

# Transistores Bipolares 2

Adrielle C. Santana

# Circuito EC

O circuito EC visto na aula anterior apresenta um problema:

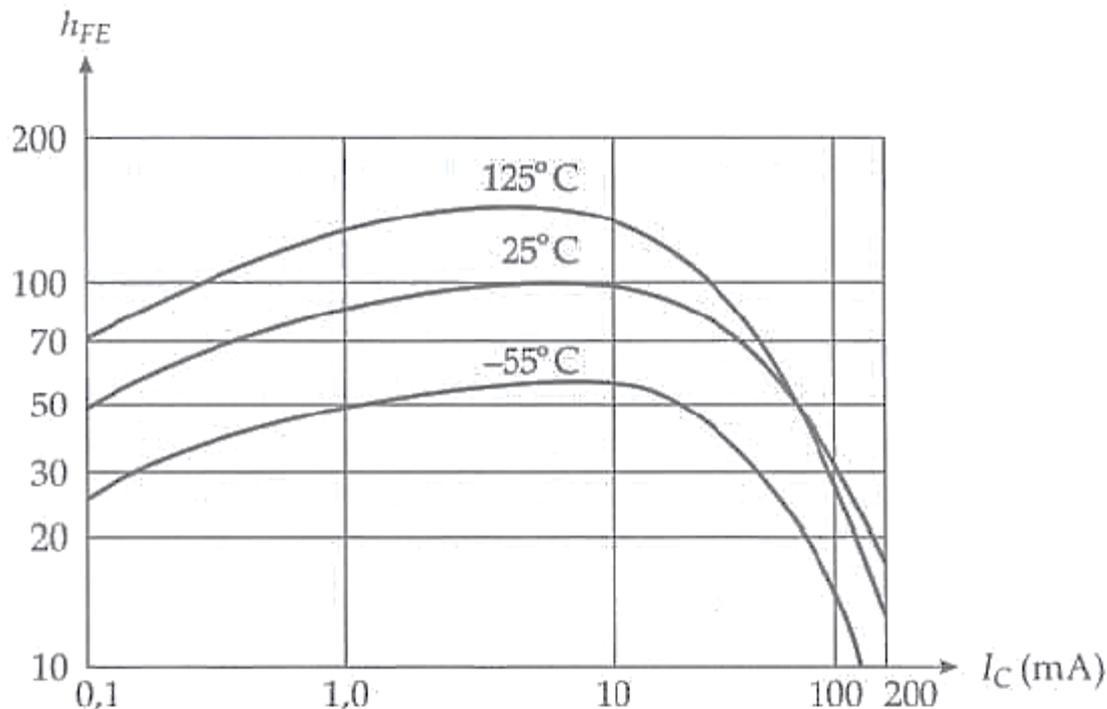
➤ Seu ganho de corrente é variável.

E esse ganho varia com:

- Corrente do coletor;
- Corrente da base;
- Temperatura;
- Transistor para transistor.

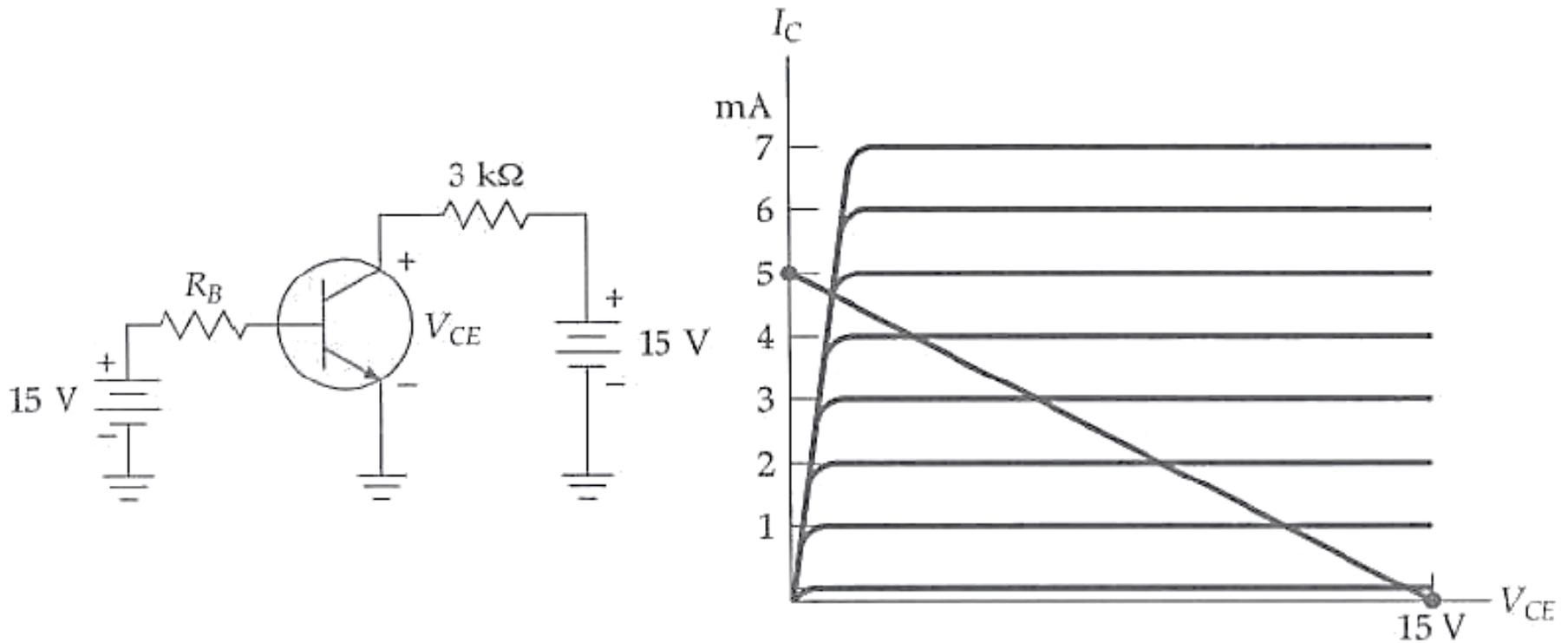
# Circuito EC

Para um mesmo transistor (por exemplo o 2N3904) o ganho pode variar de transistor para transistor de 100 até o valor de 300. Como dito, também varia com a  $I_C$  e a temperatura:



# Reta de Carga

É a linha que corta as curvas características do coletor mostrando pontos de operação do transistor



# Reta de Carga

Para a figura anterior, a reta de carga mostra todos os possíveis valores de  $I_c$  e  $V_{ce}$  quando variamos a **resistância de base** de 0 a infinito.

# Reta de Carga

## Ponto de Saturação

É o ponto onde a reta de carga intercepta a região de saturação. Nesse ponto se tem a **máxima corrente  $I_c$  possível** no coletor.

Pode-se aproximar esse ponto como sendo o próprio ponto superior da reta de carga pelo fato da tensão de saturação ser muito pequena.

Esse ponto varia com  $V_{CC}$  e  $R_C$ .

# Reta de Carga

Para o circuito da figura vista, a corrente no ponto de saturação pode ser calculada fazendo:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

# Reta de Carga

## Ponto de Corte

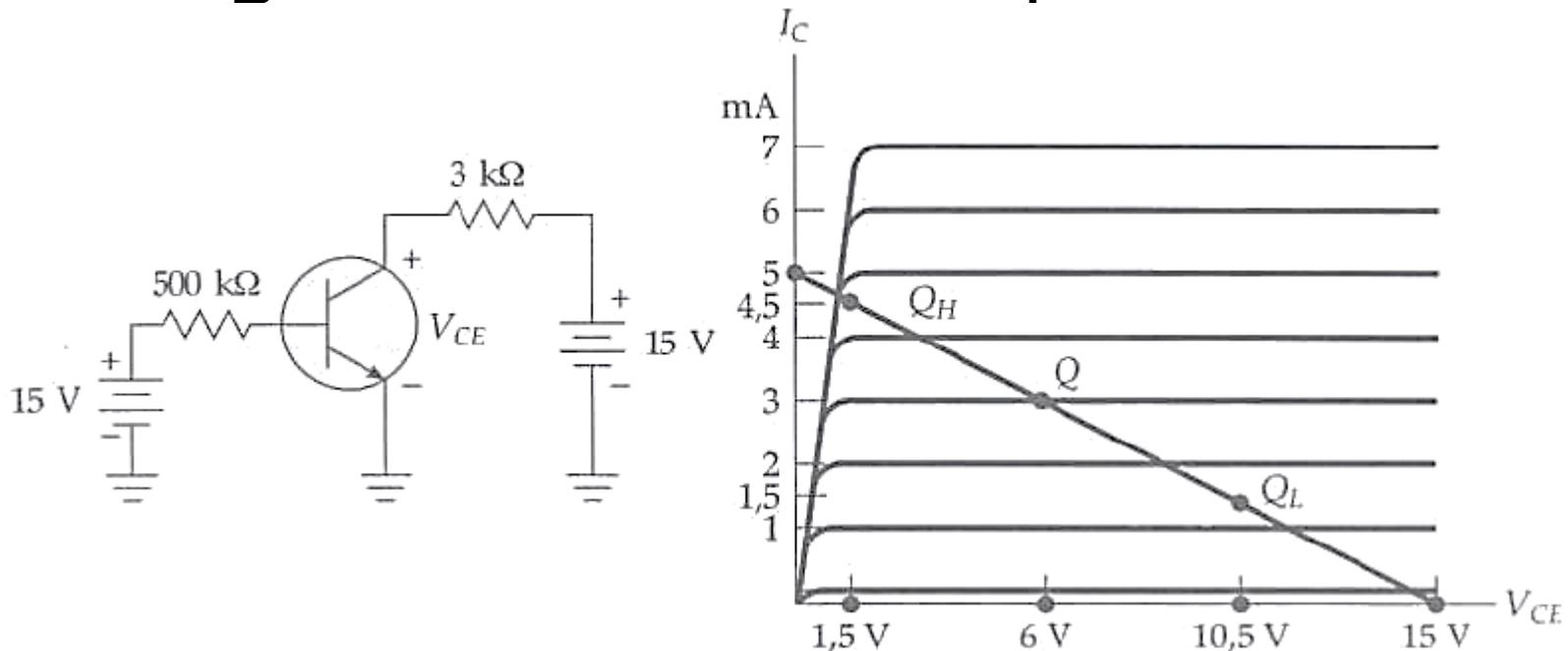
É o ponto onde a reta de carga intercepta a região de corte da curva do coletor.

No corte  $I_c$  **é muito pequena ( $V_{CE}$  máx)** de modo que pode-se aproximar esse ponto como o ponto inferior da reta de carga.

Esse ponto varia com a tensão  $V_{CC}$  de modo que nele  $V_{CE(\text{corte})} = V_{CC}$ .

# Ponto de Operação

Dado um circuito com transistor qualquer, é possível logo de cara, calcular os pontos de corte e de saturação e traçar a **reta de carga** entre eles. Exemplo:



# Ponto de Operação

**Plotando o ponto Q (quiescente = quieto, estável)**

Sendo o transistor **ideal** então:

$$I_B = \frac{15}{500k\Omega} = 30\mu A$$

Supondo  $\beta_{CC}=100$  calcula-se  $I_C$

$$I_C = 100(30\mu A) = 3mA$$

# Ponto de Operação

Calcula-se  $V_{CE}$  fazendo:

$$V_{CE} = 15 - (3mA)(3k\Omega) = 6V$$

O ponto de Operação ou **Ponto Q** é o ponto na reta de carga onde  $V_{CE}=6V$  e  $I_C=3mA$ .

**Obs.: Deve-se lembrar que esse ponto varia com o valor de  $\beta_{CC}$ !**

# Ponto de Operação

Para o cálculo correto desse ponto Q, deve-se levar em conta a queda de tensão  $V_{BE}$  no circuito da base de modo que as fórmulas utilizadas ficam como segue:

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

$$I_C = \beta_{cc} I_B$$

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

# Identificando a Saturação

Como identificar que num circuito com transistor, ele está operando na região de saturação ou na ativa?

- Suponha que o transistor opera na região ativa;
- Faça os cálculos;
- Se ocorrer valores absurdos a suposição é falsa.

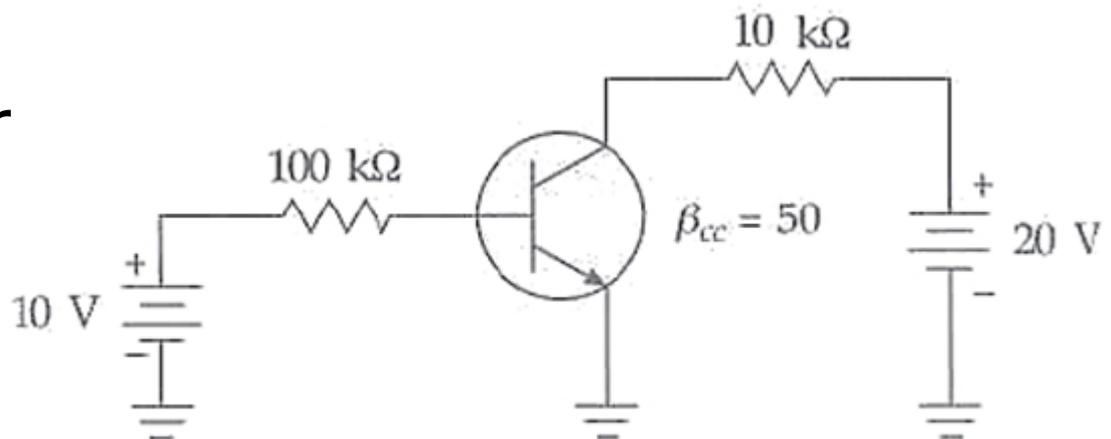
# Identificando a Saturação

- Ex.: Idealmente  $I_B = 10/100000 = 0,1\text{mA}$
- **O ganho de corrente dado só vale na região ativa de operação então:**

$$I_C = 50(0,1\text{ mA}) = 5\text{ mA}$$

$$V_{CE} = 20\text{ V} - (5\text{ mA})(10\text{ k}\Omega) = -30\text{ V}$$

- Que é um valor absurdo!



# Identificando a Saturação

$\beta_{CC}$  na região de saturação é menor que o normal e pode ser calculado fazendo:

$$\beta_{CC(\text{sat})} = \frac{I_{C(\text{sat})}}{I_B}$$

$$I_{C(\text{sat})} = \frac{20 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$\beta_{CC(\text{sat})} = \frac{2 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} = 20$$

# Identificando a Saturação

## Saturação Forte

A corrente do coletor aumenta com a corrente da base até que alcance o valor de saturação

$I_{C(sat)}$ .

No entanto o ganho de corrente  $\beta_{CC}$  tende a diminuir com o aumento de  $I_B$  além do  $I_{C(sat)}$ .

# Identificando a Saturação

Se no exemplo anterior onde obteve-se  $\beta_{CC}=20$  para  $I_{C(sat)}$  continuássemos a aumentar  $I_B$  (diminuindo a resistência  $R_B$  por exemplo para  $50k\Omega$ ):

$$\beta_{CC(sat)} = \frac{2 \text{ mA}}{0,2 \text{ mA}} = 10$$

# Identificando a Saturação

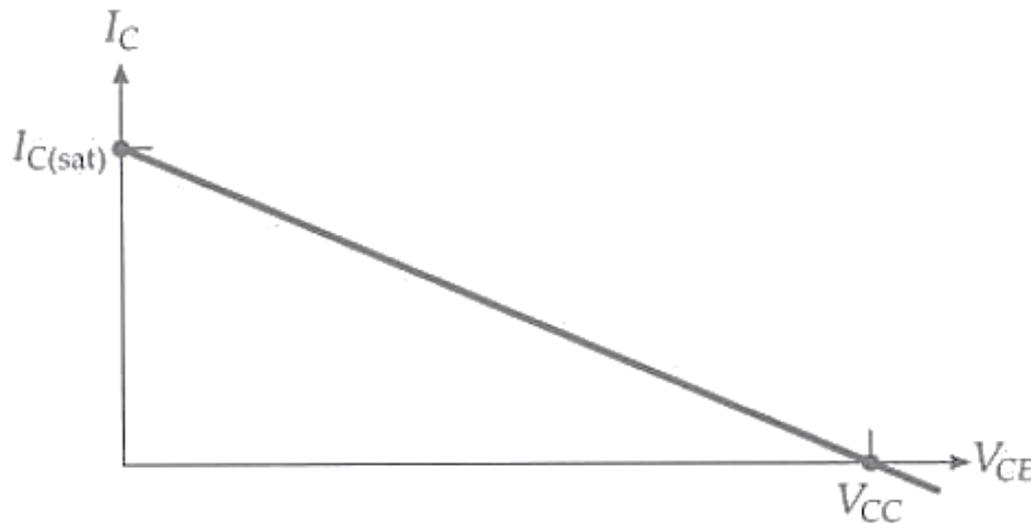
Quando a corrente de base  $I_B$  é mais que o suficiente para saturar o transistor, isso é chamado de **saturação forte**.

# Saturação Forte

Costuma-se convencionar que a **saturação forte** pertença a projetos que mantenham o ganho de corrente em 10 (na situação do exemplo anterior apenas para salientar que é um valor menor que o necessário para a saturação de  $I_c$ ). A **saturação leve** seria aquela onde o ganho de corrente é apenas levemente menor que o ganho na região ativa.

# Satuação Forte

Utiliza-se saturação **forte** para evitar que o transistor saia da região de saturação ( $I_C$  máx) com variações de temperatura e substituição de transistor que são fatores que influenciam no valor de  $\beta_{CC}$ .



# Transistor como Chave

Em **circuítos digitais** deseja-se apenas dois estados (0 ou 1) e assim, o uso de transistores com polarização de base (EC) é útil de forma a se obter uma saída de tensão ( $V_{CE}$ ) ora baixa (0 - saturação) e ora alta (1 - corte).

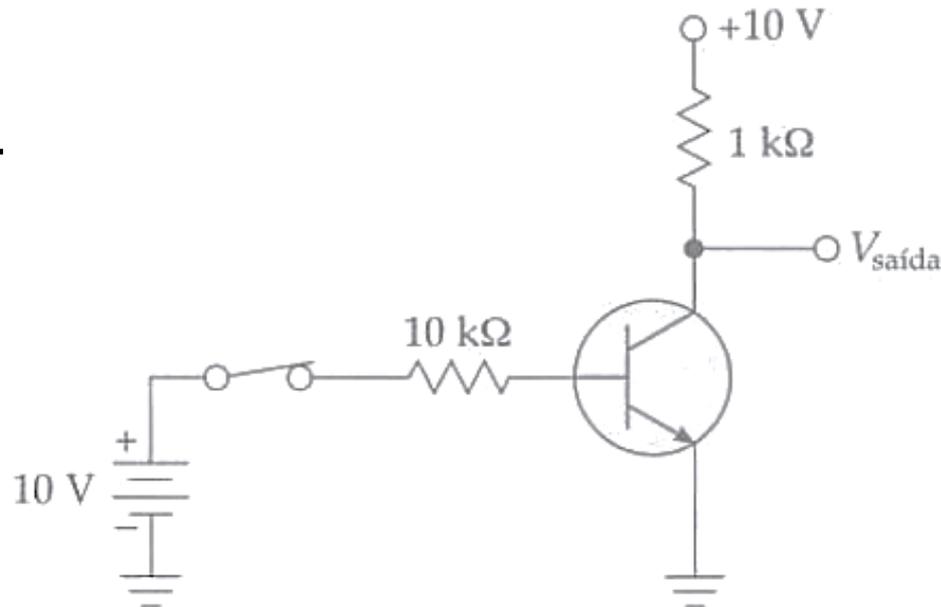
# Transistor como Chave

No circuito abaixo, tem-se uma chave que:

➤ Fechada  $\longrightarrow$  transistor saturado  $\longrightarrow V_{CE} = 0 \text{ V}$

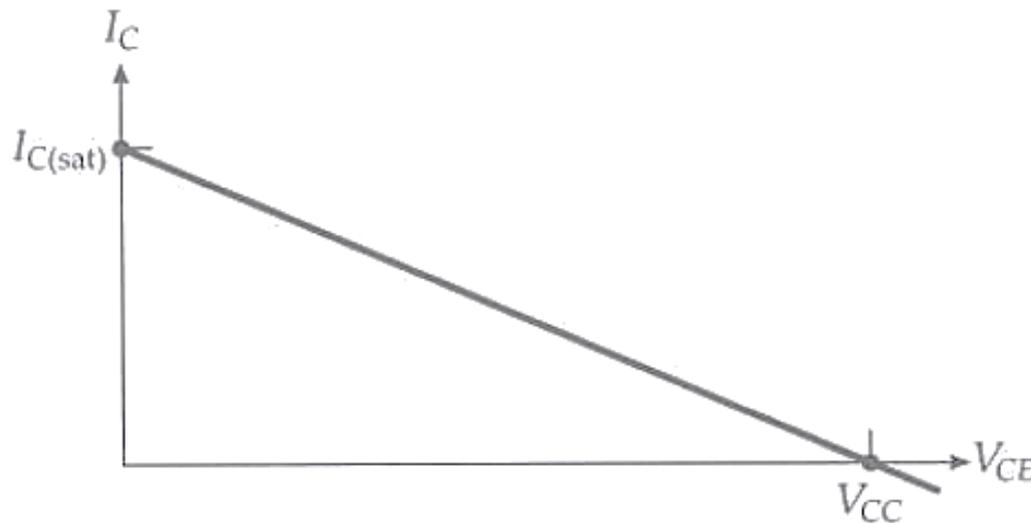
➤ Aberta  $\longrightarrow$  transistor em corte  $\longrightarrow V_{CE} = 10 \text{ V}$

➤ INV-NOT



# Transistor como Chave

Observe que nesse tipo de circuito as demais variações do ponto Q não importam uma vez que apenas interessa trabalhar com o transistor em corte ou saturado.



# Polarização do Emissor

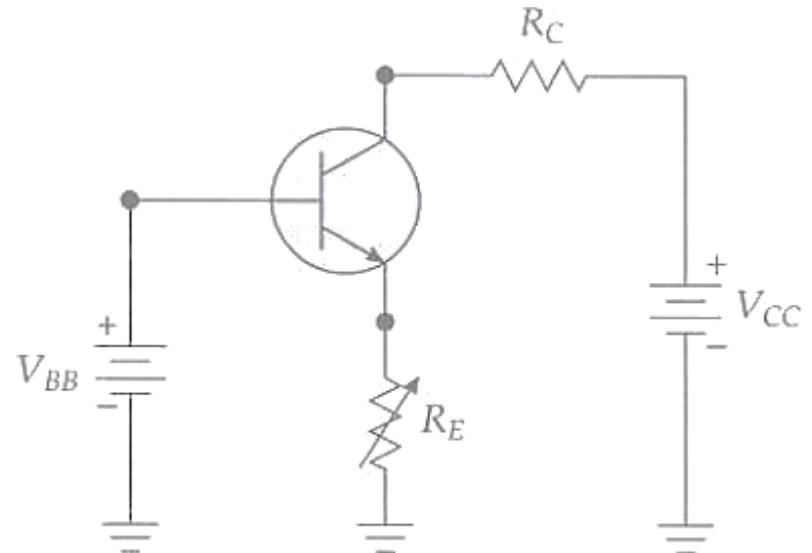
Diferente dos circuitos digitais, circuitos de amplificação necessitam que os pontos Q dos transistores sejam imunes às variações do  $\beta_{CC}$ .

O circuito de **polarização do emissor** representado a seguir, possibilita que grandes variações do  $\beta_{CC}$  afetem pouco a posição do ponto Q na reta de carga.

# Polarização do Emissor

Nesse circuito não existe mais  $R_B$ . Existe uma resistência  $R_E$  e conseqüentemente uma tensão  $V_E$  que dessa vez não é 0 V pelo fato do emissor não estar mais aterrado.

$$V_E = V_{BB} - V_{BE}$$



# Polarização do Emissor

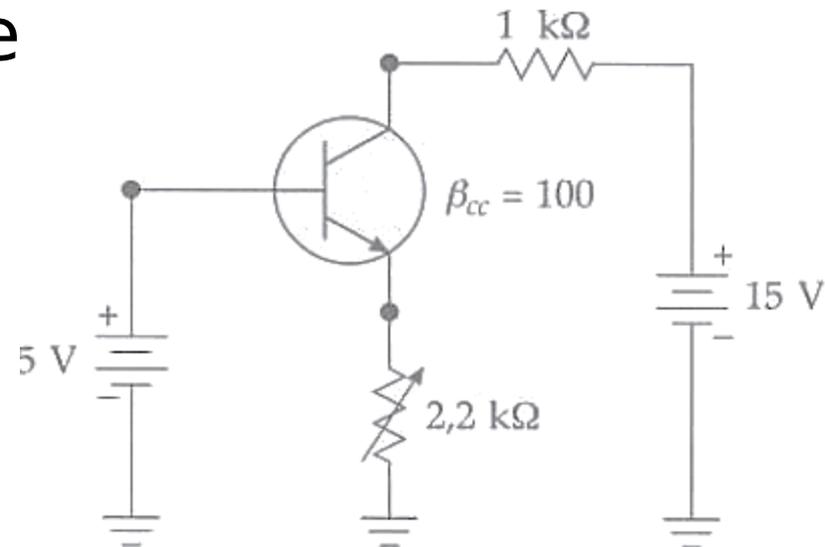
## Ponto Q

Seja o circuito abaixo.

$$V_E = 5 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 4,3 \text{ V}$$

Pela lei de Ohm encontra-se

$$I_E = \frac{4,3 \text{ V}}{2,2 \text{ k}\Omega} = 1,95 \text{ mA}$$

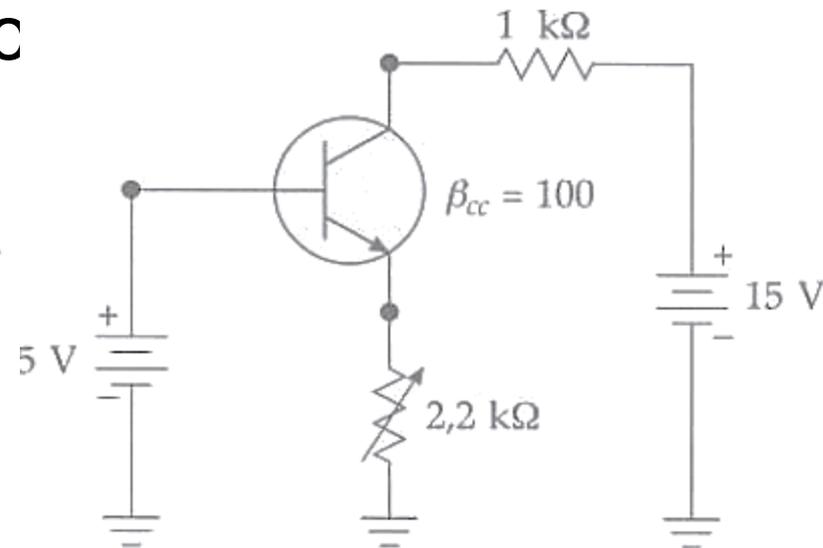


# Polarização do Emissor

Essa é “praticamente” a mesma corrente que circula pelo coletor de modo que a queda de tensão no resistor de  $1\text{k}\Omega$  é de  $1,95\text{V}$ .

Calcula-se  $V_C$  subtraindo essa queda de tensão da tensão  $V_{CC}$  da  $f_c$

$$V_C = 15\text{ V} - (1,95\text{ mA})(1\text{ k}\Omega) = 13,1\text{ V}$$



# Polarização do Emissor

A tensão  $V_{CE}$  é obtida subtraindo-se  $V_C$  de  $V_E$  pois agora o emissor não está mais aterrado.

$$V_{CE} = 13,1 \text{ V} - 4,3 \text{ V} = 8,8 \text{ V}$$

Então as coordenadas do ponto Q desse transistor são:  $I_C = 1,95 \text{ mA}$  e  $V_{CE} = 8,8 \text{ V}$ .

# Polarização do Emissor

Nos cálculos feitos não utilizamos em nenhum momento o  $\beta_{CC}$ . Ele não afeta mais tanto o  $V_{CE}$ . Agora a tensão  $V_{BB}$  estabelece uma **corrente fixa no emissor** em vez da base e o valor dessa corrente e da corrente  $I_C$  não mais depende tanto do ganho quanto no cálculo de  $I_B$  visto nas polarizações anteriores.

Veja por quê:

# Polarização do Emissor

Sabe-se que:  $I_E = I_C + I_B$

Onde  $I_B$  pode ser substituída por:

$$I_E = I_C + \frac{I_C}{\beta_{cc}}$$

Colocando em função de  $I_E$  tem-se:

$$I_C = \frac{\beta_{cc}}{\beta_{cc} + 1} I_E$$

Onde o multiplicador de  $I_E$  é um **fator de correção**.

# Polarização do Emissor

Se no exemplo anterior onde obteve-se  $\beta_{CC}=20$  para  $I_{C(sat)}$  continuássemos a aumentar  $I_B$  (diminuindo a resistência  $R_B$  por exemplo para  $50k\Omega$ ):

Se supormos que  $\beta=100$  temos:

$$\frac{\beta_{CC}}{\beta_{CC} + 1} = \frac{100}{100 + 1} = 0,99$$

De modo que:

$$I_C = 0,99 \cdot I_E$$

Com tal semelhança, desde que o projeto não seja muito preciso podemos fazer:  $I_C = I_E$

# Resumindo...

Vimos que os circuito com polarização da base (emissor comum) estabelecem **corrente de base fixa**.

Circuito com polarização do emissor estabelecem **corrente fixa no emissor**.

O  $\beta_{CC}$  varia com o transistor usado, temperatura e  $I_C$  de modo que toda essa variação faz com que:

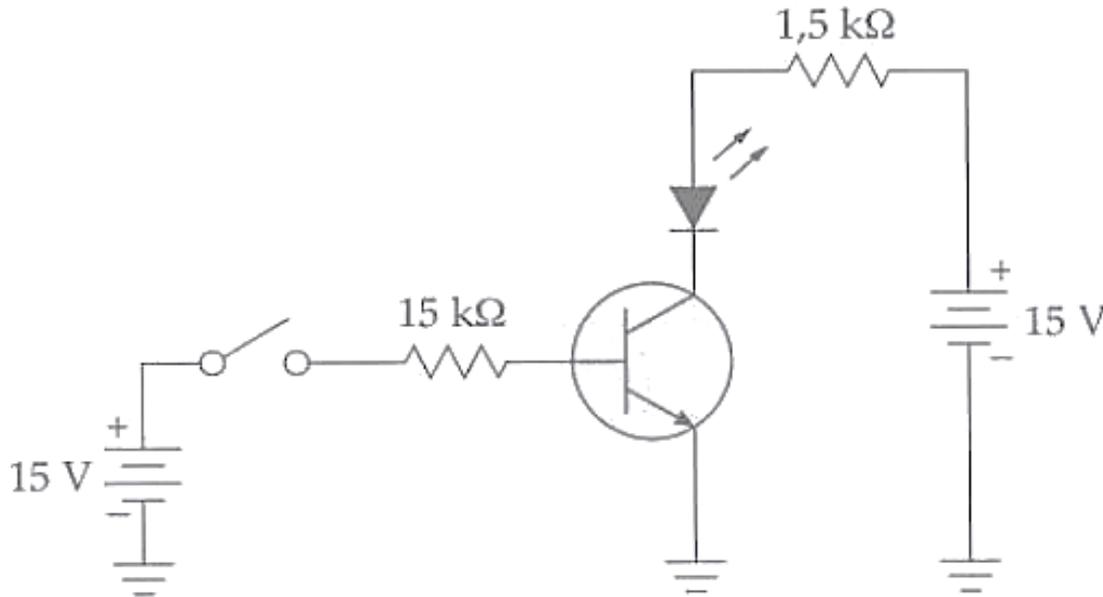
# Resumindo...

- Circuitos de polarização de base: projetados para serem usados como chave (entre as regiões de saturação e corte) por existir grande variação do ponto Q.
- Circuitos de polarização de emissor: projetados para serem operados na região ativa por ter pouca variação do ponto Q ( $I_C \approx I_E$ ).

# Acionadores de LED

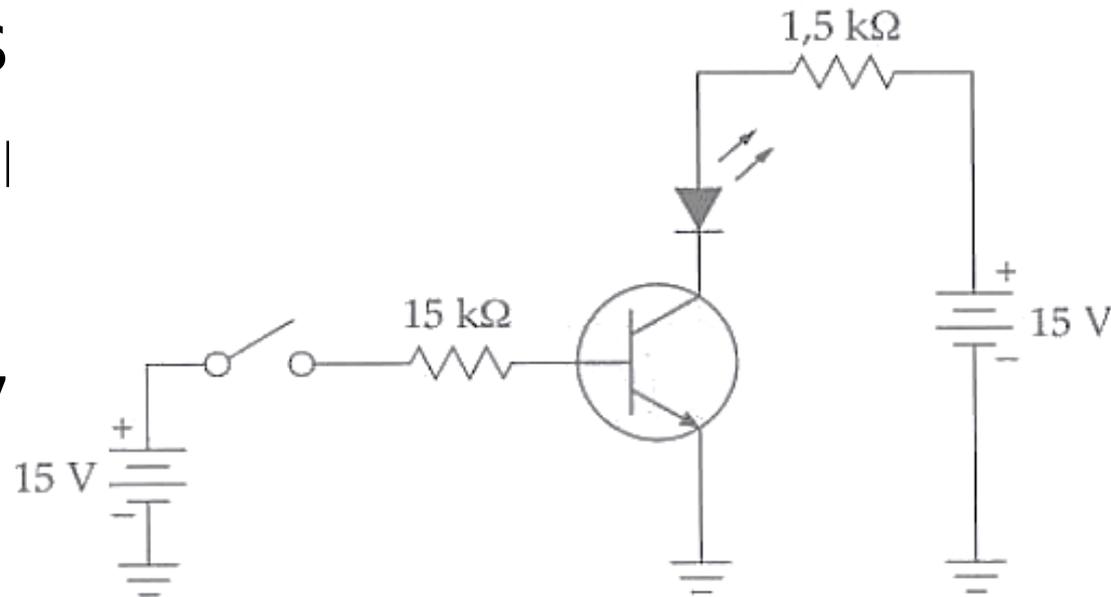
## Acionador de LED com Polarização da Base

No circuito abaixo o transistor se encontra em corte com a chave aberta. Nesse momento o LED não se acende pois, não há corrente no coletor.



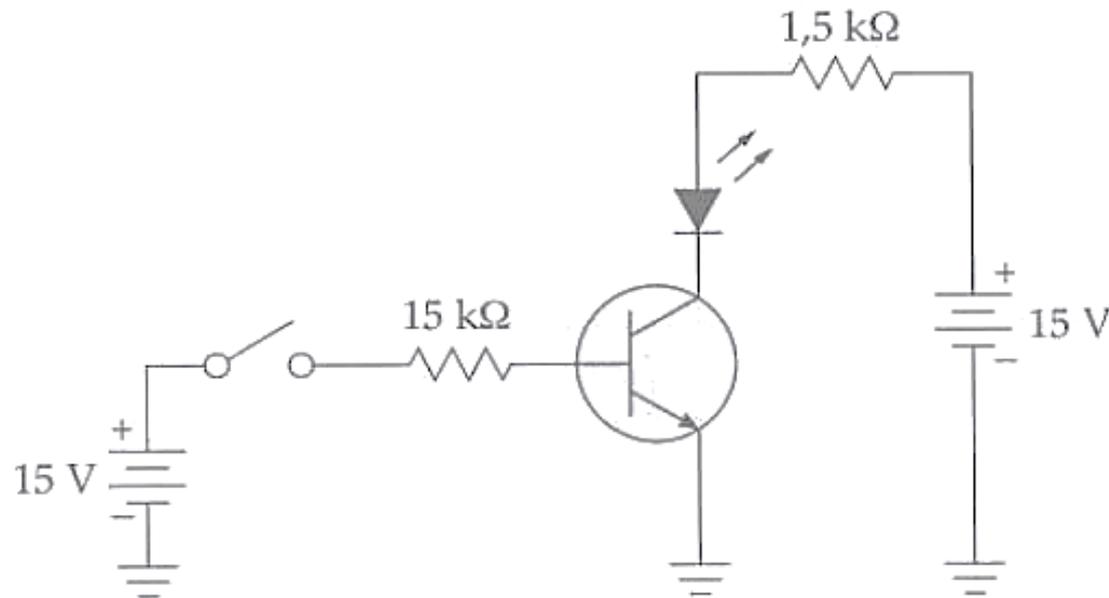
# Acionadores de LED

Fechando-se a chave, o transistor entrará em saturação forte (ver relação de resistores) de modo que  $V_{CE}=0$  V e os 15V do  $V_{CC}$  cairão sobre o  $R_C$  e o LED (aces sobram 13V sob resultam numa corrente  $I_C=8,67$



# Acionadores de LED

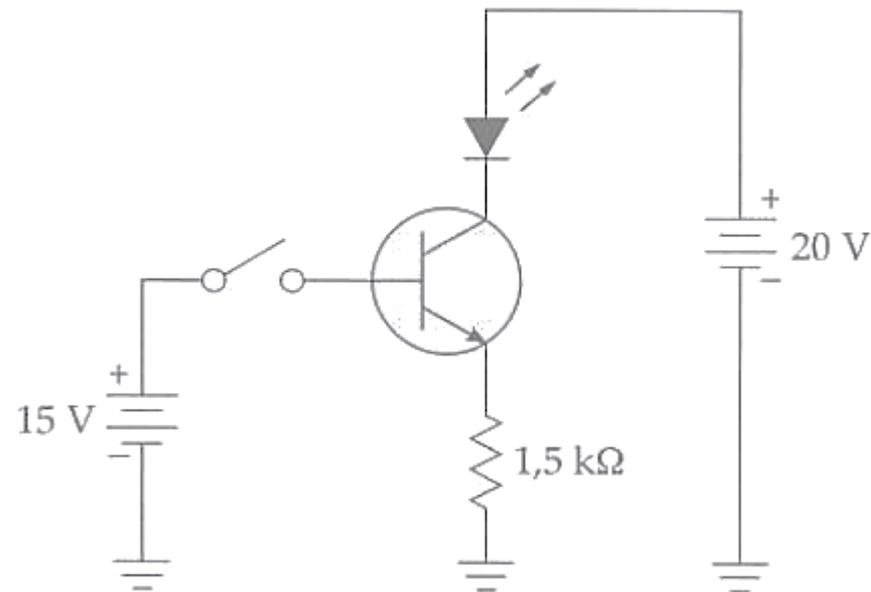
Para controlar a corrente sobre o LED basta alterar o valor de  $R_C$  e/ou o de  $V_{CC}$ .



# Acionadores de LED

## Acionador de LED com Polarização do Emissor

Na figura abaixo a corrente  $I_E$  é zero significando transistor em corte. LED apagado. Fechando a chave a tensão no emissor vai para 14,3V resultando em  $I_E = 9,5\text{mA}$ .



# Acionadores de LED

Nesse circuito não importa a queda de tensão do LED, a corrente por ele sempre será a mesma e vale  $I_E$ .

Nesse circuito também não é necessário o resistor de coletor.

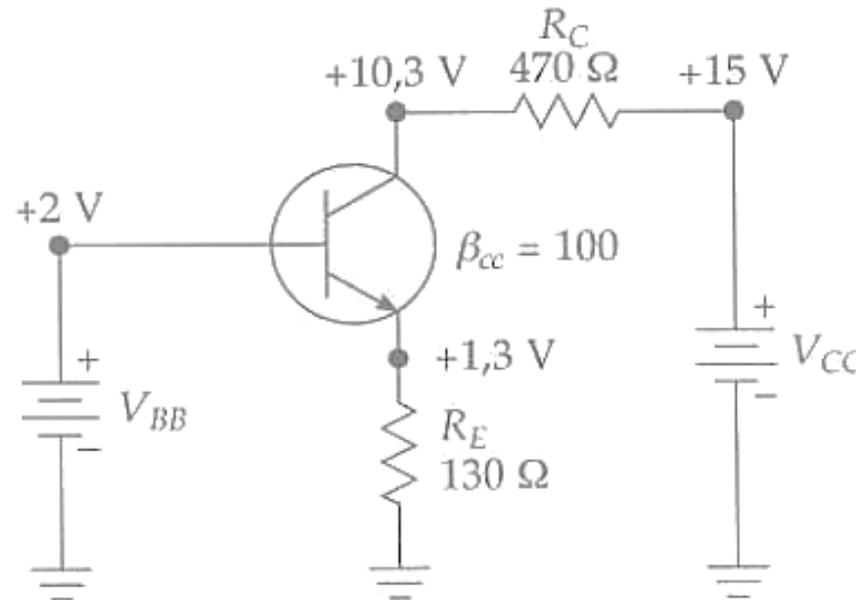
O circuito opera na região ativa quando a chave é fechada e em corte com a chave aberta.

Para alterar a corrente sobre o LED, basta alterar  $R_E$  e/ou  $V_{BB}$ .

# Efeito das Variações

Para o circuito abaixo tem-se as seguintes variáveis **independentes** que são os valores do circuito:

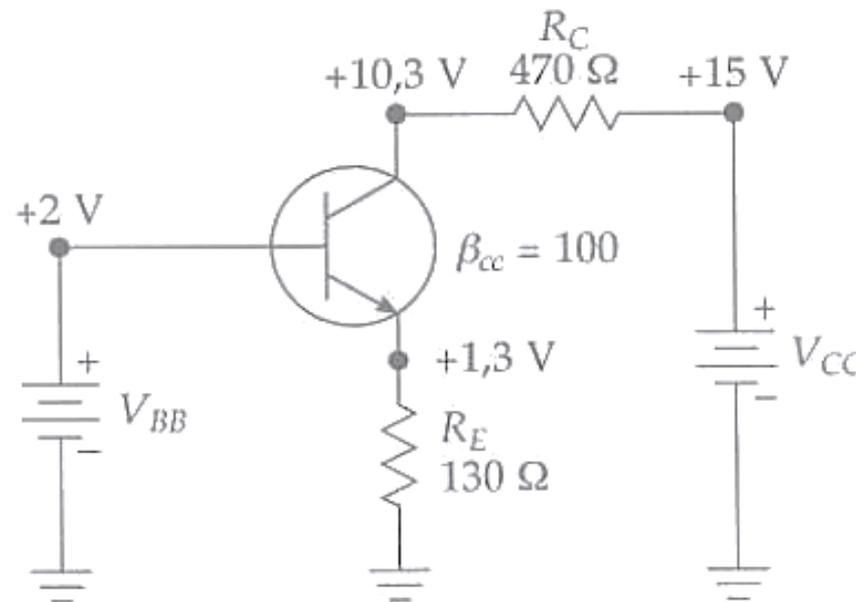
$$V_{BB} = 2\text{ V} \quad V_{CC} = 15\text{ V} \quad R_E = 130\ \Omega \quad R_C = 470\ \Omega \quad \beta_{cc} = 100$$



# Efeito das Variações

Para esse mesmo circuito temos as variáveis **dependentes** as quais mudam com a variação de uma variável **independente**.

$$V_E = 1,3 \text{ V} \quad V_C = 10,3 \text{ V} \quad I_B = 99 \mu\text{A} \quad I_C = 9,9 \text{ mA} \quad I_E = 10 \text{ mA}$$



# Efeito das Variações

Seja o código:

P => permanece o mesmo;

A => aumenta;

D => diminui;

A tabela a seguir mostra uma análise variacional das variáveis dependentes de acordo com a variação das variáveis independentes.

# Efeito das Variações

	$V_E$	$I_E$	$I_B$	$I_C$	$V_C$	$V_{CE}$
$V_{BB}$ aumenta	A	A	A	A	D	D
$V_{CC}$ aumenta	P	P	P	P	A	A
$R_E$ aumenta	P	D	D	D	A	A
$R_C$ aumenta	P	P	P	P	D	D
$\beta_{cc}$ aumenta	P	P	D	P	P	P

Faça a análise você mesmo para cada linha e veja se sua compreensão do transistor está correta.

Ex.:  $V_{BB}$  ou  $V_{CC}$  diminuindo.