

## Experiência 4 TRANSISTOR BIPOLAR

**Equation Chapter 4 Section 1** Esta experiência aborda o funcionamento do transistor de junção bipolar.

- Estude a apostila, faça os **exercícios** e tire dúvidas com os professores com antecedência.
- **Traga** para a aula a Parte B (Prática) **impressa em papel**.
- Haverá uma **prova escrita** no início da aula. **Chegue pelo menos 10 minutos antes**.

**REVISE** os tópicos a seguir:

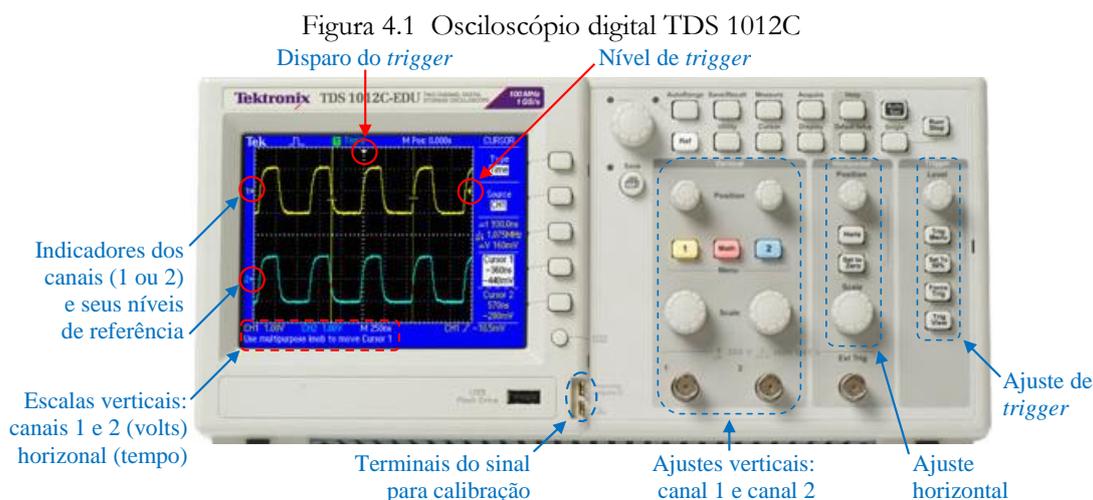
- Circuito emissor comum com transistor NPN (apostila C06)
- Circuito de acionamento de led com transistor NPN (apostila C06)
- Amplificador classe A (apostila C07)

**DATASHEET:** consulte também o *datasheet* do transistor 2N2222, disponível em anexo.

### PARTE A MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 Osciloscópio Digital

A Figura 4.1 mostra os principais indicadores do painel do osciloscópio digital TDS 1012C.



**REVISE** os seguintes tópicos na apostila da experiência anterior:

- Seleção, ajuste e atenuação dos canais 1 e 2.
- Diferença e uso do acoplamento AC e DC.
- Funcionamento do sistema de *trigger*.
- Calibração das pontas de prova
- Recomendações e cuidados, principalmente com relação aos pontos de terra.

#### 4.2 Fonte Tripla de Tensão

A Figura 4.2 mostra o painel frontal da fonte de tensão Minipa MPC-3003D e seus principais elementos. Pode-se dizer que ela é composta por três fontes independentes.

- **Saídas Variáveis:** as duas saídas indicadas por  $V_N$  e  $V_P$  fornecem tensões variáveis, ou seja, com valor de tensão e limite de corrente de saída ajustáveis.
- **Saída Fixa de 5 V:** a terceira saída fornece 5 V de tensão, também chamada de *saída TTL*.

Figura 4.2 Fonte de tensão Minipa MPC-3003D



### 4.2.1 Saídas Isoladas

As três saídas são *isoladas*, o que significa que os bornes negativos (pretos) de cada conjunto não estão eletricamente interligados (*não estão em curto*), o mesmo acontece com os bornes positivos (vermelhos). A Figura 4.3 ilustra a correspondências entre os bornes das saídas com três fontes de tensão separadas.

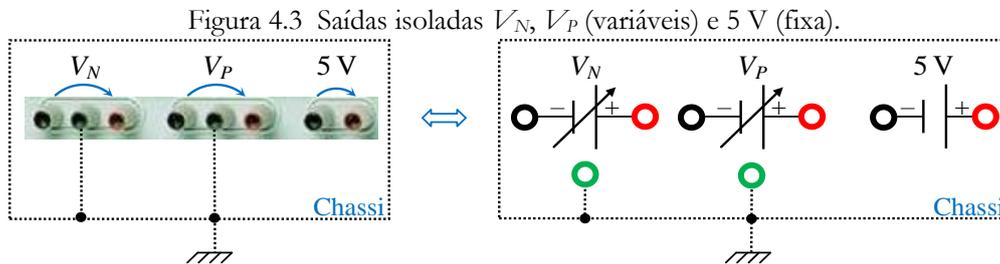


Figura 4.3 Saídas isoladas  $V_N$ ,  $V_P$  (variáveis) e 5 V (fixa).

- **Chassi e Aterramento:** os bornes verdes (centrais) das saídas variáveis estão conectados ao chassi da fonte, representado na Figura 4.3 pelo símbolo “ $\equiv$ ”. Por sua vez, o chassi está ligado ao pino de aterramento (terceiro pino) do cabo de alimentação do equipamento.

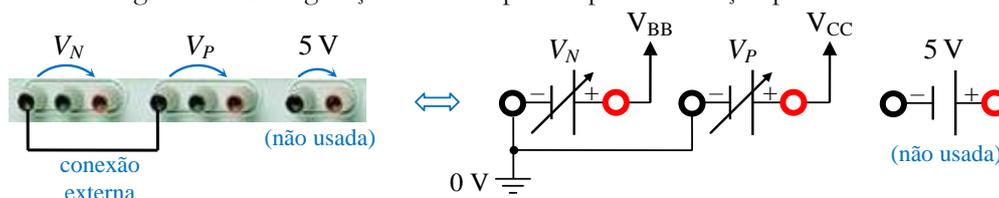
**LEMBRE-SE:** o aterramento *não é* a mesma coisa que o *terra* do seu circuito. O *aterramento* faz parte da malha de proteção elétrica do prédio, enquanto que o *terra* (ou *GND*) é o ponto do circuito adotado como referencial para medidas de tensão (ao qual se atribui tensão nula).

Por serem isoladas, as saídas podem alimentar partes diferentes de um mesmo circuito livremente. No entanto, na prática é mais comum interconectar as saídas para se ter tensões relativas umas às outras.

#### Exemplo 4.1 Fonte positiva dupla.

Nesta experiência, precisaremos de duas tensões positivas (a fonte fixa de 5 V não será usada). Como mostra a Figura 4.4, os terminais negativos devem ser interligados para que as duas saídas variáveis tenham o mesmo referencial, e que será adotado como *terra* do circuito.

Figura 4.4 Configuração da fonte para dupla alimentação positiva.



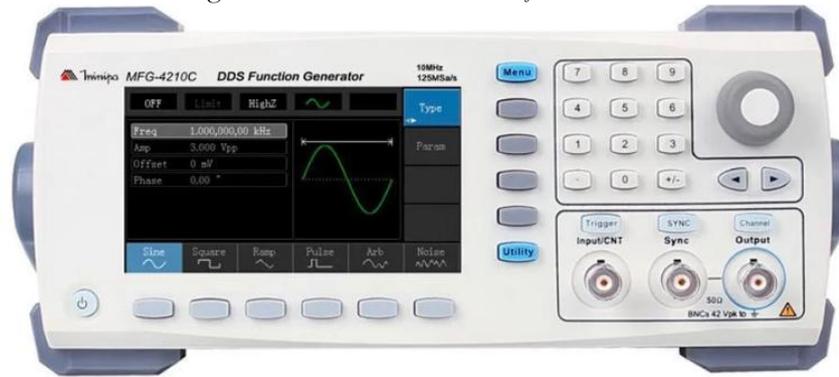
Fontes negativa, positiva e fixa.

A Figura 4.5 mostra uma configuração muito usada.

- A saída da esquerda fornece tensões negativas ( $-V_N$ );
- A saída do meio, tensões positivas ( $+V_P$ );
- A saída fixa fornece 5 V de tensão.



Figura 4.6 Gerador de Funções FG-8102



## 4.4 Transistor 2N2222

Nesta experiência utilizaremos o transistor NPN 2N2222, com encapsulamento metálico padrão TO18, que confere robustez e boa dissipação de potência. A Figura 4.7 mostra alguns detalhes.

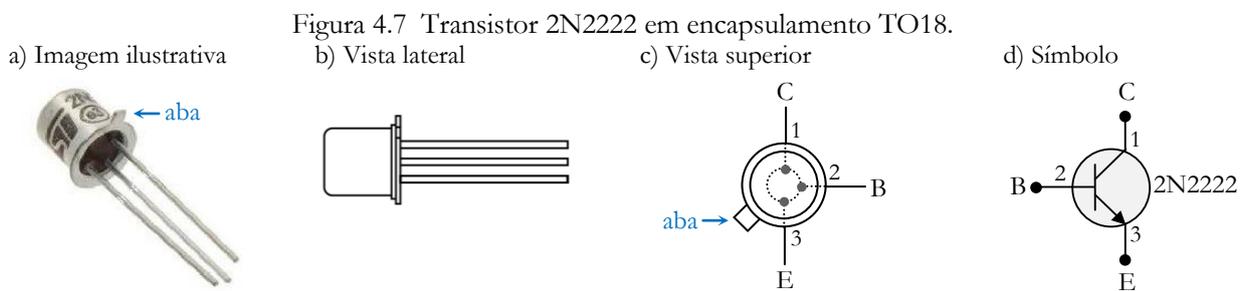
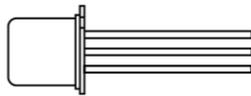


Figura 4.7 Transistor 2N2222 em encapsulamento TO18.

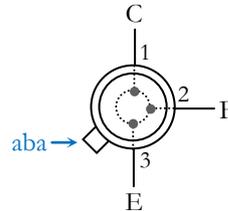
a) Imagem ilustrativa



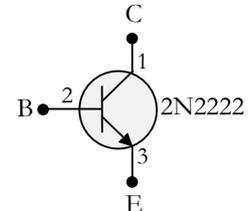
b) Vista lateral



c) Vista superior



d) Símbolo



O invólucro metálico possui uma pequena aba metálica na base, que fica próximo do pino 3 (emissor). Para montar o transistor no circuito, guie-se por ela.

Vamos precisar de alguns parâmetros que se encontram no *datasheet* em anexo. Vamos adotar os valores tabelados para a condição mais próxima da operação dos circuitos que montaremos. Ou seja,

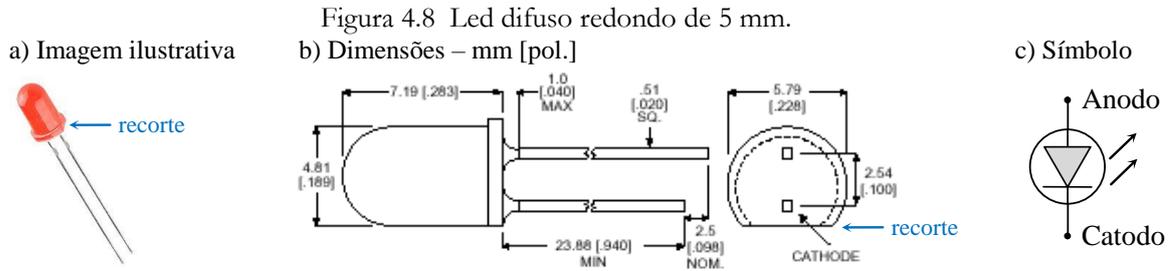
- o Corrente de coletor  $I_C$  da ordem de 10 mA; e
- o Tensão coletor-emissor  $V_{CE}$  de 10 V.
- o Temperatura do encapsulamento ( $T_{case}$ ) de 25 °C.

Como esses parâmetros serão usados para estimar algumas correntes e tensões do circuito (fazer continhas), podemos também adotar números aproximados, tomando os valores das tabelas como referência de ordem de grandeza.

- **Tensão coletor-emissor de saturação** ( $V_{CEsat}$ ): a condição  $I_C = 150$  mA e  $I_B = 15$  mA da tabela corresponde a uma forte saturação (ganho de corrente forçado de apenas 10 vezes), mas é mais próxima que a outra disponível. Vamos adotar  $V_{CEsat} = 0,3$  V, mas como é um limite máximo, provavelmente será menor.
- **Tensão base-emissor de saturação** ( $V_{BEsat}$ ): na mesma condição anterior ( $I_C = 150$  mA e  $I_B = 15$  mA), o valor mínimo é de 0,6 V. Como nos nossos circuitos essas corrente serão bem menores, vamos adotar  $V_{BEsat} = 0,6$  V.
- **Ganho de Corrente** ( $\beta$  ou  $h_{FE}$ ): vai de 75 a 300 A/A; vamos adotar  $\beta = 200$ .

## 4.5 Diodo Emissor de Luz

Usaremos um *led* (*Light Emission Diode*) de 5 mm, de lente plástica redonda e emissão luminosa difusa. São leds de baixo custo, com baixa eficiência luminosa, muito usados em sinalização de painéis. A Figura 4.8 mostra alguns detalhes do led.

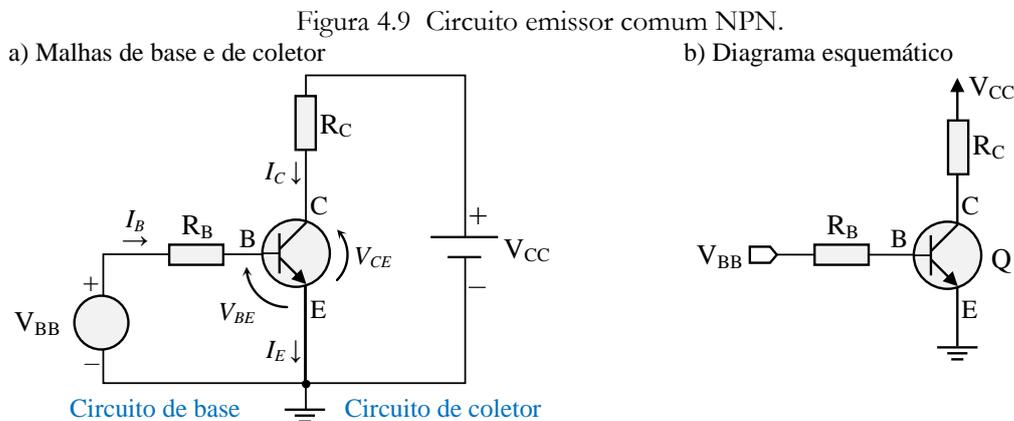


A lente plástica tem um recorte lateral para indicar o lado do terminal de catodo (negativo).

Usaremos um led vermelho, comprimento de onda de 615 a 625 nm, feitos de arsenieto de gálio (GaAs). Para que acendam com razoável brilho, devem conduzir entre 10 a 20 mA de corrente direta. A tensão de condução direta ( $V_F$ ) é de 1,8 a 2 V.

### 4.6 Transistor NPN e Circuito Emissor Comum

A Figura 4.9 mostra o primeiro circuito a ser montado e testado nesta experiência.

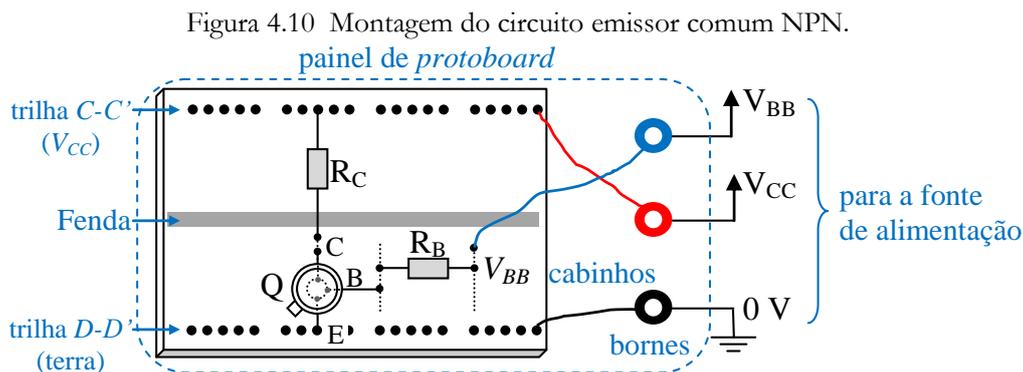


O transistor Q será o 2N2222. Para o projeto do circuito, foram adotados os parâmetros  $\beta$ ,  $V_{CEsat}$  e  $V_{BEsat}$  descritos anteriormente (seção 4.4).

Os resistores serão:  $R_B = 39 \text{ k}\Omega$  (ou 39k) e  $R_C = 470 \Omega$  (ou 470R), ambos de 5% de precisão e 1/4 W de potência.

A tensão de alimentação  $V_{CC}$  será de 12 V e a tensão do circuito de base  $V_{BB}$  será variada para observar o comportamento do transistor. Essas tensões serão fornecidas pelas saídas variáveis da fonte Minipa MPC-3003D. Para tanto, elas devem ser conectadas conforme descrito no Exemplo 4.1 (seção 4.2.1), em modo independente (os dois botões “Tracking” devem ficar desapertados).

A Figura 4.10 mostra como montar o circuito no *proto-board*. Repare que o circuito de base vai ficar à direita do transistor (Q). Olhando o transistor de cima, a aba metálica ficará na posição mostrada na figura (entre “6 e 9 horas”), com a base (B) no meio, o coletor (C) acima e o emissor (E) abaixo. Visualmente o circuito ficará semelhante ao diagrama, mas espelhado.



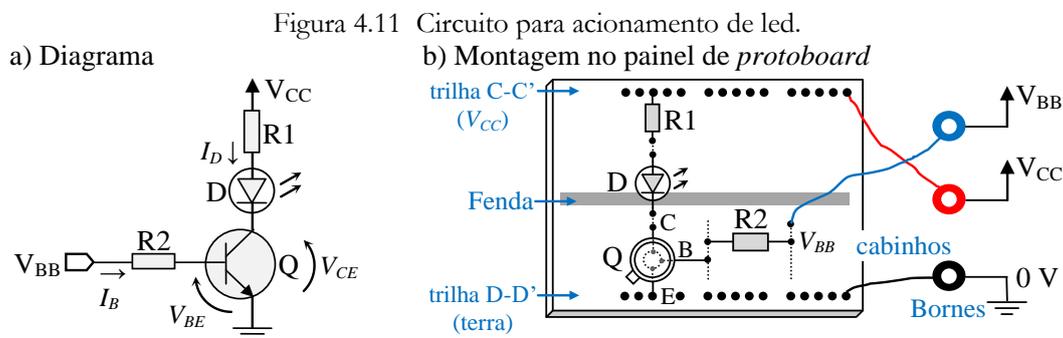
Para reduzir o uso de cabinhos, aproveitaremos os próprios terminais metálicos dos componentes para fazer as conexões, mas é preciso saber claramente quais trilhas do *protoboard* estão em curto e quais não estão. Por exemplo:

- O terminal de emissor (E) está inserido num furo da trilha de terra (D-D'), e *não* na mesma trilha vertical em que está o terminal de coletor (C), para que não fiquem em curto.
- O terminal do coletor e o inferior do resistor  $R_C$  estão em furos da mesma trilha vertical para que fiquem em contato.

Convém que você posicione o painel de *protoboard* com o lado dos bornes de conexão voltado para a sua direita. Use cabinhos de cores diferentes para fazer as conexões entre os bornes e o circuito: vermelho para  $V_{CC}$ , preto para o terra (0 V), e outra cor para  $V_{BB}$ .

## 4.7 Acionamento de Led

Vamos aproveitar o circuito anterior para acender um led por meio da tensão  $V_{BB}$ . A Figura 4.11 mostra o diagrama esquemático do circuito final e a forma de montá-lo no *protoboard*.



O transistor Q (2N2222) e a tensão de alimentação  $V_{CC}$  (12 V) foram mantidas.

O diodo D é um led vermelho difuso de 5 mm, descrito anteriormente. A corrente nominal de acionamento é de 20 mA, com tensão nominal de 2 V.

O circuito deve deixar o transistor Q em *saturação fraca* (corrente de base  $I_B$  cinco vezes maior que a corrente de limiar de saturação) e acender o led com  $V_{BB}$  igual a 5 V.

Devido a essas especificações, juntamente com os parâmetros  $\beta$ ,  $V_{CEsat}$  e  $V_{BEsat}$  do transistor dados na seção 4.4, os resistores são:  $R_1 = 470 \Omega$  (ou 470R) e  $R_2 = 8,2 \text{ k}\Omega$  (8k2), ambos de 5% e 1/4 W.

## 4.8 Amplificador Classe A

A Figura 4.12 mostra o circuito completo do amplificador, que será montado e testado por partes.

Figura 4.12 Amplificador NPN classe A de pequenos sinais.

