



CHAPTER 5

## **Aula 23:**

**A corrente de base e a resistência de entrada da base no modelo do TBJ**

**(p.276-279)**

# Eletrônica I – PSI3321

## Programação para a Segunda Prova (cont.)

21 <sup>a</sup>	02/06	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269	
22 <sup>a</sup>	06/06	O TBJ como amplificador para pequenos sinais (as condições c.c., a corrente de coletor e a transcondutância)	Sedra, Cap. 5, p. 263-264; p. 275-276.	Teste 11 9h20-9h35
23 <sup>a</sup>	09/06	A corrente de base e a resistência de entrada da base, a resistência de entrada do emissor. Ganho de tensão, Exemplo 5.38, modelos equivalentes (modelos $\pi$ -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279	
24 <sup>a</sup>	13/06	Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43	Sedra, Cap. 5 p. 290-293	Teste 12 9h20-9h35
25 <sup>a</sup>	20/06	O amplificador emissor comum com resistência de emissor	Sedra, Cap. 5 p.293-295	Teste 13 9h20-9h35
26 <sup>a</sup>	23/06	O amplificador base comum (BC)	Sedra, Cap. 5 p. 296-297	
27 <sup>a</sup>	27/06	O amplificador coletor comum (CC)	Sedra, Cap. 5 p. 297-302	Teste 14 9h20-9h35
28 <sup>a</sup>	30/06	Aula de Exercícios		
2 <sup>a</sup> . Semana de Provas (01/07 a 07/07/2017)				
Data: xx/xx/2017 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxhs				

# 23ª Aula:

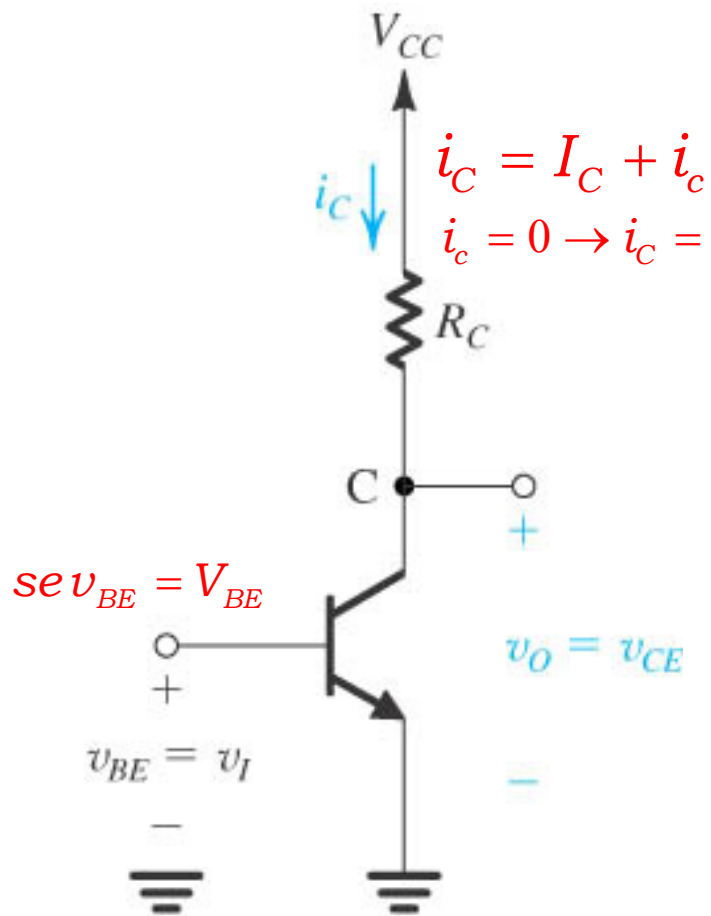
## Amplificadores com TBJ

A resistência de base no Modelo para Pequenos Sinais do TBJ

**Ao final desta aula você deverá estar apto a:**

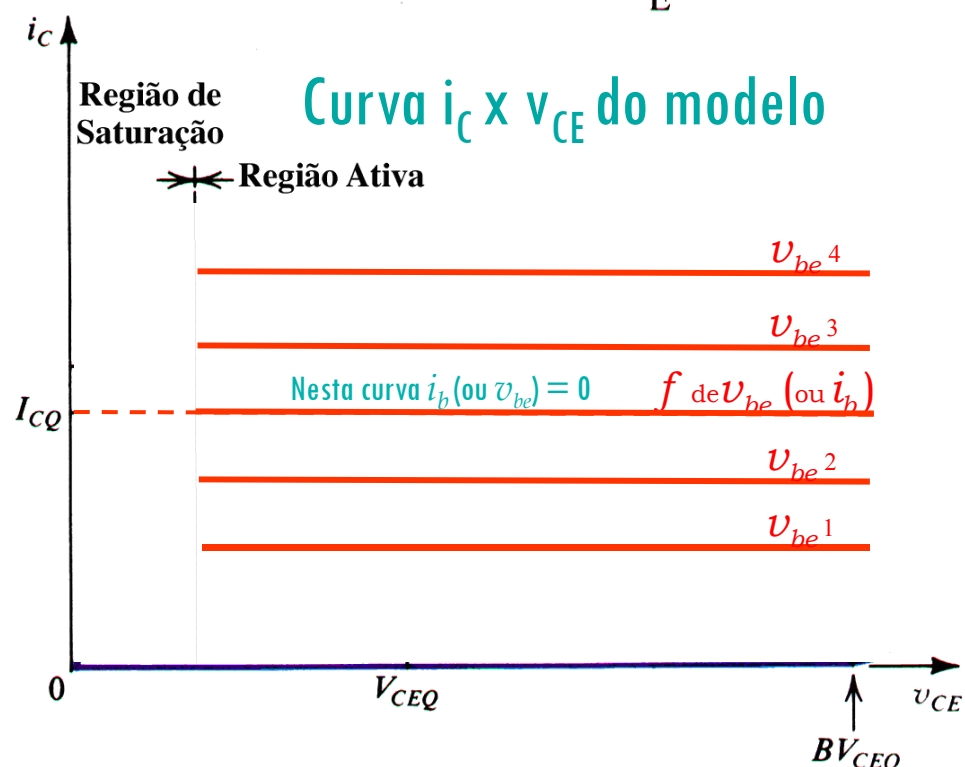
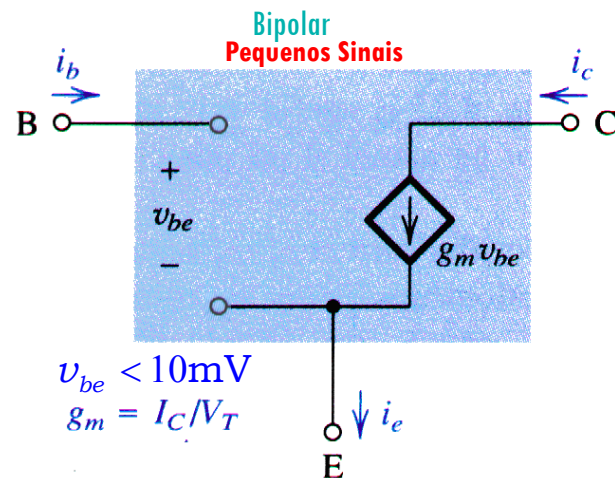
- **Explicar a importância da resistência de entrada do transistor TBJ**
- **Determinar ganhos de tensão para pequenos sinais com maior precisão que a aula anterior em circuitos simples que empreguem transistor TBJ**

# Visualizando Graficamente o Modelo do TBJ



$$i_C = I_C + i_c$$

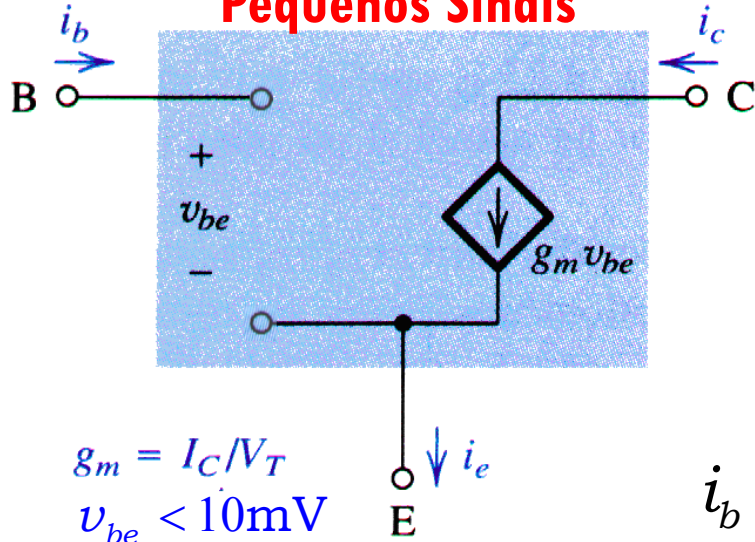
$i_c = 0 \rightarrow i_C = I_C + i_c$  onde  $I_C = I_{CQ}$



# Aprimorando o Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: a resistência $r_\pi$

Bipolar

Pequenos Sinais



$i_b \neq 0!!! \rightarrow$  resistência entre  $b$  e  $e$   
 estabelecer uma relação entre  $v_{be}$  e  $i_b$  (resistência)

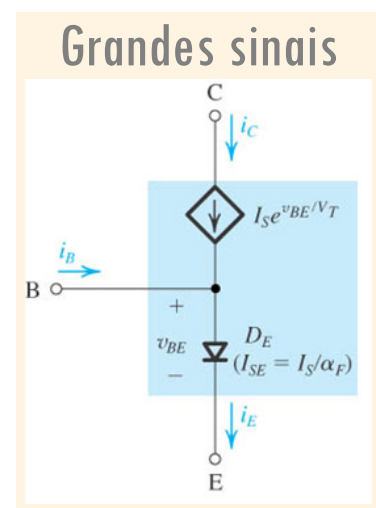
$$i_C = I_C + i_c$$

$$i_B = \frac{I_C}{\beta} + \frac{i_c}{\beta}$$

$$i_b = \frac{1}{\beta} \frac{I_C}{V_T} v_{be} = \frac{1}{r_\pi} v_{be}$$

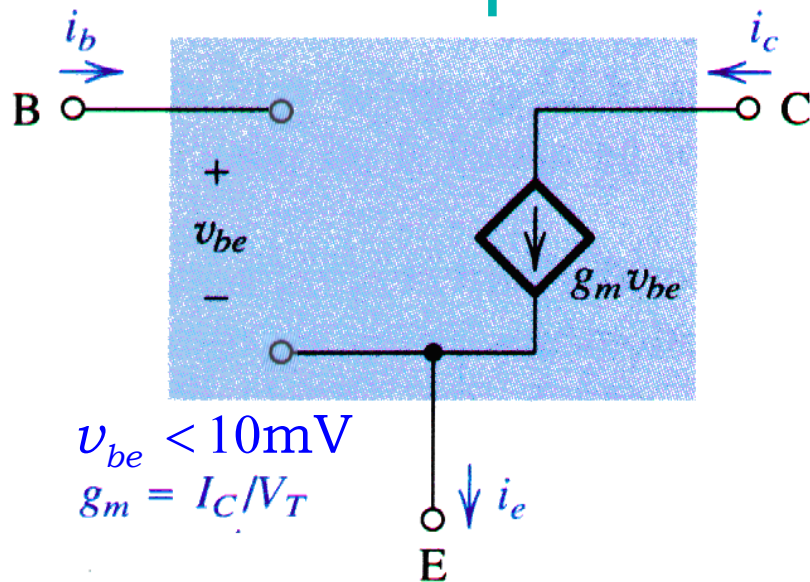
$$v_{be} = r_\pi i_b$$

# O Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: A resistância $r_{\pi}$



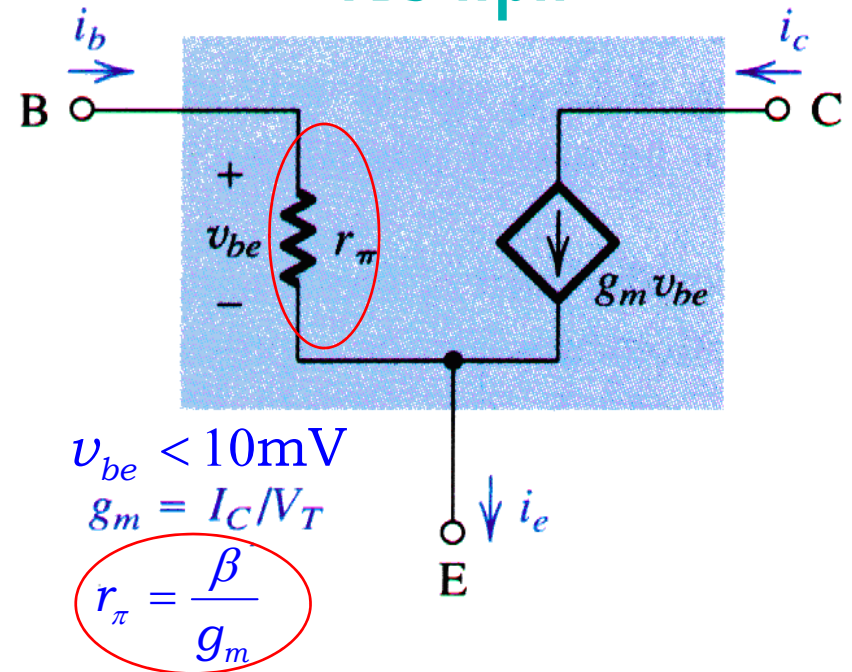
Região ativa (nnp) p/ Pequenos Sinais  
(muito simples)

TBJ npn



Região ativa (nnp) p/ Pequenos Sinais  
(melhorado)

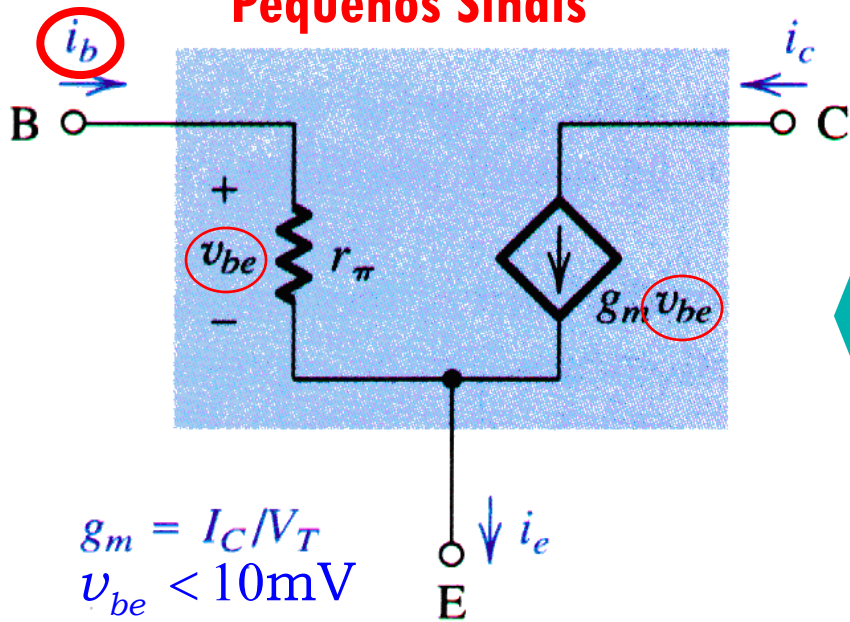
TBJ npn



# Adequando o Modelo para Pequenos Sinais para o TBJ com a resistência $r_\pi$

Bipolar

Pequenos Sinais

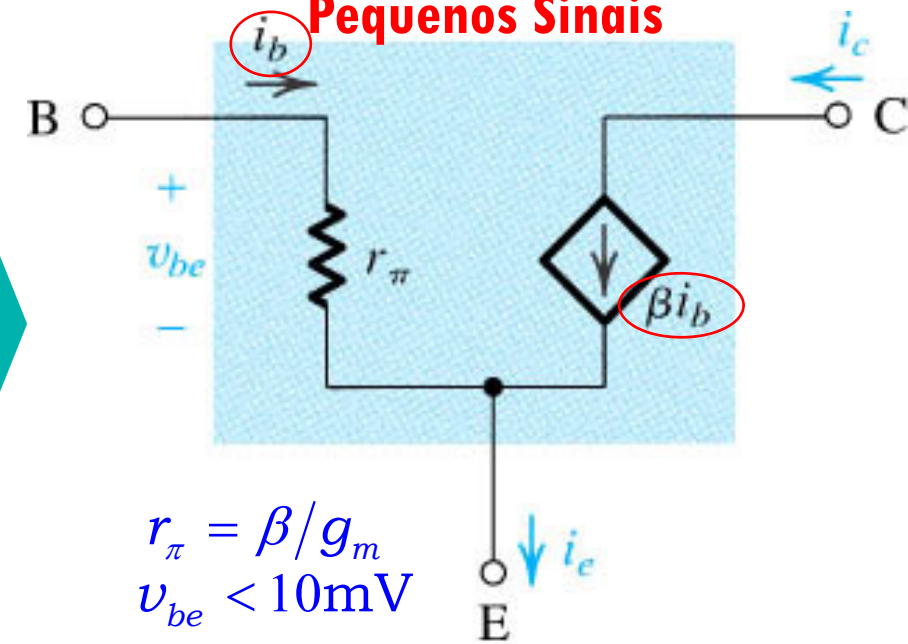


$$g_m = I_C / V_T$$

$$v_{be} < 10\text{mV}$$

Bipolar

Pequenos Sinais



$$r_\pi = \beta / g_m$$

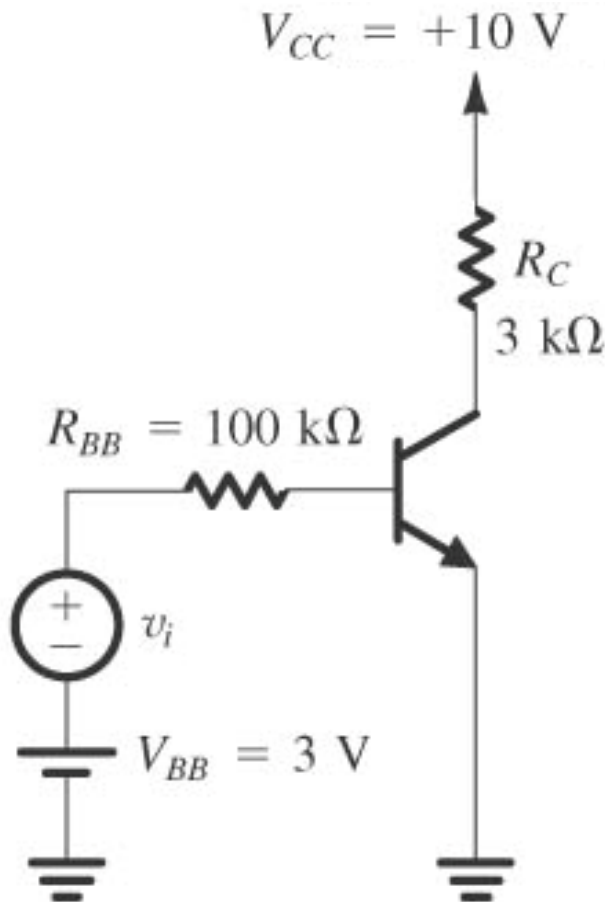
$$v_{be} < 10\text{mV}$$

$$g_m = I_L / V_T$$

$$v_{be} = r_\pi i_b \therefore g_m v_{be} = g_m r_\pi i_b$$

$$\text{como } r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \rightarrow g_m v_{be} = g_m \frac{\beta}{g_m} i_b = \beta i_b$$

**De novo o Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$



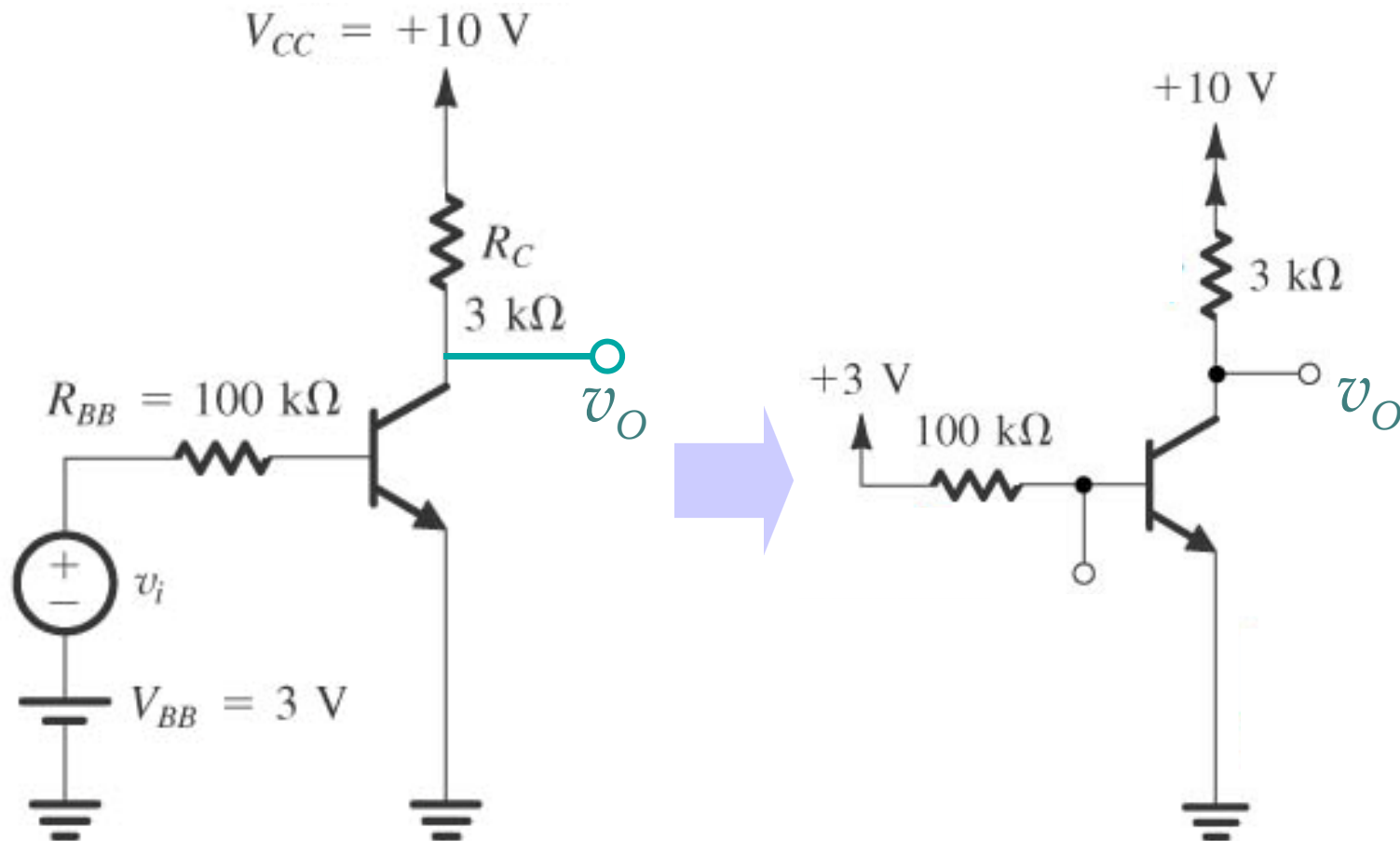
### Estratégia de análise:

1. Determine o ponto de operação  $cc$  do TBJ e em particular o valor da corrente  $cc$  de coletor,  $I_C$
2. Calcule os valores dos parâmetros do modelo para pequenos sinais:  $g_m = I_C / V_T$  e  $r_\pi = \beta / g_m$
3. Elimine as fontes  $cc$  substituindo cada fonte  $cc$  de tensão por um curto-circuito e cada fonte  $cc$  de corrente por um circuito aberto.
4. Substitua o TBJ por um dos seus modelos equivalentes. Embora qualquer um dos modelos possa ser utilizado, um deles deve ser mais conveniente dependendo do circuito a ser analisado.
5. Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).



**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$

1. Determine o ponto de operação  $cc$  do TBJ e em particular o valor da corrente  $cc$  de coletor,  $I_C$

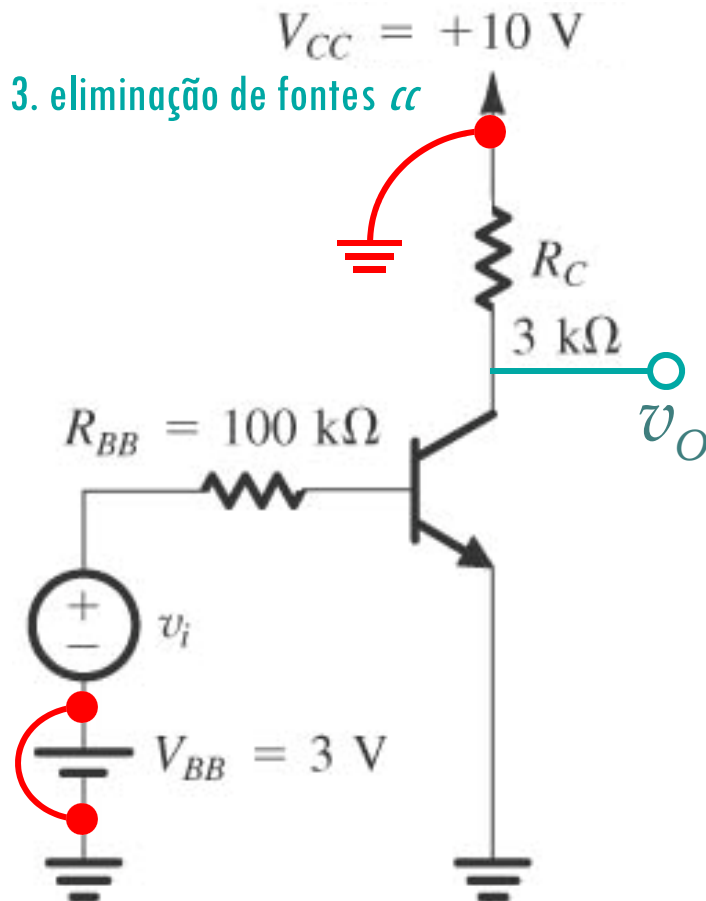


**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$

2. Calcule os valores dos parâmetros do modelo para pequenos sinais:  $g_m = I_C / V_T$  e  $r_\pi = \beta / g_m$

3. Elimine as fontes  $cc$  substituindo cada fonte  $cc$  de tensão/corrente por curto-circuitos/circuitos abertos

4. Substitua a TBJ por um dos seus modelos equivalentes

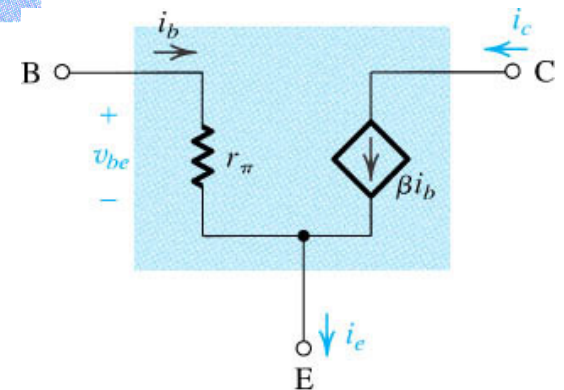
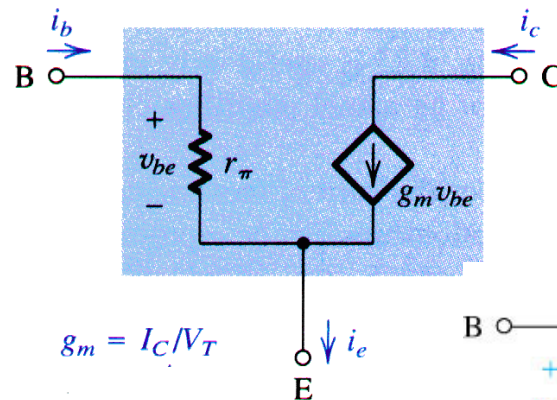


2. parâmetros

$$g_m = I_C / V_T = 2,3\text{mA} / 25\text{mV} = 92\text{mA/V}$$

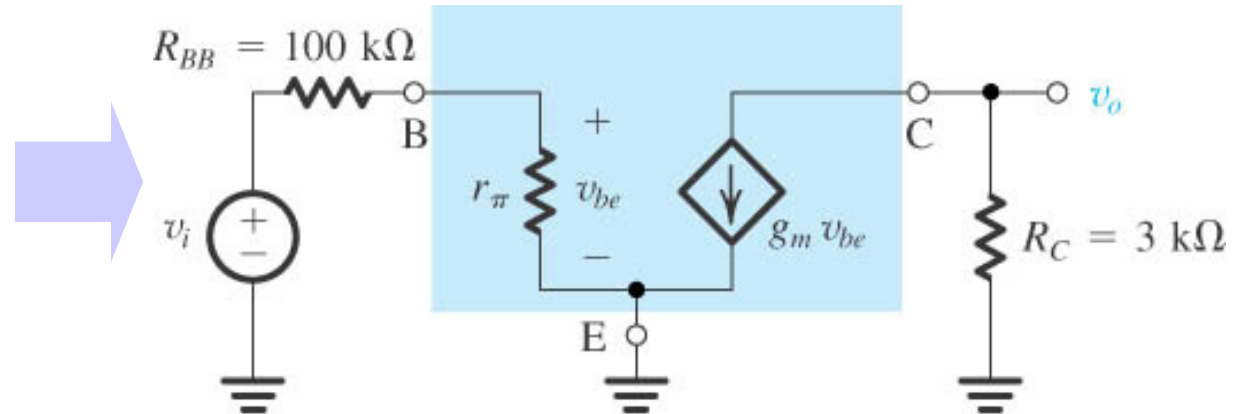
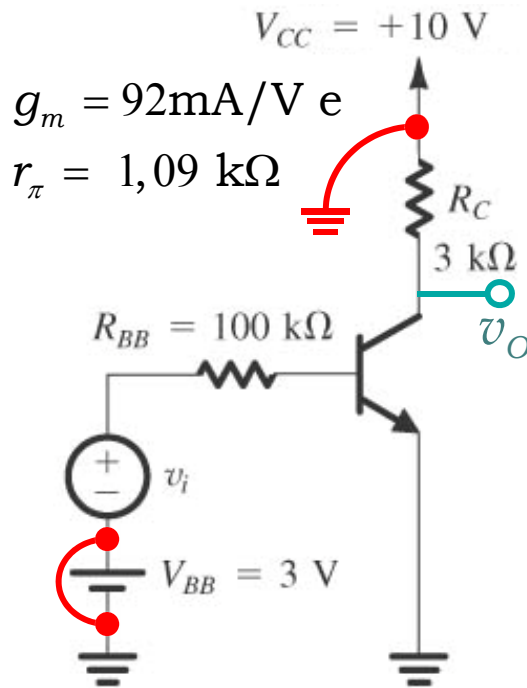
$$r_\pi = \beta / g_m = 100 / 92\text{mA/V} = 1,09\text{ k}\Omega$$

4. modelos



**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$

5. Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).



$$v_o = -g_m v_{be} \times R_C \quad v_{be} = \frac{r_\pi}{R_{BB} + r_\pi} v_i$$

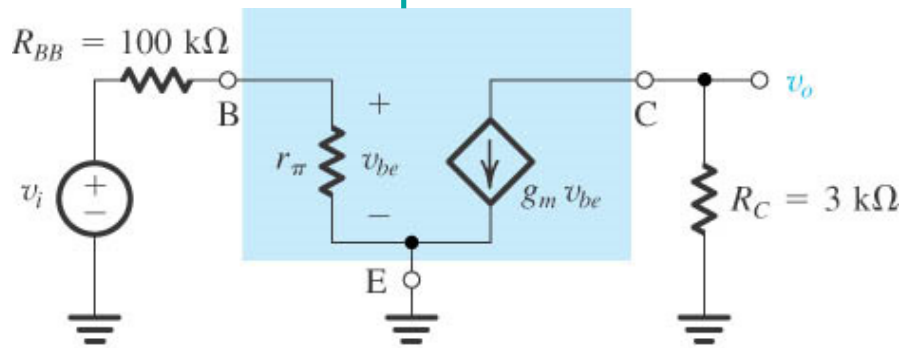
$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -\frac{r_\pi}{R_{BB} + r_\pi} g_m R_C$$

$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -\frac{1,09}{100 + 1,09} 92m \times 3k = -2,98 \frac{V}{V}$$

## Exemplo 5.14: Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha $\beta = 100$

5. Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).

Bipolar

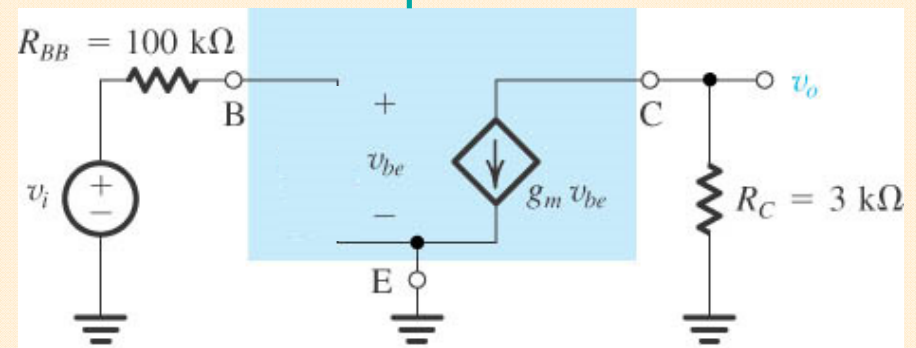


$$v_O = -g_m v_{be} \times R_C \quad v_{be} = \frac{r_\pi}{R_{BB} + r_\pi} v_i$$

$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = \frac{v_O}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -\frac{r_\pi}{R_{BB} + r_\pi} g_m R_C$$

$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -\frac{1,09}{100 + 1,09} 92m \times 3k = -2,98 \frac{V}{V}$$

sem  $r_\pi$  Bipolar



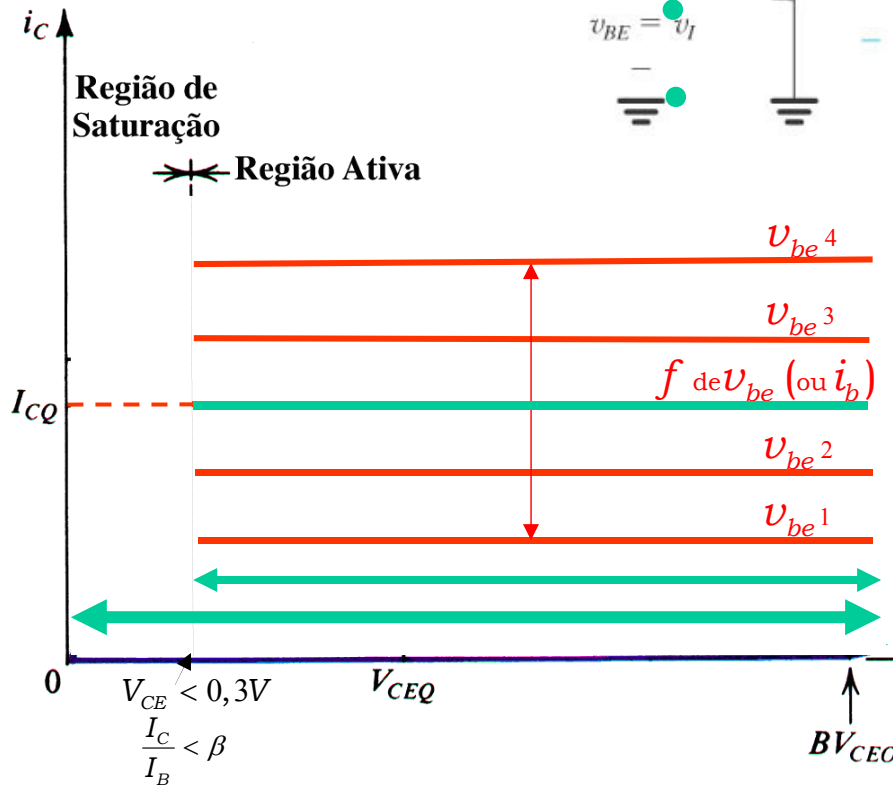
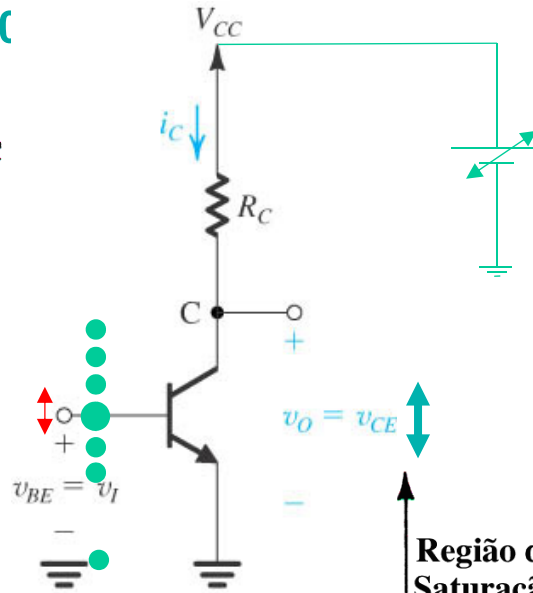
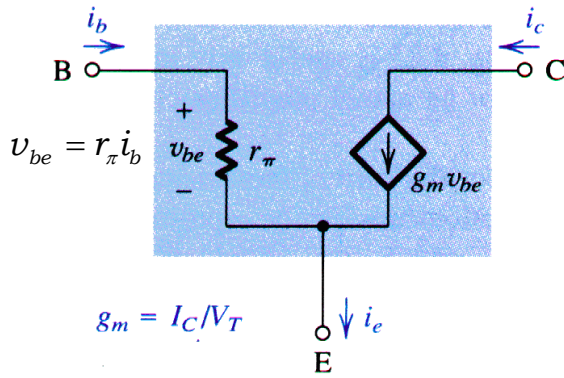
$$v_O = -g_m v_{be} \times R_C \quad v_{be} = v_i$$

$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = \frac{v_O}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -g_m R_C$$

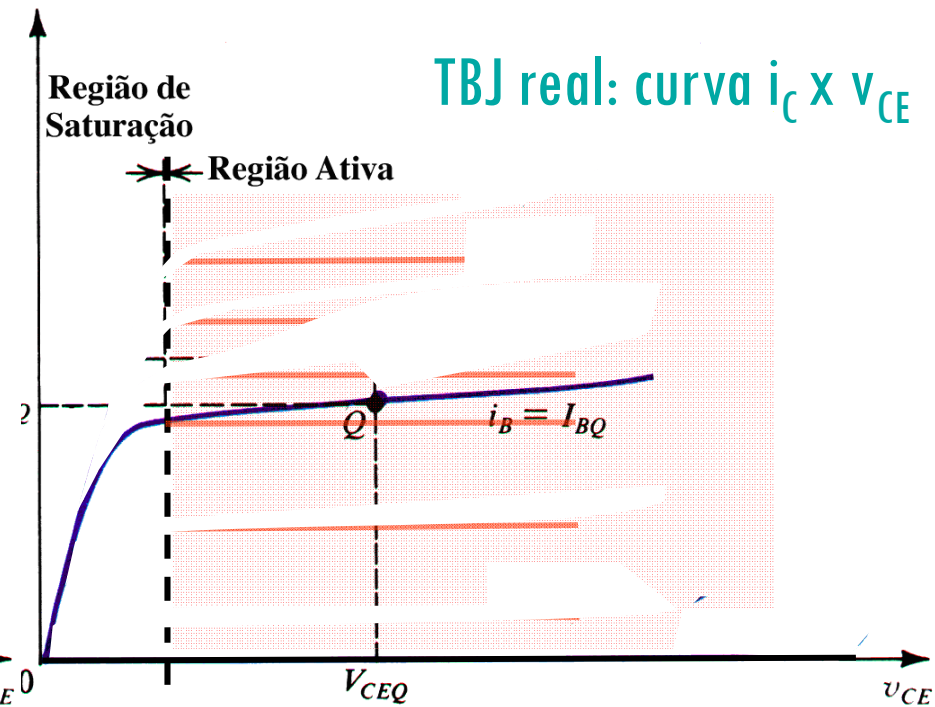
$$A_v \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -92m \times 3k = -276 \frac{V}{V}$$

# Visualizando Graficamente e Aprimorando ainda mais o Modelo do TBJ

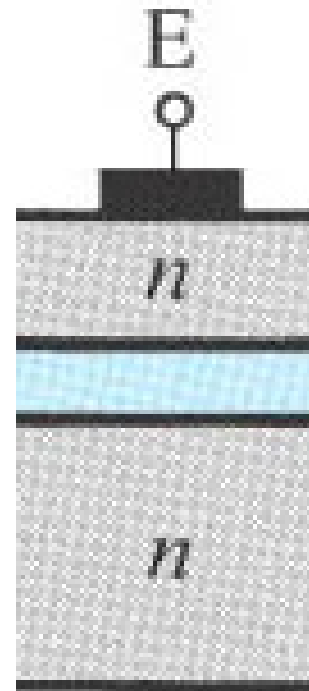
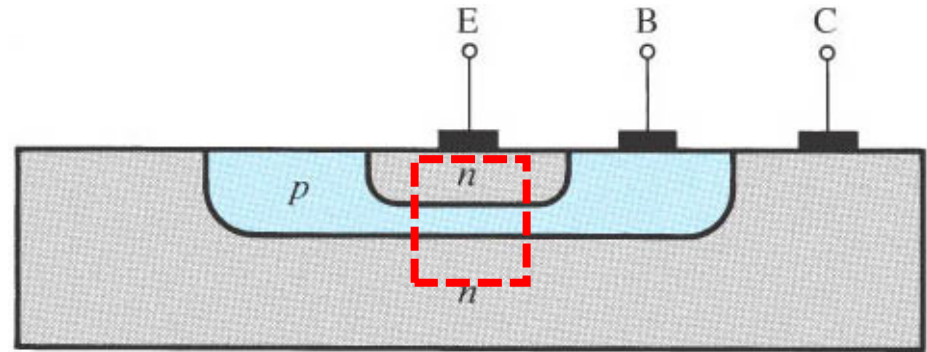
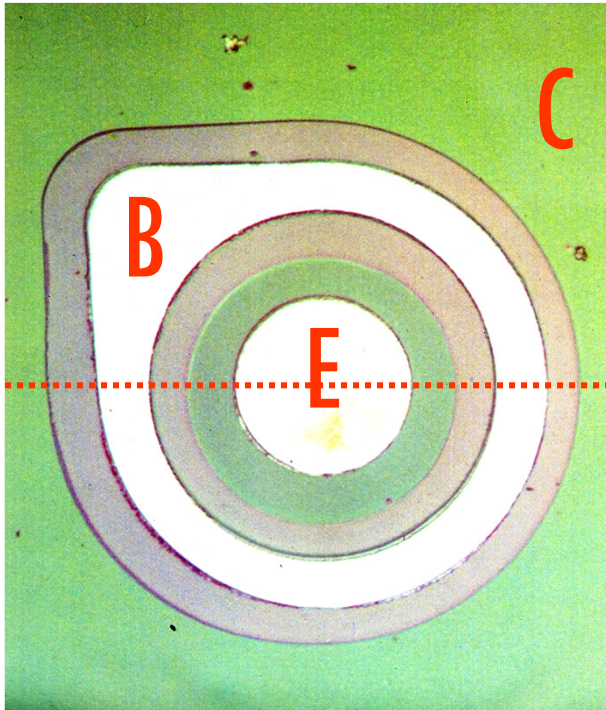
## Curva $i_C \times v_{CE}$ do modelo



## TBJ real: curva $i_C \times v_{CE}$



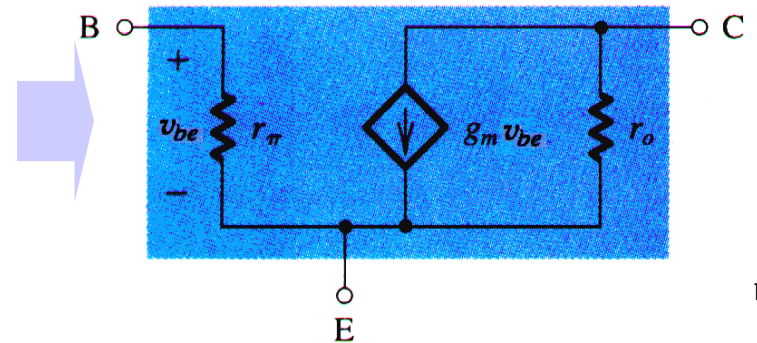
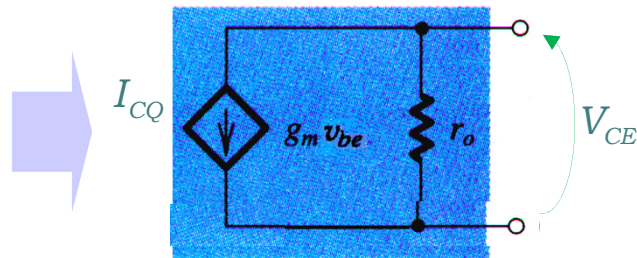
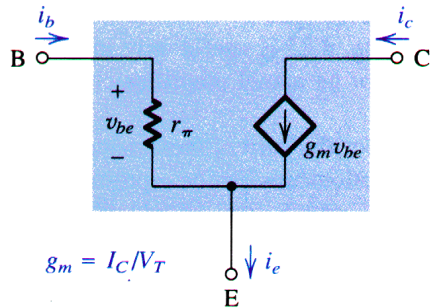
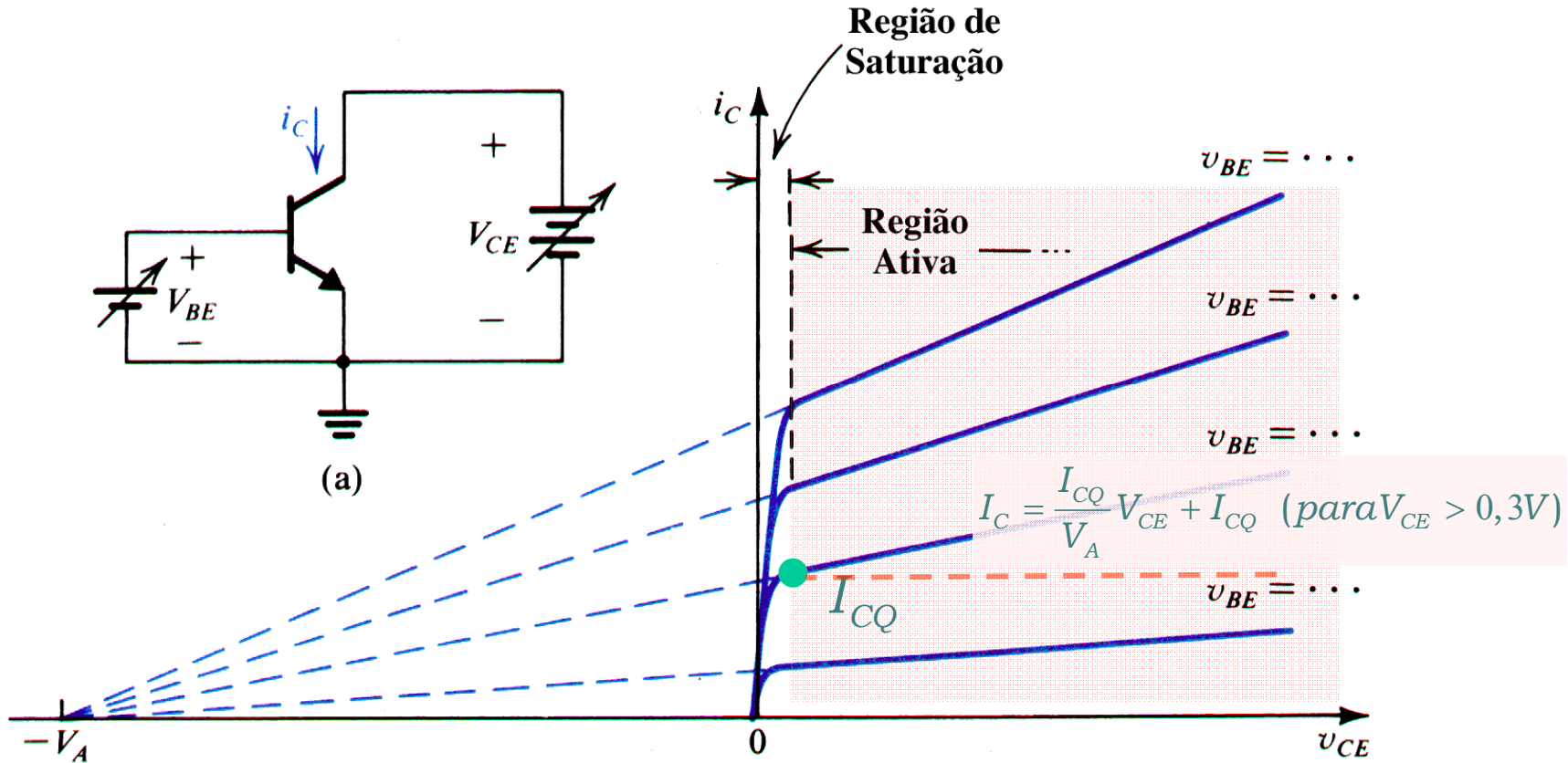
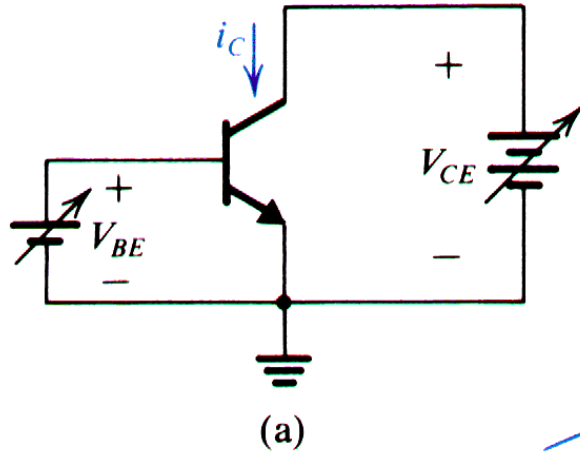
# Um Transistor npn Real e o estreitamento da base (Efeito Early)



$$\beta = 1 / \left( \frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right)$$

# Aprimorando o Modelo do TBJ

## O Efeito Early

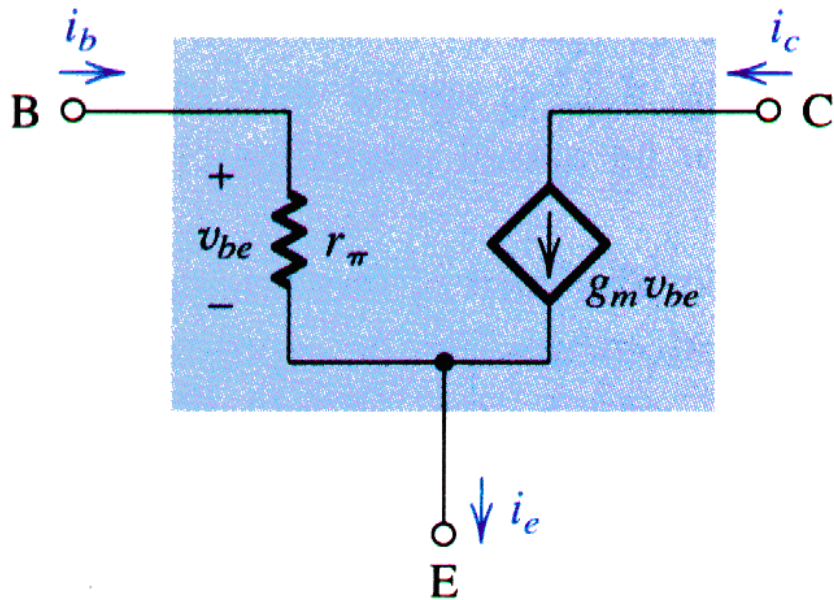


# O Modelo $\pi$ -híbrido para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ

TBJ npn

Pequenos Sinais

$$v_{be} < 10\text{mV}$$

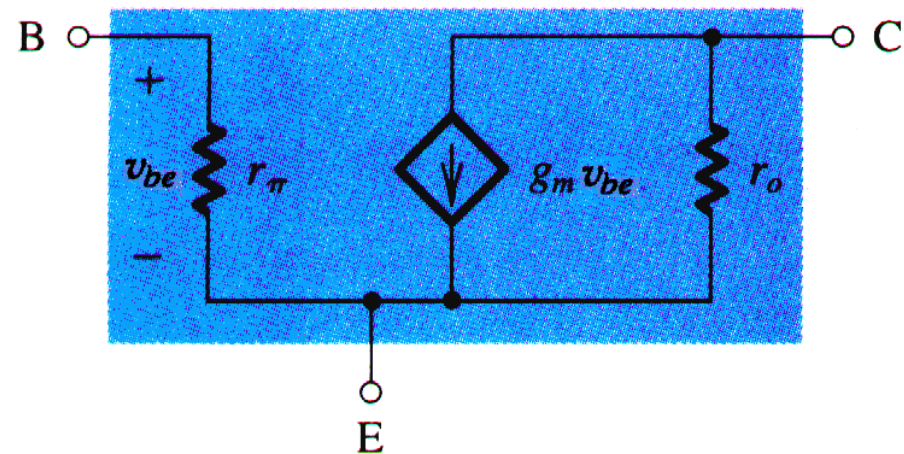


$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

TBJ npn

Pequenos Sinais  
(completo para cálculos manuais)

$$v_{be} < 10\text{mV}$$



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_o \approx \frac{|V_A|}{I_C}$$