

Prática 2: CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Objetivos

Nesta prática aprofundaremos nosso estudo de circuitos de corrente contínua, iniciado na prática anterior. Inicialmente estudaremos os fatores que determinam a potência em circuitos, através da análise do brilho de lâmpadas diferentes (de resistências diferentes). Veremos também o efeito da resistência interna de uma fonte de tensão. Em seguida, algumas aplicações simples tais como divisor de tensão, resistores especiais sensíveis a luz (LDR), diodos semicondutores e diodos emissores de luz (LED).

Introdução

- **Lei de ohm e resistores especiais**

A lei de Ohm é uma relação matemática simples, porém muito usada no projeto e análise de circuitos elétrico-eletrônicos. Sua popularidade provém do fato de que ela realmente é válida para um grande número de materiais, ou seja, materiais cuja resistividade praticamente não varia com a corrente e diferença de potencial aplicada. Por exemplo, um resistor de 5Ω conectado a uma fonte de 10V experimenta uma corrente de 2A. Se a tensão da bateria é alterada para 5V a corrente deve diminuir para exatamente 1A, se a relação $V = RI$ for válida. Entretanto, a realidade não é assim tão simples. Os materiais que obedecem à lei de Ohm são chamados “ôhmicos” e, naturalmente, os “não-ôhmicos” são aqueles para os quais a lei de Ohm não é válida. No caso destes últimos, a relação entre a V e I não é linear.

Em muitas aplicações práticas é importante ter componentes “ôhmicos”. Entretanto, os componentes “não-ôhmicos”, que apresentam uma relação V/I não-linear, também são importantes em muitas outras aplicações. Em geral esta relação não-linear se deve a dependência da resistividade elétrica a parâmetros externos, tais como, temperatura, pressão, luminosidade, campo magnético, etc. Os componentes não-ôhmicos são largamente utilizados como sensores. Nesta prática veremos como estes sensores podem ser usados para medir pequenas variações de temperatura, por exemplo. Termo-resistência e termistor são componentes projetados especialmente para aplicações onde a resistência deve variar com a temperatura. Já no foto-resistor, a variação ocorre devido à intensidade luminosa. Estes componentes são conhecidos como LDR, do inglês “*light dependent resistor*”.

- **Leitura de resistores**

Como já vimos na prática anterior, os resistores são elementos que fornecem resistência à passagem de corrente elétrica (figura 01). O valor da resistência independe da diferença de potencial aplicada entre os terminais do resistor, em outras palavras eles obedecem à lei de Ohm.

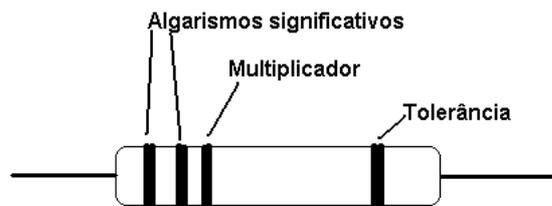


Figura 1

Resistor convencional

O valor nominal da resistência é marcado com barras coloridas, de acordo com um código, ilustrado na tabela I. A leitura é feita tomando-se o componente de forma que a faixa mais próxima de um de seus terminais fique à sua esquerda.

As duas primeiras faixas representam os dois algarismos significativos do valor da resistência. A terceira faixa dá o fator multiplicativo, em potência de dez. Por exemplo, se as faixas forem respectivamente vermelho (2) e violeta (7), lê-se 27. Se a terceira faixa for amarela (4), o fator multiplicativo é 10000. Multiplica-se então 27 por 10000 e obtém-se o valor nominal da resistência de 270000Ω (ou 270KΩ, em notação científica). A quarta faixa corresponde à precisão com que o fabricante especifica o valor nominal, chamado tolerância. Outra indicação está no tamanho físico do componente, determinando a máxima potência que ele pode dissipar sem aumento apreciável na sua temperatura. No caso de resistores com mais de quatro faixas coloridas, trata-se de resistores de precisão, onde o valor nominal é dado com três algarismos significativos, ao invés de dois. A quarta e a quinta faixa correspondem ao fator multiplicativo e a tolerância, como anteriormente.

Tabela I – Código de cores de resistências

Cor	1º anel dezena	2º anel unidade	3º anel fator multiplicativo	4º anel tolerância
Preto	-	0	x 1	-
Marrom	1	1	x 10	1%
Vermelho	2	2	x 100	2%
Laranja	3	3	x 1000	3%
Amarelo	4	4	x 10000	4%
Verde	5	5	x 100000	-
Azul	6	6	x 1000000	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Prata	-	-	x 0,01	10%
Ouro	-	-	x 0,1	5%

Figura 2

Resistência Interna de um gerador de tensão elétrica

Os geradores de tensão elétrica (baterias, pilhas, fontes, etc), usados em circuitos elétricos, não são ideais. Por diferentes razões existe sempre uma limitação na corrente I que eles podem fornecer. Este efeito pode geralmente ser representado associando a estes dispositivos, além da correspondente tensão fornecida, ε , uma resistência interna, r_i , em série com o gerador, como esquematizado na Figura 3(a) abaixo.

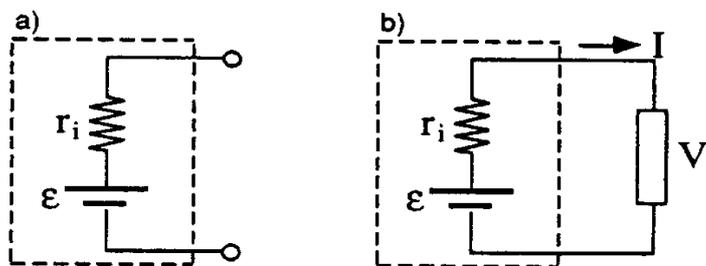


Figura 3 - (a) Representação de um gerador de tensão real

(b) Gerador de tensão real ligado a um circuito elétrico qualquer

Quando o gerador é ligado a um circuito elétrico qualquer, como indicado na Figura 3b, a diferença de potencial entre seus terminais, V , é dada por:

$$V = \varepsilon - r_i I \quad (1).$$

A medida da tensão V , entre os terminais, em função da corrente I que percorre o circuito, nos permite determinar a resistência interna do gerador, a partir da equação 1.

Experimentos

I. Comparando resistências

A. Os circuitos à direita contêm fontes e lâmpadas idênticas. As caixas denominadas X e Y contêm componentes desconhecidos diferentes. É observado que a lâmpada do circuito da direita brilha mais que a do circuito da esquerda.

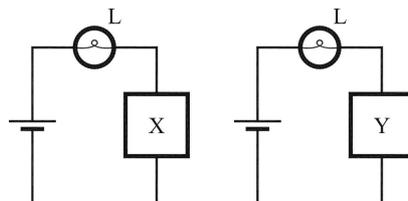


Figura 4

1. Baseando-se nesta observação como se comparam as resistências dos elementos X e Y? Explique.

- Para cada circuito, como a corrente na lâmpada se compara a corrente no elemento desconhecido?
- Em cada circuito, como a corrente na lâmpada se compara a corrente na bateria.
- Montem o circuito ao lado usando uma fonte ($V \sim 10V$), duas lâmpadas idênticas e dois resistores desconhecidos X e Y. Qual deles apresenta maior resistência?

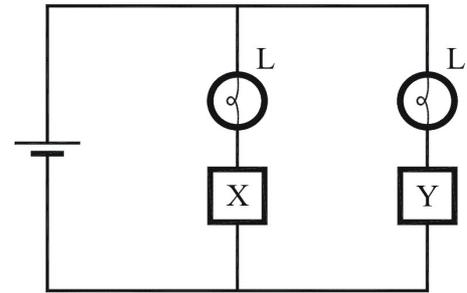


Figura 5

II. Potenciômetros

Nos experimentos realizados anteriormente trabalhamos com resistências que possuíam valores fixos. Neste experimento utilizaremos resistores que nos possibilitam variar seu valor, são os chamados potenciômetros.

Os potenciômetros e reostatos são resistores especiais que possuem um terminal adicional, veja Figura ao lado. Os dois terminais convencionais (1 e 2) estão ligados às extremidades de uma resistência fixa, ao passo que o terceiro terminal (3) é ligado a um cursor que mostra valores desta resistência entre um extremo e outro da mesma. Este ponto de contato intermediário pode ser movido ao longo de toda resistência usando-se para isso um cursor mecânico, montado, por exemplo, na parte superior do reostato.

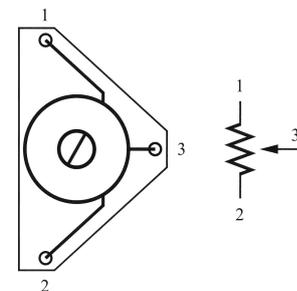


Figura 6

A. Comparando resistências - o circuito à direita contém uma fonte, lâmpadas idênticas (**A** e **B**), um resistor (**R**) e um potenciômetro (**P**).

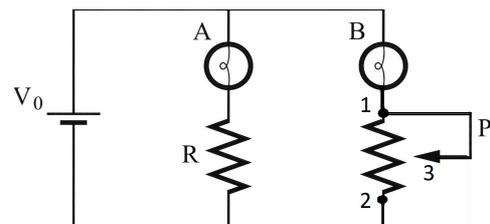


Figura 7

- O que ocorre com o brilho das lâmpadas **A** e **B** quando aumentamos gradualmente a resistência do potenciômetro (R_{13})?
- Montem o circuito acima usando uma fonte ($V \sim 10V$), duas lâmpadas idênticas, um resistor de 68Ω e um potenciômetro. Discutam as observações.
- Ajuste o valor do potenciômetro (R_{13}) de tal forma a igualar o brilho das lâmpadas **A** e **B**. Neste caso, como R_{13} e R se comparam?
- Usando um ohímetro digital, meça os valores de R e R_{13} (cuidado para não alterar o ajuste do potenciômetro). Os valores coincidem? Qual a diferença percentual?

III. Comparando o brilho de lâmpadas diferentes

Na prática anterior trabalhamos com lâmpadas idênticas. Nesta prática estudaremos o comportamento de lâmpadas diferentes (com filamentos diferentes). Neste experimento o multímetro (Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro) só deve ser utilizado quando solicitado explicitamente no roteiro.

Na prática 1 (experimento IV.B) vimos que a resistência de dois componentes pode ser comparada utilizando um circuito em paralelo igual ao da Figura abaixo. Neste circuito a corrente nos dois ramos pode ser comparada pelo brilho das lâmpadas L_1 . Analogamente, o circuito ilustrado ao lado pode ser usado para comparar a resistência de dois elementos, sem a necessidade de se usar o Ohmímetro.

A. Montem o circuito ao lado utilizando as duas lâmpadas L_1 e L_2 (itens A e B) e uma fonte de tensão com $V \sim 15V$.

Em qual dos ramos do circuito a corrente é maior?

A partir apenas de suas, qual lâmpada apresenta maior resistência?

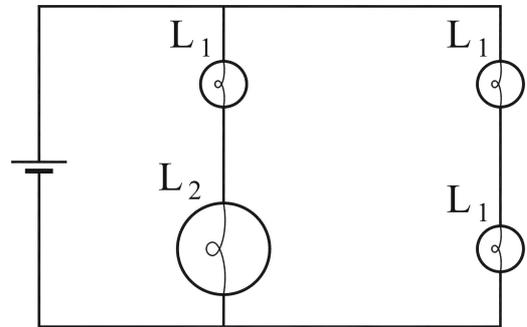


Figura 8

B. Considerem o circuito de duas lâmpadas diferentes L_1 e L_2 conectadas em série a uma fonte com tensão $V \sim 12V$. Observem qual lâmpada tem brilho maior e registrem.

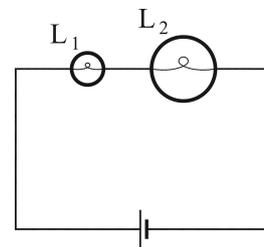


Figura 9

C. Conectem as duas lâmpadas em paralelo e comparem seus brilhos. Registrem.

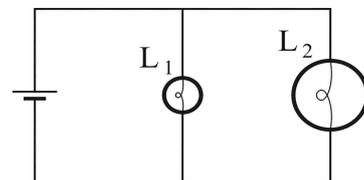


Figura 10

D. Para cada um dos circuitos B e C (Figs. 9 e 10) expliquem porque o brilho relativo das lâmpadas varia.

E. Comparem o valor do produto $V_1 \cdot I_1$ com $V_2 \cdot I_2$ para o circuitos B e C (Figs. 9 e 10). Esta comparação deve ser feita somente a partir de suas observações (itens A - C) **sem utilizar o voltímetro**.

Observação: Lembre-se que no circuito em série a corrente é a mesma nas duas lâmpadas enquanto no circuito em paralelo a tensão é a mesma nas duas lâmpadas.

E. Baseando-se em suas observações anteriores (itens A e B) respondam: o brilho da lâmpada é determinado apenas por sua resistência?

Obs: na prática 1 vimos que a curva $V \times I$ não é linear no caso de uma lâmpada, devido ao fato da resistência do filamento variar muito com a temperatura. Entretanto, podemos pensar num valor de resistência efetiva da lâmpada $R = V/I$, onde V e I são os valores típicos de operação da lâmpada acesa. Por exemplo, $I=80$ mA para $V= 10V$, logo $R=125\Omega$.

Na prática 1 quando trabalhamos com lâmpadas iguais percebemos que o brilho aumenta com a corrente ou a tensão na lâmpada. Entretanto, neste experimento observamos que quando as lâmpadas são diferentes seu brilho difere mesmo quando as correntes são iguais ou suas tensões sejam iguais. No circuito em série temos $I_1 = I_2$ (correntes em cada lâmpada, respectivamente) e no circuito em paralelo temos $V_1 = V_2$ (tensões em cada lâmpada, respectivamente).

Vocês devem ter concluído que o brilho da lâmpada é proporcional ao produto $V.I$. Na verdade, podemos mostrar que para qualquer componente elétrico a potência elétrica dissipada é dada por $P = V.I$.

IV. Fonte de tensão real – o efeito da resistência interna de uma fonte:

A. – considerem o circuito à direita. Prever o que ocorrerá com o brilho da lâmpada L_1 quando a chave (CH) for fechada? Justifiquem sua resposta.

B. – montem o circuito ao lado usando uma fonte do tipo “eliminador de pilha” (uma fonte de tensão contínua bastante simples) ligado em 220V. Verifiquem experimentalmente o que ocorre quando a chave CH é fechada, ou seja, observem se o brilho de L_1 muda.

Obs: L_1 lâmpada pequena de 12V, L_2 = lâmpada grande (de carro)

O comportamento observado está de acordo com o previsto (A)? Registrem suas observações.

C. Montem novamente o circuito da figura acima trocando a fonte eliminador de pilha, pela fonte (*DC Power Supply*, Politerm) ajustada a $V = 12V$. Observem se o comportamento observado é o mesmo do item B. Registrem suas observações e os valores da tensão e corrente indicada da fonte nas duas situações (chave aberta ou fechada).

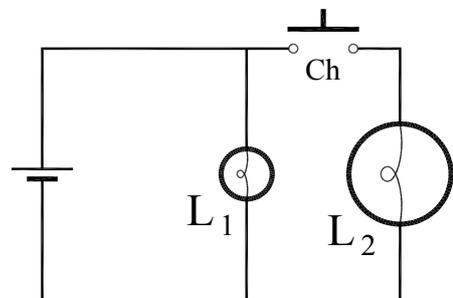


Figura 11

D. Novamente usando a fonte, repitam o item C com a introdução do resistor R ($\sim 4,7\Omega$) tal como ilustrado ao lado.

E. Prever se a tensão na lâmpada L_1 se altera quando a chave Ch é fechada. Justifique suas previsões, baseando-se nas observações em D.

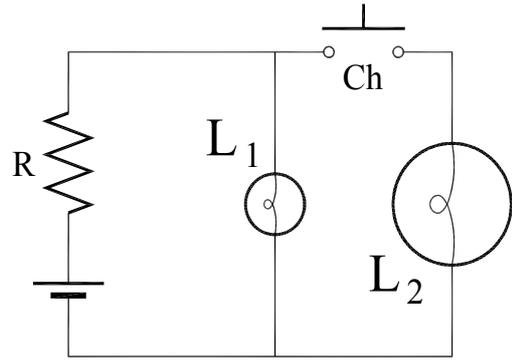


Figura 12

F. Medir, com um voltímetro, a tensão em L_1 e registrem os valores de tensão e corrente indicada da fonte nas duas situações (chave aberta ou fechada). Comparem suas previsões com as observações. Discutir os resultados.

G. Expliquem todas as observações deste item IV.

V - Resistência interna de uma pilha

A. Montem o circuito da Figura ao lado, utilizando uma pilha como fonte de tensão contínua, um amperímetro em série, uma chave de botão (normalmente aberta), um potenciômetro de 50Ω e um voltímetro em paralelo.

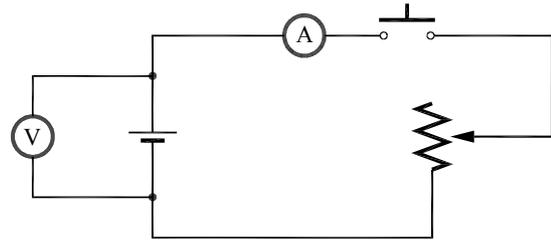


Figura 13

Observação: Mantenha a chave fechada o menor tempo possível para não descarregar a pilha (por isso usamos uma chave tipo botão).

B. Meçam a tensão da pilha com a chave do circuito aberta. Agora fechem o circuito (chave), variem a resistência do potenciômetro e observem a tensão indicada no voltímetro. Quando a corrente aumenta, o valor de V aumenta, diminui ou permanece inalterado?

Observações:

- para ter maior sensibilidade, use o voltímetro na escala de 2 V. Assim vocês podem medir V com 4 dígitos.
- certifiquem-se que a corrente está variando significativamente (entre ~ 30 a 100 mA) com giro do potenciômetro.

C. Denomina-se força eletromotriz (ϵ), o valor da tensão no circuito aberto ($I = 0$).

1. Determinem o valor de ϵ da sua pilha

2. Variando a resistência do potenciômetro, meçam a dependência da tensão da pilha com a corrente e anotem os valores numa tabela.

I (mA)	V(V)	$\epsilon - V$ (mV)

3. Façam o gráfico de $(\epsilon - V)$ versus I.

Obs: não esqueçam de incluir o valor de V medido para a chave aberta ($I=0$).

E. O gráfico é uma linha reta ou uma curva? Interprete sua inclinação comparando-a com a *equação 1*. Qual é o valor da resistência interna da pilha?

VI. Divisor de tensão

Um divisor de tensão é um circuito comumente utilizado para ajustar o valor da voltagem de saída de um dispositivo, antes de aplicá-lo à entrada de outro.

A. Construam o circuito esquematizado, na Figura e meçam o valor da tensão V em função da resistência R_2 usando:

$$R_1 = 1000 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega, 1000 \Omega \text{ e } 1500 \Omega$$

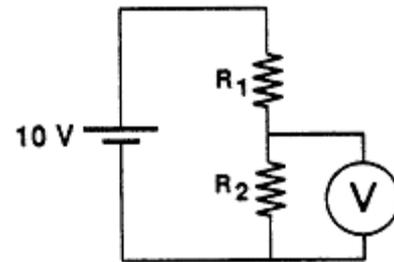


Figura 14

B. Obtenham a expressão teórica de V em termos de V_0 , R_1 e R_2 .

C. Calculem os valores esperados relativos aos dados do item A e montem uma tabela comparando os valores experimentais (V_{exp}) com os calculados (V_{calc})

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$V_{exp}(V)$	$V_{calc}(V)$

Comentem: houve boa concordância entre os valores de V_{exp} e V_{calc} ? A que fatores podem ser atribuídas eventuais discrepâncias?

D. Substituíam R_1 e R_2 por um potenciômetro, como mostrado na Figura ao lado. *Observem* a semelhança com o divisor de tensão (fixo) do item A. Variem o cursor do potenciômetro e verifique, qualitativamente, que a tensão é diretamente proporcional à resistência ajustada.

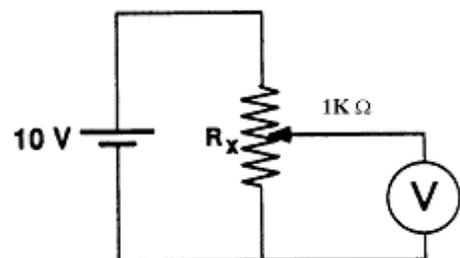


Figura 15

VII. LDR

A. Montem o circuito da Figura ao lado, com uma fonte (V~12V), uma pequena lâmpada (L_1) e um LDR em série. Com uma segunda lâmpada de carro (L_2), ligada em paralelo, ilumine o LDR e observe o brilho da lâmpada L_1 . Sem usar o Ohmímetro compare R_L com R_{LDR} . Observe o que ocorre no circuito com e sem luz (utilize a chave liga/desliga no soquete em L_2). Descrevam e justifique suas observações.

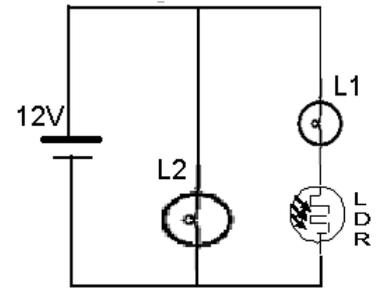


Figura 16

B. Na Figura 17 meça a tensão no LDR e estime R_{LDR} com e sem luz, (como na figura 16). Comparem este valor com o medido diretamente com um Ohmímetro.

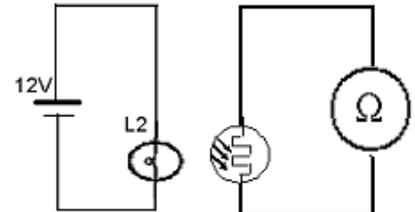


Figura 17

VIII. Diodos e LEDs

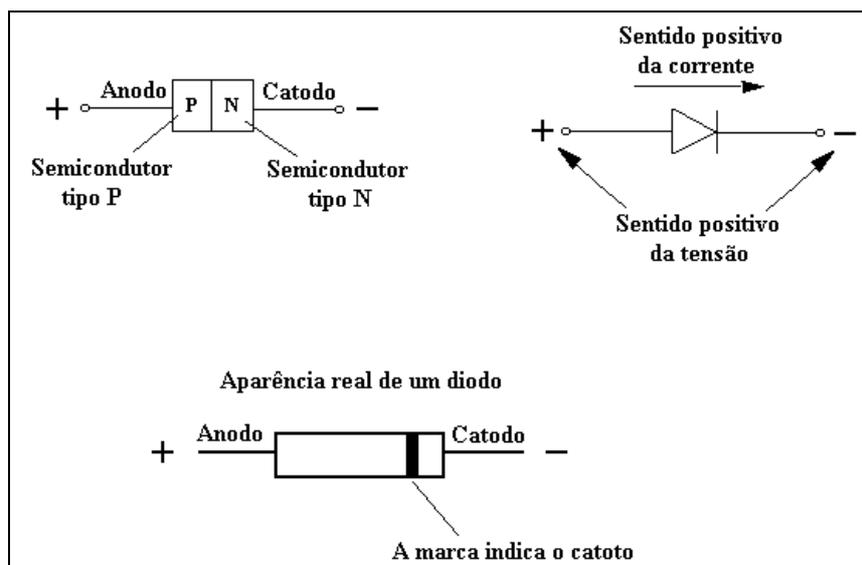


Figura 18

Diodos são componentes eletrônicos com dois terminais (A e K) tal como ilustrados na Figura ao acima. Também são conhecidos como diodos semicondutores e são construídos com semicondutores cristalinos (normalmente, silício ou germânio).

A. Características Básicas

i) Montem o circuito de um diodo ligado em série a uma fonte (V~5V) e uma lâmpada, com o terminal A (anodo) do diodo ligado ao terminal positivo (+) da fonte. Há passagem de corrente no circuito? Justifiquem.

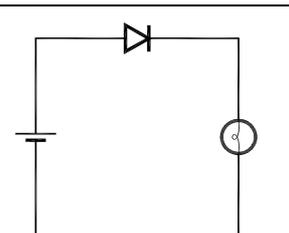


Figura 19

ii) invertam a posição do diodo, e observem se há passagem de corrente no circuito? Invertam a polaridade da fonte, e observem o que ocorre.

iii) repita o experimento substituindo o diodo por um resistor pequeno ($R \sim 10\Omega$). Neste circuito, a magnitude da corrente depende da polaridade da fonte?

iv) no caso do diodo, a magnitude da corrente no circuito depende da orientação do diodo? Como?

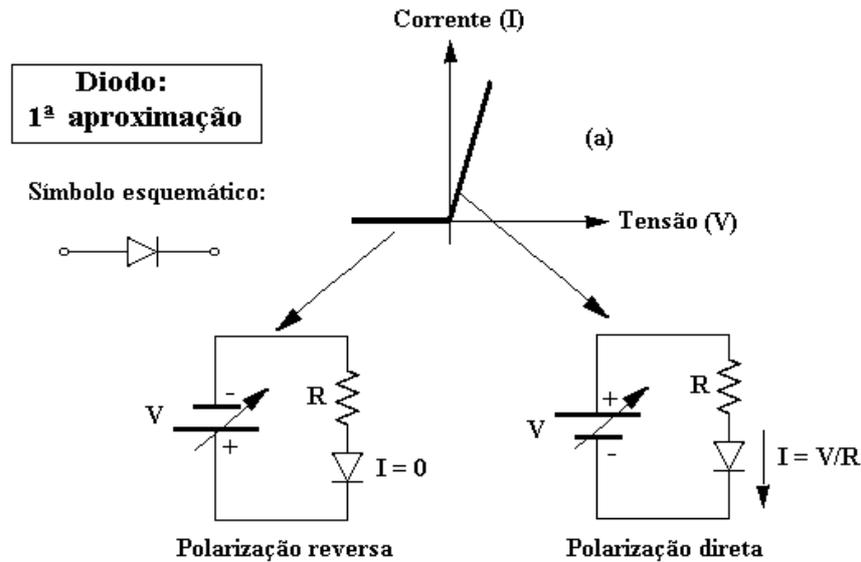


Figura 20

O diodo é um componente que tem um curva $I \times V$ não linear, ao contrário de um resistor, por exemplo. Para os propósitos deste curso (que não é um curso de eletrônica) vamos considerar o modelo mais simples possível para descrever o comportamento do diodo. Ou seja, na polarização direta o diodo deixa passar a corrente e na polarização reversa, não deixa passar (vide Figura acima).

iv) repitam o experimento anterior, i) a iii), substituindo o diodo por um diodo emissor de luz, ou **LED** (de *light-emitting diodes*).

Os LEDs são usados em inúmeras aplicações em eletrônica. Por exemplo, para transmissão de informação através de meios óticos.

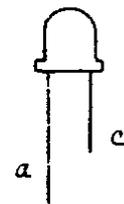


Figura 21

v) Neste curso usaremos dois LEDs invertidos (tal como indicado ao lado) para indicar o sentido da corrente. Observem o que ocorre num circuito em série com estes LEDs ligados a uma pequena lâmpada uma fonte ($V_0 \sim 4V$). O que ocorre quando a polaridade da fonte é invertida?

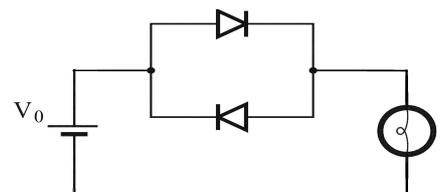


Figura 22

CUIDADO! NÃO LIGUEM OS LEDS SEM A PRESENÇA DE UMA LÂMPADA (OU DE UM RESISTOR), CASO CONTRÁRIO PODEMOS DANIFICÁ-LOS.

E. Portas lógicas

Circuitos digitais são circuitos eletrônicos que baseiam o seu funcionamento na lógica binária, em que toda a informação é guardada e processada sob a forma de zero (0) e um (1). Esta representação é conseguida usando dois níveis discretos de Tensão elétrica. Normalmente associa-se a tensão +5V (na verdade $V \sim +5$) ao número 1 (binário) e a tensão 0 ($V \sim 0$) ao número 0. Desta maneira dizemos que a porta realiza uma operação lógica.

Como uma ilustração da aplicação de diodos e LEDs, vamos mostrar que eles podem ser utilizados na construção de portas lógicas, que são elementos básicos essenciais nos circuitos digitais. A Figura seguinte mostra dois exemplos de portas: OR e NAND.

i) Analisem o circuito da porta OR e preveja em cada situação se o LED vai estar aceso (*on*) ou apagado (*off*) preenchendo a terceira coluna da tabela. Por exemplo, no caso $V_1=0V$ e $V_2=+5V$. o LED vai estar *on* ou *off*?

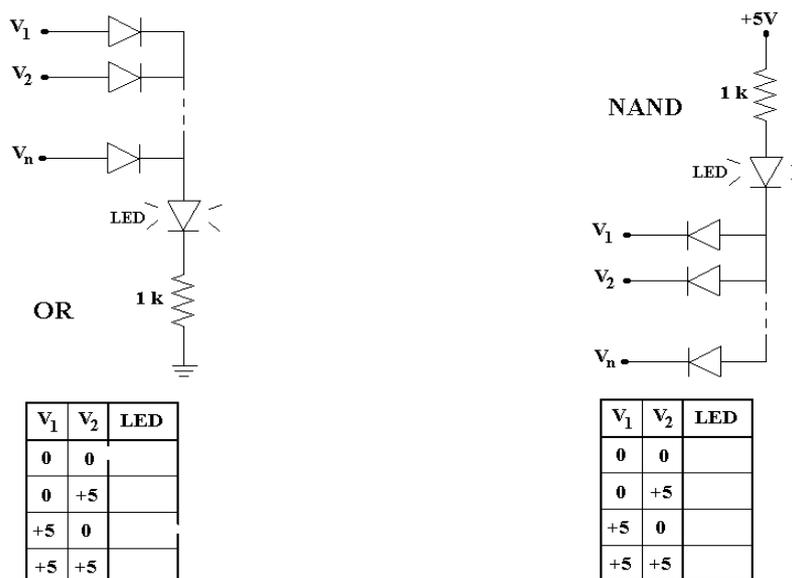


Figura 23

- i) Idem para o circuito da porta NAND
- ii) Montem o circuito da porta OR usando uma fonte de tensão com $V_0=5$ e verifiquem experimentalmente as 4 situações da tabela. Notem que o circuito deve ter uma “chave” que permita ligar os pontos V_1 e V_2 as tensões +5V ou 0V (terra). Na verdade um simples cabo com duas bananas faz o papel da chave (vide Figura a seguir).

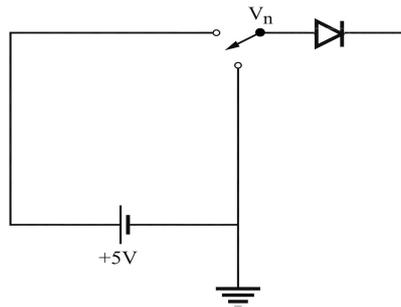


Figura 24
OR

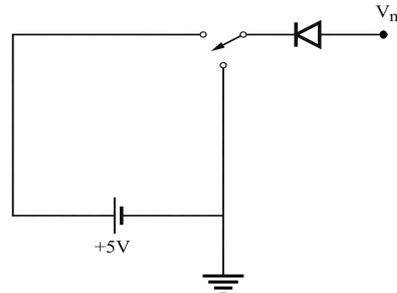


Figura 25
NAND

A Figura acima ilustra como cada uma das entradas (V_1 ou V_2) pode ser conectada em cada circuito. Conforme solicitado pela tabela devemos ligar V_n (V_1 e V_2) em +5V ou em 0V (terra).

iii) Os resultados observados estão de acordo com as previsões de i)?

iv) Idem ao anterior para o caso da porta NAND (vide Figura acima à direita).

Lista de materiais para esta prática.

3 Lâmpadas de 6V e uma lâmpada de 12V

Fonte

Fonte do tipo “DC Power supply politerm”

Lâmpada de farol de carro

Resistores de 4,7, 470, 1000, 1500 Ω e mais dois de resistência qualquer

LDR

Potenciômetro de 500 Ω

Voltímetro

Amperímetro

Ohmímetro

3 ou mais diodos

2 LEDs

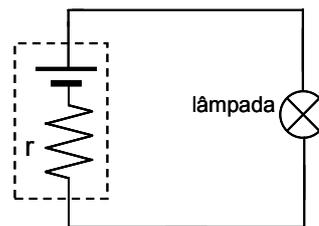
6 cabos banana - banana

Placa de circuitos

Exercícios

1) Considere um circuito no qual uma lâmpada é conectada a uma bateria real. A bateria tem uma resistência interna constante de $0,1 \Omega$ e uma voltagem de $1,5 \text{ V}$ (circuito aberto). Assuma que a lâmpada tem uma resistência constante de 5Ω e que ela brilha somente se a corrente através dela for maior que $0,1 \text{ A}$.

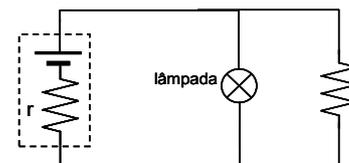
a) Encontre a corrente através da lâmpada. Ela brilha? Explique seu raciocínio.



b) Quantas lâmpadas idênticas podem ser conectadas em paralelo com a lâmpada original antes desta se apagar? Explique seu raciocínio.

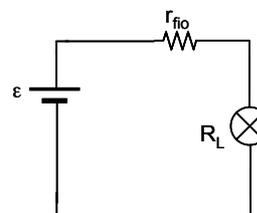
c) Imagine que a bateria esteja “em curto”, ou seja, ligada a resistência de baixo valor, tal como mostrado ao lado. Encontre o valor resistência R deste resistor para que a lâmpada ainda brilhe.

d) Suponha que a resistência do resistor em curto na parte (c) fosse aumentada. O brilho da lâmpada aumentaria, diminuiria, ou permaneceria o mesmo? Explique seu raciocínio.



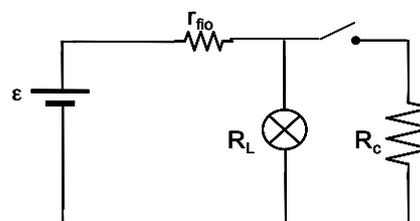
2) Considere o circuito ao lado onde temos uma fonte de tensão $\epsilon = 100 \text{ V}$ uma lâmpada de 100 W com resistência R_L . Como a lâmpada está bem distante da fonte a resistência do fio não é desprezível, $r = 0,2 \Omega$.

a) Qual o valor de R_L ? Calcule a potência dissipada na lâmpada (P_L) e a potência dissipada no fio (P_F).



b) Quantas lâmpadas podem ser colocadas em paralelo até que sua luminosidade caia a metade. Calcule novamente as potências P_L e P_F .

3) Considere o circuito ao lado onde temos uma fonte de tensão (ϵ), uma lâmpada de resistência R_L , e um chuveiro com resistência R_c . Como a lâmpada e o chuveiro estão bem distantes da fonte a resistência do fio r não é desprezível. Considere que todas as resistências são constantes ou seja, despreze sua variação devido ao aquecimento.



a) Suponha que $r \ll R_c \ll R_L$. Quando se liga o chuveiro (a chave é fechada) qual a relação entre as tensões na lâmpada e no chuveiro V_L e V_c , respectivamente? Como você compara V_L com a queda de tensão no fio V_r . Como o valor de V_L muda quando a chave é fechada? Como muda o brilho da lâmpada?

b) Considere o caso $\epsilon = 110 \text{ V}$, $r = 0,2 \Omega$, uma lâmpada de 100 W , e um chuveiro de 5000 W . Quais os valores de R_L e R_c ? Calcule a potência dissipada na lâmpada quando a chave esta aberta. Calcule novamente a potência dissipada na lâmpada quando a chave é fechada.

4) Uma bateria de automóvel, um tanto estragada, de $11,4 \text{ V}$ e resistência interna $0,01 \Omega$, é ligada a uma resistência de $2,0 \Omega$. A fim de auxiliar-se a bateria descarregada, liga-se mediante cabos de carga, uma segunda bateria de f.e.m. $12,6 \text{ V}$ e resistência interna $0,01 \Omega$ aos terminais da primeira bateria. Desenhe o diagrama do circuito e calcule a corrente em cada parte do circuito. Calcule a potência debitada pela segunda bateria e discuta o destino desta potência, admitindo que as duas f.e.m. sejam constantes e que as duas resistências internas sejam também constantes.

5) A Tabela ao lado dados obtidos no experimento III.B (prática 2, pag.21), a dependência da tensão de uma pilha (V) com a corrente. Observa-se que a tensão diminui a medida que sua corrente aumenta.

a) Calcule o valor de $\epsilon - V$ para cada ponto da tabela.

b) Faça o gráfico de $\epsilon - V$ versus I, usando unidades de mV e mA respectivamente.

c) A curva obtida é bem aproximada por uma reta, ou seu comportamento é linear apenas para baixos valores de corrente?

d) Aproxime os dados da região linear da curva por uma reta. Usando um ponto desta reta, calcule a resistência interna da pilha.

e) Estime o valor da resistência usando dois pontos da curva na região de correntes altas, através da expressão $R \sim \Delta V / \Delta I$.

V (Volts)	I (mA)	$\epsilon - V$ (mV)
1,52	0	
1,51	3,6	
1,50	7,61	
1,49	11,7	
1,48	18,06	
1,47	25,6	

Respostas.

1.) a.) Sim, brilha. b.) 100 lâmpadas c.) 15Ω d.) Aumentaria

2.) $P_1 = 100W$ $P_f = 0,2 W$ b.) 990 lâmpadas

3.) a.) $V_l = V_c$ b) $R_l = 122\Omega$, $R_c = 2,5\Omega$, $P_i = 100W$, $P_f = 90,72 W$

4.) $P_2 = 33W$