

Exp. 1. - Circuitos DC e Lei de Ohm

Prof. Pedro Augusto Franco Pinheiro Moreira

March 23, 2013

Conceitos

Montagem de circuitos simples, familiarização com os instrumentos de medida, dispositivos ôhmicos e não-ôhmicos.

Introdução

A compreensão dos fenômenos relacionados à natureza elétrica e magnética faz parte da formação de cientistas e engenheiros de todas as áreas do conhecimento. Estes fenômenos são fundamentais na operação de aparelhos como rádios, televisões, motores elétricos, computadores, celulares e dispositivos eletrônicos utilizados na medicina. Podemos inclusive afirmar que o mundo e a vida atual não seriam os mesmos sem o controle destas propriedades. Este curso experimental pretende introduzir, auxiliar e aperfeiçoar a habilidade de confeccionar e projetar circuitos elétricos simples, explorar e quantificar os fenômenos associados ao uso de corrente contínua e alternada em circuitos resistivos e associados a capacitores e indutores.

Neste sentido, partiremos do conceito fundamental explorado no Ensino Médio: a carga elétrica. A carga elétrica é uma propriedade intrínseca da matéria que, sob determinadas condições, pode movimentar-se. Podemos compreender essa movimentação tal como a movimentação da água em uma instalação hidráulica. À quantidade de carga em movimento por unidade de tempo chamamos de intensidade de corrente elétrica. Estudaremos principalmente os efeitos da corrente elétrica através de instrumentos de medidas diversos.

Experimentalmente, as principais grandezas que exploramos em circuitos elétricos assim como seus símbolos, unidades no Sistema Internacional de Unidades e abreviatura são:

- Intensidade de corrente elétrica (I): Ampère (A).
- Diferença de potencial (d.d.p.) ou Tensão Elétrica (U): Volt (V).
- Resistência Elétrica (R): Ohm (Ω).

É conveniente saber expressar as unidades destas grandezas em múltiplos e submúltiplos cujos prefixos mais comuns e fatores de conversão estão indicados na tabela 1.

Conforme exposto, associamos a corrente elétrica ao deslocamento de uma quantidade de carga por um meio condutor por unidade de tempo. A medida de corrente elétrica é realizada por um instrumento denominado amperímetro colocado no caminho da corrente elétrica, ou seja, em série ao circuito. O amperímetro ideal deve ter uma resistência nula de forma a não interferir no circuito em medição.

Uma analogia comum para a compreensão do conceito de ddp ou tensão elétrica é a consideração da queda livre de um corpo a partir de uma altura h_A até uma altura h_B conforme a figura 1. Em termos de potencial gravitacional, a energia potencial é maior em h_A e o corpo desloca-se no sentido do menor potencial. Podemos pretensiosamente dizer que a natureza procura o movimento na direção de menor potencial. Neste sentido, interpretamos a corrente elétrica

Table 1: Grandezas das unidades e fatores de conversão

Prefixo	Símbolo	Fator com relação a unidade padrão
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Mili	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}

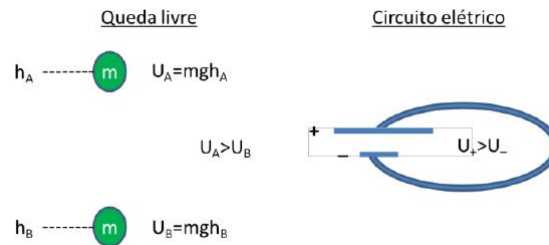


Figure 1: No caso da queda livre, o movimento do corpo de massa m vai do potencial maior U_A para o potencial menor U_B . O mesmo ocorre para as cargas elétricas (positivas) em um circuito. Elas se locomovem através de um condutor (o ar é isolante!) do potencial U_+ para um potencial menor U_- .

(carga em movimento) apenas na presença de uma diferença de potencial elétrico (ddp).

A medida da ddp ou tensão elétrica é realizada através do voltímetro. Como o objetivo deste instrumento é medir a diferença entre o potencial de dois pontos, ele está sempre conectado em paralelo ao componente a ser analisado. De forma a não interferir no circuito em medição, sua resistência deve tender a infinito em um caso ideal.

Os condutores elétricos possuem uma propriedade denominada resistência, que está associada a dificuldade da passagem de corrente elétrica. A resistência (R) de um dispositivo eletrônico é definida pela relação

$$I = R \times V$$

, onde V é a diferença de potencial entre os bornes do dispositivo e I é a corrente passando por ele. Quando a resistência é constante, esta relação é a "Lei de Ohm". Dispositivos que obedecem à Lei de Ohm são ditos ôhmicos (ou lineares). Outros dispositivos, tais como o diodo, apresentam resistência elétrica dependente do potencial aplicado. Estes dispositivos são ditos não-lineares (ou

não-ôhmicos).

Resistores são dispositivos condutores, de resistência especificada, utilizados em circuitos elétricos para controlar a corrente ou para transformar a energia elétrica em calor. Os tipos de resistor mais usados são os resistores de carvão, resistores de filme metálico e carvão e resistores de fio (níquel-cromo) enrolado, que diferem quanto ao elemento de resistência.

Em um circuito com resistores associados em série a tensão total é igual à soma das tensões em cada um dos componentes, enquanto que a corrente é a mesma em todos os componentes. Isto nos leva a dizer que, em um circuito em série, a resistência equivalente R_{eq} é a soma das N resistências:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

Do mesmo modo, em uma associação em paralelo, a corrente total é igual à soma das correntes em cada ramo, enquanto que a tensão é a mesma em todos os componentes. Desta maneira, a soma dos inversos das resistências é igual ao inverso da resistência equivalente do circuito:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Existem vários tipos de diodos. Os mais comuns são fabricados com silício cristalino, como o diodo a ser estudado neste experimento. O silício é um semicondutor, termo que identifica o nível de condutividade para diferenciá-lo dos metais e dos isolantes. A condutividade dos metais é ordens de grandeza maior do que a dos semicondutores. Já os isolantes são várias ordens de grandeza mais resistivos do que os semicondutores. Entretanto, a caracterização de um material semicondutor não é dada apenas pela sua condutividade. A característica fundamental de um semicondutor é possuir o que chamamos de banda proibida, que é uma região (em energia) que os elétrons não podem ocupar. Isto permite criarmos uma barreira de potencial para os elétrons (como a junção p-n) ao unirmos dois semicondutores com diferentes níveis de dopagem (outra característica dos semicondutores). O estudo deste tema está além dos propósitos deste experimento.

A barreira de potencial fica localizada no interior do dispositivo, e os elétrons precisam ultrapassar esta barreira para que a corrente possa passar. Podemos imaginar os elétrons como sendo carros, e uma montanha como sendo a barreira de potencial. É fácil descer a serra, mas para subir é necessário energia extra. No diodo também existe um sentido direto de passagem fácil de corrente e um sentido inverso que bloqueia a corrente.

Na verdade a situação é bem mais complicada e envolve a condução de dois tipos de portadores: os elétrons e os buracos. No caso do diodo, ao polarizarmos no sentido direto ele conduz corrente de maneira exponencial em função da tensão aplicada. Para altas polarizações a expressão para a corrente é da forma:

$$I = I_0 \exp(qV/kT)$$

onde q é a carga do elétron, V a tensão aplicada, k a constante de Boltzman e T a temperatura absoluta. Entretanto, a curva completa é mais complicada



Figure 2: (a) Símbolo do resistor e (b) símbolo do diodo.

devido aos vários mecanismos de condução (que estão fora dos objetivos deste experimento). Desta forma não vamos investigar o comportamento exponencial do diodo. Mas veremos que, de fato, a corrente aumenta de forma muito rápida. No sentido de polarização inversa o diodo conduz um pouco, a resistência é elevada de forma que a corrente é algumas ordens de magnitude inferior à corrente obtida para polarizações diretas.

A figura abaixo mostra os símbolos do resistor (1a) e do diodo (1b), mostrando o sentido em que ele deve ser polarizado para que a corrente possa passar. O símbolo tem uma forma de seta que indica o sentido da corrente.

Procedimento

Parte A - Resistor

1) Monte o circuito da Figura ?? (a) usando um resistor de proteção de valor nominal R_p e um resistor cuja resistência deverá ser determinada (valor nominal R_x). Use dois multímetros, um para medir corrente e outro para medir tensão. Em que situação o circuito da Figura 1b deveria ser utilizado?

2) Esboce a tabela que receberá as quantidades medidas. Aproveite para retomar o estudo dos assuntos que podem ter sido esquecidos.

3) As medidas deste experimento deverão ser feitas no modo manual dos multímetros.

ATENÇÃO: NUNCA LIGUE O MULTÍMETRO EM PARALELO COM A FONTE.

Deixe todos os instrumentos na escala de menor sensibilidade (máxima proteção). Alimente o circuito com a fonte, aumentando lentamente a sua tensão e observe as leituras nos multímetros. Sempre que necessário ajuste o fundo de escala. Quando um destes (ou a fonte) atingir o fundo de escala, pare e faça a leitura dos dois instrumentos, anote todos os valores úteis na tabela. A partir deste ponto experimental, reduza gradativamente a tensão da fonte, medindo cerca de 10 pontos (V; I), uniformemente distribuídos, registrando os resultados na tabela. Registre também a escala usada para cada instrumento em cada medida, o valor nominal de cada resistência (código de cores) e o valor medido com o ohmímetro (multímetro).

Observação importante: Note que em todos os casos a potência máxima dissipada no resistor não deverá ultrapassar 1,5W, valor compatível com a capacidade de dissipação de calor (2W) dos resistores utilizados na montagem.

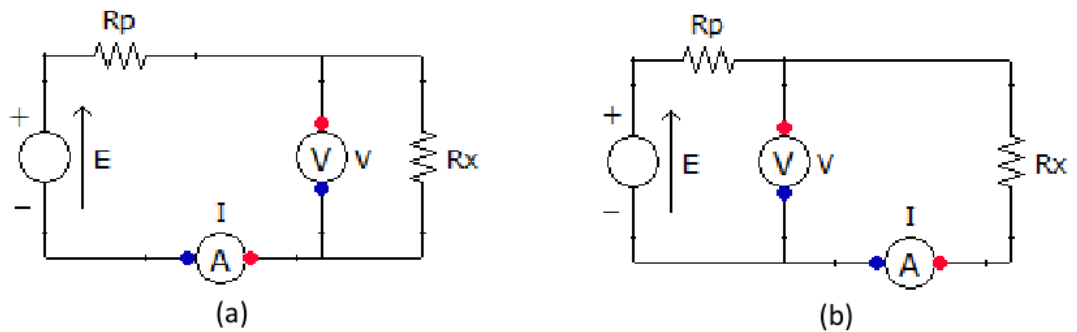


Figure 3: Circuitos para medida de R_x .

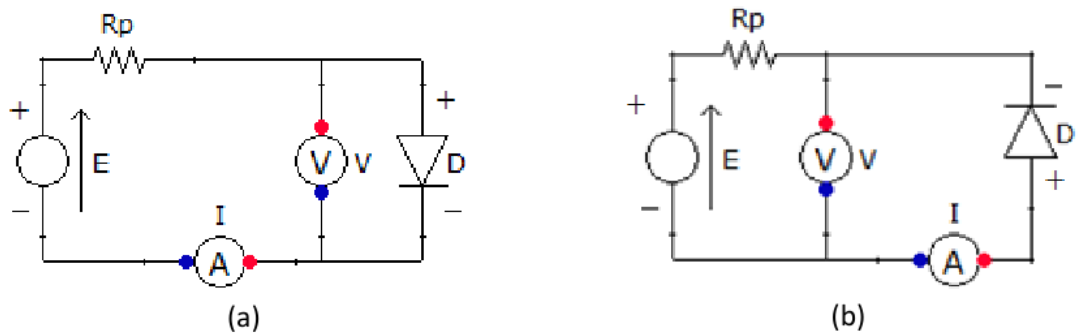


Figure 4: Circuitos para caracterização do diodo

Verifique que esta condição seja cumprida escolhendo para isso o intervalo de voltagens utilizadas em cada conjunto de medidas.

Parte B - Diodo

4. Monte o circuito (a) da figura 4, de polarização direta do diodo, com R_p .
5. Varie a tensão da fonte para obter tensão no diodo entre 0 e 0,75 Volts, e meça a corrente e a tensão no diodo. Obtenha ~ 15 pontos de corrente versus tensão. Atenção: **MUITO CUIDADO** para não danificar os multímetros ao utilizar o diodo no sentido direto. Sempre comece as medidas a partir das maiores escalas. Não ultrapasse 0,75 A (750 mA) de corrente.
6. Monte o circuito (b) da figura acima, de polarização reversa do diodo. Utilize o multímetro na menor escala de corrente ($600 \mu A$).
7. Varie a tensão no diodo entre 0 e 15 Volts, e meça a corrente correspondente. Obtenha 10 pontos de corrente versus tensão.

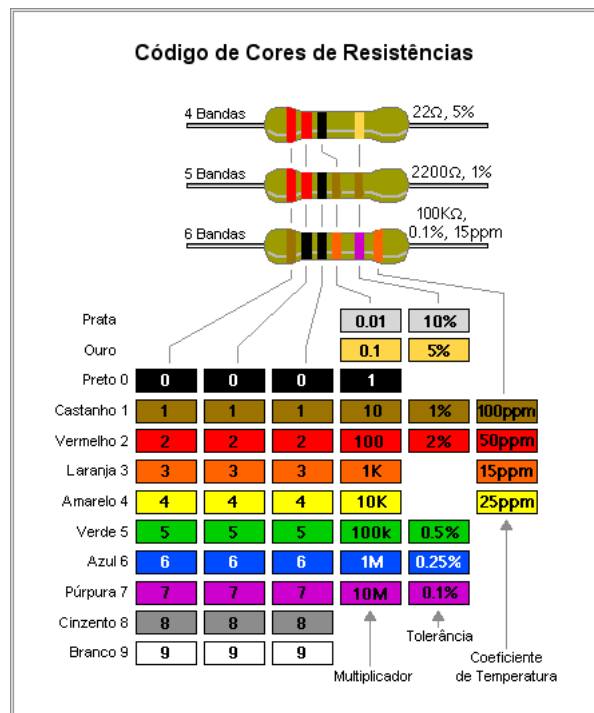


Figure 5: Código de cores das resistências.

Coors de Resistência

As resistências mais comuns que encontramos hoje no nosso dia a dia são as resistências de carvão. São constituídas basicamente por grafite (carvão) comprimida e por uma camada isolante cerâmica revestida sobre o grafite. A forma de identificar o valor nominal de uma resistência deste tipo é através de 4 faixas coloridas sobre a resistência (as resistências de precisão têm 5 a 6 cores).

A maneira de identificar é simples:

1. Começam a partir da extremidade que não contenha as cores: prata e dourado;
2. As duas primeira cores formam um número com 2 algarismos;
3. A 3ª cor representa o expoente da potência de 10 que multiplica pelo número anterior.
4. A 4ª cor indica a tolerância da resistência, em percentagem.

Resumidamente temos numa simples tabela (Figura 5) tudo o que expliquei, bem como as respectivas cores.

Protoboard

Para a maioria dos experimentos de nosso curso, utilizaremos uma caixa de montagens (ou protoboard) confeccionado especialmente para esta disciplina (veja figura 6). A região do lado direito contem 9 quadrados vermelhos com 5 conexões em curto. Esta é a região em que montaremos os circuitos esquema-

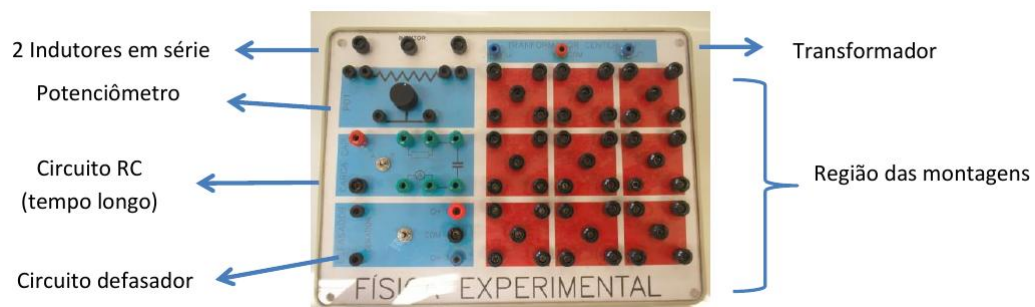


Figure 6: Caixa de montagem (protoboard) utilizada em nossa disciplina.

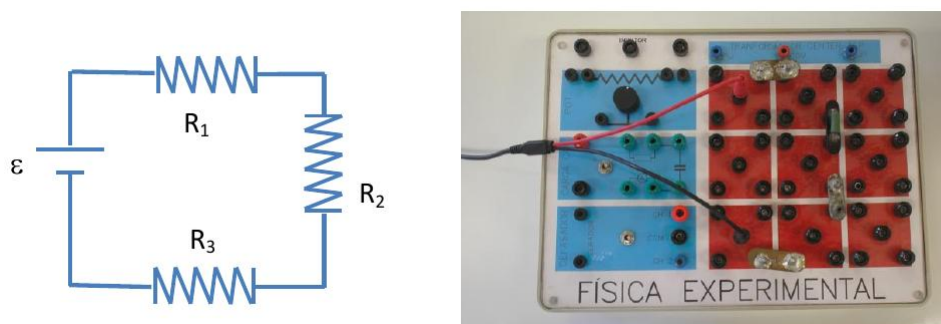


Figure 7: Esquema de um circuito com fonte de tensão e três resistores em série e circuito real montado na protoboard.

tizados nos roteiros experimentais. Alguns experimentos utilizarão partes pré-montadas já anexadas à caixa do lado direito: indutores, potenciômetro, circuito RC para tempo longo e circuito defasador e acima da parte vermelha temos um transformador.

Todo elemento a ser adicionado a um circuito deve ficar entre dois destes quadrados como esquematizado na figura 7. As cinco conexões em curto (bornes) podem ser entendidas como nós naquele ponto em particular. A fonte de tensão ou gerador de funções é externa à caixa e alimentará o circuito através da conexão entre os fios vermelho (polo positivo) e preto (polo negativo ou terra) quando for o caso.

Instrumentos de medida e multímetro digital

Nas medidas elétricas, especialmente nos primeiros experimentos, utilizaremos um aparelho denominado multímetro. De maneira geral, o multímetro engloba diversos instrumentos de medidas acoplados, que são escolhidos através do seletor de funções na posição central (veja Figura 8). Em particular, focaremos nos instrumentos amperímetro, voltímetro e ohmímetro. Este último utiliza um método de medida que permite a obtenção direta do valor da resistência de

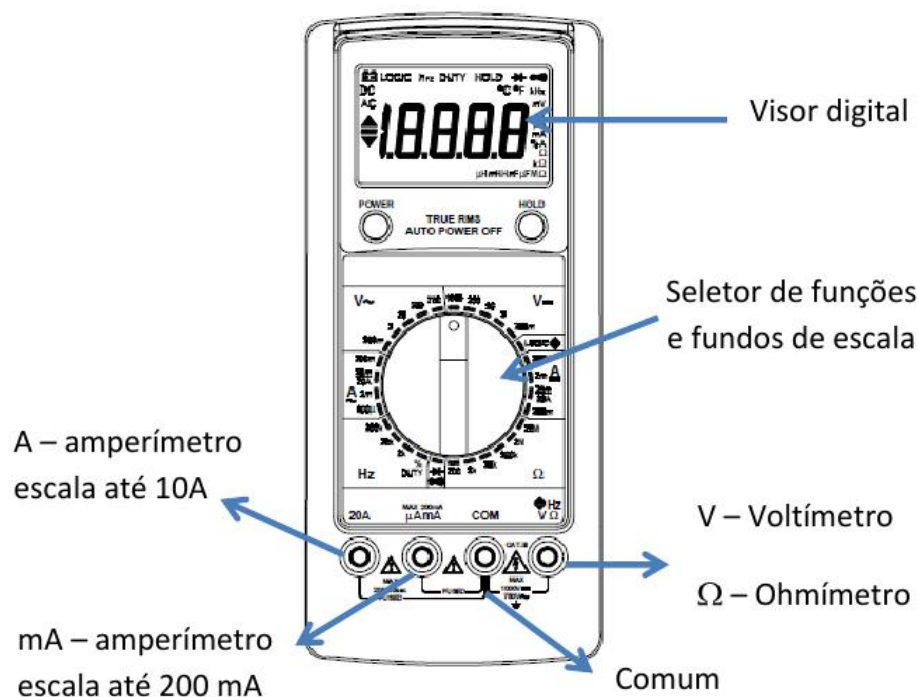


Figure 8: Esquema geral de um multímetro digital e a localização do visor e seletor de funções e fundo de escala. Os cabos para conexão ao circuito são do tipo banana e um deles deve estar sempre conectado ao comum. O outro é conectado à entrada dependendo da função selecionada.

um resistor ôhmico.

Para operá-lo corretamente como amperímetro ou voltímetro devemos selecionar a sua função conforme a unidade (A- amperímetro e V - voltímetro), o tipo de tensão (alternada ou contínua) e o fundo de escala. Uma vez selecionado, acoplamos:

- o voltímetro em paralelo ao componente a ser medido;
- o amperímetro em série ao circuito.

Caso o amperímetro seja colocado em paralelo, o fato de sua resistência ser pequena fará com que a corrente no circuito seja desviada para o instrumento de medida. Isto acarretará a queima do amperímetro.

Alguns multímetros possuem outras funções, dentre as quais destacamos a possibilidade de medir a capacitância, a indutância, a frequência e a continuidade.

As incertezas instrumentais associadas aos valores medidos com um multímetro digital dependem da escala utilizada, e vêm especificados no manual de cada instrumento. Por exemplo, nos multímetros digitais da marca Minipa modelos ET-2095/ET-2510, a incerteza na escala de tensão contínua está dado por:

$$\pm(0.5\% + 2D),$$

e isso significa: $\pm(0.5\%$ do valor da leitura + duas vezes o dígito menos significativo da escala).

Por exemplo, se tivermos uma medida de 2.336 V (na escala até 6.000 V), a incerteza associada será:

- 0,5 % de 2,336 V = 0,01168 V,
- duas vezes o dígito menos significativo da escala = $2 \times 0,001 \text{ V} = 0,002 \text{ V}$.

Então, temos, $0,01168 \text{ V} + 0,002 \text{ V} = 0,01368 \text{ V}$.

Arredondando temos que a medida com sua incerteza é:

$$(2,34 \pm 0,01)V$$

O mesmo procedimento é aplicado em qualquer outra escala. As tabelas dos multímetros utilizados em nosso curso encontram-se no apêndice desta apostila e afixadas no laboratório.

Relatório

Parte A

1. Discuta a linearidade do gráfico de V x I em conexão com a lei de Ohm.
2. Calcule, a partir do gráfico, o valor de Rx e compare com os valores nominal e o medido com o ohmímetro (multímetro).
3. O circuito escolhido para coleta de dados foi de fato o mais adequado? Discuta.

Parte B

4. A partir dos gráficos de I x V e R X V obtidos para o diodo, verifique que o diodo é um componente retificador (só deixa passar corrente em uma direção).
5. Compare qualitativamente o gráfico de I x V com o modelo para a curva de corrente do diodo.
6. Por que utilizamos circuitos diferentes para medir a corrente e tensão no diodo quando mudamos a sua polarização?

Geral

7. Qual a função da resistência de proteção e como o seu valor interfere nas duas partes do experimento?

Bibliografia

Halliday D.; Resnick R.; Walker, J. Fundamentos de Física vol. 3.
 Burian Jr., Y; Lyra, A.C.C. Circuitos Elétricos.
 Gussow M., Eletricidade Básica.
 Lima Jr., A.W., Eletricidade e Eletrônica Básica.