

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ  
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
FABIO IVO PEREIRA DE OLIVEIRA JUNIOR

CIRCUITOS ELETRÔNICA BÁSICA – M2

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M2 da disciplina de Eletrônica básica do curso de Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí  
2022

## **1. OBJETIVO**

O relatório tem como objetivo a simulação, representação e cálculos dos circuitos apresentados em sala durante a M2 da disciplina de eletrônica básica do curso de Engenharia de computação.

Serão demonstrados cálculos relativos aos conteúdos e as simulações realizadas no software NI Multisim e a comparação dos valores entre a teoria e a simulação, para que assim seja possível ver o quão correto estão os cálculos realizados em sala.

## 2. INTRODUÇÃO

Transistores são dispositivos semicondutores, feitos com silício ou germânio e usados para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos. Eles são um bloco fundamental na construção de circuitos eletrônicos, como chips de computadores e smartphones.

Transistores bipolares não possuem estrutura simétrica e tem suas regiões denominadas n e p e seus polos são considerados como base, emissor e coletor. Os transistores bipolares podem ser classificados em *pnp* e *nnp*.

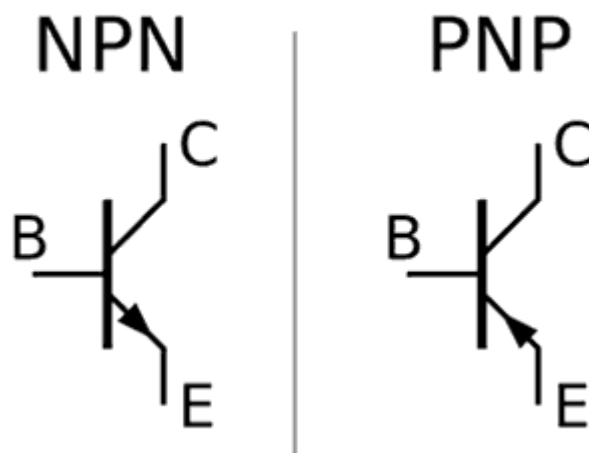


Figura 1 - Demonstração circuitos pnp e npn

Cada uma das junções pode ser polarizada de duas maneiras diferentes, sendo assim, o transistor bipolar possui quatro modos possíveis de operação: Ativa direta, Saturação, Ativa reversa e Corte. Quando está em operação ativa direta, possui boa isolamento e alto ganho, enquanto em ativa reversa, o ganho é baixo e o transistor se torna pouco útil. A saturação é necessária ser evitada, uma vez que o dispositivo fica sem isolamento e o corte é quase um circuito aberto, de corrente desprezível.

Neste relatório são apresentados circuitos com diversos funcionamentos dos transistores bipolares, com seus cálculos, simulações e comparações. Todas as simulações foram realizadas no software *Multisim*.

Figura 4 - Retas traçadas na curva

- Ponto 1 (Vermelho):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 4^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= 0,00038 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 0,000624 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{0,00038}{0,000624} = 0,61 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{0,00038}{4^{-6}} = 1,56 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Ponto 2 (Laranja):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 1^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= -0,00021 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 0,99979 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{-0,00021}{0,99979} = -0,000021 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{-0,00021}{1^{-6}} = -0,00021 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,9 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Ponto 3 (Roxo):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 2^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= -0,0005 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 0,015 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{-0,0005}{0,015} = -0,033 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{-0,0005}{2^{-6}} = -0,032 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,75 \text{ V} \\
 B_{ac} &= \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{0,00038 - (-0,0005)}{4^{-6} - 2^{-6}} = \frac{0,00088}{-0,0154} = -0,057
 \end{aligned}$$

### 3.1.2- Transistor FZT788B

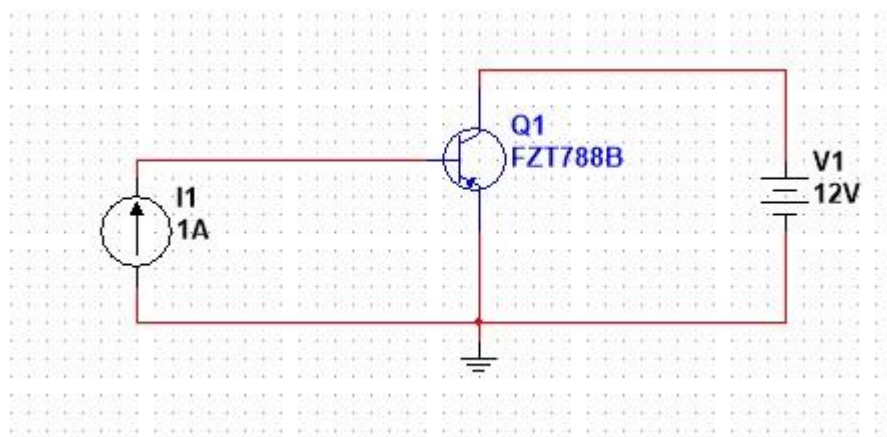


Figura 5 - Circuito simulado

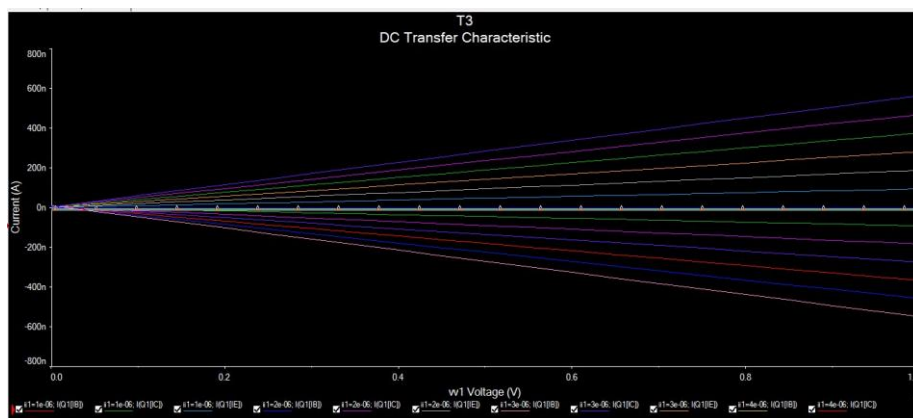


Figura 6 - Curvas do transistor

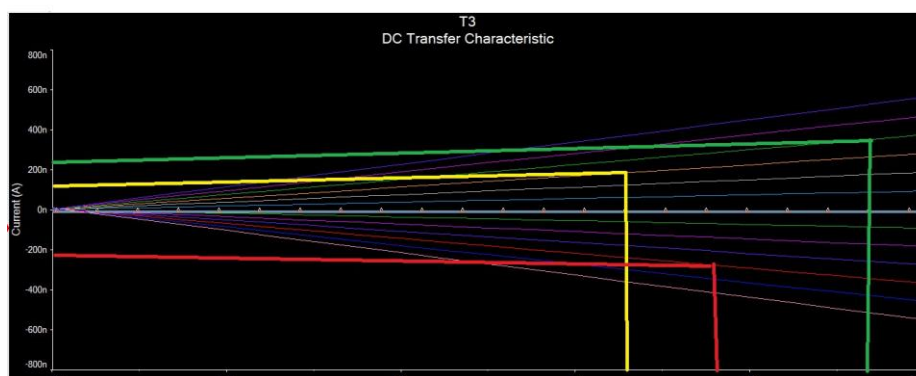


Figura 7 - Retas traçadas na curva do transistor

- Ponto 1 (Verde):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 1^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= 0,00022 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 1,00022 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{0,00022}{1,00022} = 0,00022 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{0,00022}{1^{-6}} = 0,00022 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,9 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Ponto 2 (Amarelo):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 4^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= 0,0001 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 0,000344 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{0,0001}{0,000344} = 0,29 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{0,0001}{4^{-6}} = 0,41 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,65 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- Ponto 3 (Vermelho):

$$\begin{aligned}
 I_b &= 4^{-6} \text{ A} \\
 I_c &= -0,0002 \text{ A} \\
 I_e &= I_b + I_c \\
 I_e &= 0,000044 \text{ A} \\
 \alpha &= \frac{I_c}{I_e} = \frac{-0,0002}{0,000044} = -4,54 \text{ A} \\
 \beta &= \frac{I_c}{I_b} = \frac{-0,0002}{4^{-6}} = -0,82 \text{ A} \\
 V_{ce} &= 0,75 \text{ V} \\
 B_{ac} &= \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{0,00022 - (-0,0002)}{1^{-6} - 4^{-6}} = 0,000176
 \end{aligned}$$

## 3.2 – ANÁLISE DE CIRCUITOS

### 3.2.1- Polarização Fixa

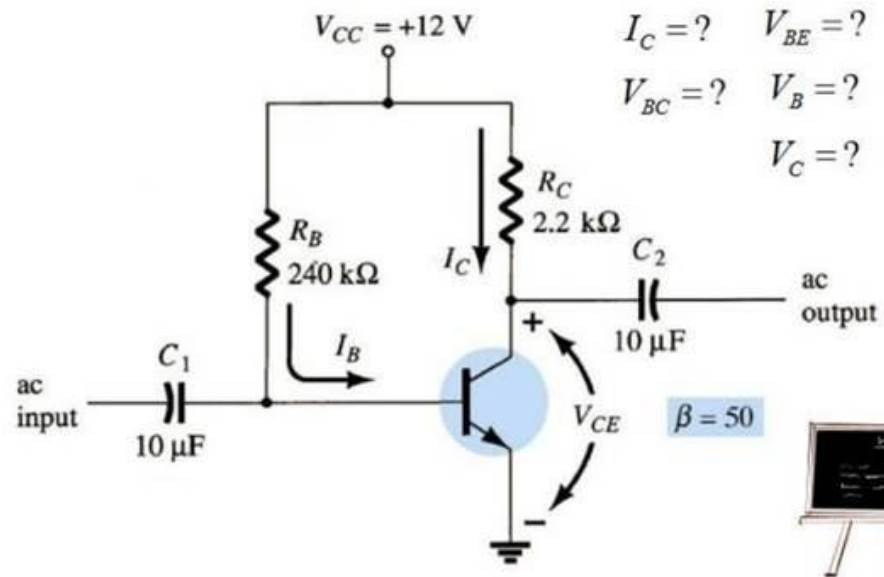


Figura 8 - Circuito proposto

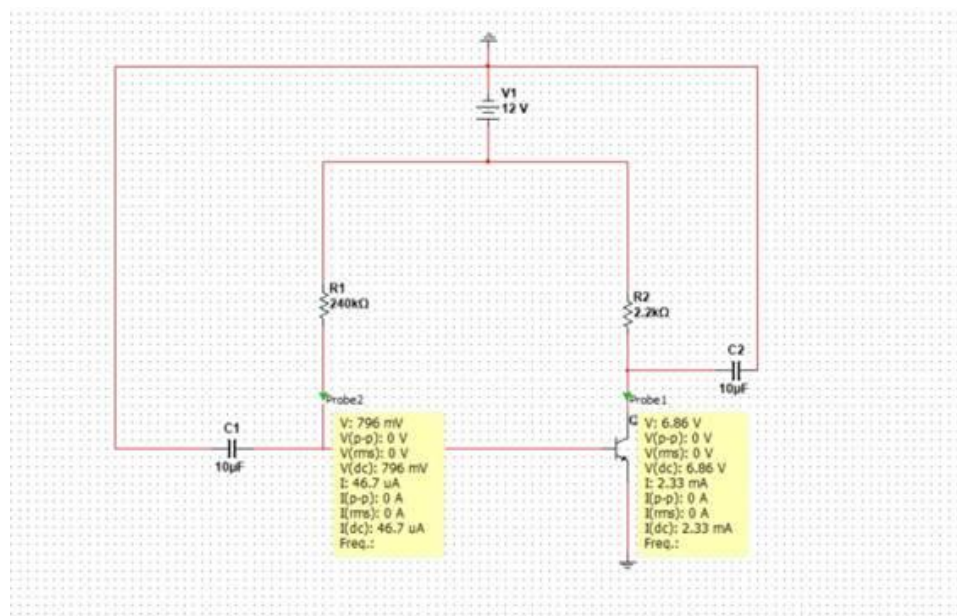


Figura 9 - Circuito simulado



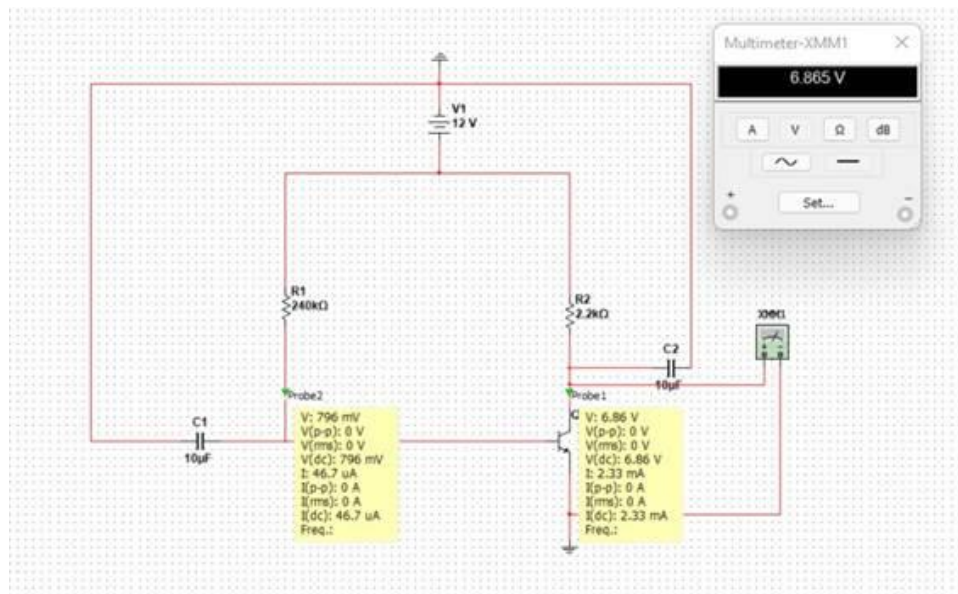


Figura 10 - Circuito medurado

## CÁLCULOS

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b}$$

$$I_b = \frac{12 - 0,7}{240k} = 47 \mu A$$

$$I_c = 50 * 47 \mu A$$

$$= 2,35 \text{ mA}$$

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c * R_c$$

$$V_{ce} = 12 - 2,35 \text{ mA} * 2200$$

$$= 6,83 \text{ V}$$

$$V_{be} = V_b$$

$$V_b = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{bc} = 0,7 - 6,83$$

$$= - 6,13 \text{ V}$$

Componente	Valor calculado	Valor simulado
I <sub>b</sub>	47 μA	46,7 μA
I <sub>c</sub>	2,35 mA	2,33 mA
V <sub>ce</sub>	6,85 V	6,85 V
V <sub>be</sub>	0,7 V	0,7 V
V <sub>b</sub>	0,7 V	0,7 V

### 3.2.2- Reta de Carga

Utilize o método da reta de carga e analise o circuito, trace a reta de carga sobre a curva característica do TBJ e obtenha do gráfico (curva característica e reta de carga) o ponto de operação do TBJ para diferentes valores de  $V_i$ . Por exemplo, 0,8V; 2,7V, 12V e 15V

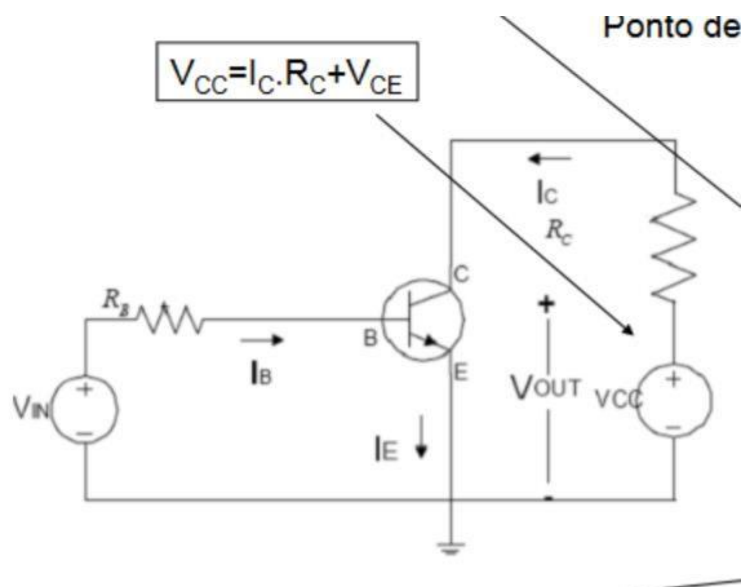


Figura 11 - Circuito proposto

$V_i = 0,8 \text{ V}$ :

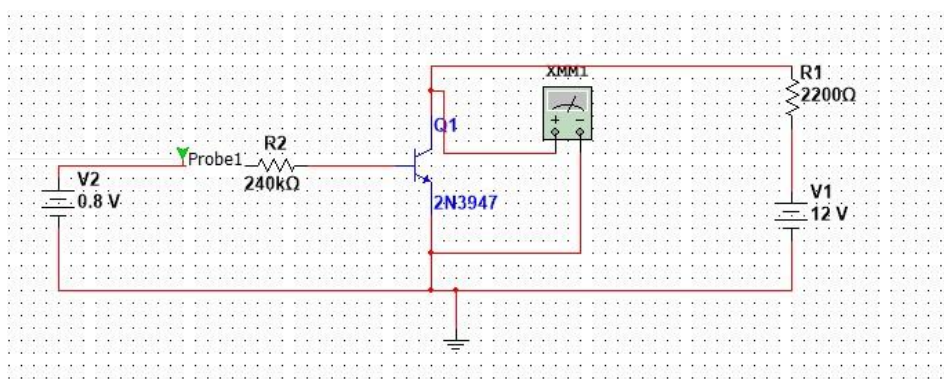


Figura 12 - Circuito simulado

Com o circuito simulado, foi descoberto o valor de IB:

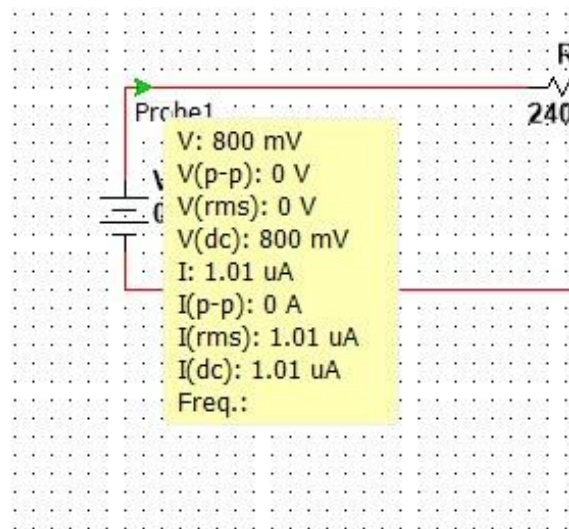


Figura 13 - Ib

## CÁLCULOS

$$\begin{aligned}
 V_{ce} &= 0 \\
 I_c &= \frac{V_{cc}}{R_c} = \frac{12}{2200} \\
 &= 5,45 \text{ mA} \\
 V_{cc} &= V_{ce} \\
 V_{ce} &= 12V
 \end{aligned}$$

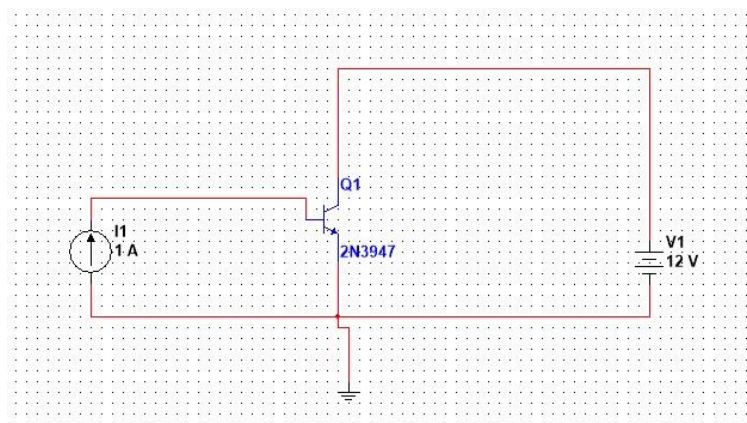


Figura 14 - Circuito para obtenção das curvas

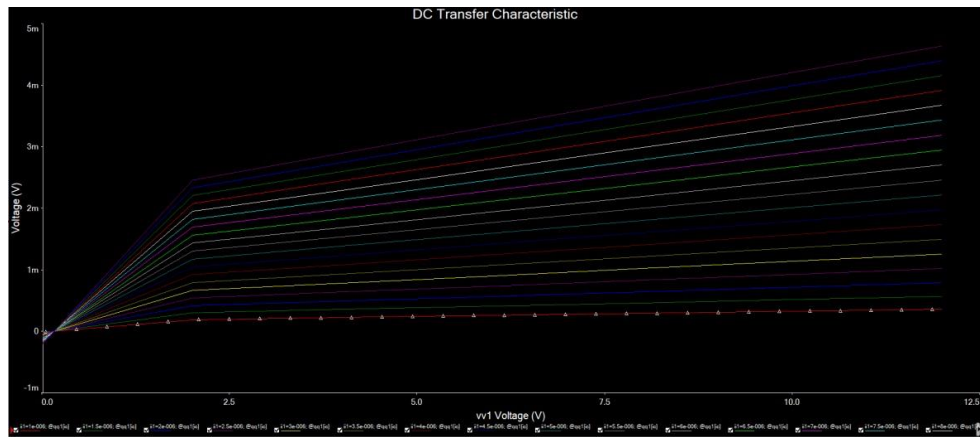


Figura 15 – Curvas do transistor

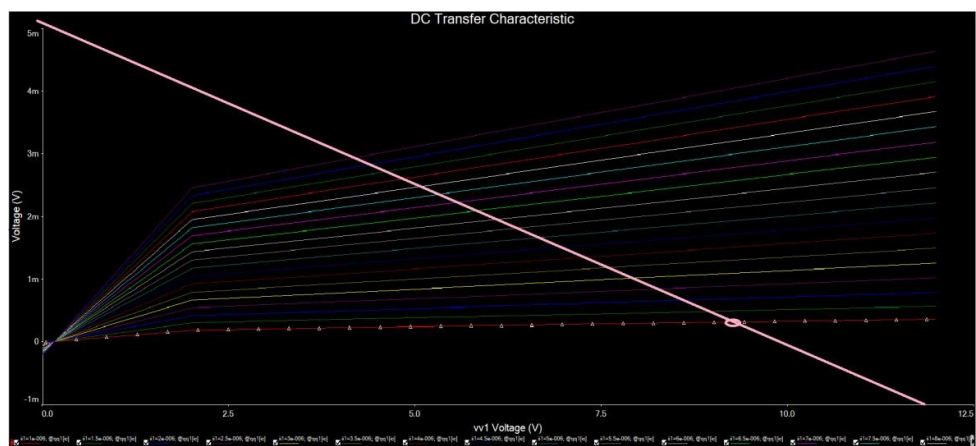


Figura 16 - Reta de carga traçada

Para o valor de  $I_B$  localizado por meio de simulação de  $1,01 \mu A$ , foi possível localizar o  $I_C$  através da reta de carga, sendo  $I_C$  equivalente a  $15 \mu A$ . Portanto, os valores teóricos se tornam:

$$I_b = \frac{V_i - V_{be}}{R_b}$$

$$I_b = \frac{0,8 - 0,7}{240k} = 0,416 \mu A$$

$$I_c = 1 \mu A$$

$$V_{ce} = 12 - 2200 * 15 \mu A$$

$$= 11,967 V$$

$$V_c = 12 - I_c * R_c$$

$$V_c = V_{ce}$$

Valor	Calculado	Simulado
I <sub>b</sub>	0,416 $\mu$ A	1,01 $\mu$ A
I <sub>c</sub>	15 $\mu$ A	312 $\mu$ A
V <sub>ce</sub>	11,9 V	11,3 V
V <sub>be</sub>	0,7 V	0,58 V
V <sub>c</sub>	11,9 V	11,3 V

**V<sub>i</sub> = 2,7 V:**

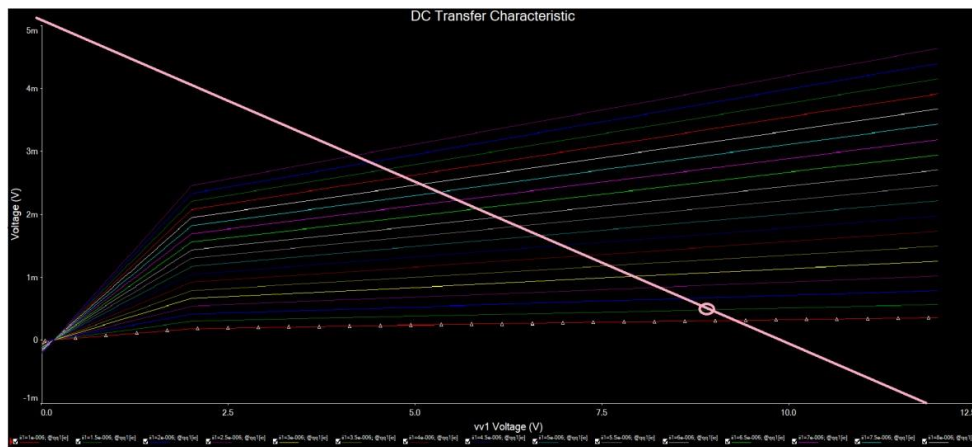
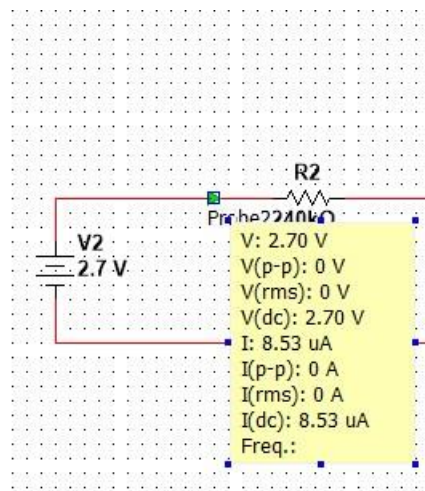


Figura 17 - Reta com ponto quiescente para V = 2,7

Para este valor de V<sub>i</sub>, o valor simulado de I<sub>B</sub> foi obtido através da seguinte mensuração:



$$I_b = \frac{V_i - V_{be}}{R_b}$$

$$I_b = \frac{2,7 - 0,7}{240k} = 8,3 \mu A$$

$$I_c(\text{ret. carg.}) = 25 \mu A$$

$$V_{ce} = 12 - 2200 * 25 \mu A$$

$$= 11,967 V$$

$$V_c = 12 - I_c * R_c$$

$$V_c = V_{ce}$$

Valor	Calculado	Simulado
I <sub>b</sub>	8,3 μA	8,53 μA
I <sub>c</sub>	15 μA	2,8 mA
V <sub>ce</sub>	11,9 V	5,85 V
V <sub>be</sub>	0,7 V	0,65 V
V <sub>c</sub>	11,9 V	5,85 V

### 3.3.1 – TRANSISTOR OPERANDO COMO CHAVE

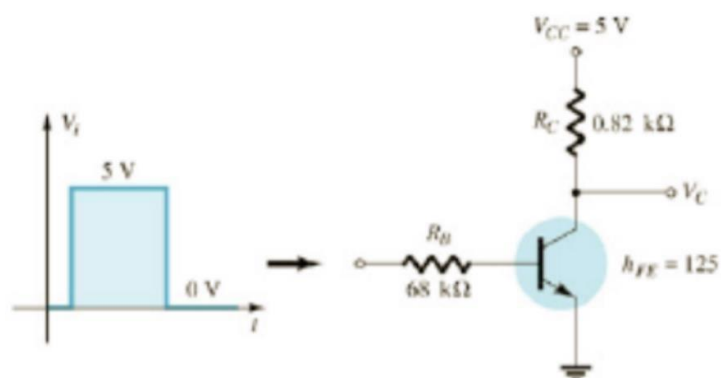


Figura 18 - Circuito proposto

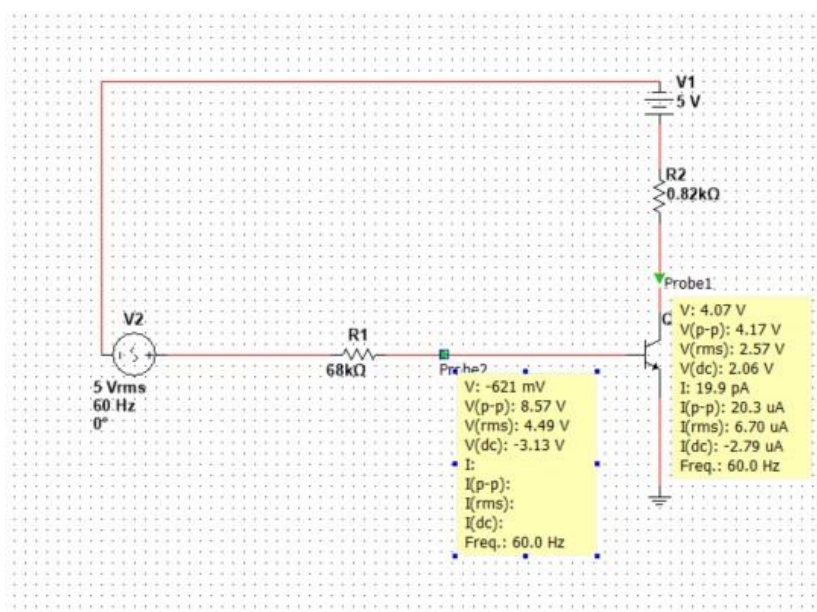


Figura 19 - Circuito simulado

## CÁLCULOS

$$\begin{aligned}
 V_i &= I_b * R_b + V_{be} \\
 I_b &= \frac{V_i - V_{be}}{R_b} = \frac{5 - 0,7}{68k} \\
 &= 63,2 \mu A \\
 I_c &= 125 * I_b \\
 &= 7,8 mA \\
 V_b &= V_i - I_b * R_b \\
 &= 5 - 63,2 \mu A * 68k \\
 &= 0,7 V \\
 V_e &= V_{be} - 0,7 \\
 &= 0 V \\
 V_c &= V_{cc} - I_c * R_c \\
 &= 5 - (7,8 mA * 820) \\
 &= -1,39 V \\
 I_c(sat.) &= \frac{V_{cc}}{R_c} = \frac{5}{820} \\
 &= 6,09 mA
 \end{aligned}$$

Vi(V)	IB(uA)	IC(mA)	Vb(V)	Ve(V)	Vc(V)	R_ope
0	0	0	0	0	0	Corte
5	63,2	7,8	0,7 v	0	0	Saturação

Tanto no circuito simulado como nos cálculos é possível observar valores inesperados e maiores ou menores do que o imaginado, isso se deve as operações de corte e saturação, ocorridas no transistor.



### 3.3-2 POLARIZAÇÃO DO EMISSOR

**Exercício:**

$$I_B = ?$$

$$I_C = ?$$

$$V_{CE} = ?$$

$$V_C = ?$$

$$V_B = ?$$

$$V_E = ?$$

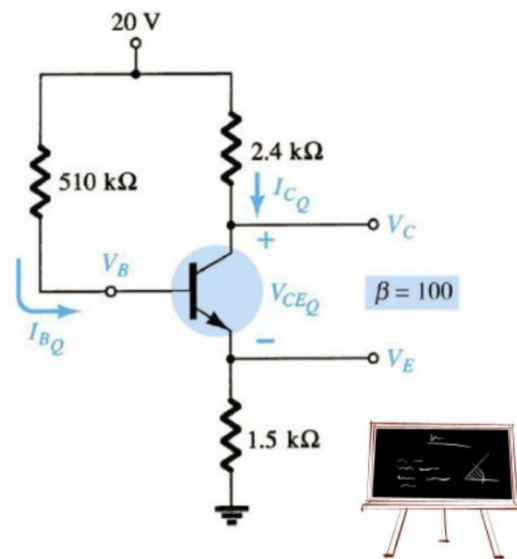


Figura 20 - Circuito proposto

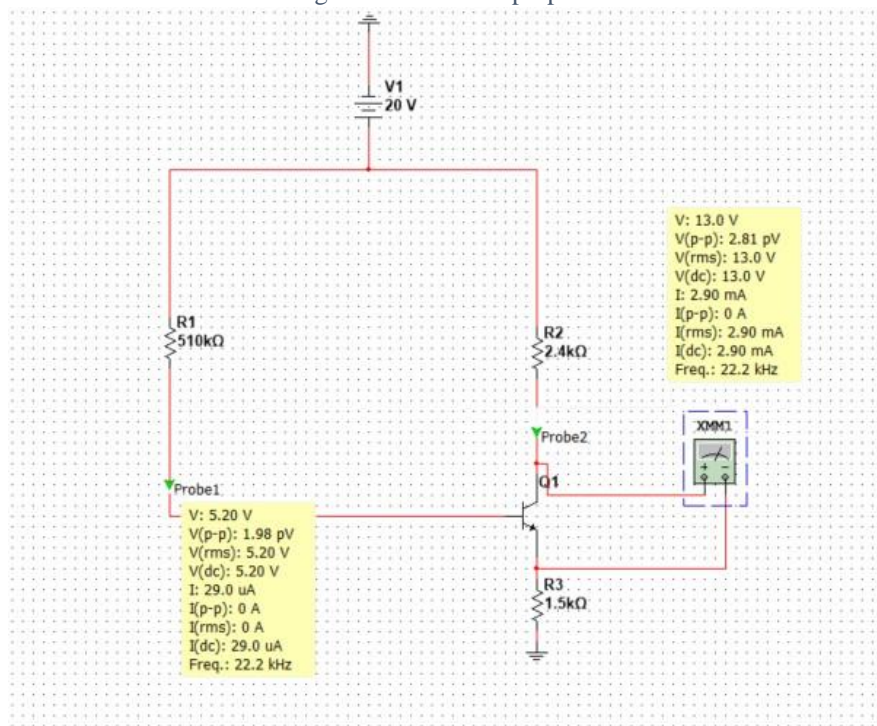


Figura 21 - Circuito simulado

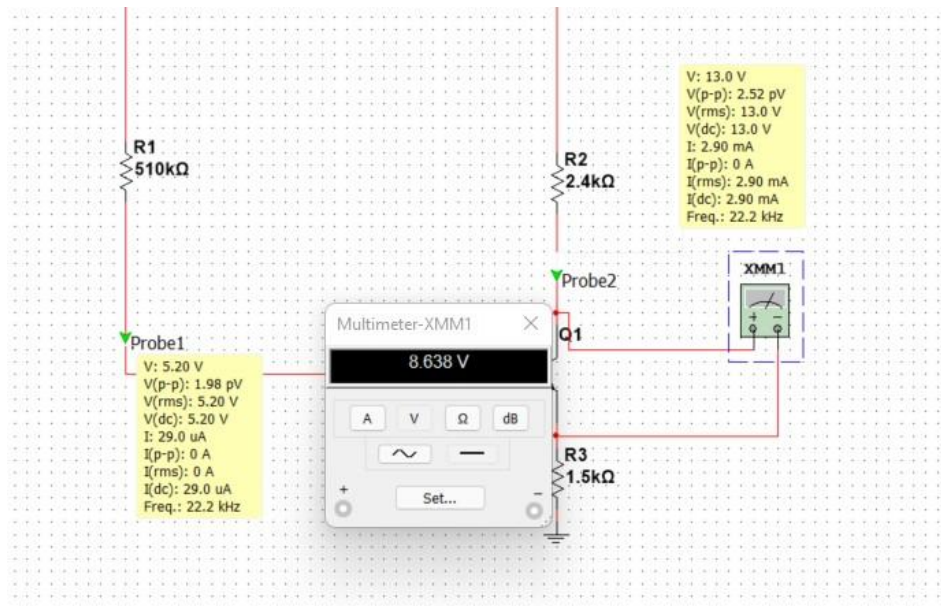


Figura 22 - Mensuração IC, VC, IB, VB e VCE

## CÁLCULOS

$$V_{cc} - I_b * R_b - V_{be} - I_e * R_e = 0$$

$$I_e = (\beta + 1) * I_b$$

$$V_{cc} - I_b * R_b - V_{be} - (\beta + 1) * I_b * R_e = 0$$

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b + (\beta + 1) * R_e}$$

$$= \frac{20 - 0,7}{510k + (\beta + 1) * 1,5k} = \frac{19,3}{510k + (\beta + 1) * 1,5k}$$

$$= 29 \mu A$$

$$V_b = V_{cc} - I_b * R_b$$

$$= 20 - 29 \mu A * 510000$$

$$= 5,21 V$$

$$I_c = 100 * 29 \mu A = 2,9 mA$$

$$I_c \cong I_e$$

$$V_e = V_b - V_{be}$$

$$V_e = 5,21 - 0,7$$

$$= 4,51 V$$

$$V_c = V_{cc} - I_c * R_c$$

$$= 20 - 2,9 mA * 2400$$

$$= 13,04 V$$

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c * (R_c + R_e)$$

$$= 20 - 2,9 mA * 3900$$

$$= 8,69 V$$

Valor	Calculado	Simulado
I <sub>b</sub>	29 $\mu A$	29 $\mu A$
I <sub>c</sub>	2,9 mA	2,9 mA
I <sub>e</sub>	2,9 mA	2,9mA
V <sub>c</sub>	13,04 V	13 V
V <sub>b</sub>	5,21 V	5,2 V
V <sub>e</sub>	4,51 V	4,4 V
V <sub>ce</sub>	8,69 V	8,638 V

### 3.3.3 – POLARIZAÇÃO POR DIVISOR DE TENSÃO

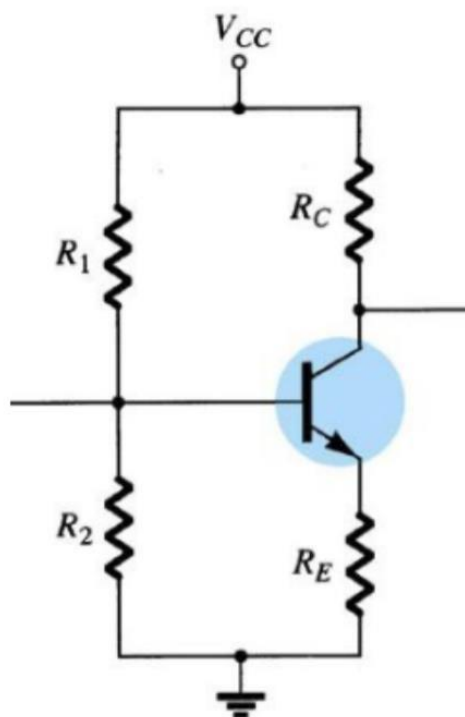


Figura 23 - Circuito proposto

Considere  $V_{CC} = 22V$ ,  $R_1 = 39K$ ,  $R_2 = 3k9$ ,  $R_C = 10k$ ,  $R_E = 1k5$ ,  $B = h_{fe} = 140$ . Calcule:  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$  e  $V_{CE}$ .

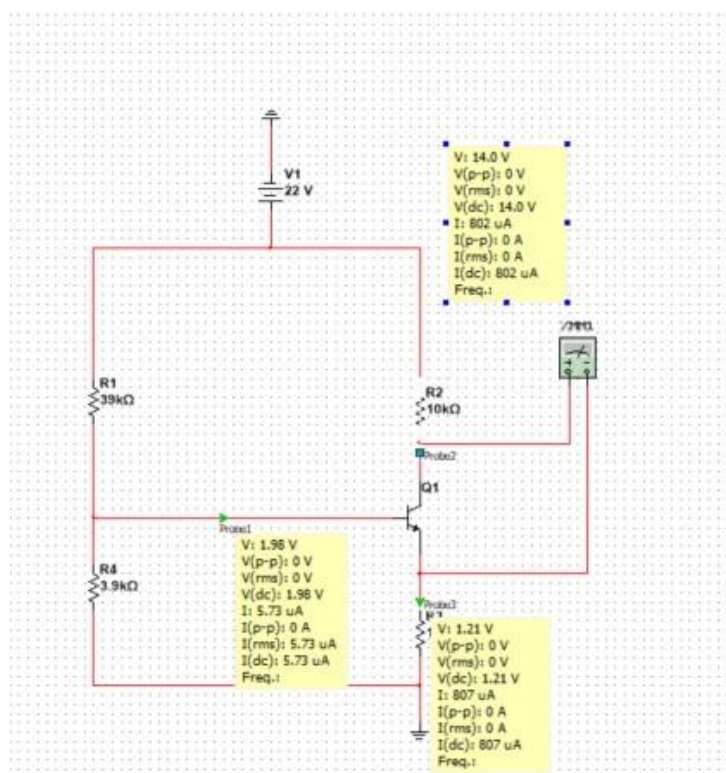


Figura 24 - Circuito simulado

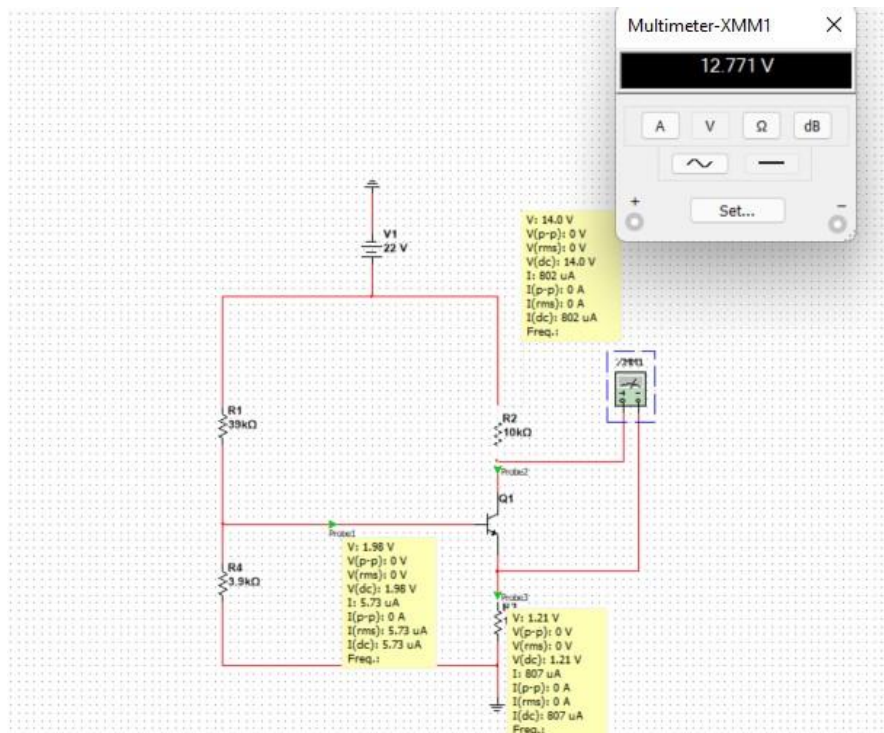


Figura 25 - Circuito medido

## CÁLCULOS

$$\begin{aligned}
 R_{th} &= \frac{R1}{R2} \\
 &= 10 \\
 V_{th} &= \frac{R2}{R2 + R1} * V_{cc} \\
 &= \frac{3k9}{3k9 + 39k} * 22 \\
 &= 2 \text{ V} \\
 V_{th} - I_b * R_{th} - V_{be} - I_e * R_e &= 0 \\
 V_{th} - I_b * R_{th} - V_{be} - (\beta + 1) * I_b * R_e &= 0 \\
 I_b &= \frac{V_{th} - V_{be}}{R_{th} + (\beta + 1) * R_e} \\
 &= \frac{2 - 0,7}{10 + (\beta + 1) * 1500} \\
 I_b &= 6,14 \mu A \\
 V_b &= V_{th} - I_b * R_{th} \\
 &= 2 - 6,14 \mu A * 10 \\
 &= 1,99 \text{ V} \\
 V_e &= V_b - V_{be} \\
 &= 1,29 \text{ V} \\
 I_c &= 140 * 6,14 \mu A \\
 &= 0,86 \text{ mA} \\
 V_b &= V_{cc} - I_b * R_b \\
 &= 22 - 6,14 \mu A * 39k \\
 &= 20,76 \text{ V} \\
 V_{cc} - I_c * R_c - V_{ce} - I_e * R_e &= 0 \\
 I_c &\cong I_e \\
 V_{ce} &= 22 - 0,86 \text{ mA} * (10k + 1k5) \\
 &= 12,11 \text{ V} \\
 V_c &= V_{cc} - I_c * R_c \\
 &= 22 - 0,86 \text{ mA} * 10k \\
 &= 13,4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Valores	Calculado	Simulado
Ib	6,14 $\mu A$	5,73 $\mu A$
Ic	0,86 mA	0,807 mA
Vb	1,99 V	1,98 V
Vc	13,4 V	14 V
Vce	12,11 V	12,77 V

### 3.3.4 - ANÁLISE SIMPLIFICADA

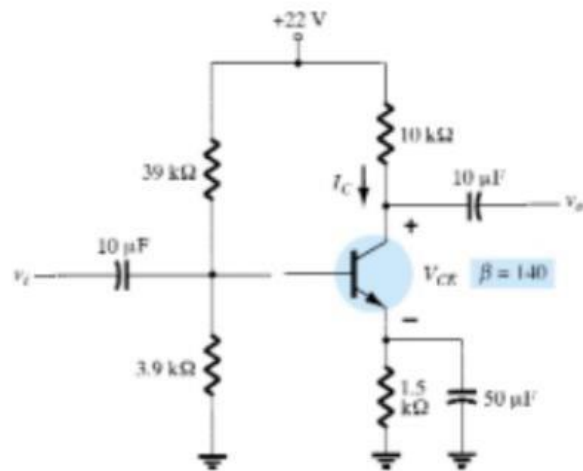


Figura 26 - Circuito proposto

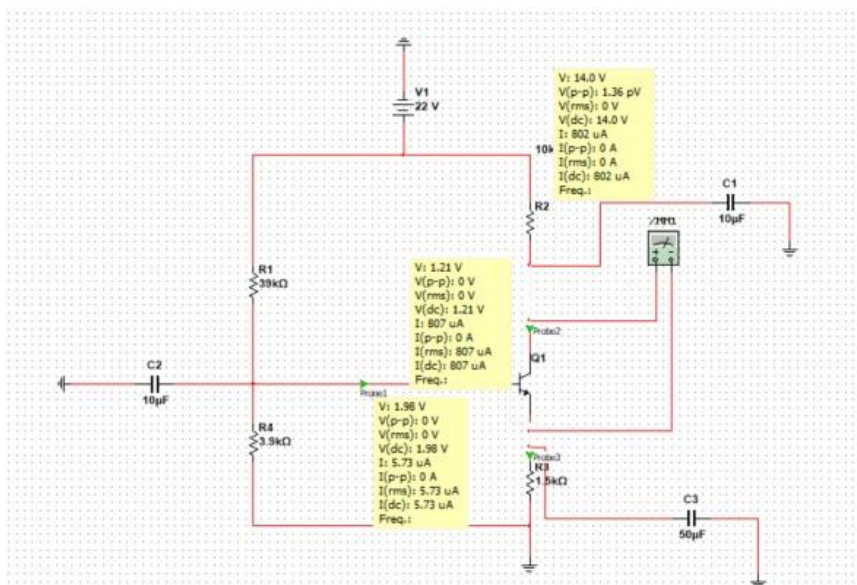


Figura 27 - Circuito simulado

CÁLCULOS

$$Vb = \frac{R2 * Vcc}{R1 + R2}$$
$$= \frac{3k9 * 22}{42k9}$$
$$= 2 \text{ V}$$
$$Ve = Vb - Vbe$$
$$= 1,3 \text{ V}$$
$$Ie = \frac{Ve}{Re}$$
$$= \frac{1,3}{1k5}$$
$$= 0,860 \text{ mA}$$
$$Ic \cong Ie$$
$$Vce = Vcc - Ic * (Rc + Re)$$
$$= 22 - 0,860 \text{ mA} * 11k5$$
$$= 12,11 \text{ V}$$
$$Vc = Vcc - Ic * Rc$$
$$= 22 - 0,860 \text{ mA} * 10k$$
$$= 13,4 \text{ V}$$

Valores	Calculado	Simulado
Ib	6,14 $\mu A$	5,73 $\mu A$
Ic	0,86 mA	0,807 mA
Vb	2 V	1,98 V
Vc	13,4 V	14 V
Vce	12,11 V	12,77 V



### 3.4.5 – POLARIZAÇÃO POR REALIMENTAÇÃO DE TENSÃO

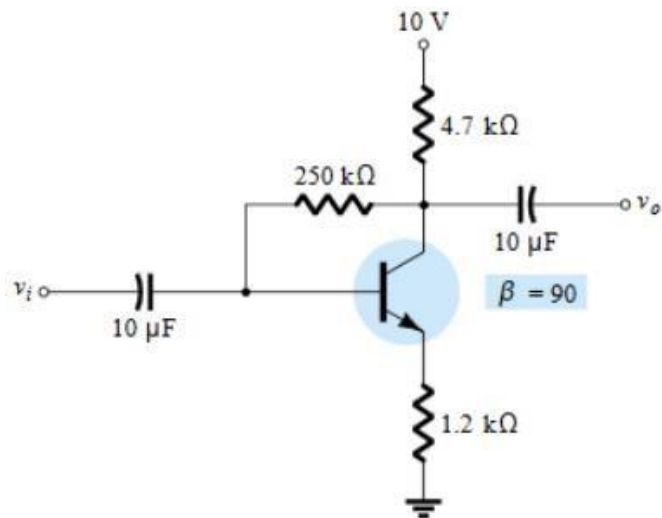


Figura 28 - Circuito proposto

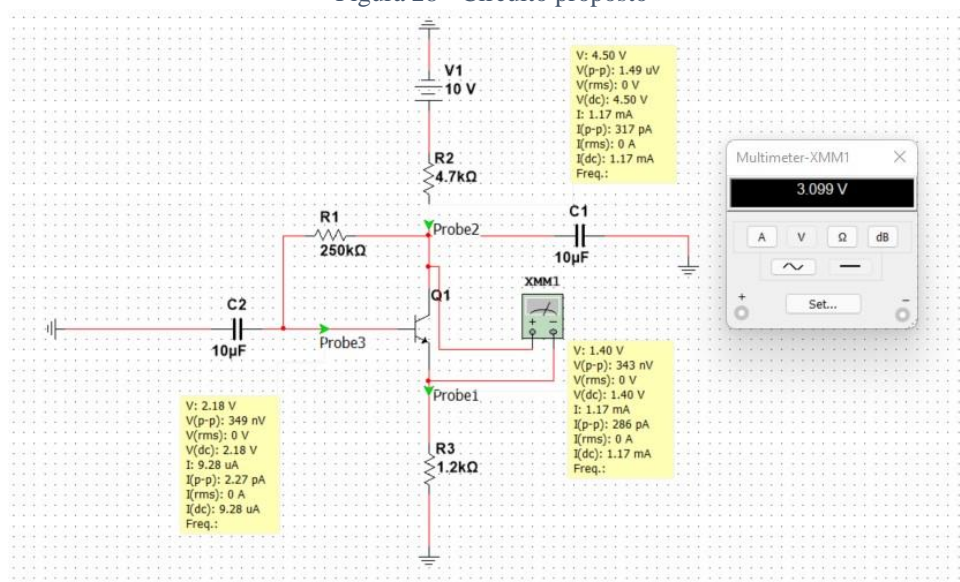


Figura 29 - Circuito simulado e mensurado

CÁLCULOS

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b + \beta(R_c + R_e)} = \frac{10 - 0,7}{250k + \beta(4k7 + 1k2)}$$
$$= 11,9 \mu A$$
$$I_c = 90 * 11,9 \mu A$$
$$= 1,07 mA$$
$$V_b = V_{cc} - I_c * R_c - I_b * R_b$$
$$= 10 - 1,07 mA * 4k7 - 11,9 \mu A * 250k$$
$$= 1,996 V$$
$$V_{ce} = V_{cc} - I_c * (R_c + R_e)$$
$$= 10 - 1,07 mA * 5k9$$
$$= 3,687 V$$
$$V_c = V_{cc} - I_c * R_c$$
$$= 10 - 1,07 mA * 4k7$$
$$= 4,971 V$$
$$V_e = V_b - V_{be}$$
$$= 1,996 V - 0,7$$
$$= 1,299 V$$

Valores	Calculado	Simulado
Ib	11,9 $\mu A$	9,28 $\mu A$
Ic	1,07 mA	1,17 mA
Vb	1,996 V	2,18 V
Vc	4,971 V	4,5 V
Vce	3,687 V	3,1 V
Ve	1,299 V	1,4 V

## CONCLUSÃO

Com o presente relatório foram consolidados os conhecimentos adquiridos ao longo de sete aulas de Eletrônica Básicas equivalentes a M2. Foram visualizados na prática o funcionamento de transistores com circuitos *pnp* e *nnp*, análises simplificadas entre outras atuações vistas em aula.

Através dos cálculos e comparações com as simulações foram vistos resultados semelhantes e positivos, indicando que o uso dos componentes e das fórmulas estavam corretos e contribuindo ainda mais para a aprendizagem.