



## **Laboratório de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos – 2017/02**

### **Experiência Nº 05: TJBs - caracterização e ganho de emissor comum**

#### **I - Objetivos**

O objetivo deste experimento é o estudo de transistores de junção bipolar (TJB). Em particular, serão realizadas medidas para a obtenção das curvas características  $I_C - V_{CE}$  e  $I_C - V_{BE}$  de um TJB.

Antes de começarem a preparar o pré-relatório, sugiro **fortemente** que assistam a esta excelente aula do prof. Adson Rocha, do ENE, sobre o TJB: <https://youtu.be/g7FWZ32JBPK>. Vejam que, no fundo, o funcionamento de um TJB pode ser analisado, aproximadamente, a partir de 2 diodos em série, como mostrado no vídeo. Não há desculpa para dizer que “não viram na teoria”! Mais informações da teoria encontram-se também no livro texto da disciplina. Em outras palavras, a responsabilidade de “ver na teoria” depende da iniciativa de vocês.

Outros links úteis acerca do transistores de junção bipolar a serem utilizados neste experimento podem ser encontradas em:

- Datasheet do TJB BC548: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf>
- Datasheet do TJB TIP31: <http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/343/TIP31-pdf.php>
- Cutri, Rodrigo. **PSpice: Simulação de circuitos analógicos e digitais. Guia passo-a-passo.** Apostila sobre o uso do PSpice para a simulação de circuitos. Veja o exemplo do item 2.5, que explica como obter no PSpice a curva característica de um transistor de junção. Disponível em: <[http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE640/Material%20Auxiliar/PSpice\\_Guia\\_Passo\\_a\\_Passo.pdf](http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE640/Material%20Auxiliar/PSpice_Guia_Passo_a_Passo.pdf)>
- Najmabadi, F. **Bipolar-Junction (BJT) transistors.** Notas de aula sobre transistores de junção bipolar do curso ECE65, da Universidade da Califórnia, San Diego, semestre de inverno de 2006. Disponível em: <<http://aries.ucsd.edu/NAJMABADI/CLASS/ECE65/06-W/NOTES/BJT1.pdf>> Veja as sugestões de análise de circuitos com TJBs.

#### **II – Preparação para o laboratório**

**Sugestão de leitura prévia:** Para responder às perguntas propostas, consulte o capítulo do livro texto referente a transistores, além dos datasheets dos diodos e das apostilas sugeridas acima.

#### **Pré-relatório - INDIVIDUAL**

O pré-relatório consistirá na resposta a perguntas propostas ao longo do texto. Suas respostas serão baseadas na leitura do livro texto, das apostilas sugeridas e de outras fontes que encontrarem, **mas não devem ser diretamente copiadas de nenhuma fonte**. Isso é considerado plágio e é muito sério. Leia este post na página do curso de Laboratório de Circuitos 1:

<https://sites.google.com/site/labcircuitos1unb/classroom-news/introducaoteoricacuidadocomplagio>

Este roteiro foi preparado com base no texto e figuras do capítulo sobre Transistores Bipolares de Junção (TBJ) do livro do Sedra e Smith de Microeletrônica, listado no plano de ensino do curso.

Um transistor de junção bipolar é formado pela junção de três seções de semicondutores com diferentes dopagens. A seção intermediária é normalmente bem mais estreita e uma das outras regiões costuma ser bem mais dopada (emissor). O transistor pode ser PNP ou NPN, como ilustrado na figura 1.

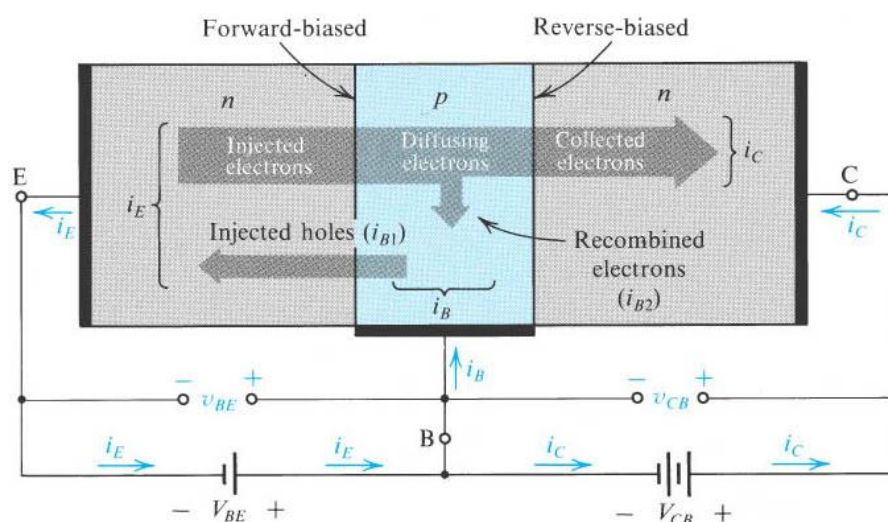


**Figura 1:** Estruturas ilustrativas e símbolo de circuito para transistores NPN e PNP.

1. (0,5 pt) Consulte o datasheet do transistor BC548. Este é um transistor NPN ou PNP?
2. (0,5 pt) Consulte o datasheet do transistor TIP31. Este é um transistor NPN ou PNP?
3. (1,5 pt) O roteiro pede para, no experimento 1, utilizar o transistor BC548 ou equivalente. Compare o datasheet de cada um dos seguintes transistores e comente se são ou não equivalentes ao BC548:
  - (a) BC558;      (b) BC549;      (c) BC338.
 Justifique sucintamente sua resposta em cada caso, indicando as semelhanças e/ou as diferenças encontradas.
4. (0,5 pt) Os TJBs TIP31 e TIP32 podem ser considerados como equivalentes? Justifique sucintamente sua resposta.

A figura 2 mostra um transistor NPN polarizado para operar no modo ativo. Nestas condições, o responda as questões 5 a 7:

5. (0,5 pt) Neste circuito, a junção emissor-base está polarizada diretamente ou reversamente? Justifique sucintamente sua resposta.
6. (0,5 pt) Neste mesmo circuito, a junção coletor-base está diretamente ou reversamente polarizada? Justifique sucintamente sua resposta.
7. (1,0 pt) Porque se diz que, nestas condições, o transistor está operando no modo ativo? Em um transistor NPN, o fluxo de corrente se dá prioritariamente por elétrons ou lacunas? Explique sucintamente sua resposta.
8. (0,5 pt) Na região ativa, a tensão base-emissor determina a corrente de coletor. Explique sucintamente como isso acontece, em termos da polarização da junção base-emissor.



**Figura 2:** Fluxo de corrente em um transistor NPN polarizado para operar no modo ativo. (As componentes das correntes reversas devidas à deriva dos portadores minoritários gerados termicamente não estão mostrados.)

Observe que, nestas condições,  $i_E = i_C + i_B$ . A região ativa de operação é desejada em projetos de amplificadores. Um parâmetro muito útil é o **ganho de corrente de emissor comum**  $\beta_{DC}$ , definido como:

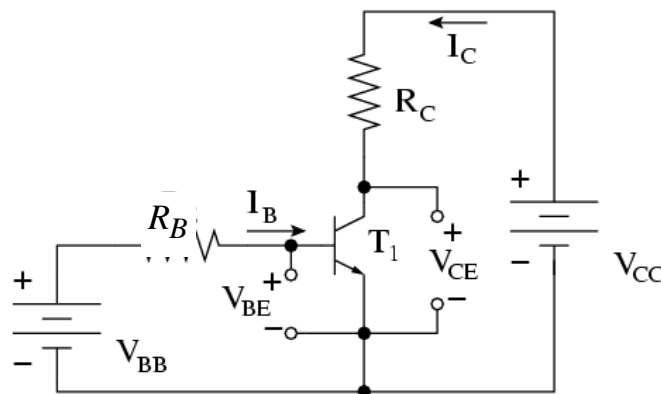
$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \gg 1,$$

onde  $\alpha = I_C / I_E$  é chamado de **ganho de corrente em base comum**.

Um valor típico para transistores NPN gerais é um valor de  $\beta_{DC}$  na faixa de 100 a 200, podendo eventualmente ser da ordem de 1000 para dispositivos especiais. Para  $\beta = 100$ , da equação anterior obtém-se que  $\alpha \approx 0,99$ . Como observado no livro texto, pequenas variações em  $\alpha$  correspondem a grandes variações em  $\beta$ .

O circuito a ser montado neste experimento está representado na Figura 3. Este circuito pode ser utilizado para a caracterização aproximada de transistores NPN de sinal. Considere que tanto  $V_{CC}$  como  $V_{BB}$  são fontes de tensão com valor positivo ou negativo. Dispondo de medições de  $R_E$ ,  $R_C$ ,  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $V_{CC}$  e  $V_{BB}$ , responda:

9. (1,0 pt) Determine as fórmulas literais para as correntes  $I_B$  e  $I_C$ , com base nas medições disponíveis.
10. (1,0 pt) Suponha que, em regra geral, a impedância de entrada de um voltímetro digital seja maior do que a impedância de entrada de um osciloscópio digital. Sabendo disso, dispondo apenas de um osciloscópio e de um voltímetro, qual desses instrumentos seria mais apropriado para medir  $V_{BE}$ ? E para medir  $V_{CE}$ ? Justifique sucintamente sua resposta.
11. (1,0 pt) Em um simulador de circuitos de sua escolha, como o PSpice (a versão de estudante é gratuita e facilmente encontrada na internet para download), calcule o ganho de emissor comum  $\beta$  de um transistor NPN. Utilize os valores das resistências e tensões indicadas na Experiência 2 da Parte Experimental.
12. (1,0 pt) Proponha um circuito similar para caracterizar transistores PNP.
13. (0,5 pt) Inclua as referências bibliográficas utilizadas.



**Figura 3:** Circuito de caracterização de transistores NPN.

Lembrem-se: o pré-relatório é individual. Questões respondidas “em grupo” terão sua pontuação devidamente descontadas.

As respostas a estas perguntas devem ser enviadas ao professor de laboratório por email, em arquivo **pdf**, com nome, matrícula, data, e título do experimento, com o enunciado das perguntas, além de suas respostas, **até as 23:59 do dia imediatamente anterior ao primeiro dia deste experimento.**

Pré-relatórios não recebidos até este prazo não serão considerados.

**Laboratório de Dispositivos e Circuitos Eletrônicos****Experiência Nº 05: TJBs – Caracterização e ganho de emissor comum - 2017/02**

Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Alunos: \_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Matrícula: \_\_\_\_\_

**III - Procedimento Experimental****Material necessário**

2 transistores BC548 ou equivalente

2 transistores TIP31 ou equivalente

1 resistor 10 K $\Omega$  / 0,25 W1 resistor 330  $\Omega$  / 0,25 W1 resistor 100  $\Omega$  / 0,25 W

Equipamentos: osciloscópio de dois canais, fonte de alimentação, multímetro digital

**Experiências**

**Experiência 1 (3,0 pts).** Monte o circuito da Figura 3, com  $R_B = 10\text{ K}\Omega$ ,  $R_C = 100\text{ }\Omega$  e  $T_1 = \text{BC548}$ . Faça com que  $V_{BB}$  assumam os seguintes valores: -2V, -1V, 0V, 0,5V, 1V, 2V, 3V ou 5V. Para cada valor de  $V_{BB}$ , faça  $V_{CC}$  igual a 0V, 5V, ou 10V. Assim, assumindo **todas as combinações possíveis** de  $V_{BB}$  e  $V_{CC}$ , construa uma tabela de medições de  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_B$  e  $I_C$ . **Mostre a tabela obtida ao professor/monitor.**

**Importante:** Costuma ser mais conveniente e, às vezes, mais preciso a determinação das correntes do circuito medindo-se as tensões nos terminais dos resistores e utilizando a lei de Ohm. **Assim, antes de começar a montar o circuito, meça com um ohmímetro o valor real das resistências que estão sendo utilizadas, com a maior precisão possível. Não utilize, em hipótese alguma, o amperímetro para medição das correntes!**

**Sugestões:** (i) Meça  $V_{BE}$  com um voltímetro digital e  $V_{CE}$  com um osciloscópio. (ii) Use as fórmulas obtidas na questão 9 do pré-relatório para determinar  $I_B$  e  $I_C$ . (iii) Meça  $R_E$  e  $R_C$  com um ohmímetro para melhor estimar  $I_B$  e  $I_C$ .

**Experiência 2 (2,0 pts).** Considere o circuito da Figura 3 com  $R_B = 10\text{ K}\Omega$ ,  $R_C = 330\text{ }\Omega$  e  $V_{CC} = 10\text{V}$ . Responda:

(a) Para dois transistores  $T_1 = \text{BC548}$  distintos, faça medições de  $I_B$  e  $I_C$  através das tensões sobre as resistências. **Para cada transistor, a tensão  $V_{BB}$  deve ser ajustada de forma que  $V_{CE}$  seja igual a 5V.**

(b) Repita o item anterior para dois transistores  $T_1 = \text{TIP31}$  distintos. **Mostre o funcionamento do circuito ao professor/monitor.** Siga as mesmas sugestões mencionadas no item anterior.

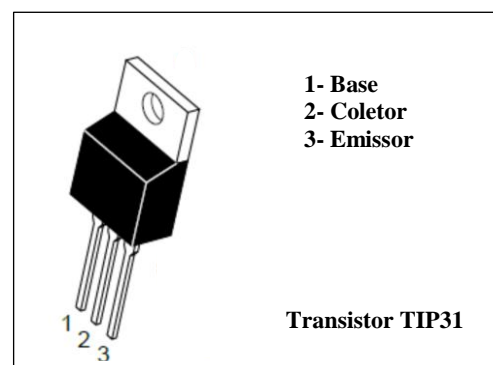
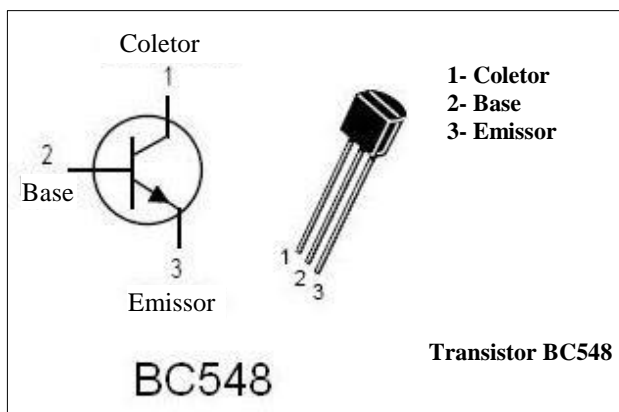
## Questões experimentais e discussão

**Questão 1(4,0 pts).** Construa dois gráficos distintos a partir dos dados obtidos na Experiência 1:  $I_C \times V_{BE}$ , com uma curva para cada valor de  $V_{CC}$ , e  $I_C \times V_{CE}$ , com uma curva para cada valor de  $V_{BB}$ . Ilustre nos gráficos em quais regiões de operação se encontra o transistor. Comente as figuras obtidas, descrevendo sucintamente a influência das tensões  $V_{BE}$ ,  $V_{CE}$ ,  $V_{BB}$  e  $V_{CC}$  sobre  $I_C$ .

**Questão 2 (1,0 pts).** Estime  $\beta$  a partir das medições de  $I_B$  e  $I_C$  obtidas na Experiência 2 para os transistores BC548 e TIP31. O que você observa com respeito à variabilidade das estimativas? Comente acerca das semelhanças/discrepâncias entre valores de  $\beta$  obtidos com dados experimentais e com os dados simulados (questão 11 do pré-relatório).

Lembre-se de apresentar os resultados, explicando sucintamente os passos seguidos no experimento. Sempre comente em seu relatório quaisquer ajustes necessários e outros comentários importantes para explicar os seus resultados obtidos e conclusões tomadas.

## Encapsulamentos



Utilize folhas avulsas para as curvas e explicações solicitadas, com as respostas a cada questão devidamente numeradas e na ordem em que foram feitas.

Lembre-se de colocar o nome e a matrícula de cada componente do grupo, além da turma.