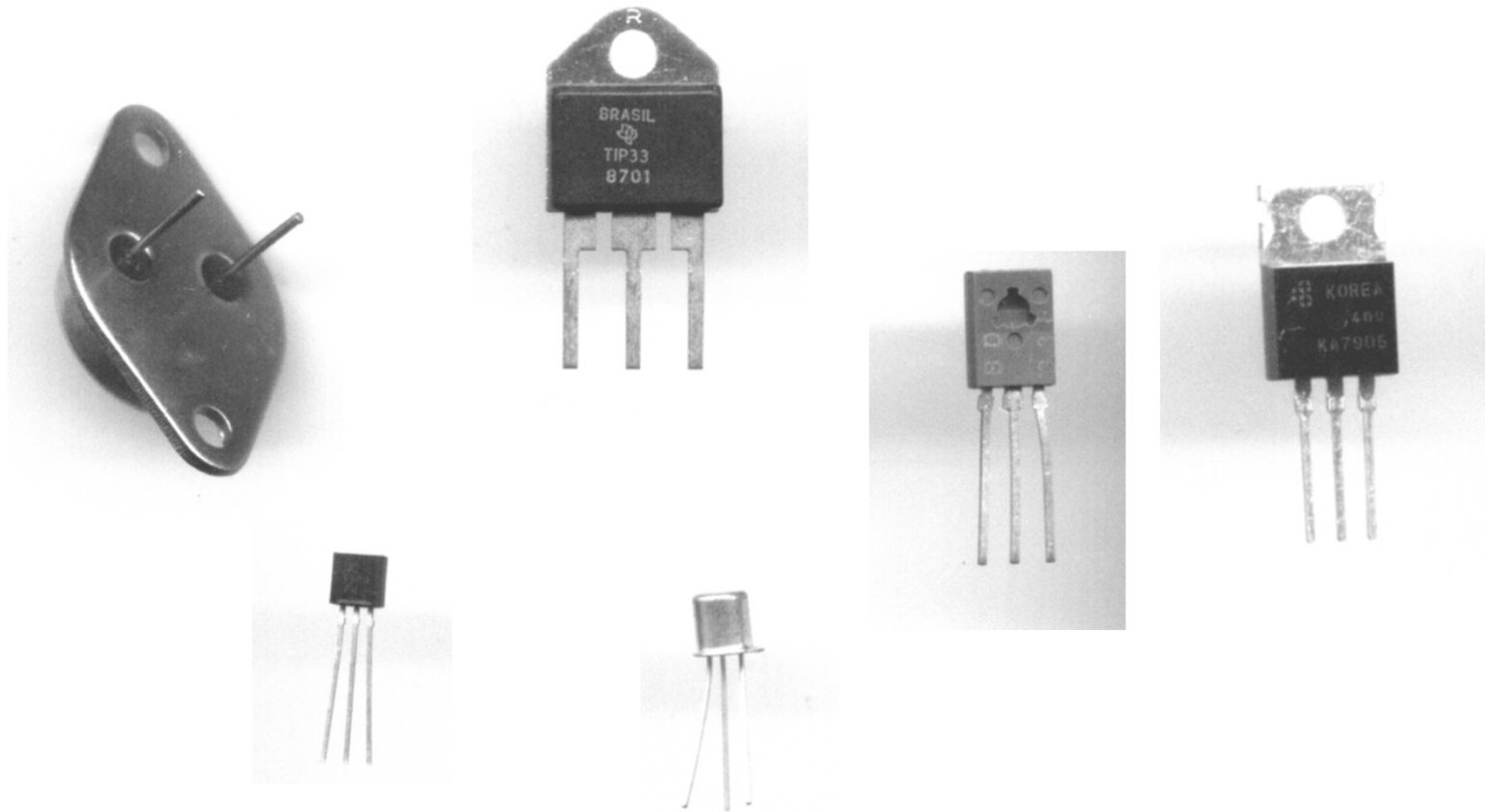
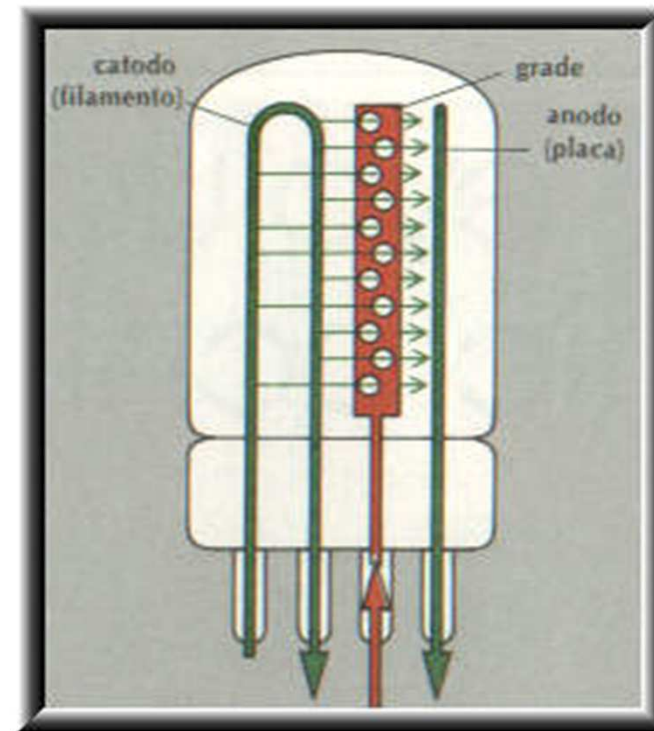


# 2 – Transistor Bipolar

1



- Antes de 1950 todo equipamento eletrônico utilizava válvulas;
- O aquecedor de uma válvula típica consumia muitos watts de potência.



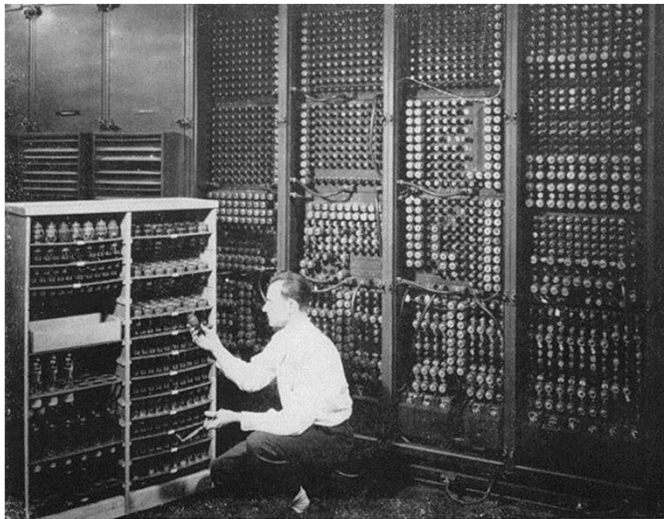
- O transistor projetou a indústria dos semicondutores e todas as invenções relacionadas, como os circuitos integrados, os microprocessadores, os componentes optoeletrônicos, rádios etc. e criou a indústria de computadores.

### ENIAC 1946

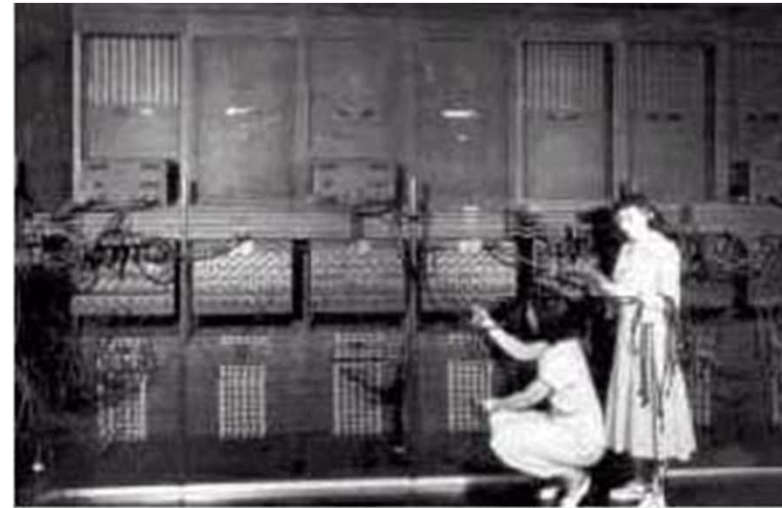
#### Electronic Numerical Interpreter and Calculator,

"Na medida em que uma calculadora no ENIAC é equipada com 18 mil tubos de vácuo e pesa 30 toneladas, os computadores do futuro deverão ter apenas mil tubos de vácuo e pesar 1,5 mil toneladas".

Revista Popular Mechanics, em 1949.



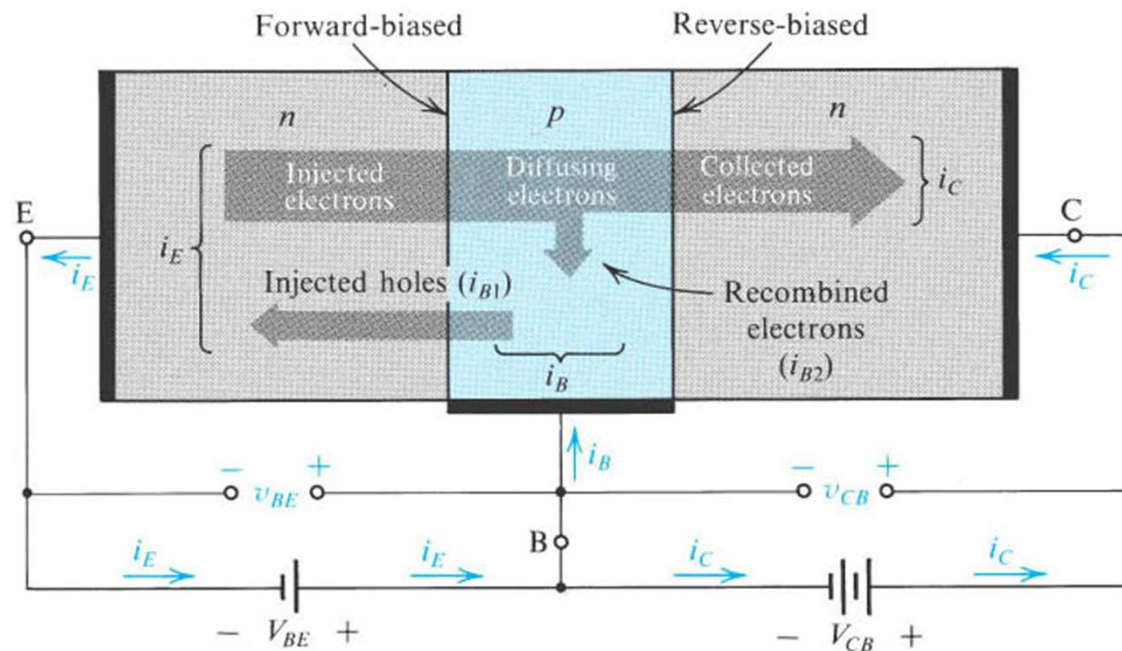
Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 19,000 possibilities.



O ENIAC tinha as seguintes características:

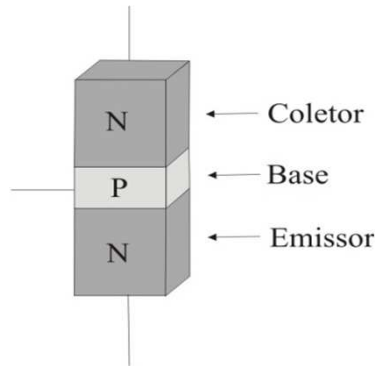
- totalmente eletrônico
- 17.468 válvulas
- 500.000 conexões de solda
- 30 toneladas de peso
- 180 m<sup>2</sup> de área construída
- 5,5 m de altura
- 25 m de comprimento
- realizava uma soma em 0,2 ms
- realizava uma multiplicação em 5ms com números de 10 dígitos.

- O transistor bipolar de junção (BJT) foi inventado nos laboratórios da Bell Telephone em 1947.
- O BJT é formado por três regiões dopadas denominadas: EMISSOR; BASE e COLETOR

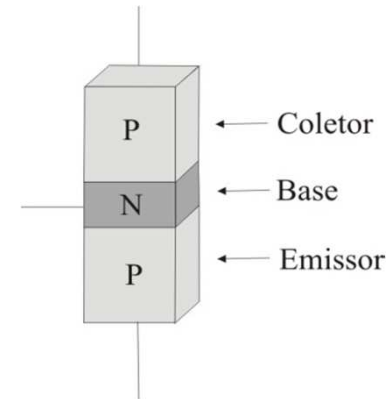


- Tipo de transistor

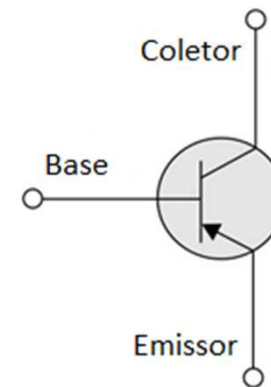
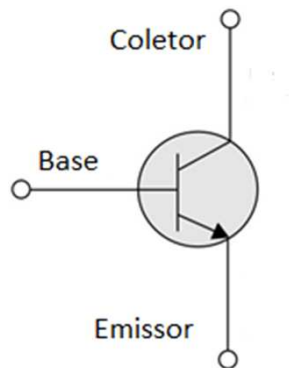
Regiões do transistor NPN



Regiões do transistor PNP



Símbolos



# Correntes e tensões no transistor

$$I_E = I_C + I_B$$

A relação entre a corrente do coletor e da base é dada pelo ganho de corrente do transistor, que em corrente contínua é representado por  $\beta$  ou hFE, e é definido por:

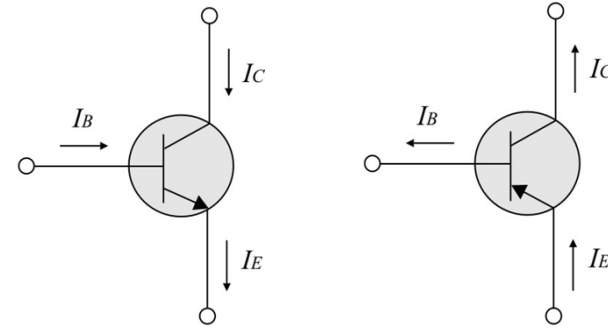
$$\beta_{CC} = \frac{I_C}{I_B}$$

Para valores elevados de  $\beta$  de (normalmente  $\beta > 100$ ):

$$\beta_{CC} + 1 \cong \beta_{CC}$$

Podendo-se considerar:

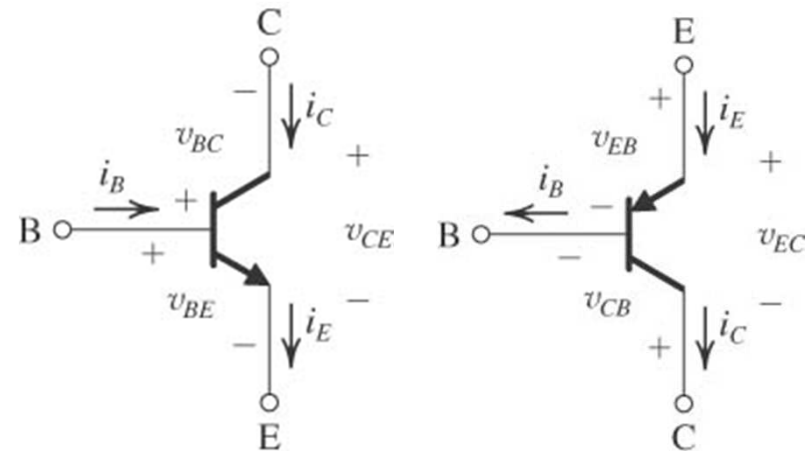
$$I_E \cong I_B \cdot \beta_{CC} \cong I_C$$



As equações anteriores podem ser rearranjadas em diferentes formas:

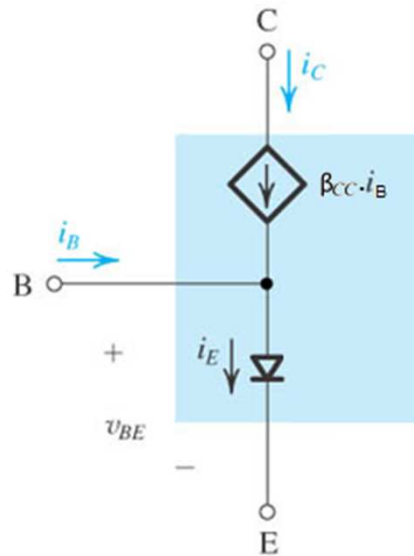
$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

$$I_E = I_B \cdot (\beta_{CC} + 1)$$



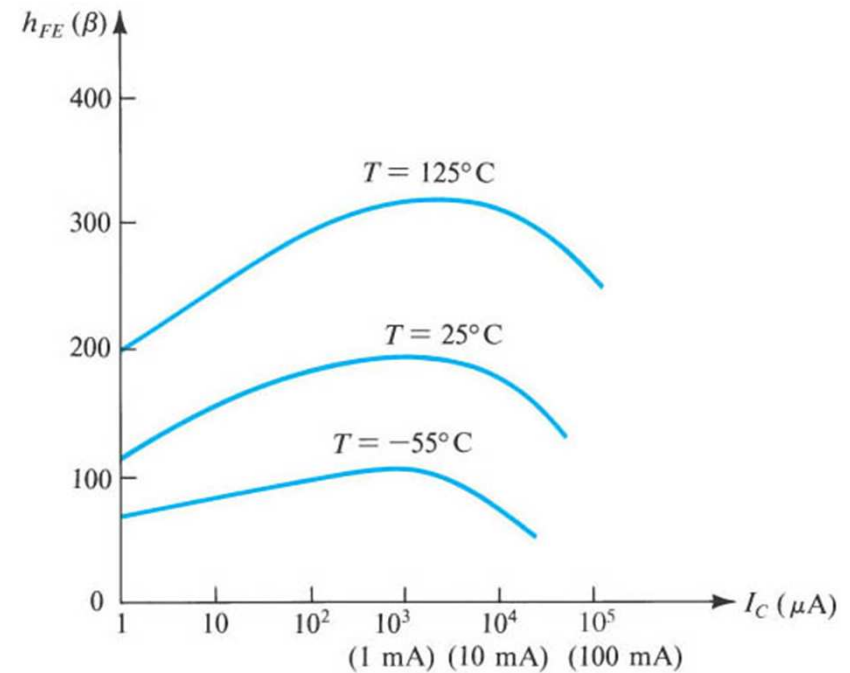
# Modelo Equivalente

Existem diversos modelos que podem ser adotados para representar o transistor, um destes modelos foi proposto por Ebers e Moll e está representado de forma simplificada na figura abaixo.

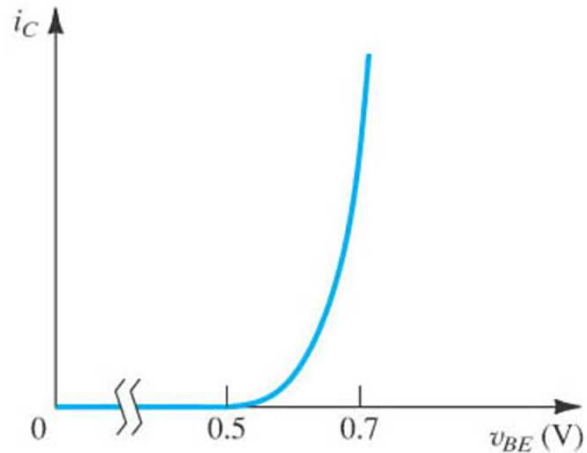


# Variações no Ganho

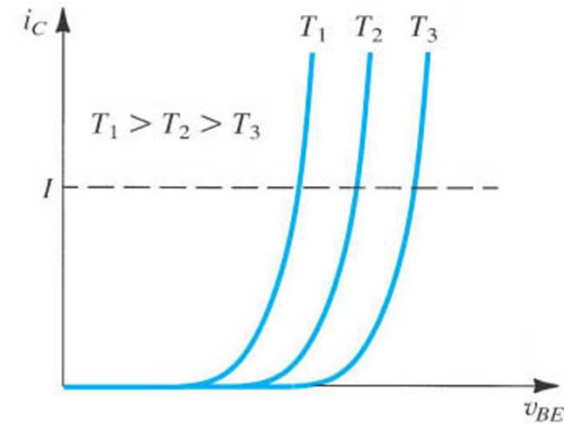
Devido às tolerâncias de fabricação, o ganho de um transistor pode variar numa faixa de até 3:1. Além disso, outros fatores como corrente do coletor e temperatura também afetam o ganho.



# Representação Gráfica das Características do Transistor



Característica  $i_c$  -  $V_{BE}$

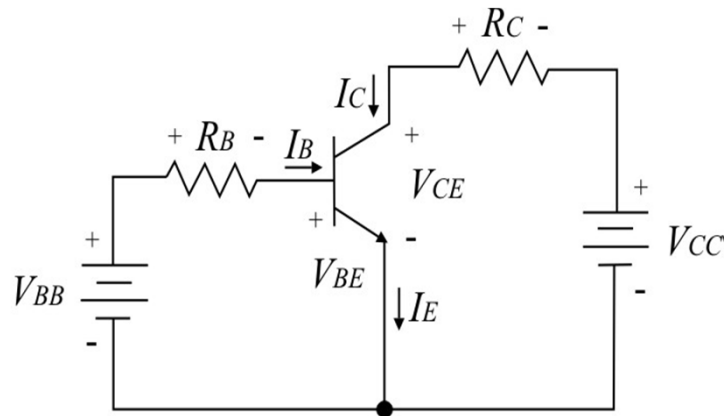


Efeito da temperatura sobre a característica  $i_c$  -  $V_{BE}$  com corrente de emissor constante

A junção base-emissor do transistor é similar à junção PN de um diodo.



# Representação Gráfica das Características do Transistor



Circuito emissor comum

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

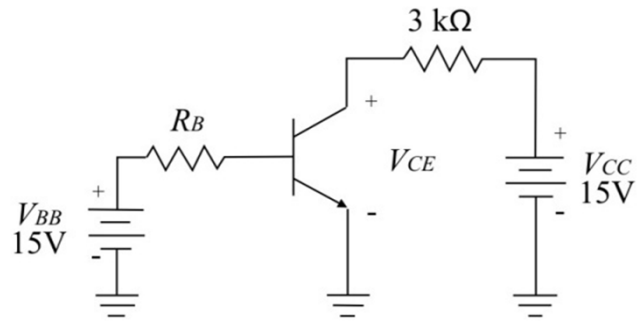
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

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

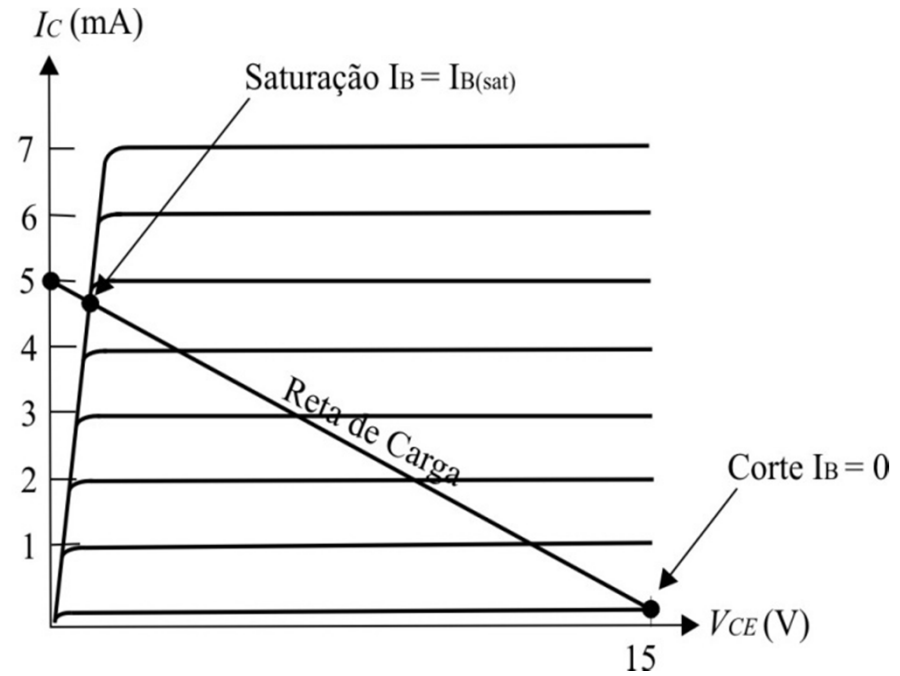


Regiões de operação do transistor

# Reta de Carga



Circuito emissor comum



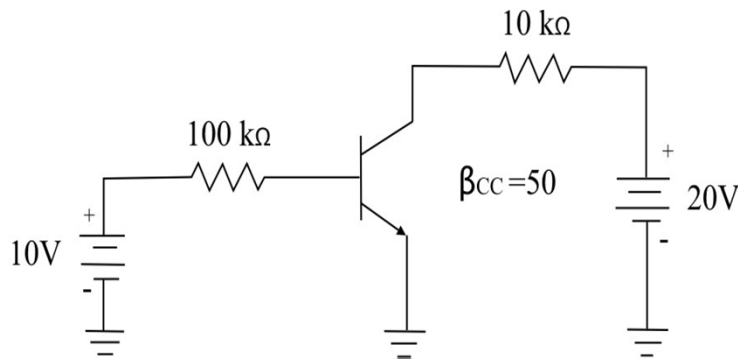
Reta de carga

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

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

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

# Identificando a Saturação



Circuito emissor comum

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10 - 0,7}{100k} = 99,3\mu A$$

Considerando operação na RAD:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 99,3\mu = 4,96mA$$

$$V_{CE} = 20 - 4,96m \cdot 10k = -29,6V$$



Resultado impossível!

O transistor não está operando na RAD.

Considerando operação na SAT:

$$V_{CE(Sat)} \approx 0,3V$$

$$I_{C(Sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{20 - 0,3}{10k} = 1,97mA$$

O ganho de corrente é menor quando o transistor está operando na saturação:

$$\beta_{CC(Sat)} = \frac{I_{C(Sat)}}{I_B} = \frac{1,97m}{99,3\mu} = 19,84$$

# Identificando a Saturação

Considerando operação na RAD:

Circuito emissor comum

$$V_{CE} = 20 - 4,96m \cdot 10k = -29,6V$$



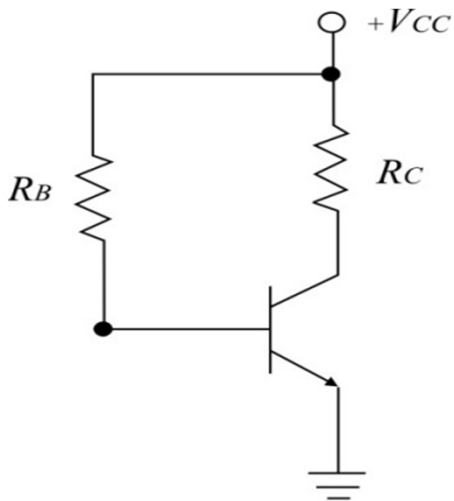
Resultado impossível!  
O transistor não está operando na RAD.

Considerando operação na SAT:

Saturação  $i_b$  2 a 10 x

# Circuitos de Polarização

## Polarização de Base:



A fonte de alimentação da base pode ser a mesma que alimenta o coletor.

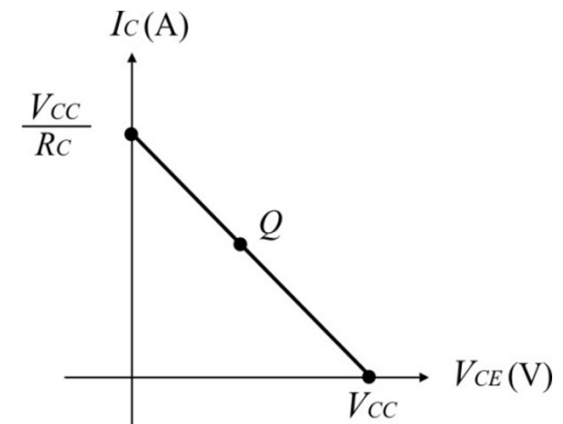


Ponto Q instável.

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

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

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



# Circuitos de Polarização

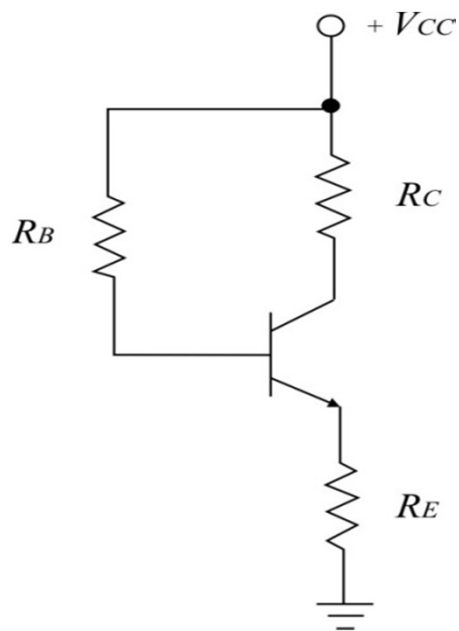
Polarização por Realimentação do Emissor:



A fonte de alimentação da base pode ser a mesma que alimenta o coletor.



Reduz o deslocamento do ponto Q com a variação do ganho

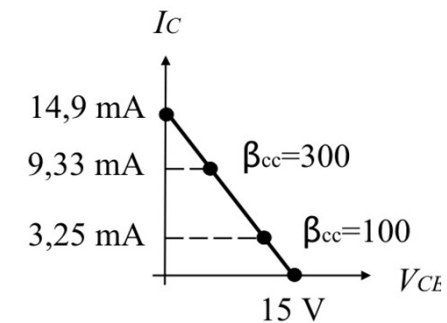
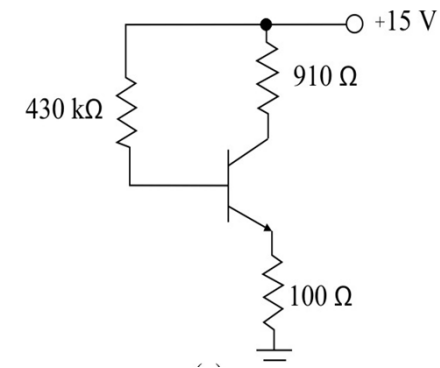


$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

$$V_{BE} + I_E R_E - V_{CC} + I_B R_B = 0$$

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}}$$

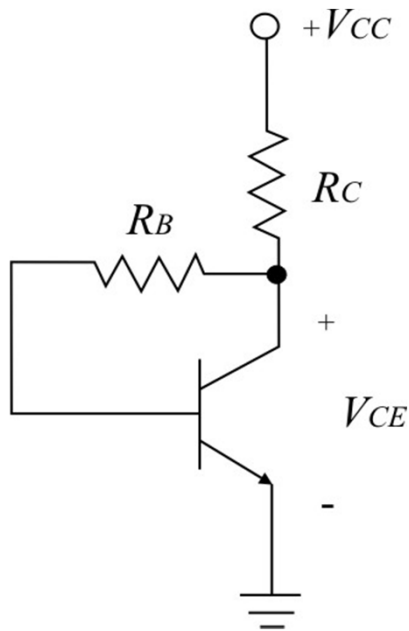


# Circuitos de Polarização

Polarização por Realimentação do Coletor:

➔ A fonte de alimentação da base é a mesma que alimenta o coletor.

➔ É menos sensível à variação do ganho que os circuitos anteriores



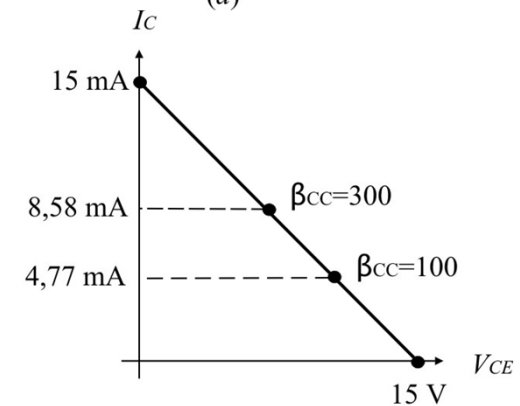
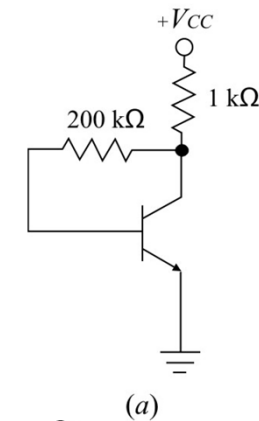
$$V_{CE} - V_{CC} + (I_C + I_B) \cdot R_C = 0$$

$$V_{BE} - V_{CC} + (I_C + I_B) \cdot R_C + I_B \cdot R_B = 0$$

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

Para  $I_C \approx I_C + I_B$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / \beta_{CC}}$$

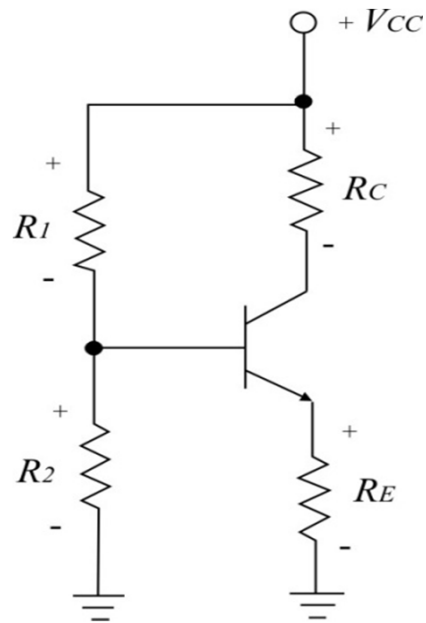


# Circuitos de Polarização

Polarização por Divisor de Tensão:

➡ A fonte de alimentação da base é a mesma que alimenta o coletor.

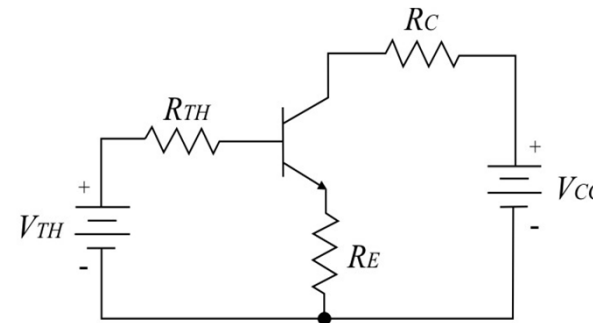
➡ É pouco sensível à variação do ganho



Circuito equivalente:

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC}$$



$$V_{BE} + I_E R_E - V_{TH} + I_B R_{TH} = 0$$

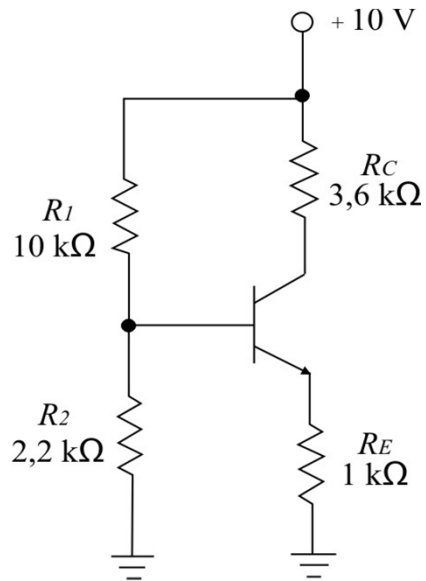
$$I_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH} / \beta_{CC}}$$

$$I_B \cong \frac{I_E}{\beta_{CC}}$$



# Circuitos de Polarização

Polarização por Divisor de Tensão:



$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + R_{TH} / \beta_{CC}}$$

Divisor de tensão firme:

$$R_E > 100 \cdot \frac{R_{TH}}{\beta_{CC}}$$

$$R_{TH} < \frac{\beta_{CC} \cdot R_E}{100}$$

