



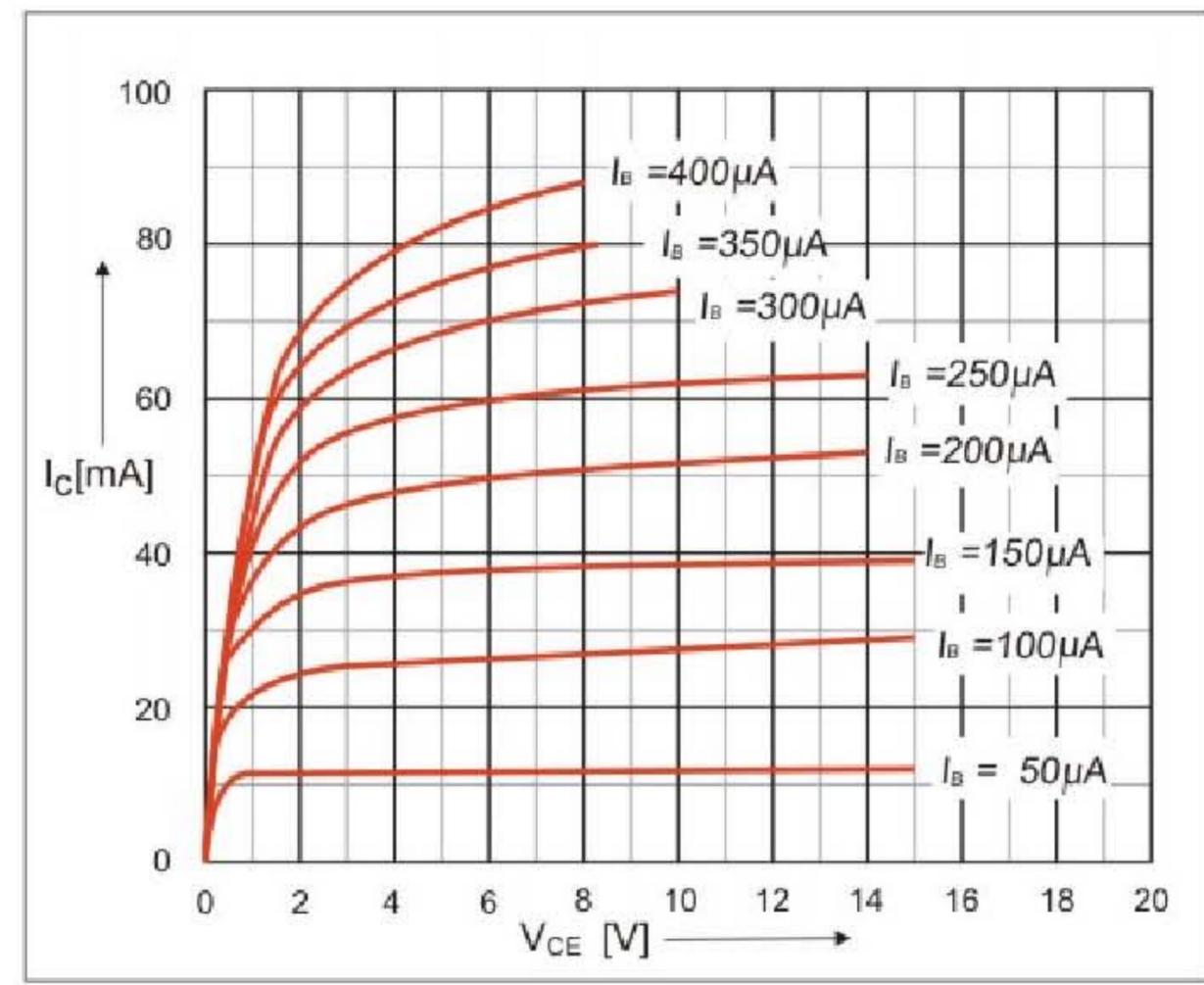
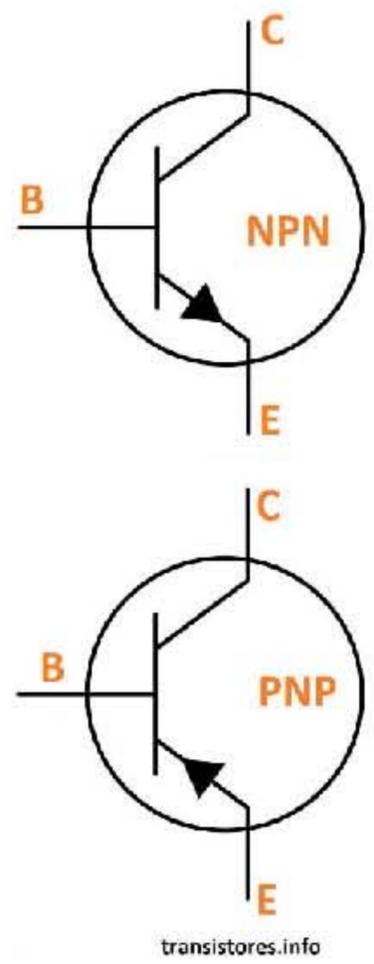
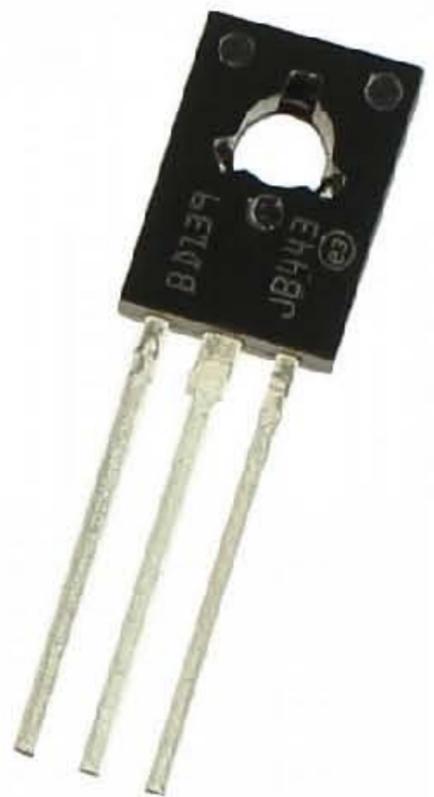
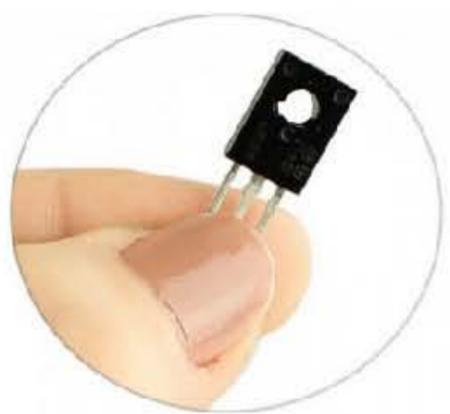
Eletrônica Básica

Transistor

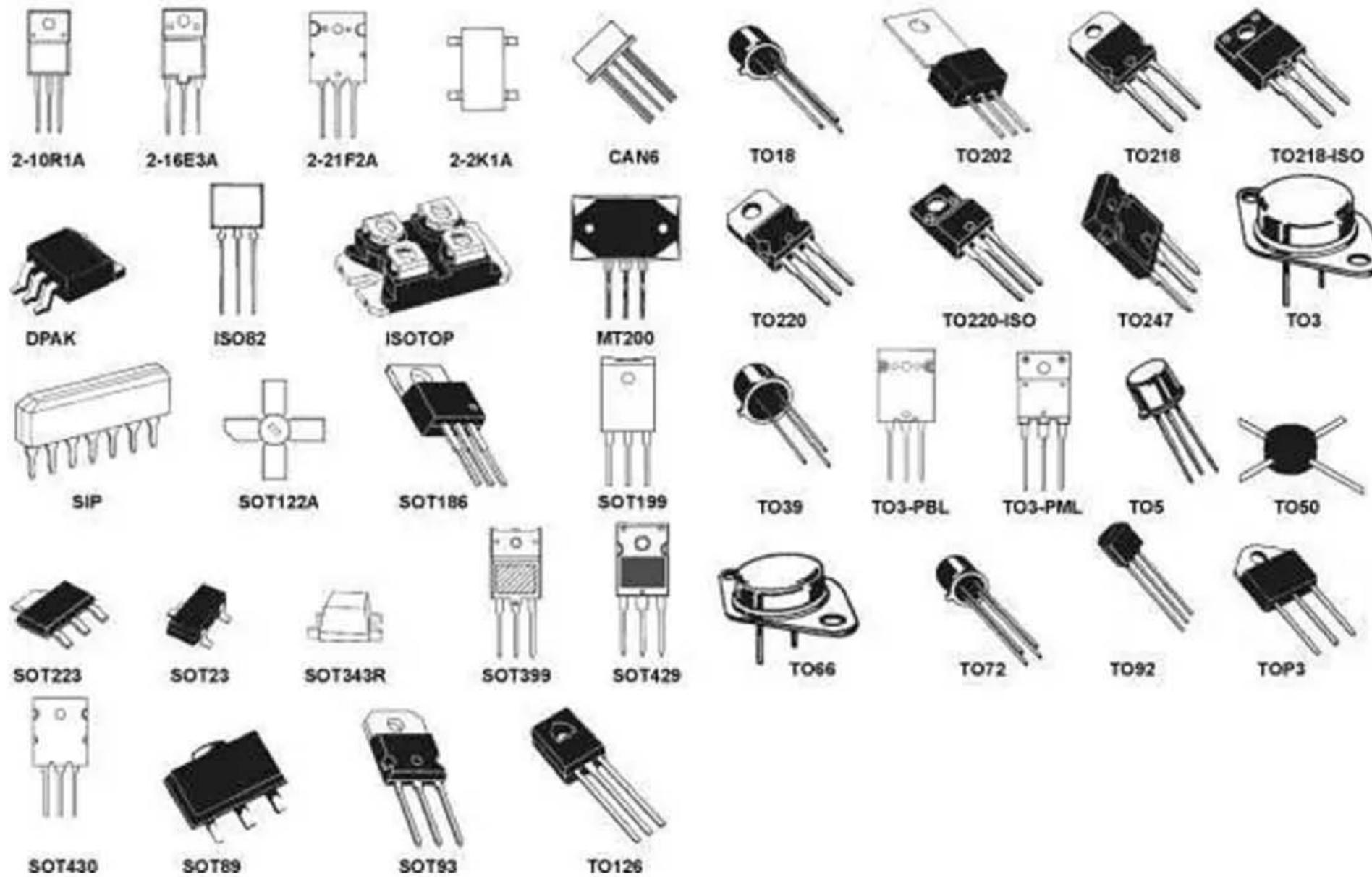
© Prof. Eng^o esp Luiz Antonio Vargas Pinto
www.vargasp.com
Ver. 06/2023

Uma história

- ⤴ Trabalhando no Bell's lab - New Jersey, três engenheiros:
John **Bardeen**
William **Shockley**
Walter Houser **Brattain**
- ⤴ Pesquisando o comportamento de cristais de germânio e de silício como semicondutores na tentativa de criar um substituto menor e mais econômico para as válvulas a vácuo (Vacuum Tube) quando chegaram a uma invenção revolucionária – isto em 1947



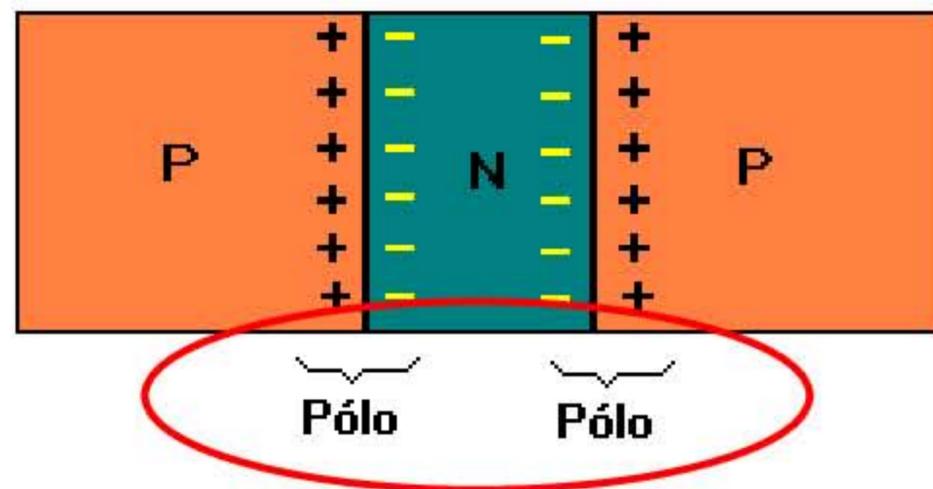
Encapsulamentos





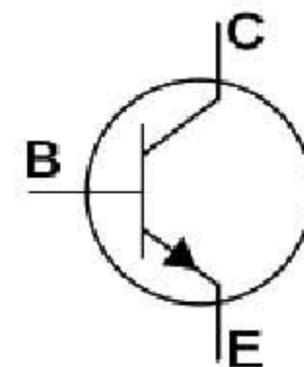
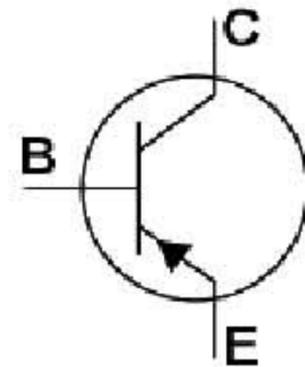
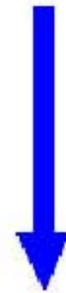
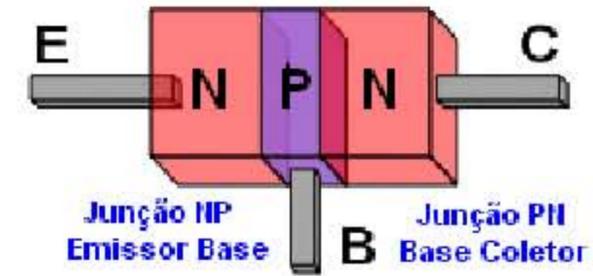
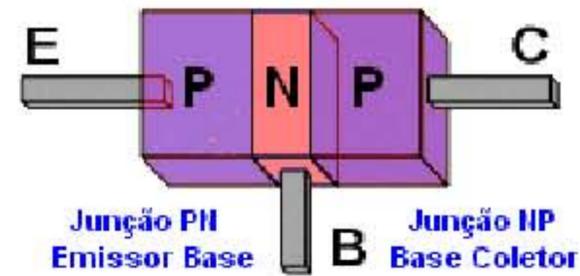
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Trans%C3%ADstor>

- ⬆ A palavra Transistor vem do inglês TRANSfer resISTOR, isto é, resistor de transferência.
- ⬆ Adequado para um dispositivo que regula uma corrente maior usando uma pequena fração desta para o controle.
- ⬆ Juntando-se 3 partes de silício ou germânio dopados tipo PNP ou NPN criamos duas junções polarizadas:



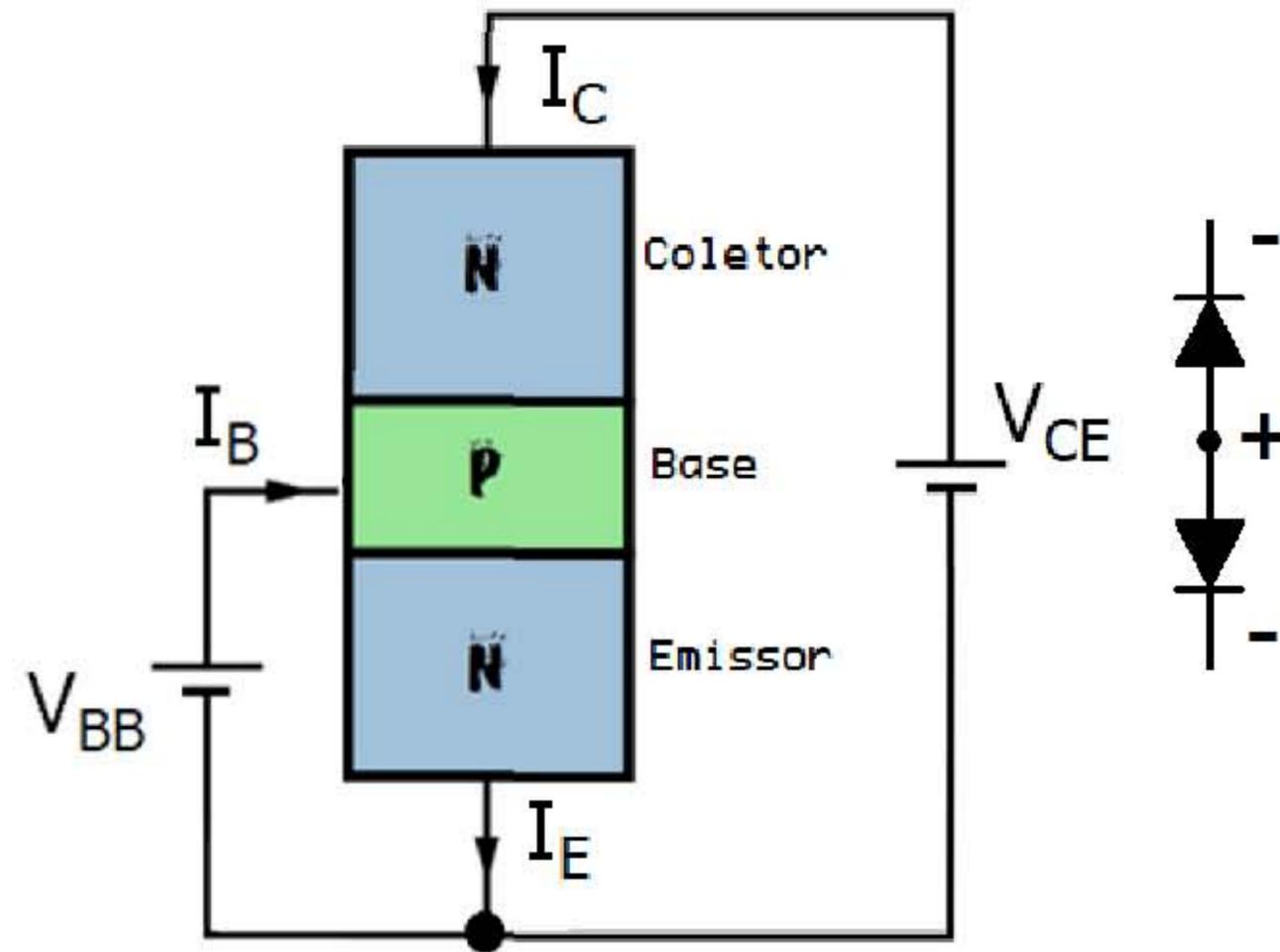
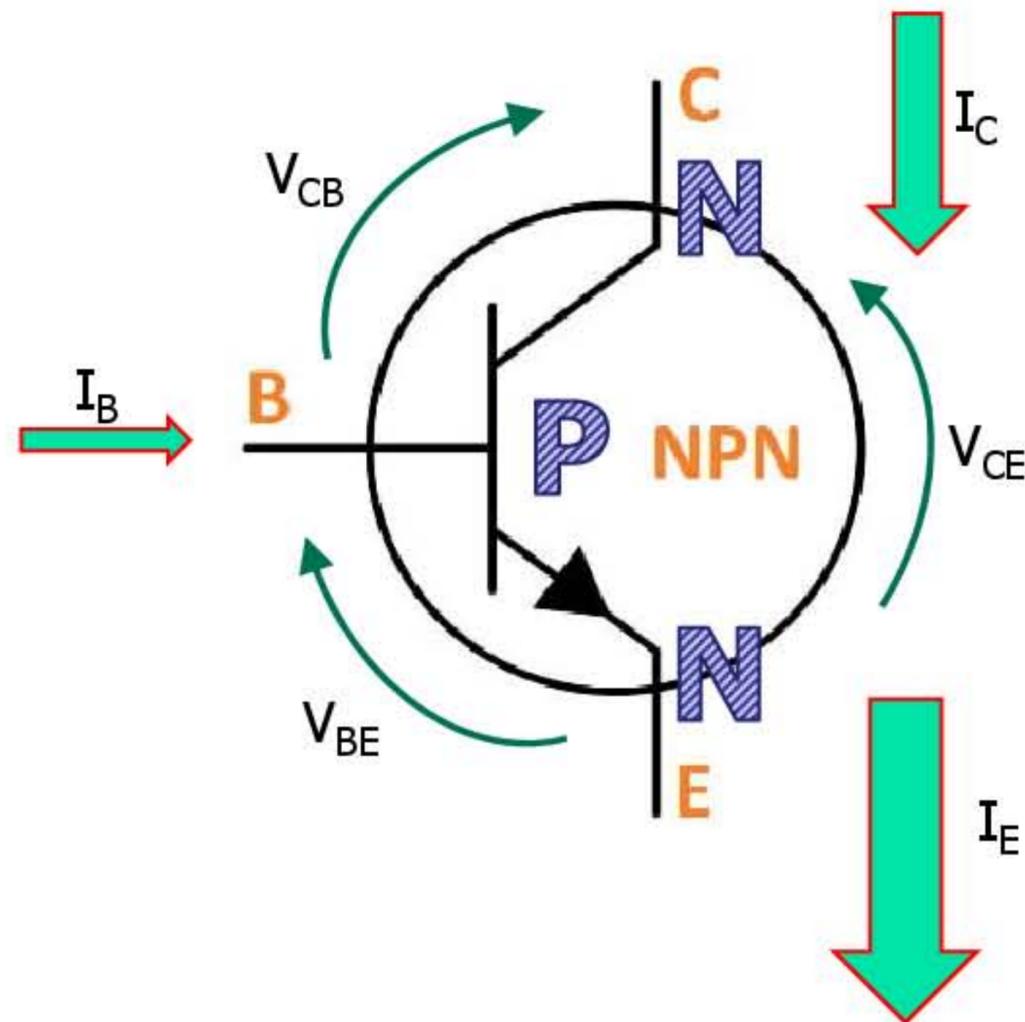
- ⬆ Por apresentar dois pólos, o modelo de transistor também é denominado **BIPOLAR**. Em inglês **BJT** – **B**ipolar **J**unction **T**ransistor

Simbologia



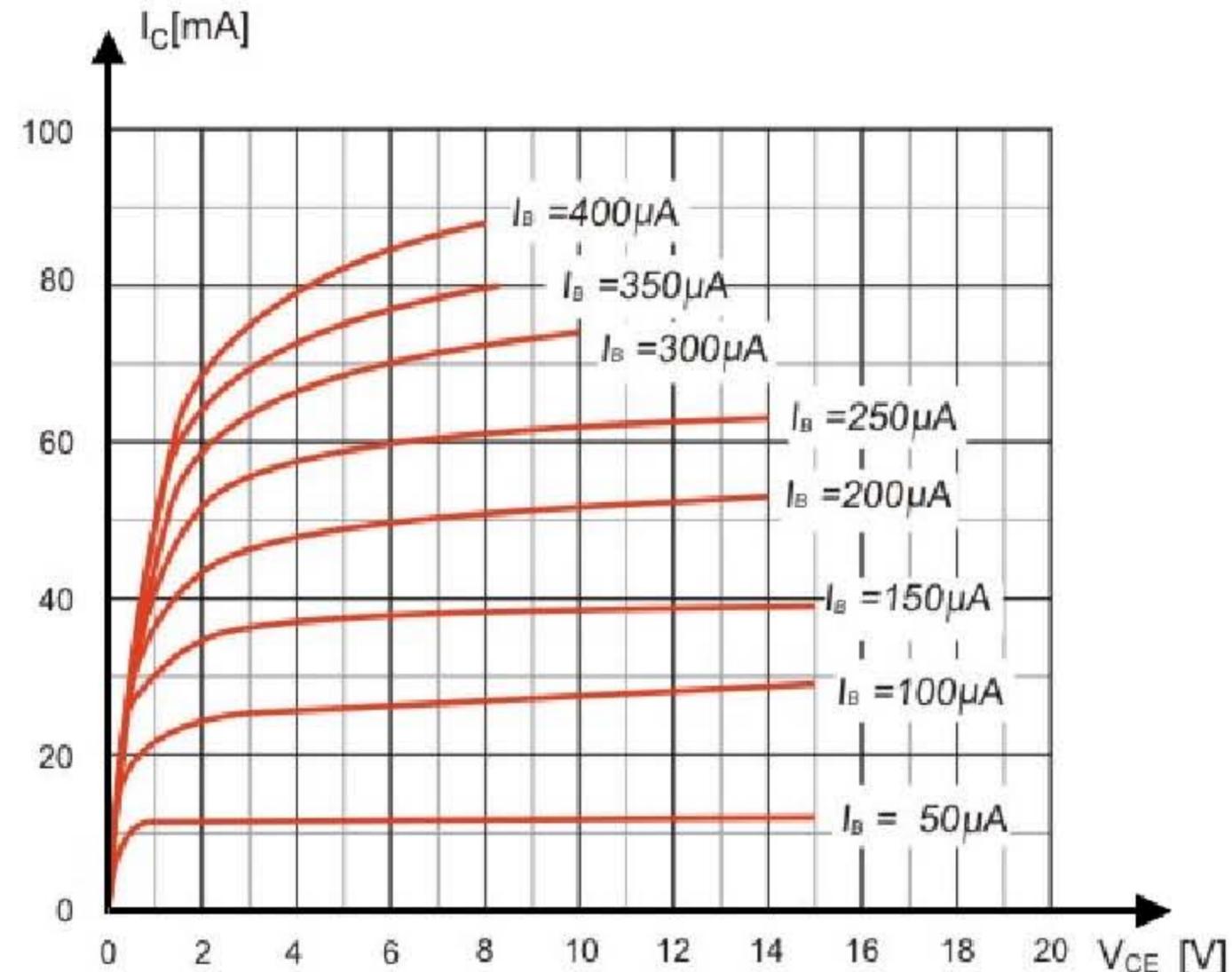
<https://www.electronica-pt.com/componentes-eletronicos/transistor-tipos>

- Existem dois tipos de transistor Bipolar: PNP e NPN.
- Vamos estudar o **NPN** pela sua popularidade e também pelo fato deste funcionar com corrente e tensão POSITIVA



Curva característica

- ↑ Aqui a variável controladora é o V_{CE} e a variável controlada é o I_C
- ↑ Não são múltiplas curvas, mas apenas UMA e esta depende do valor de I_B utilizado.
- ↑ Em outras palavras, quando definimos uma corrente de Base automaticamente fixamos a curva de resposta do Transistor.
- ↑ Guarde a informação de que os BJTs controlam a corrente principal usando corrente de base.



A relação I_B e I_C ou ainda β e h_{FE}

- ↑ O principal objetivo é o controle de I_C utilizando I_B para isto.
- ↑ A relação entre I_C e I_B é dada por:

$$\frac{I_C}{I_B} = h_{FE} = \beta$$

- ↑ E representa o Ganho do transistor.
- ↑ Outra relação, entre I_C e I_E é dada por:

$$\frac{I_C}{I_E} = \alpha$$

- ↑ E a relação entre α e β é dada por:

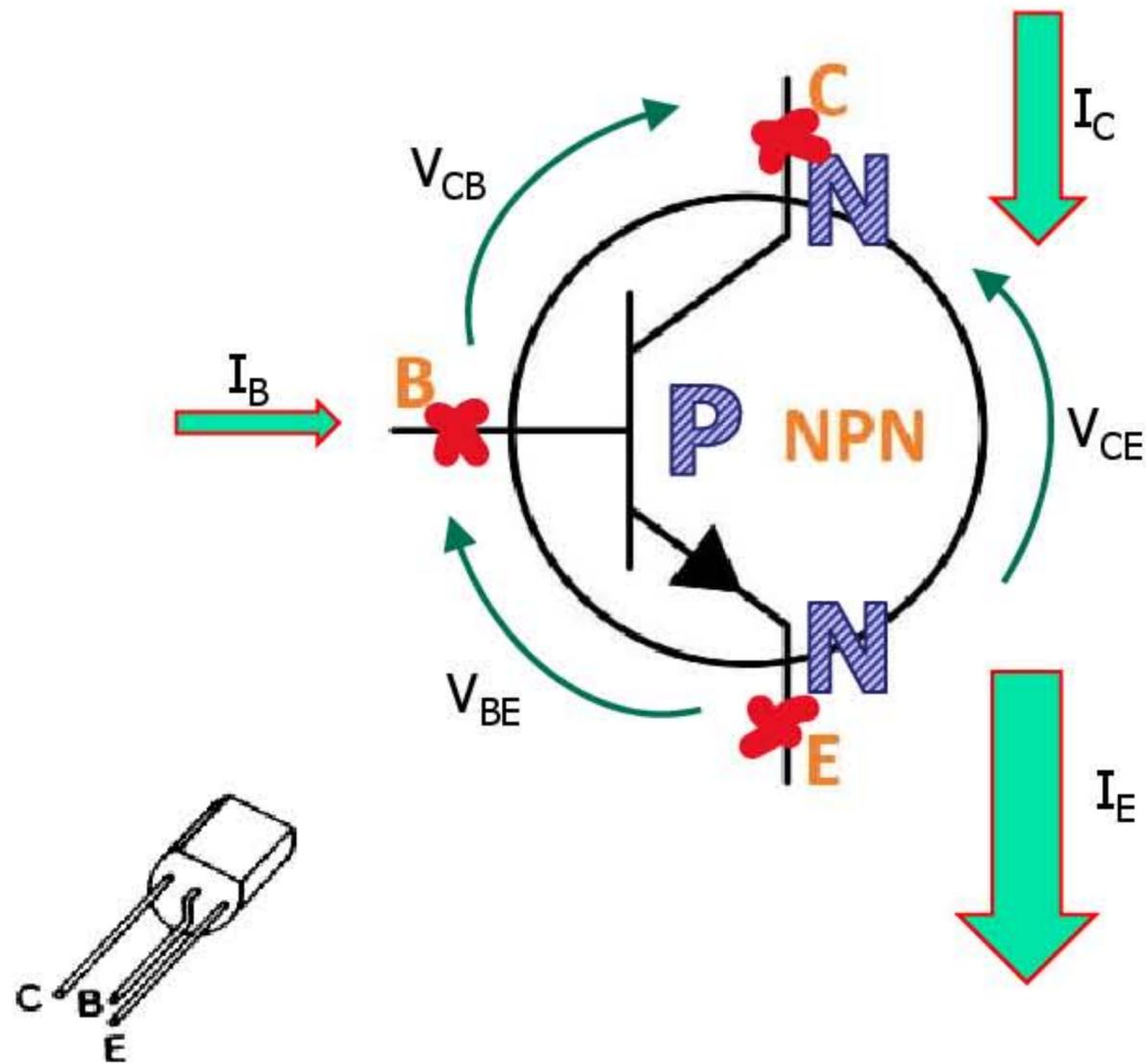
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Electrical Characteristics

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = 30\text{ V}, I_E = 0$			15	μA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		90	230	mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		250	600	
$V_{BE(sat)}$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$		700		mV
		$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5\text{ mA}$		900		
$V_{DC(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 2\text{ mA}$	580	660	700	mV
		$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$			720	
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}, f = 100\text{ MHz}$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 1\text{ MHz}$		3.5	6.0	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1\text{ MHz}$		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548		2	10	dB
		BC549 / BC550		1.2	4.0	
		BC549	1.4	4.0		
		BC550	1.4	3.0		

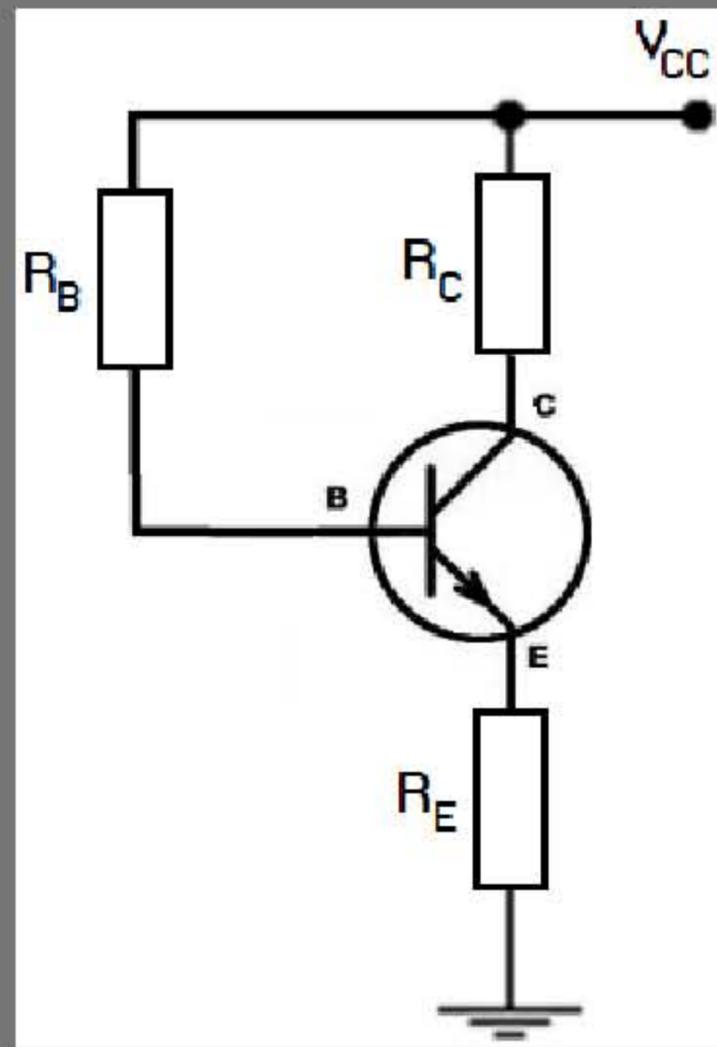
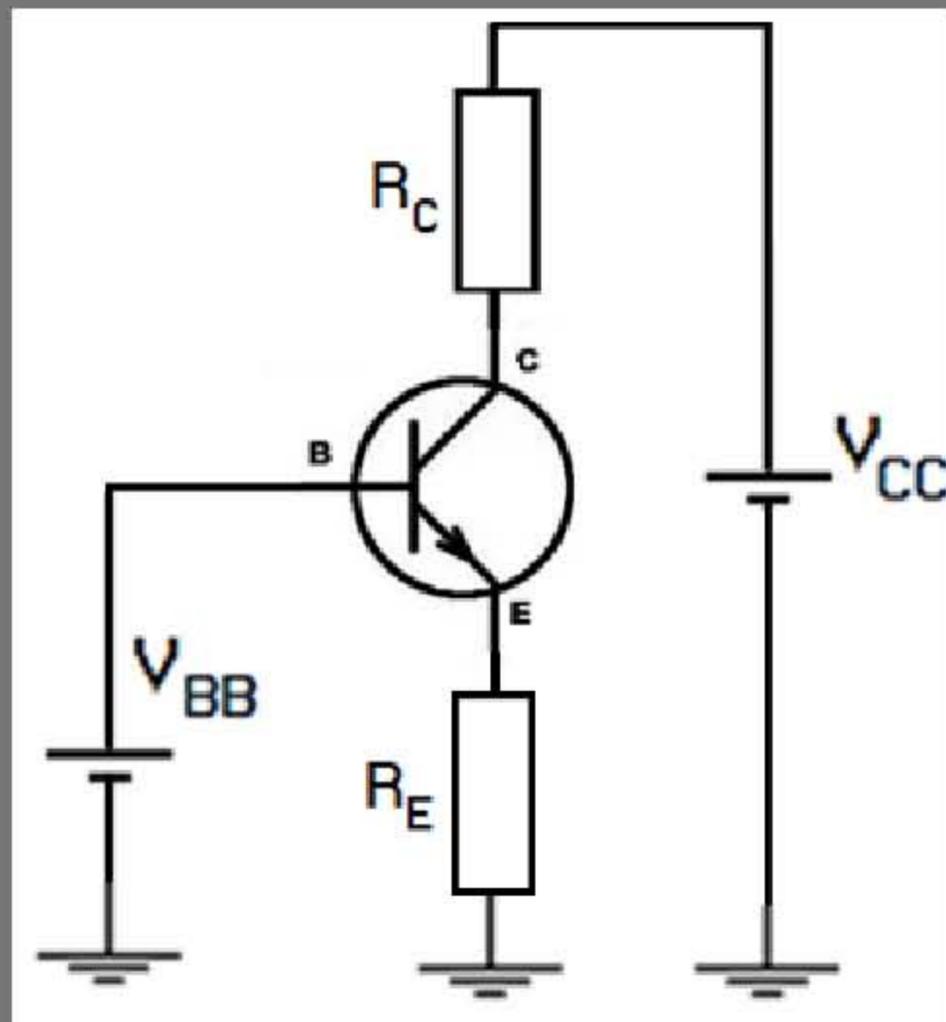
Primeira análise



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

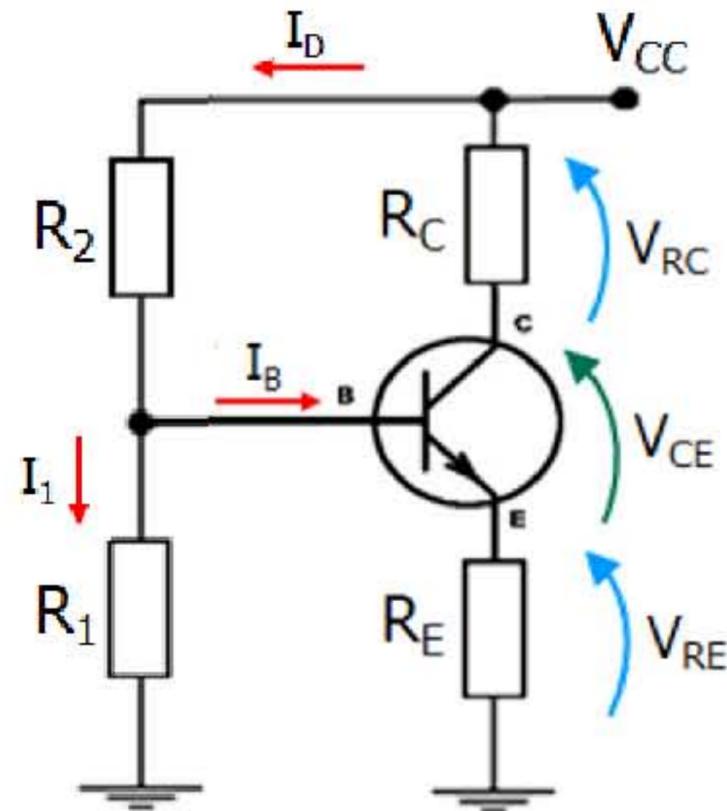
$$I_E = I_C + I_B$$

Polarização



Polarização por divisão de tensão na base

- ↑ Polarizar significa colocar o Transistor em uma condição ideal de funcionamento tornando-se indispensável
- ↑ Aproveita a tensão de V_{CC} para gerar I_B
- ↑ Isto sela uma definição interessante: o circuito composto por 4 resistores é praticamente indispensável ao bom funcionamento do transistor e sinaliza que o transistor "solitário" não funciona na maioria das aplicações.



Método $I_C \leq 10 \text{ mA}$

- ↑ Existem muitos métodos de polarização de transistores, Assim, vamos analisar este em particular que é muito simples e funcional.
- ↑ Cabe aqui algumas considerações:

✗ $I_C \leq 10 \text{ mA}$

✗ $\beta \geq 100$

✗ $I_B = 0$ (irreal mas a aproximação é válida porque $\beta \geq 100$ e $\beta = \frac{I_C}{I_B}$)

✗ $I_D = 0.1 \times I_C$

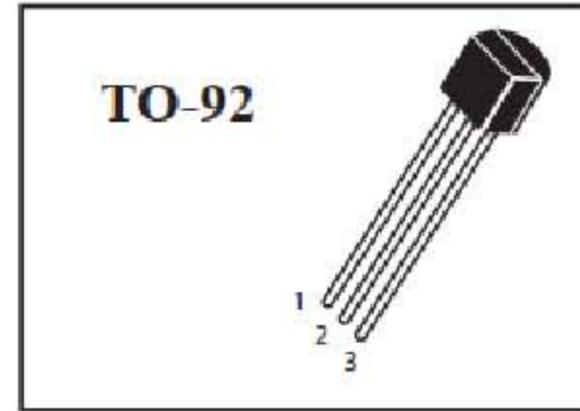
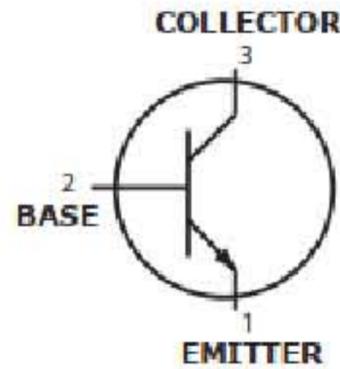
✗ $I_C = I_E$

✗ $V_{CE} = 0.5 \times V_{CC}$

✗ $V_{RE} = 0.1 \times V_{CC}$

Exemplo de aplicação

↑ Considere polarizar um transistor BC548B com $I_C = 8 \text{ mA}$ com $V_{CC} = 9 \text{ V}$. Daí :



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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30\text{V}, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$ $I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		90 200	250 600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=0.5\text{mA}$ $I_C=100\text{mA}, I_B=5\text{mA}$		700 900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=2\text{mA}$ $V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}$	580	660	700 720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=10\text{mA}, f=100\text{MHz}$		300		MHz

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

↑ Como podemos observar, $200 \leq \beta \leq 450$ do qual podemos trabalhar com algum valor médio, algo em torno de 330. $V_{BE} = 0.66\text{V}$

↑ Que respeitadas as características iniciais

✗ $V_{CE} = 4.5 \text{ V}$

✗ $V_{RE} = 0.9 \text{ V}$

✗ $I_C = 8 \text{ mA}$

Então...

↑ Como podemos ver a malha externa, por Kirchhoff:

$$9 - V_{RC} - 4.5 - 0.9 = 0$$

$$9 - 4.5 - 0.9 = V_{RC}$$

$$V_{RC} = 3.6 \text{ V}$$

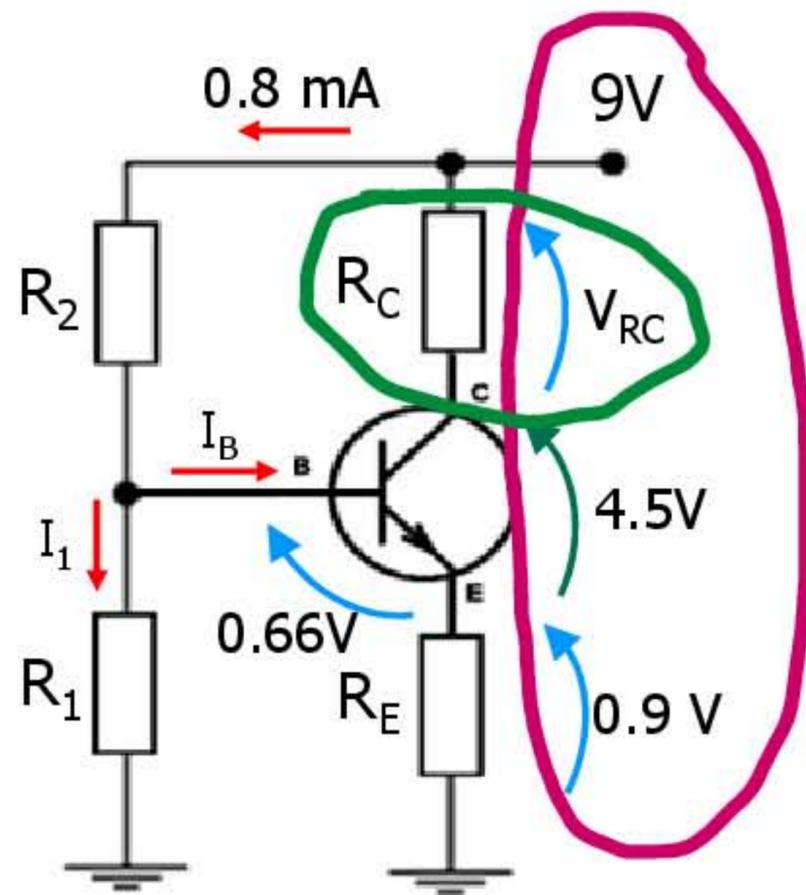
↑ Observando o circuito vemos que :

$$V_{RC} = R_C \times I_C$$

$$3.6 = R_C \times 8 \times 10^{-3}$$

$$\text{De onde } R_C = \frac{3.6}{8 \times 10^{-3}}$$

$$R_C = 450 \Omega$$

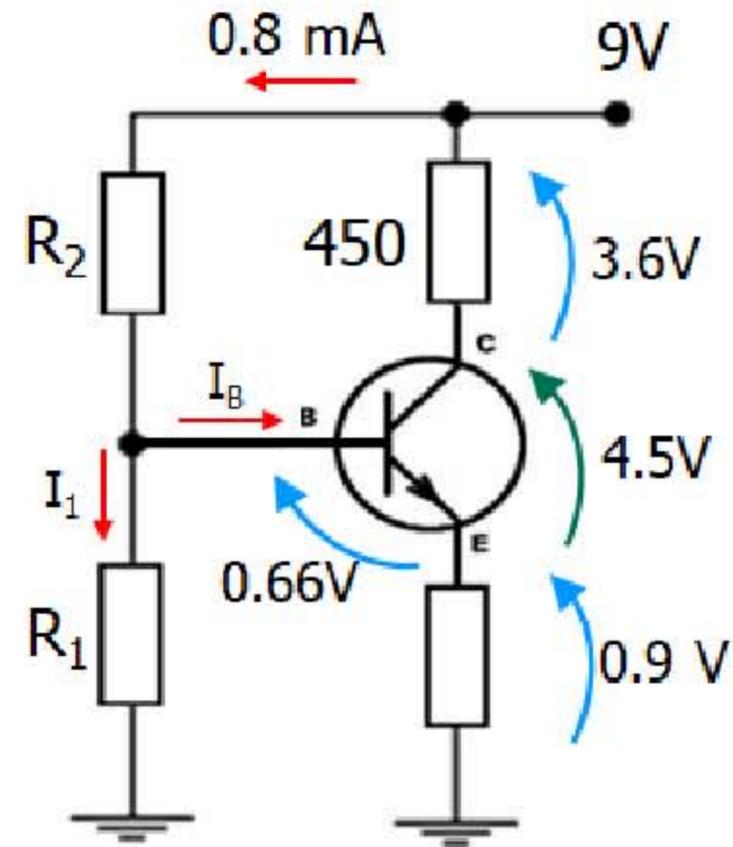


Como $I_E = I_C$ então $V_{RE} = R_E \times I_C$ e daí:

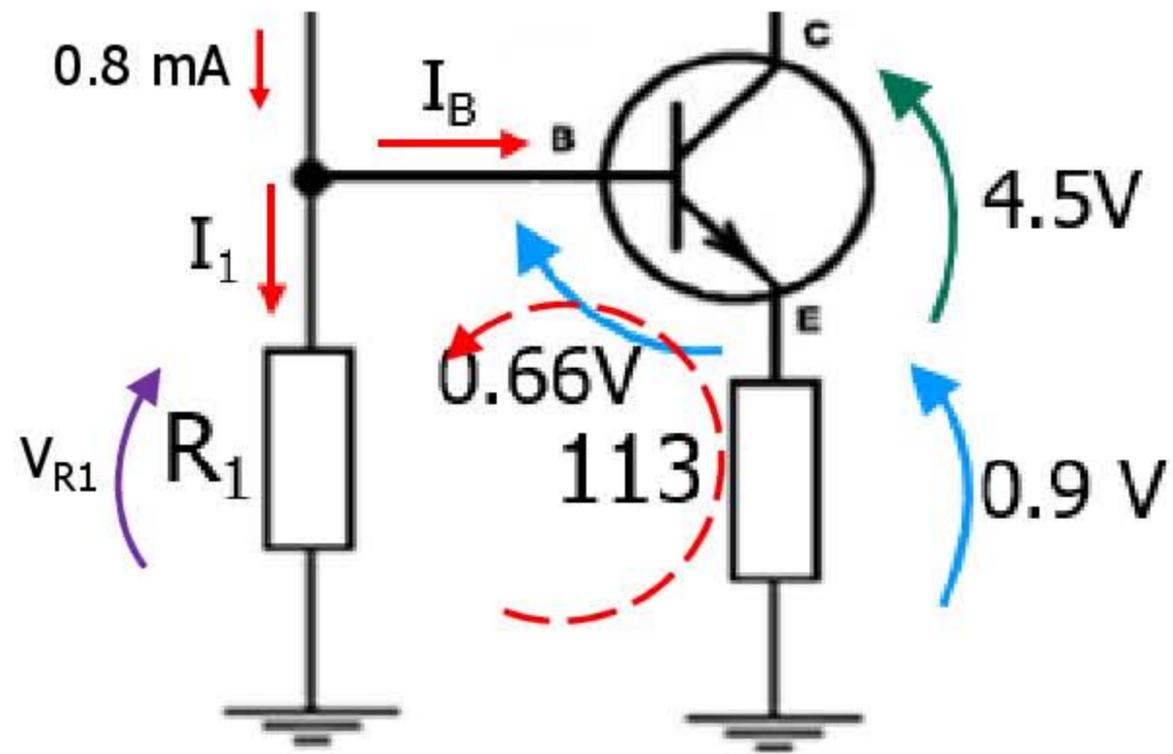
$$0.9 = R_E \times 8 \times 10^{-3}$$

$$\text{De onde } R_E = \frac{0.9}{8 \times 10^{-3}}$$

$$R_E = 113 \Omega$$



⬆️ Agora preste atenção a esta malha ! (as tensões)



$$\left\{ \begin{array}{l} 0.9 + 0.66 - V_{R1} = 0 \\ \text{e se } I_B = 0 \text{ então} \\ I_1 = I_D = 0.8 \text{ mA} \end{array} \right.$$

Logo:

$$0.9 + 0.66 = V_{R1}$$

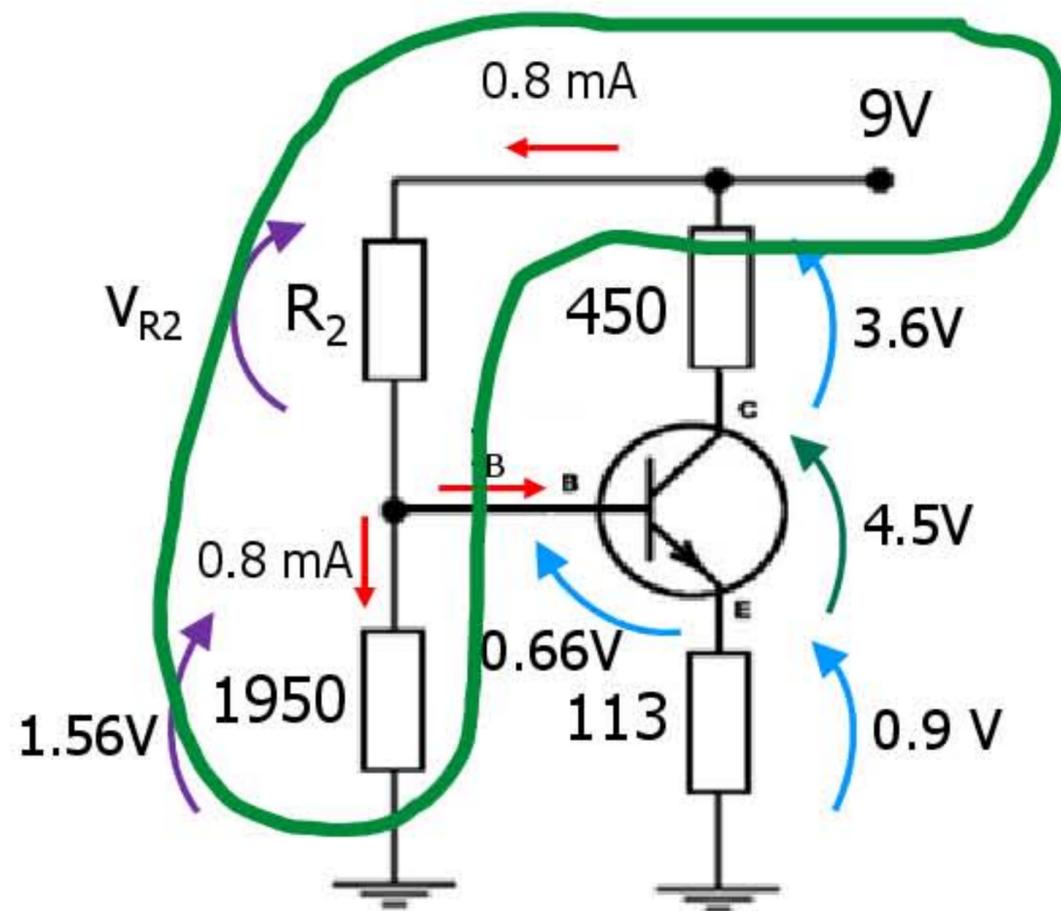
$$\text{ou } V_{R1} = 1.56 \text{ V}$$

$$R_1 \times I_1 = 1.56$$

$$R_1 = \frac{1.56}{I_1} = \frac{1.56}{0.8 \times 10^{-3}}$$

$$R_1 = 1950 \Omega$$

↑ E então, observe que:



$$9 - V_{R2} - 1.56 = 0$$

$$V_{R2} = 9 - 1.56$$

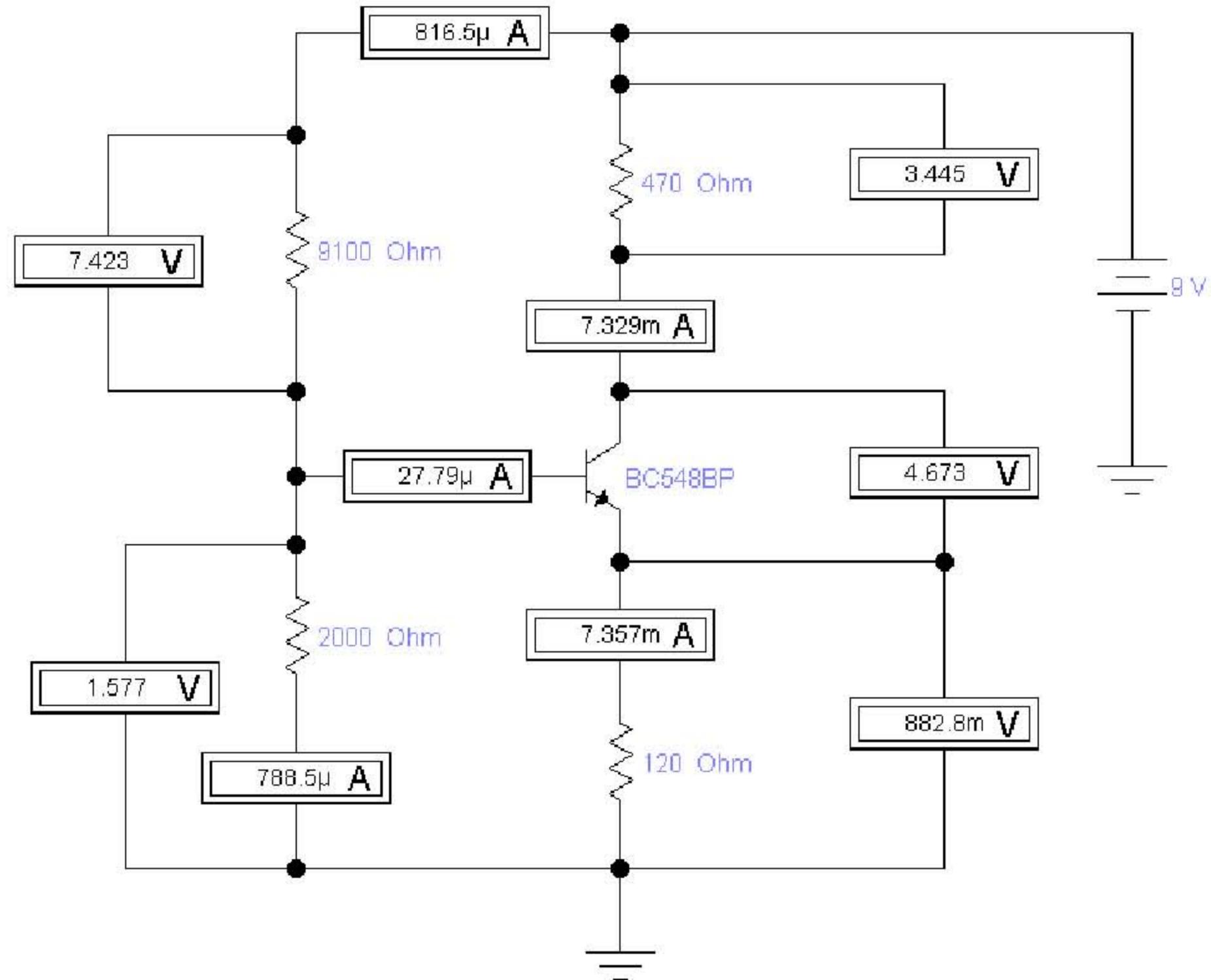
$$V_{R2} = 7.44 \text{ V}$$

$$R_2 \times I_D = 7.44$$

$$R_2 = \frac{7.44}{I_D} = \frac{7.44}{0.8 \times 10^{-3}}$$

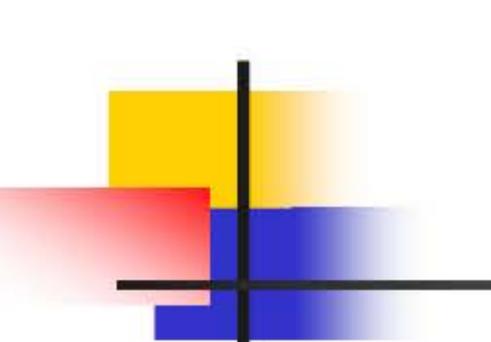
$$R_2 = 9300 \Omega$$

Com valores comerciais



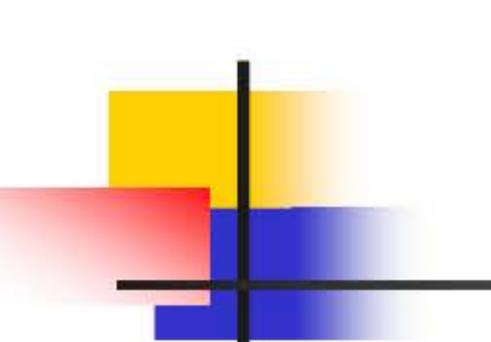
Em termos de erro %

	Esperado	Obtido	E%
V_{RC}	3.6 V	3.45 V	4,31
V_{CE}	4.5 V	4.67 V	-3,84
V_{RE}	0.9 V	0.88 V	1,89
I_C	8.0 mA	7.33 mA	8,38
I_D	0.8 mA	0.79 mA	1,50
V_{R1}	1.56 V	1.58 V	-1,09
V_{R2}	7.44 V	7.42 V	0,23



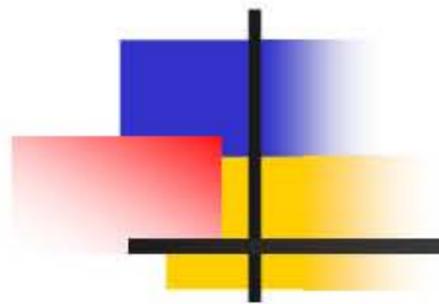
Exercício de aplicação

- ↑ Calcule os resistores de polarização para um transistor BC 635 para obter uma corrente de coletor com 6.5 mA utilizando uma fonte de 12V.



Conclusão

- ⤴ Seria injusto, para não dizer arrogante, concluir que isto representa o conhecimento básico de Eletrônica. A eletrônica tem uma história muito longa. É motivo de estudo por toda uma vida, mostrando a cada oportunidade de leitura novas facetas, a serem lapidadas mais e mais em um circuito eterno. Cabe a cada um de nós determinar o quanto deseja aprender e, evidentemente, isto implica em muitas horas analisando os novos aprendizados. No final, sempre vale a pena.
- ⤴ Sucesso a todos !



Até mais, a gente se vê !