



F 609 – Tópicos do Ensino de Física I

Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

Aluno: Renata Navarro Altemari

Orientador: Prof. Dr. Flávio Guimarães Gandra

Projeto: Transistor – Função Chave

Descrição e Objetivo

O trabalho a ser realizado na Disciplina F 609 – Tópicos do Ensino de Física I, sob cuidados do Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi e será feito sob orientação do Prof. Dr. Flávio Guimarães Gandra.

O presente trabalho consiste em montar um circuito para que possa ser exposto em uma loja de componentes eletrônicos, de forma que possa ser mostrado interativamente o funcionamento de um transistor como chave. O objetivo do circuito é demonstrar que um transistor pode ser usado como chave, de forma que havendo luz no LDR (Light Dependent Resistor) o LED acenda e quando houver ausência de luz no LDR, o LED não acenda. Para isto, projetaremos um circuito que o público possa interagir e observar a variação de resistência com componentes simples.

Importância Didática

A importância do projeto se deve ao fato de muito pouco se aprender sobre transistor e suas funções. Com um circuito simples, conseguimos mostrar uma importante operação de um circuito utilizando transistor. Conseguiremos demonstrar, através de maneira interativa, em lojas, escolas e exposições.

Conseguimos que o público-alvo consiga observar a variação da resistência do circuito mudando com a iluminação e a ausência de iluminação do LDR.

Originalidade

O projeto não foi realizado na disciplina F 609 em anos anteriores e não há relatos deste tipo de projeto interativo em lojas, porém este tipo de projeto já foi realizado anteriormente em outras disciplinas do curso de física.

Material Utilizado

- Fonte de tensão
- Transistores
- LDR (Light Dependent Resistor)
- Resistores
- Fios
- Multímetro

Anuência do Orientador

Meu orientador, Prof. Dr. Flávio Gandra, concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários, a menos de exceções indicadas abaixo.

Exceções: O material será emprestado para exposição e posteriormente será necessário o retorno ao laboratório.

Sigilo: Não há.

Teoria

Condutor e Semi-Condutor

A diferença de comportamento entre um condutor e um semi-condutor pode ser entendida da seguinte forma: os elétrons de cada átomo vão preenchendo camadas denominadas por letras K, L, M, N, etc. ao redor do núcleo. A última camada, que pode ser semi-preenchida, é denominada de camada de valência. Ao formar a rede cristalina, o átomo forma ligações covalentes compartilhando os elétrons da banda de valência (ou camada de valência) com os vizinhos. Os átomos de C, Si, Ge, Sn e Pb, por exemplo, possuem 4 elétrons na camada de valência e a sua rede cristalina pode ser representada como:

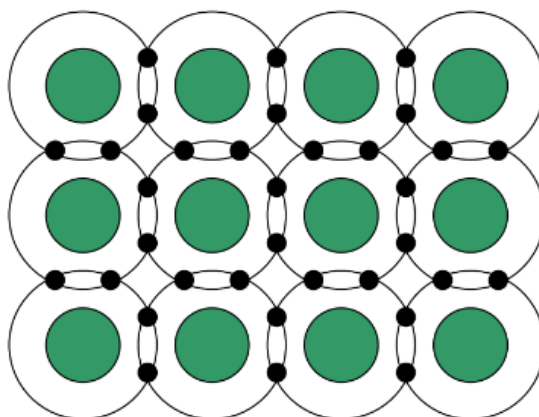


Figura 1: Rede cristalina de átomos com 4 elétrons na camada de valência.

onde o verde representa o “core” (núcleo e camadas mais internas) e o círculo mais externo a camada de valência. As camadas de valência podem ter no máximo 8 elétrons, mas especificamente para estes elementos elas têm 4. Ao formar a rede, estes elétrons são compartilhados formando as ligações e são representadas na Figura 1 pelos pontos pretos. No caso da Figura 1, todos os 4 elétrons de valência mais os compartilhados estão na banda de valência mas na realidade, esta situação só seria válida em zero absoluto.

Fazendo uma representação de bandas de energia ao invés de camadas K, L, M, N, et.c, teríamos uma situação como apresentada a seguir, Figura 2, representados por isolante, semi-condutor e condutor, respectivamente.

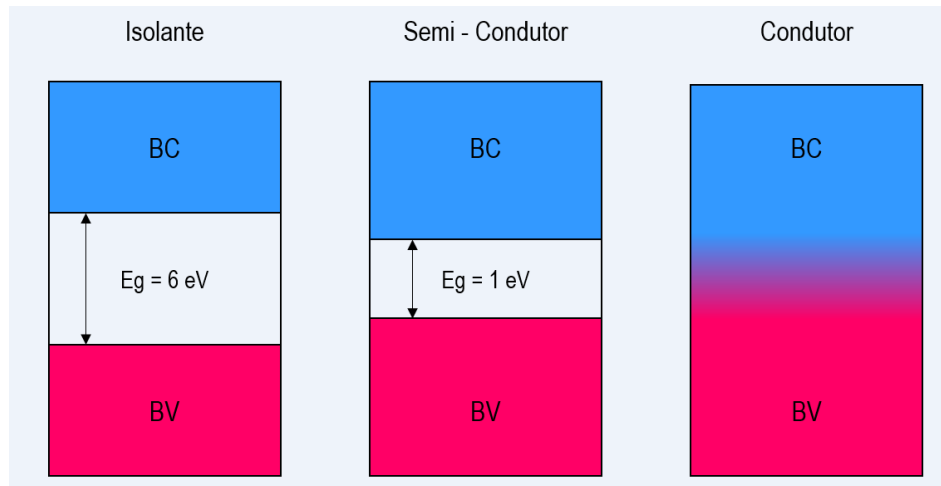


Figura 2: Representação da bandas de energia.

No isolante, uma significativa quantidade de energia (calor, luz, campo elétrico, etc.) seria necessária para promover um elétron da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), enquanto que uma energia bem menos é necessária no caso de um semi-condutor e nenhuma energia no caso do condutor pois aqui, já há uma superposição das duas bandas de forma que há elétrons na banda de condução responsáveis pelo estabelecimento de uma corrente. No caso de um semi-condutor, uma tensão pode promover um elétron para a banda de condução, deixando uma vacância, ou buraco, na banda de valência. Neste caso, pode haver dois tipos de condução de cargas, a do elétron na BC e a do buraco na BV.

Um semi-condutor (SmC) intrínseco (ou puro) como o Si seria de pouca utilidade pois seria um mau condutor. No entanto a utilização de combinações de dois SmC extrínsecos torna-se muito vantajosa. Um SmC extrínseco (ou impuro) é obtido através de dopagens com átomos semelhantes com diferentes número de elétrons na BV. Um SmC tipo n pode ser obtido dopando com um átomo com 5 elétrons na BV (doadores), como As ou P. Neste caso, o elétron extra é doado indo para a BV ao se formarem as ligações covalentes, conforme mostra a Figura 3, a seguir. Já para um SmC tipo p, utiliza-se um dopante com 3 elétrons na BV. Assim, há falta de elétrons para realizar as ligações covalentes e então formam-se buracos, um para cada ion dopante (aceitadores). Neste caso, a maioria dos portadores de carga são buracos, conforme mostra a Figura 4, a seguir.

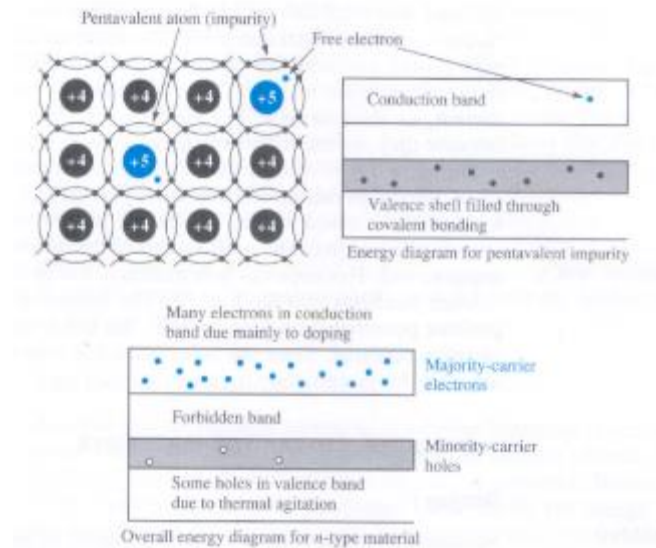


Figura 3: Semi-condutor Tipo – n.

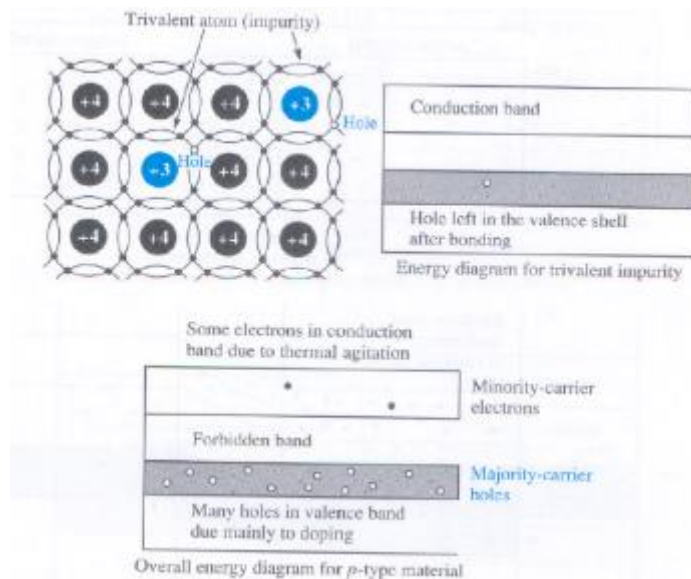


Figura 4: Semi-condutor Tipo – p.

Quando se forma uma junção p-n, elétrons do material n se difundem pelo material p e são recombinados com os buracos. Isto tem como consequência deixar o material tipo-n ligeiramente positivo (pois perdeu um elétron) e o tipo-p, negativo (pois ganhou um elétron) e a região onde isto ocorre fica empobrecida em termos de portadores. Este processo se auto regula de forma que a barreira de potencial que se forma acaba por impedir a sua continuidade. Esta barreira de potencial é 0.7V para o Si e 0.3V para o Ge. Assim, aplicando um potencial maior que este, pode-se promover fluxo de cargas através desta junção. Este processo é esquematizado na Figura 5, a seguir. Polarizando agora esta junção de forma correta, a fonte externa fornece energia suficiente para que o elétrons vença, a barreira de potencial, estabelecendo uma corrente, como mostra a Figura 6. No entanto, polarizando no sentido inverso, a zona de difusão aumenta com o conseqüente aumento da barreira de potencial. Então muito poucos elétrons conseguem transpor a barreira como ilustra a Figura 7. Esta corrente

reversa ocorre por conta de pares elétron-buraco criados por agiação térmica e é muito pequena no Si.

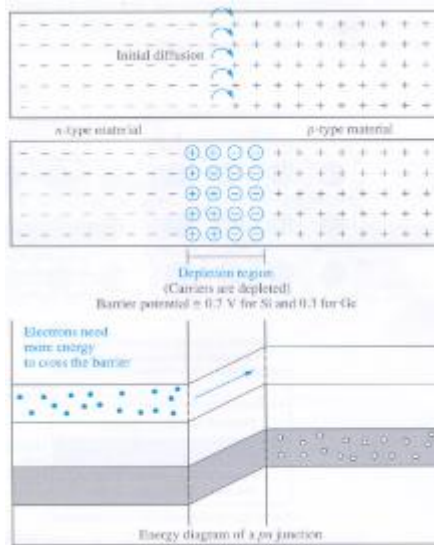


Figura 5: Semi-condutor com junção n-p.

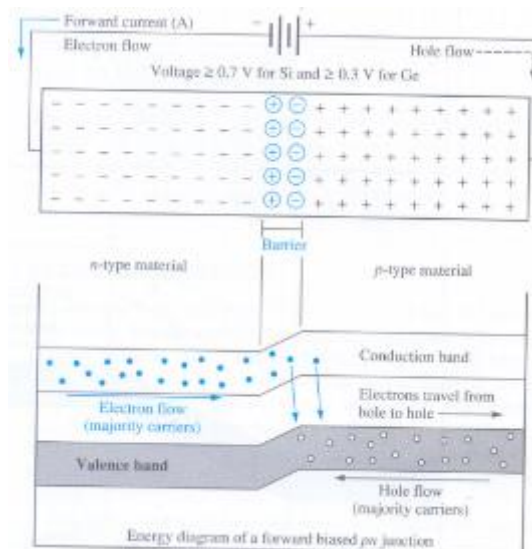


Figura 6: Fluxo de corrente no semi-condutor.

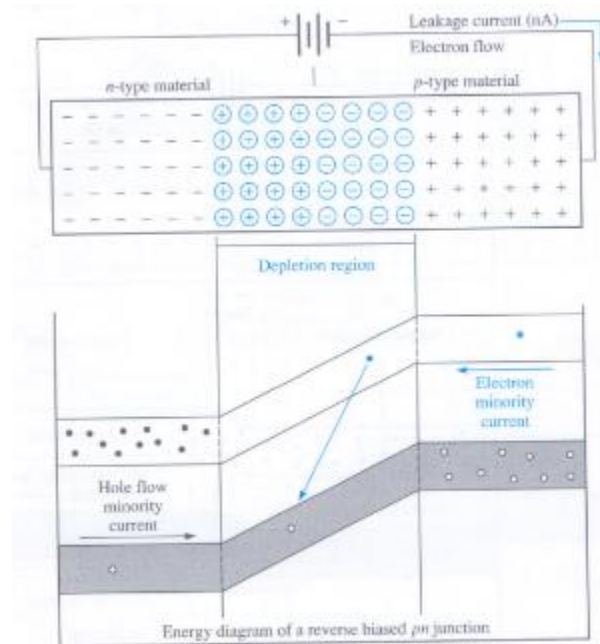


Figura 7: Corrente reversa no semi-condutor.

Transistor

Os transistores bipolares são feitos com um sanduíche de duas junções formando um sistema PNP ou NPN. Um NPN é feito com diferentes graus de dopagem: o N chamado de EMISSOR, tem alta concentração de dopagem, o semi-condutor P tem concentração baixa de dopante e é chamado de BASE e o outro N, tem concentração moderada de dopante e é chamado de COLETOR. As diferentes concentrações de dopantes tem razão de ser. Verificando na Figura 7: fazendo a polarização direta base-emissor na junção NP com uma tensão V_{bb} , a zona de difusão fica pequena e permite que elétrons atravessassem a barreira (0.7V). Muitos elétrons da BC do emissor (N) passam pela barreira de potencial da junção NP mas, como a concentração de dopantes da BASE (P) é baixa, somente poucos destes elétrons se recombinam com os buracos da base (~5%) e formam uma corrente de deriva (buracos) da base. O restante destes elétrons acabam sendo coletados pelo COLETOR e isto é possível porque a tensão V_{cc} entre coletor e emissor, é maior que V_{bb} . Então a região de difusão da junção Base-Coletor é grande porque a tensão ($V_{cc}-V_{bb}$) é grande e reversa. Mas V_{cc} é grande de forma que os elétrons que passaram para a BC do coletor agora vão para a fonte. Aqueles poucos elétrons que recombinaram na base, formam a corrente de deriva da base. Os outros que atravessaram a junção NP (Base-Coletor) inversamente polarizada, liberam energia ao cair para a BC. Então para escoar este calor, usualmente o coletor é ligado à carcaça do transistor (metal). As flechas azuis na figura representam o fluxo de elétrons. A Figura 8 representa o equivalente para um transistor NPN.

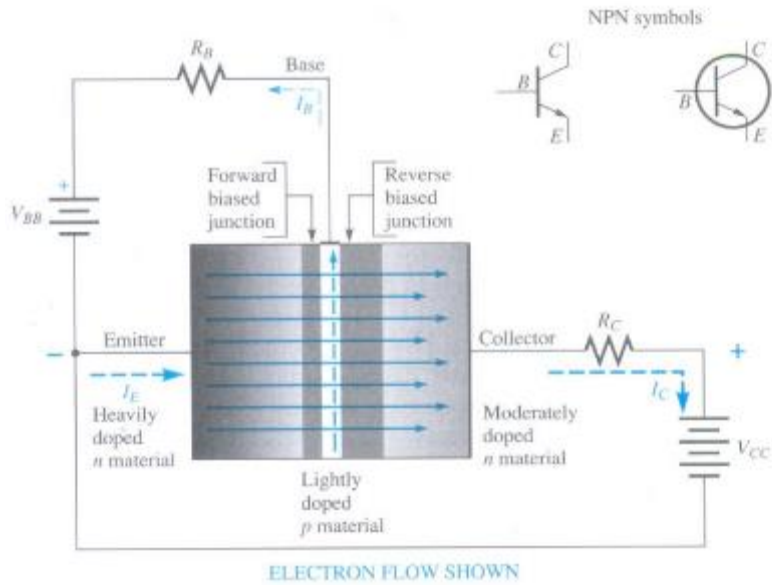


Figura 7: Configuração PNP.

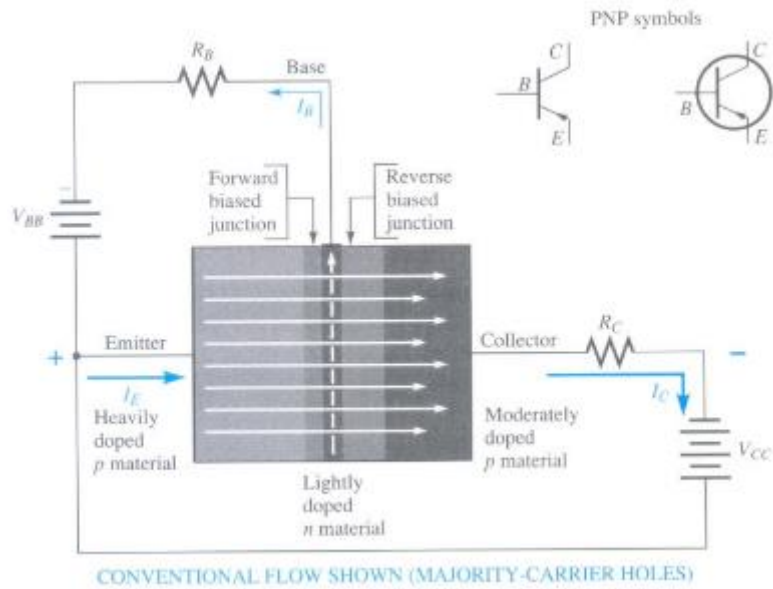


Figura 8: Configuração NPN.

Disto, pode-se concluir que quanto maior for a corrente de base, maior será a corrente de coletor e também que a polarização adequada para cada tipo de transistor é dada na Figura 9 a seguir.

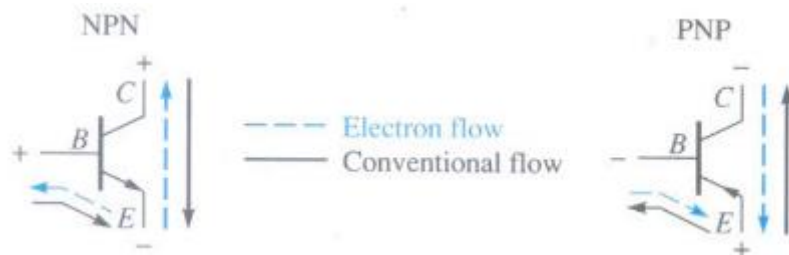


Figura 9: Corrente de coletor e polarização de transistor.

Um dos principais parâmetros de um transistor é a relação entre corrente de coletor e corrente de base. Como vimos, a corrente de base estimula uma corrente de coletor bem maior e defini-se o ganho do transistor como $\beta_{DC} = I_C/I_B$. ($\beta_{DC} = h_{FE}$ outra nomenclatura).

Um transistor pode operar como uma chave, fazendo $V_{be} > 0.7V$ ($I_c=I_{cmax}$) ou $V_{be}=0$ ($I_c=0$), mas também pode ser usado de outras formas.

Transistor Função Chave

Um dos usos mais comuns do transistor, é o funcionamento em modo chave. O objetivo do circuito é demonstrar que um transistor pode ser usado como chave, apresentar o conceito de semi-condutor e mostrar que, havendo luz no LDR (Light Dependent Resistor) o LED acenda e quando houver ausência de luz no LDR, o LED não acenda. Para isto, projetaremos um circuito que o público possa interagir e observar a variação de resistência com componentes simples.

O circuito montado e a ser apresentado ao público é o demonstrado na Figura 10 a seguir.

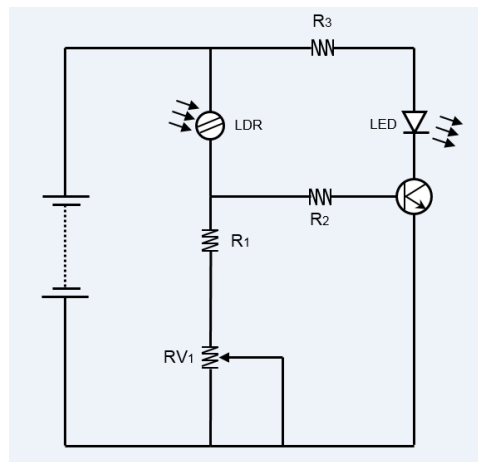


Figura 10: Circuito proposto para interação do público.

O circuito apresentado é um dos mais simples que envolvem LDR e transistor. O LDR funciona como um sensor de luz, ou seja, quando à luz sobre o LDR ele vai acionar o transistor que aciona o LED. O circuito é composto por um divisor de tensão, formado pelo LDR + (potenciômetro + resistor), na base do transistor, o transistor, o LED, que é responsável pela indicação de que há luz incidindo no LRD e a fonte de energia.

O divisor de tensão funciona da seguinte forma:

Quando o LDR é iluminado, o mesmo diminui sua resistência, fazendo a tensão sobre a base do transistor aumentar, de forma que apresente um valor maior que a tensão de saturação, fazendo o transistor saturar e acionando o LED. Quando o LDR não

está iluminado, o mesmo aumenta sua resistência, fazendo a tensão sobre a base do transistor cair abaixo da tensão de saturação do transistor, desativando o LED.

Para o cálculo do circuito, utilizamos alguns dados, apresentados a seguir.

LDR com a luz acesa oferece uma resistência de 5kohm.

LDR com a luz apagada oferece uma resistência de 16kohm.

O ganho (H_{FE}) do transistor (BC337) é 312.

A tensão base-emissor (V_{be}) é 0.7V.

A corrente chaveada é 0.02A.

Fonte de tensão (0+5)V.

$V_{led} = 2V$.

Com estes valores, foi possível determinar os valores dos resistores, através das seguintes fórmulas.

Tensão sobre a base do transistor:

$$V_{out} = [(R1 + RV1) / (R1 + RV1 + LDR)] \times V_{in}$$

Resistor em conjunto com o potenciômetro:

$$V_{out} = [R1 / (LDR + R1)] \times V_{in}$$

Resistor na base do transistor:

$$R_b = (V_{cc} - V_{be}) / (I_c - H_{fe}),$$

Onde V_{cc} é a tensão de saída do divisor de tensão ($V_{cc} > 0.7V$), I_c a corrente que circula pelo transistor e H_{fe} o ganho do transistor.

Resistor em série com o LED:

$$R_3 = (V_{cc} - V_{led}) / I_{led}$$

Com as fórmulas apresentadas acima, podemos facilmente calcular o circuito e adequá-lo com os valores aproximados dos resistores.

Resultados

O circuito proposto teve seu resultado atingido. Como pode ser observado a seguir.

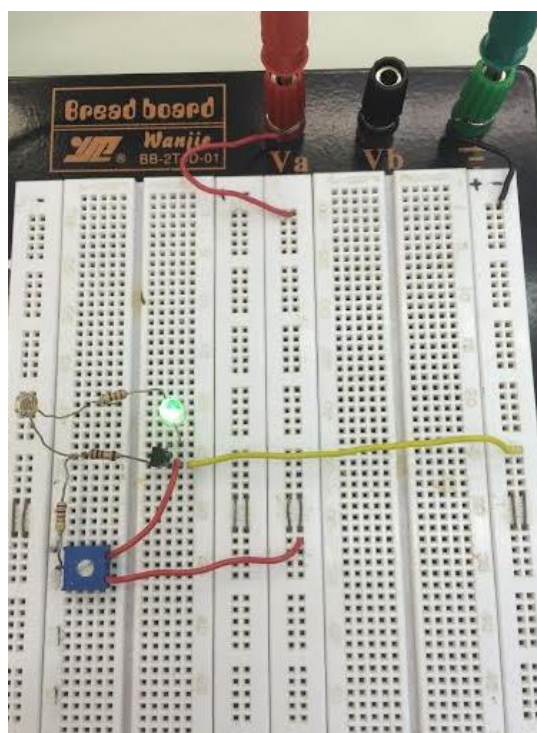


Figura 11: Quando o LDR está iluminado, o LED está aceso.

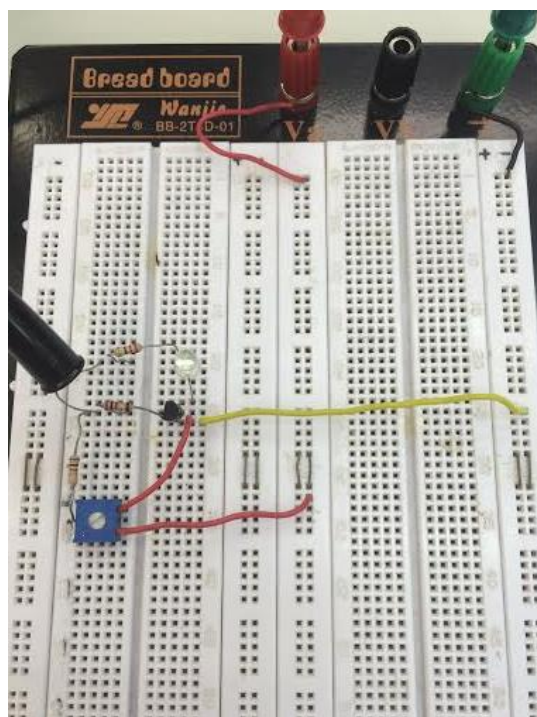


Figura 12: Quando o LDR está sem iluminação, o LED está apagado.

Considerações Finais

O experimento realizado, é de fácil compreensão para todo tipo de público, tanto de escolas, como de comércio. A interação com o circuito, permite uma maior aproximação com o conteúdo a ser compreendido.

O semi-condutor, e principalmente, o transistor, é pouco explicado em sala de aula. Desta forma, este experimento facilita o aprendizado.

O experimento é totalmente de fácil locomoção, sempre que necessário, o circuito pode ser solicitado e será disponibilizado para apresentação.

Circuito – Extra

Outro circuito foi montado para que posso ter uma maior interação com o público-alvo e fica a critério do professor ensinar sobre a condutividade elétrica do corpo humano.

O circuito em que o próprio observador se torna o contato do circuito, é apresentado a seguir.

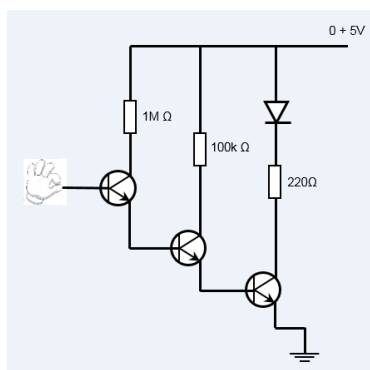


Figura 13: Circuito que permite contato físico do observador.

Como resultado, podemos ver nas Figuras 14 e 15, que quando existe o contato com o corpo-humano, o LED acende, caso contrário, o LED apaga.

Referências

[1] Exploring Eletronic Devices – Mark E. Hazen.

[2] Notas de Aula – F 540 – Prof. Dr. Flávio Gandra.

[3] <http://files.amperka.ru/datasheets/bc337.pdf>