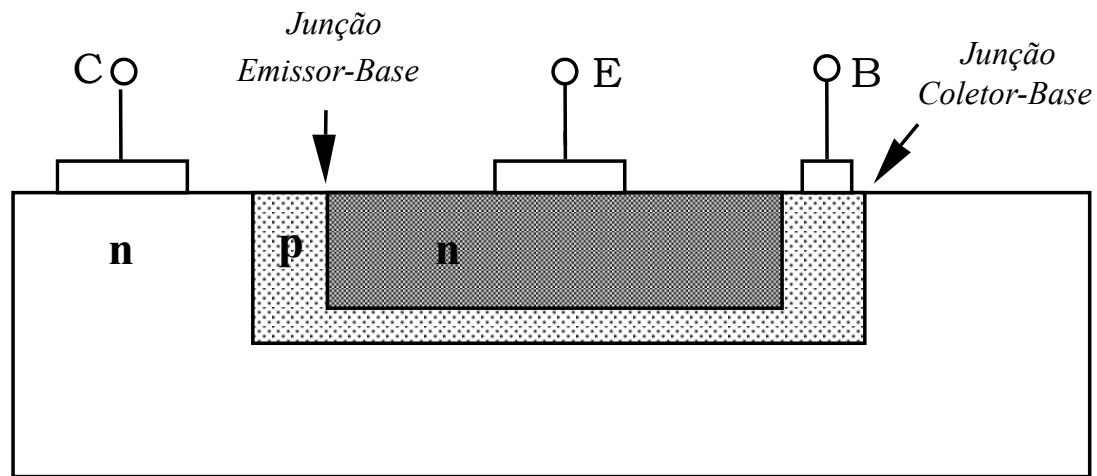


Junções equivalentes (modelo diferente)





Estrutura mais realista do BJT (npn)

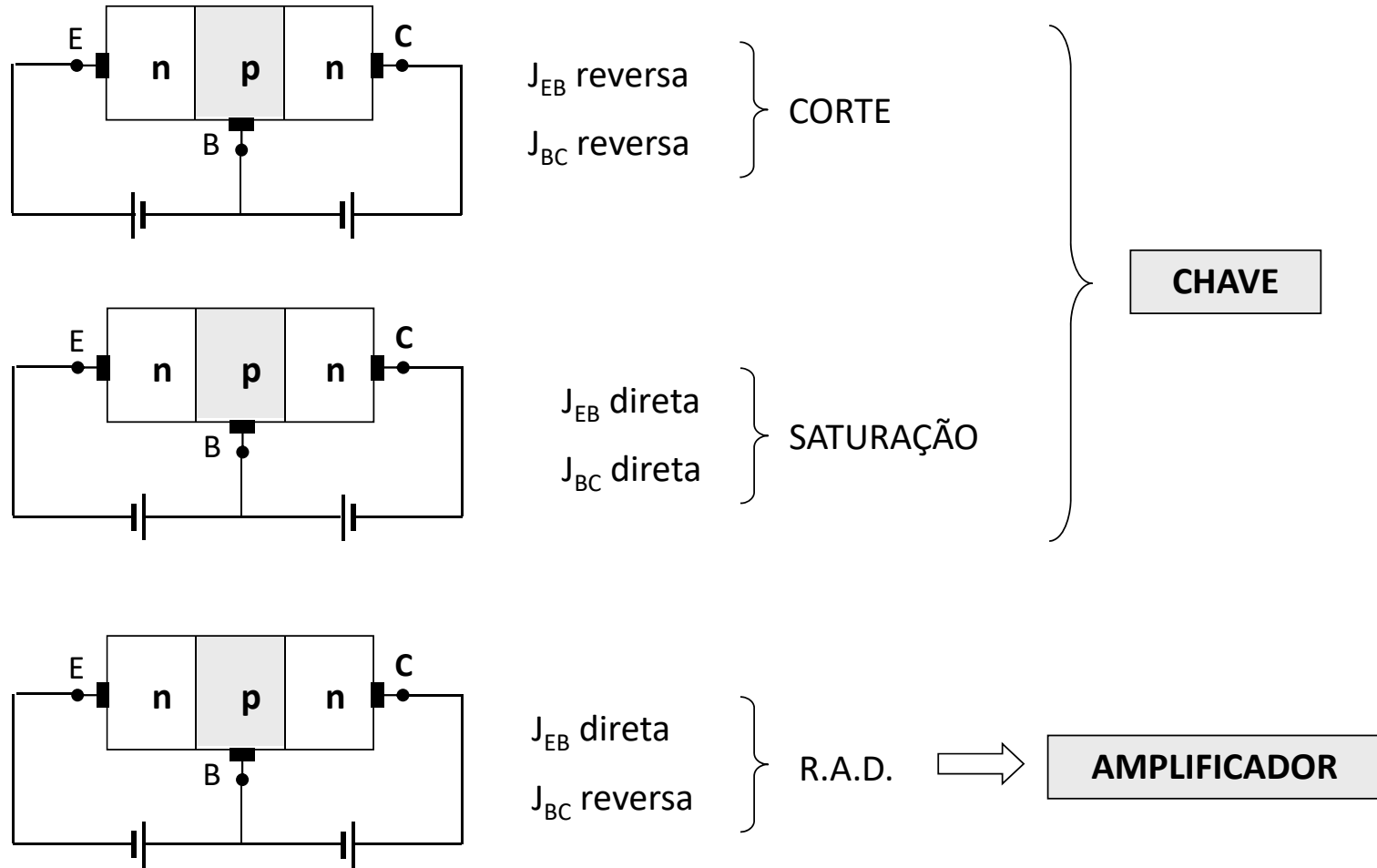


Emissor: fortemente dopado

Base: estreita e fracamente dopada

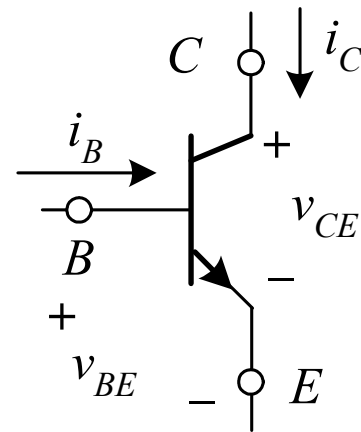
Coletor: maior área

Modos de Operação:

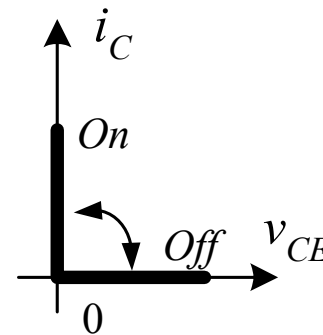


Operando como chave

Os transistores bipolares foram os primeiros semicondutores de potência totalmente controlados utilizados comercialmente em conversores estáticos.



(a)



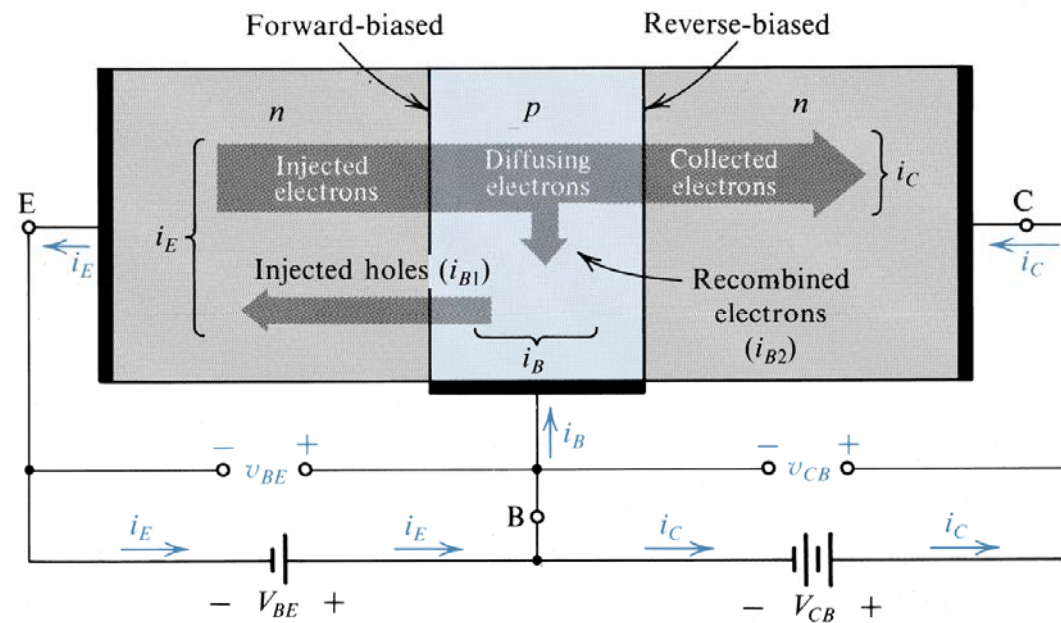
(b)

(a) Símbolo e (b) Característica ideal de um BJT.

O BJT pode conduzir corrente somente em uma direção, e quando em estado bloqueado suporta somente tensões positivas, ou seja, $i_c > 0$ e $v_{CE} > 0$.

Quando uma corrente de base é aplicada a base o BJT, este passa a conduzir. Com a remoção da corrente de base o BJT volta ao estado bloqueado.

2.2 – Operação Física no Modo Ativo (RAD)



- o valor de i_C não depende do valor de v_{CB} , apenas que $v_C > v_B$
- mais de 95% dos elétrons emitidos são coletados ($i_C > 0.95 i_E$)

Relações importantes:

Temos que: $i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$ onde: $\begin{cases} I_S = k \frac{A}{W} \\ V_T: \text{tensão térmica } (\approx 25\text{mV @ } 300\text{K}) \end{cases}$

(Blue arrows point from the text to A: área da junção and W: largura da base)

e:

$$i_C = \alpha \cdot i_E$$

Da 1ª Lei de Kirchhoff: $i_E = i_C + i_B$

logo:

$$i_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_B \quad e \quad i_E = \frac{1}{1-\alpha} i_B$$

Fazendo: $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

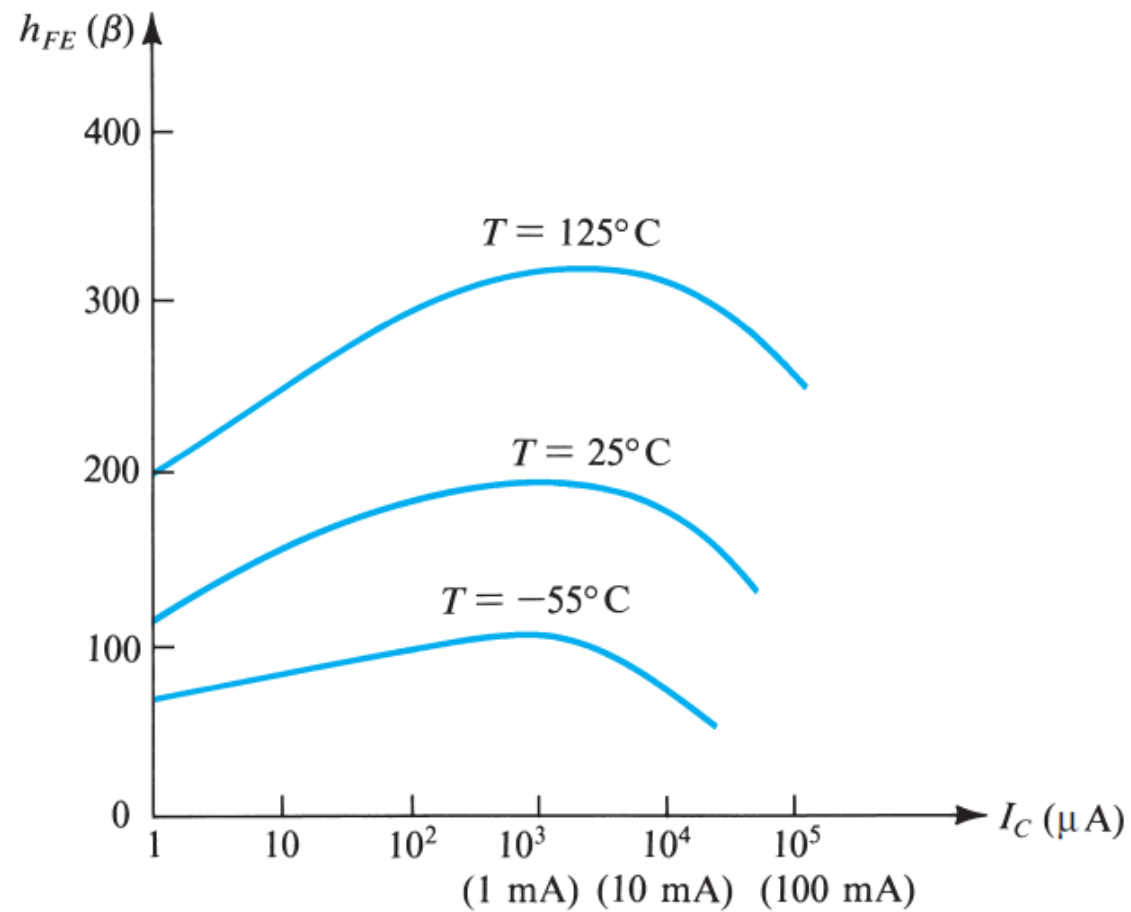
Teremos:

$$i_C = \beta \cdot i_B \quad e \quad i_E = (\beta + 1) \cdot i_B$$

Comparativo entre β e α

$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$ (ganho de corrente em base-comum)	$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ (ganho de corrente em emissor-comum)
0,9	9
0,95	19
0,99	99
0,998	499

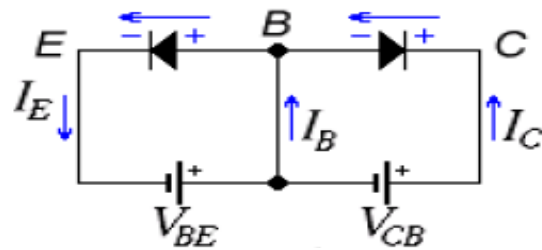
- ▶ Valores típicos: $20 < \beta < 500$ ($0,952 < \alpha < 0,998$)
- ▶ Transistores iguais podem ter β ligeiramente diferentes



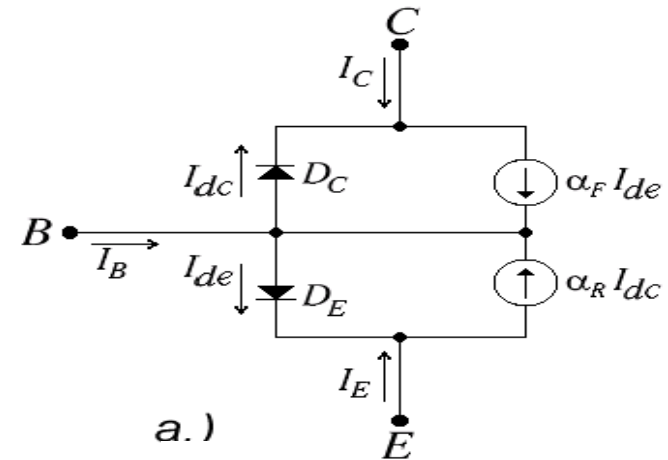
Dependência típica de β no I_C e na temperatura em um transistor de silício npn de circuito integrado destinado à operação em torno de 1 mA.

Modelo Ebers-Moll

J. J. Ebers, J. L. Moll, "Large-Signal Behavior of Junction Transistor," *Proceedings of the IRE*, **42**, pp 1761-1772, 1954.



NPN



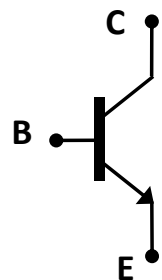
Modelo de Ebers-Moll
(Grandes Sinais)

Table 4.3 Simplified Models for the Operation of the BJT in DC Circuits

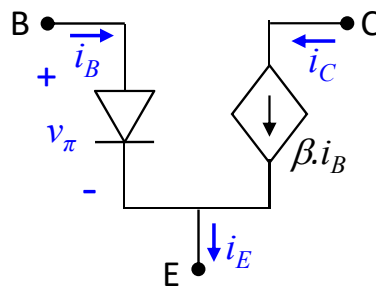
	<i>nnp</i>	<i>pnnp</i>
Active EBJ: Forward Biased CBJ: Reverse Biased		
Saturation EBJ: Forward Biased CBJ: Forward Biased		

$\beta_{\text{forced}} < \beta_{\text{min}}$

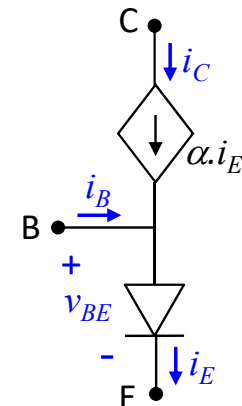
Símbolo e Modelos Equivalentes



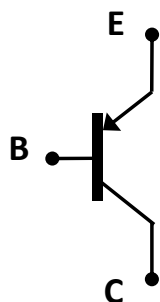
Símbolo npn



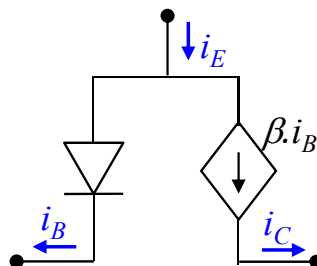
modelo π



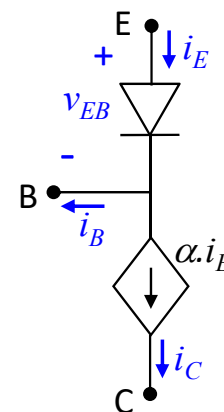
modelo T



Símbolo pnp



modelo π

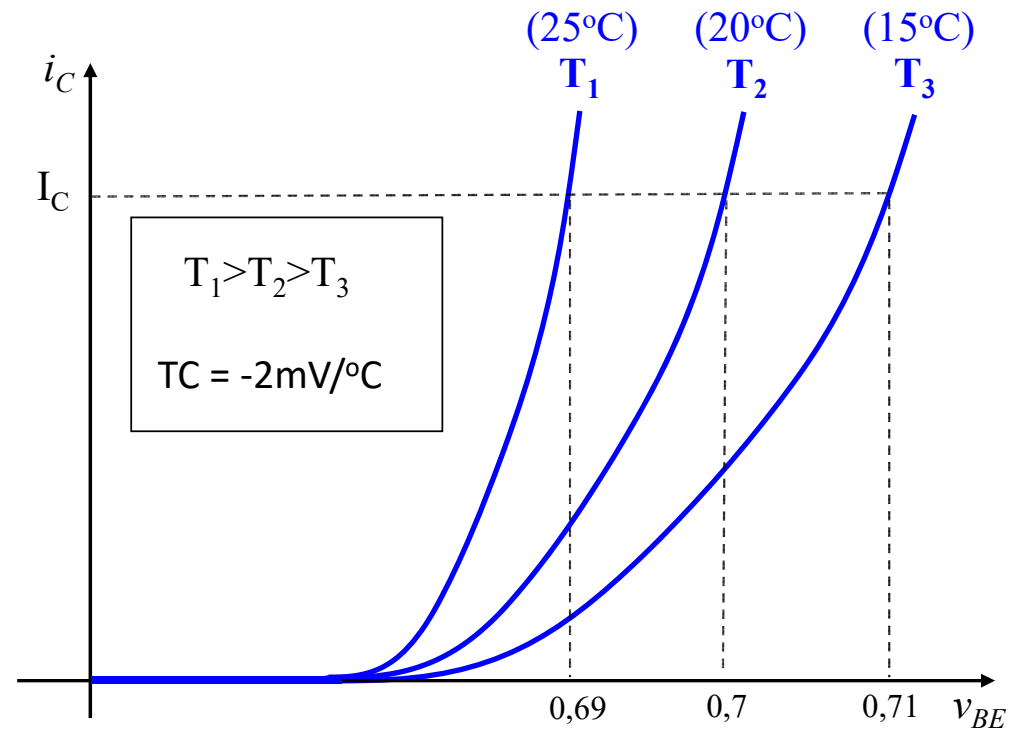


modelo T

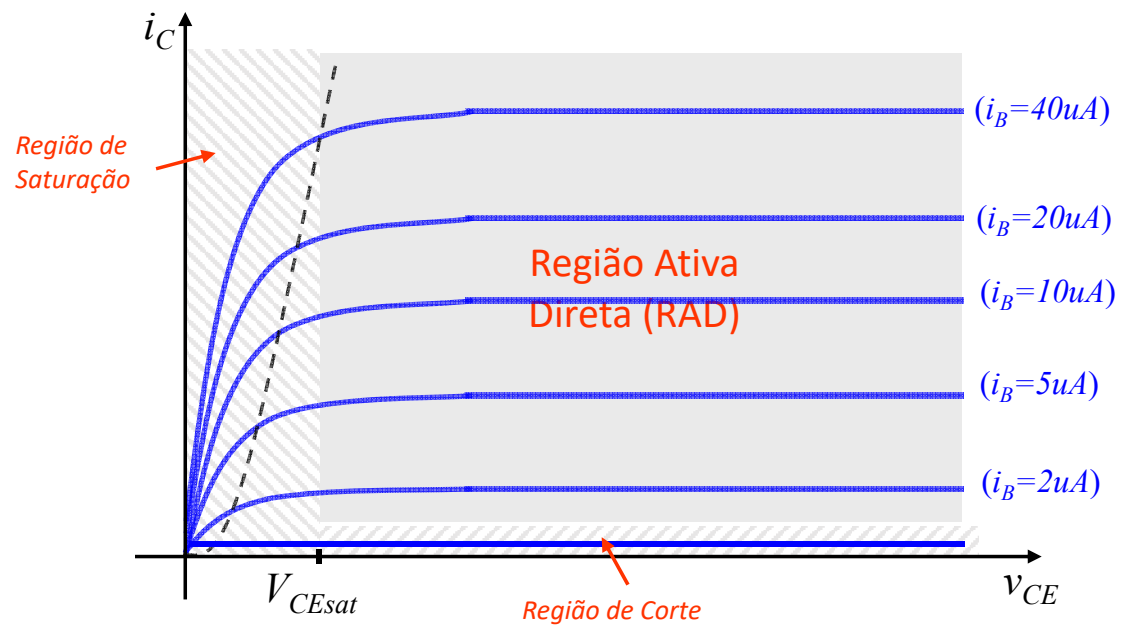
Representação gráfica das características do BJT

como:

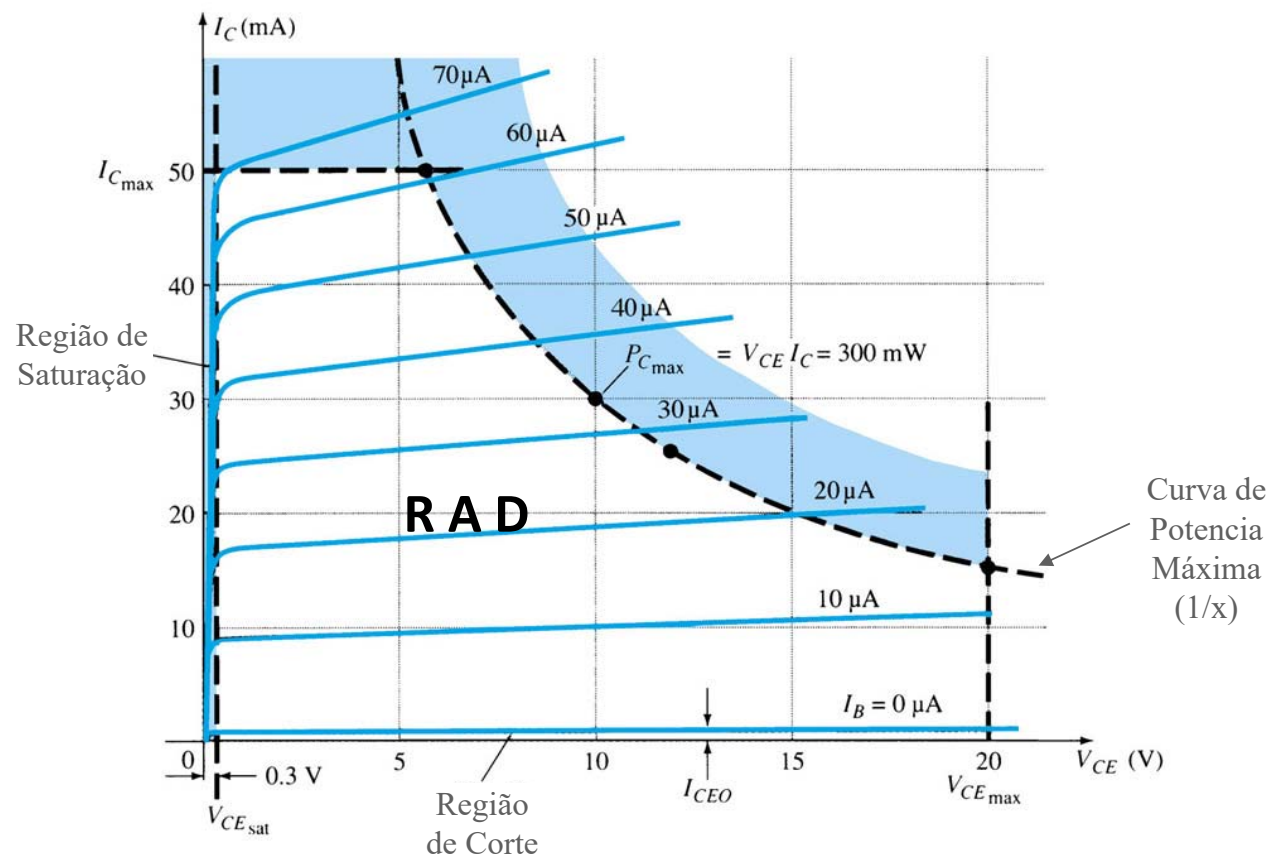
$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$



Característica $i_C - v_{BE}$



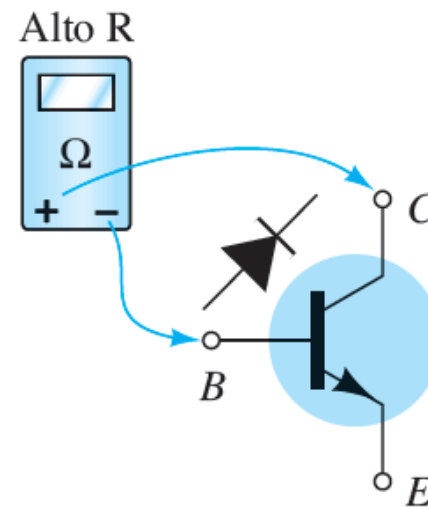
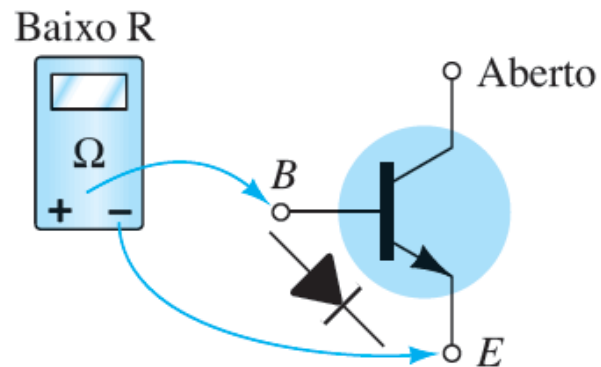
Característica de saída (i_C - v_{CE})



Característica de Saída - Limites de Operação

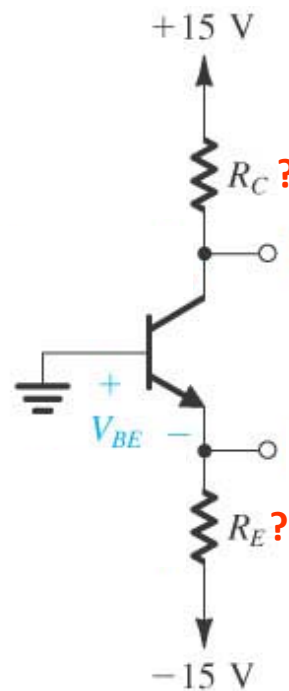
Teste de transistores

- **Traçador de curvas** Fornece um gráfico de curvas características.
- **Medidores digitais** - Alguns medidores digitais medem β_{DC} ou h_{FE} .
- **Ohmímetro:**

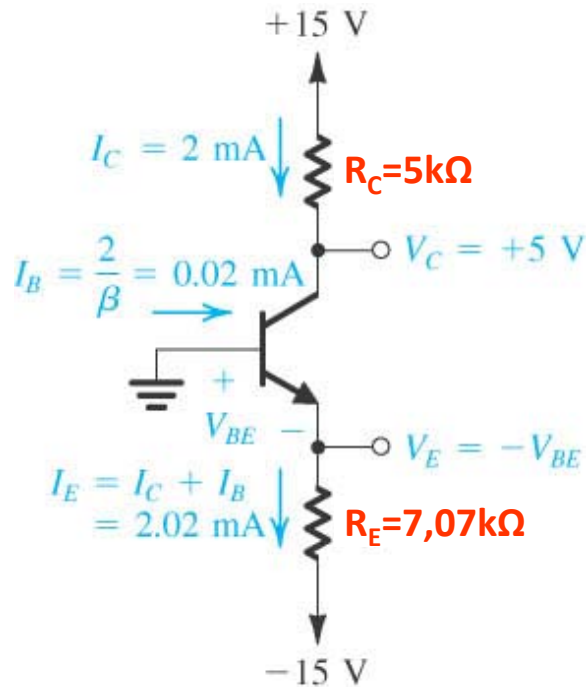


Exemplo:

O transistor da figura abaixo tem $\beta = 100$ e exibe uma tensão v_{BE} de 0,7V com $i_C = 1$ mA. Projete o circuito para que uma corrente de 2 mA flua através do coletor e que uma tensão de + 5V apareça no terminal do coletor.



Solução



tem-se:

$$V_C = +5\text{ V} \Rightarrow V_{RC} = 15 - 5 = 10\text{ V}$$

$$I_C = 2\text{ mA} \Rightarrow R_C = V_{RC} / 2\text{ mA} = \underline{5\text{ k}\Omega}$$

como: $V_{BE} = 0,7\text{ V}$ para $I_C = 1\text{ mA}$

V_{BE} para $I_C = 2\text{ mA}$ é dado por:

$$i_C = I_S \cdot e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \quad V_{BE} = 0,7 + V_T \ln\left(\frac{2}{1}\right) = 0,717\text{ V}$$

como: $V_B = 0 \Rightarrow V_E = -0,717\text{ V}$

$$(\beta = 100 \Rightarrow \alpha = 100/101)$$

$$e: \quad I_E = I_C / \alpha = 2 / 0,99 = 2,02\text{ mA}$$

$$\text{assim: } R_E = (V_E - (-15)) / I_E = \underline{7,07\text{ k}\Omega}$$