

INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS

Introdução

Durante todo o curso de Laboratório de Física B, o aluno manuseará instrumentos de medidas elétricas e fontes de tensão elétrica. O instrumento de medida elétrico mais utilizado durante o curso será o multímetro digital, que é um instrumento que possui diversas funções, permitindo a medida de várias grandezas elétricas. Com relação à fonte de tensão elétrica, utilizaremos na primeira parte do curso fontes contínuas e na segunda parte fontes alternadas.

Um dos mais antigos instrumentos de medida elétrica, mas que ainda está presente em muitos dispositivos atuais, é o galvanômetro. Uma versão comum em vários instrumentos elétricos é o galvanômetro de d'Arsonval, que pode ser utilizado para medida de tensão (voltímetro), de corrente (amperímetro) ou de resistência elétrica (ohmímetro), dependendo da forma como as suas conexões internas são configuradas. O funcionamento geral deste tipo de galvanômetro é baseado no deslocamento angular de uma agulha acoplada a uma bobina devido à passagem de corrente elétrica. Este fenômeno de interação eletromagnética é semelhante ao que foi demonstrado em 1820, por Oersted, como veremos na aula sobre "Campo magnético em condutores".

Há instrumentos que permitem a medida de diferentes grandezas elétricas, denominados de multímetros. Estes instrumentos podem permitir a medida de tensões, correntes, resistências elétricas, temperatura, capacitância, frequência, entre outras grandezas. A medida de cada uma dessas grandezas é escolhida por meio de uma chave seletora.

Os multímetros podem ser analógicos ou digitais, como apresentados na Figura 1. Os multímetros analógicos são construídos com um galvanômetro de d'Arsonval e a chave seleciona diferentes resistores ligados em série ou em paralelo com o galvanômetro segundo as conveniências. A chave tem ainda a função de acionar a pilha, ou bateria, no caso de medidas de resistências.

Nos multímetros digitais, os mostradores analógicos e, conseqüentemente, o galvanômetro de d'Arsonval, foram superados por instrumentos eletrônicos com mostradores digitais. Nestes instrumentos, a

corrente elétrica é convertida em sinais digitais por meio de circuitos denominados conversores analógico-digitais.

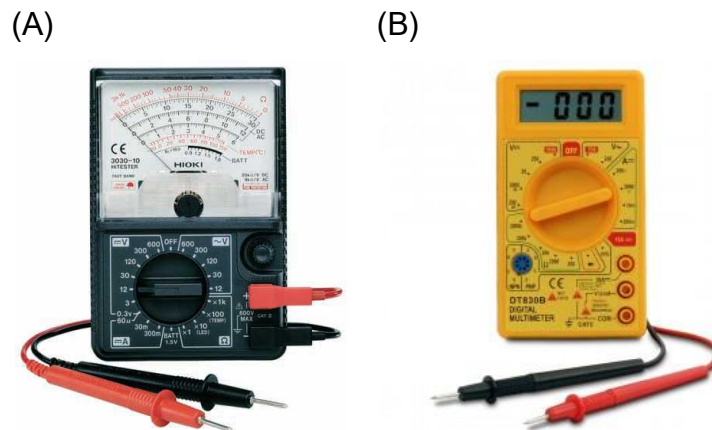


Figura 1: Exemplo de multímetros (a) analógico e (b) digital.

A mudança da chave seletora do multímetro provoca mudanças internas nas conexões dos circuitos que alteram as propriedades elétricas do equipamento, como, por exemplo, a resistência interna. São estas alterações que permitem a inserção dos instrumentos nos circuitos elétricos sem alteração significativa da grandeza que se deseja medir.

Cada tipo de instrumento é conectado ao circuito ou ao dispositivo a ser medido de forma diferente. Como veremos a seguir, o voltímetro deve ser conectado em paralelo com os elementos presentes no circuito. Portanto, para que não haja alteração de corrente no circuito, ele deve ter resistência muito alta, quando comparada com a resistência do circuito. Por outro lado, o amperímetro é inserido no circuito em série com os demais elementos presentes, sendo necessário, portanto, que a sua resistência seja praticamente desprezível.

Nas seções seguintes, detalharemos os instrumentos de medida elétrica que serão prioritariamente utilizados neste curso, utilizando o galvanômetro de d'Arsonval para ilustrar os princípios de funcionamento de cada tipo de instrumento e detalhando as características de conexão dos componentes elétricos internos que determinam as propriedades de cada instrumento. No final desta aula, será possível manusear os instrumentos e vocês poderão verificar as resistências internas usando dois multímetros: um na função ohmímetro (medidor de resistência) e outro a função que desejar determinar a resistência (voltímetro ou amperímetro).

Ohmímetro

O ohmímetro é um instrumento usado para medir diretamente resistências elétricas. Este instrumento, que tem um esquema ilustrativo apresentado na Figura 2, pode ser construído a partir de um galvanômetro de d'Arsonval, representado pela resistência R_G , acoplado a uma resistência fixa R , uma resistência de ajuste r (variável), e uma fonte de tensão ε (que pode ser uma pilha comercial).

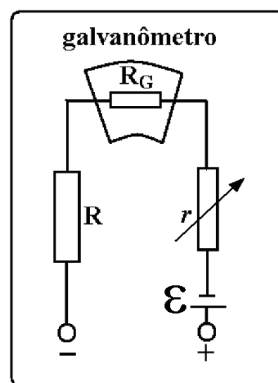


Figura 2: Ohmímetro e seus principais elementos: resistência de ajuste (r), resistência fixa (R), fonte interna de tensão (ε) e terminais positivo (+) e negativo (-).

Ligando os terminais (positivo e negativo) do medidor às extremidades de um resistor desconhecido R_x , que se deseja medir a resistência, fecha-se o circuito elétrico. Deste modo, circulará uma corrente I que defletirá a bobina móvel do galvanômetro. O valor I pode ser determinado pela Equação (1), uma vez que é dada pela a tensão aplicada dividida pela resistência total (soma de todas as resistências).

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{total}} = \frac{\varepsilon}{(R + r + R_G + R_x)} \quad (1)$$

Observe que R , r , e R_G são resistências internas ao medidor. O valor de r é ajustável, para que se obtenha 0 (zero) ohm, quando os terminais são curto-circuitados (quando fechamos o circuito com uma resistência desprezível, o

ponteiro indicará o valor zero da resistência). Vamos chamar este valor particular de r de $r(0)$. Curto-circuitando os terminais do ohmímetro, isto é, fazendo $R_x = 0$, podemos reescrever a Equação (1) como:

$$I = I_G = \frac{\mathcal{E}}{R_{int}} = \frac{\mathcal{E}}{(R + r(0) + R_G)} \quad (2)$$

onde I_G é máxima corrente a circular pelo galvanômetro e R_{int} é a resistência interna do ohmímetro. Das Equações (1) e (2), podemos escrever:

$$\mathcal{E} = I_G R_{int} \quad (3)$$

$$I = \left(\frac{I_G R_{int}}{R_{int} + R_x} \right) \quad (4)$$

O que resulta na seguinte expressão:

$$R_x = R_{int} \left(\frac{I_G}{I} - 1 \right) \quad (5)$$

Por esta última expressão, verifica-se que é possível medir R_x , que é a variável desejada, a partir da medida de I feita pelo galvanômetro, uma vez que as demais grandezas são conhecidas. Além disso, essa expressão indica que a grandeza a ser medida R_x e a corrente I que deflete a bobina móvel do galvanômetro são inversamente proporcionais. Portanto, quanto maior a corrente medida, menor é a resistência do elemento medido. Deste modo, os valores na escala de resistências em multímetro (instrumento que veremos adiante) decrescem com o aumento do ângulo que o ponteiro faz com a posição de repouso. Quando o ponteiro apontar para o centro de escala, podemos dizer que a corrente que percorreu no galvanômetro é igual à metade da corrente máxima I_G . Neste caso, substituindo $I = I_G/2$ na equação anterior, teremos: $R_x = R_{int}$.

Voltímetro

O voltímetro é um instrumento destinado a realizar medida direta da diferença de potencial (ou tensão elétrica) entre dois pontos no circuito. No caso da Figura 2, o voltímetro deve fornecer a indicação da diferença de potencial entre os pontos A e B.

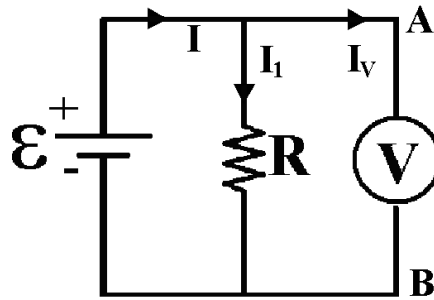


Figura 3: Circuito simples, com uma resistência (R) em série com uma fonte de tensão (ε), indicando o posicionamento do voltímetro para medida da diferença de potencial em R.

A diferença de potencial entre os pontos A e B pode ser descrita como:

$$V_{AB} = V_A - V_B = RI \quad (6)$$

onde R é resistência e I é corrente que passa em todo o circuito. Assim, o que o voltímetro está medindo na realidade é:

$$V_{AB} = RI_1 \quad (7)$$

Como é conectado em paralelo ao resistor (R), o voltímetro, para não desviar apreciavelmente a corrente, deve possuir uma resistência interna muito grande (tal que $I_V \cong 0$ A). Isto é conseguido a partir da associação de um resistor de resistência alta colocado em série com o galvanômetro, que tem resistência de R_G .

Amperímetro

Amperímetros são instrumentos construídos com a finalidade de medir correntes elétricas. Um amperímetro sempre mede a corrente que passa através dele. Assim para realizarmos uma medida de corrente é necessário que ele esteja em série no ponto no qual se deseja medir a corrente. Um amperímetro ideal deve ter resistência zero de forma que quando conectado em um ramo do circuito, não afeta a corrente que passa nesse ramo. Devido a esta característica,

este instrumento é mais susceptível a danos, quando usado incorretamente. Os amperímetros reais possuem resistência finita, mas é desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.

A corrente indicada pelo amperímetro é a relação entre a tensão entre seus terminais e a resistência interna do aparelho.

$$I = \frac{V}{R} \quad (8)$$

A Figura 4 apresenta uma ilustração de um amperímetro composto por um galvanômetro e uma resistência em paralelo, denominada resistência de resistência de *shunt*.

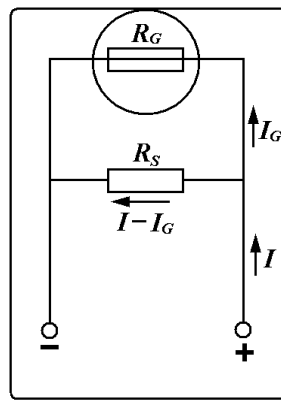


Figura 4: Amperímetro com resistência de *shunt*.

Do esquema da Figura 4 temos que:

$$R_G I_G = R_S I_S = R_S (I - I_G)$$

$$R_S = \frac{R_G I_G}{(I - I_G)} \quad (9)$$

Por meio de resistências em paralelo convenientemente escolhidas (*shunts*), o amperímetro pode ser construído com múltiplas escalas. Num mesmo amperímetro, as resistências sucessivas podem ser ligadas por meio de uma chave rotatória de acordo com a Figura 5.

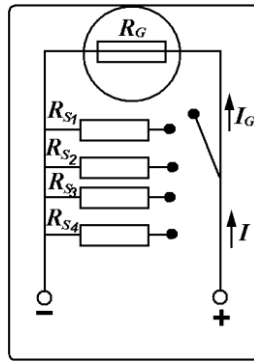


Figura 5: Amperímetro com fundo de escala variável.

Nesta subseção, e nas seguintes, serão apresentadas algumas informações básicas sobre os instrumentos que serão manuseados nas primeiras experiências do curso. E, para concluir esta aula, será apresentada uma atividade prática, para auxiliar na familiarização com os instrumentos.

Informações gerais sobre o multímetro

A Figura 6 apresenta um esquema geral de multímetro, nomeando as suas diferentes partes. Pela figura, é possível visualizar as múltiplas escalas que podem ser escolhidas por meio da chave seletora. Os pontos de encaixe dos cabos para medida são indicados com o nome de bornes de entrada. Para cada tipo de uso do instrumento, há uma correta posição dos cabos nos bornes de entrada, como explicaremos nos próximos parágrafos. Para uniformizar, no borne da entrada (-), com a indicação de “COM” no instrumento, utilizaremos cabos azuis ou pretos. No borne da entrada (+), utilizaremos cabos vermelhos ou verdes. Assim, facilitará a correta medida das grandezas. Uma dica importante para as medidas em circuitos alimentados com tensões contínuas: é necessário acoplar os instrumentos respeitando a polaridade do circuito, ou seja, o pólo positivo do seu instrumento deve ser conectado ao pólo positivo do circuito e o pólo negativo do seu instrumento ao pólo negativo do circuito.

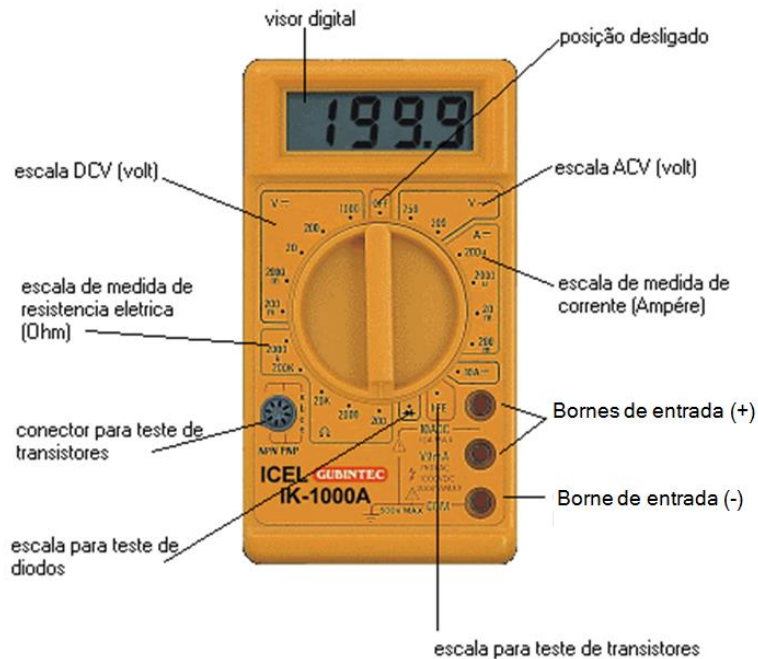


Figura 6: Esquema geral de um multímetro.

Na Figura 7, é possível observar as escalas de medidas na função voltímetro de um multímetro. Também nesta figura, há informações importantes sobre a simbologia associada ao voltímetro e a indicação de como deve ser feita a conexão dos cabos aos bornes de entrada do instrumento para realização de medidas de tensão elétrica.

Múltiplas escalas

Símbolos

Simbologia do voltímetro =

Simbologia para tensão contínua = $V \text{ —}$

Simbologia para tensão alternada = $V \sim$

Conexão dos cabos com os bornes de entrada

Figura 7: Voltímetro: escalas, símbolos e conexões.

Na Figura 8, é possível observar as escalas de medidas na função amperímetro de um multímetro. Também nesta figura, há informações importantes sobre a simbologia associada ao amperímetro e a indicação de como deve ser feita a conexão dos cabos aos bornes de entrada do instrumento para realização de medidas de corrente elétrica.

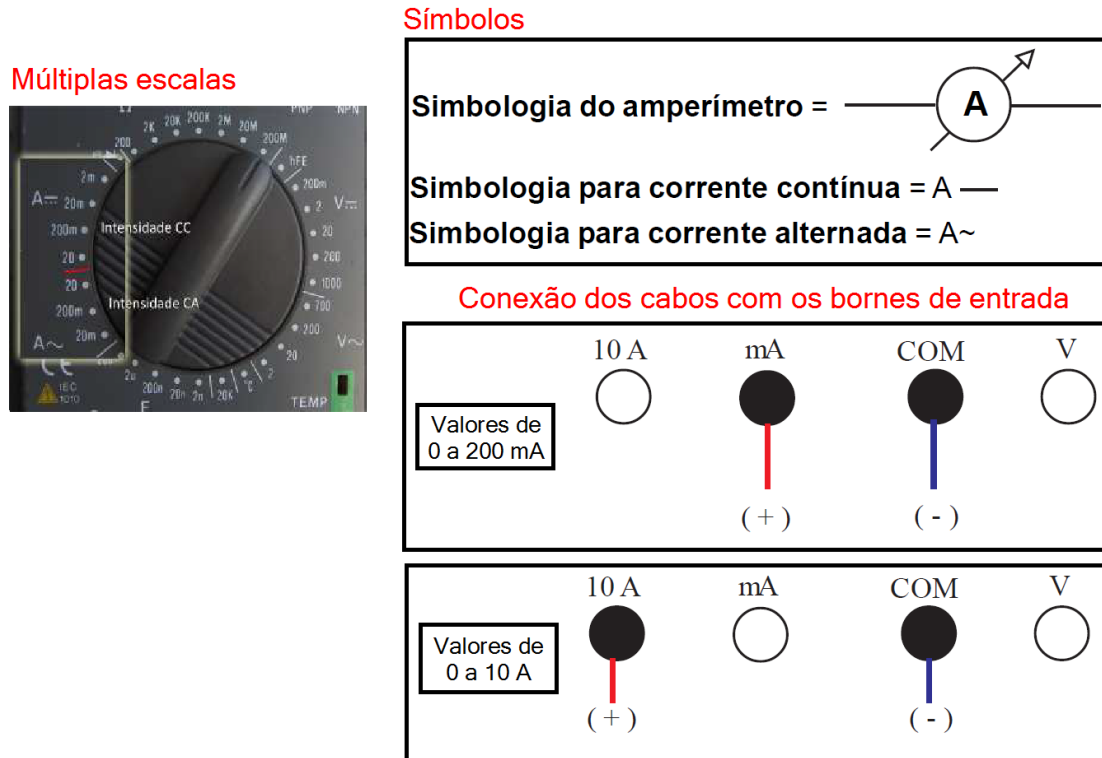


Figura 8: Amperímetro: escalas, símbolos e conexões.

Uma dica importante para evitar danos aos instrumentos é sempre selecionar, em primeiro momento, a maior escala possível da grandeza a ser medida. Após a medida inicial, deve-se selecionar a melhor escala para a medida, para que sejam obtidas medidas com a maior precisão possível. Esta dica é muito importante na função amperímetro: se o instrumento for submetido a valores de corrente maiores do que a escala suporta, ele possivelmente será danificado.

Resistência Interna dos Instrumentos

Quando conectamos um instrumento de medida em circuito, seja um voltímetro, um amperímetro ou um ohmímetro, estamos introduzindo também uma resistência. Idealmente, o amperímetro tem resistência interna desprezível

e quando conectado em série ao circuito não altera nem a resistência equivalente e nem a corrente. Já o voltímetro, idealmente, tem resistência interna infinita, e por ser conectado em paralelo, também não alteraria a resistência equivalente e a corrente elétrica no circuito. Entretanto, na prática, os valores não são exatamente estes e a introdução do instrumento sempre gera alguma alteração no circuito.

A Figura 9 ilustra a conexão do voltímetro e do amperímetro em um circuito elétrico, mostrando que o primeiro deve ser conectado em paralelo com os elementos presentes no circuito, enquanto que o segundo deve ser conectado em série.

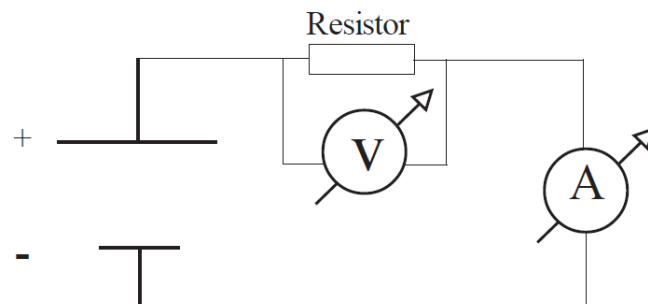


Figura 9: Conexão do amperímetro e do voltímetro no circuito.

Os circuitos serão montados em sala de aula em placas de teste. A Figura 10 apresenta uma das placas de testes que usaremos durante os experimentos.

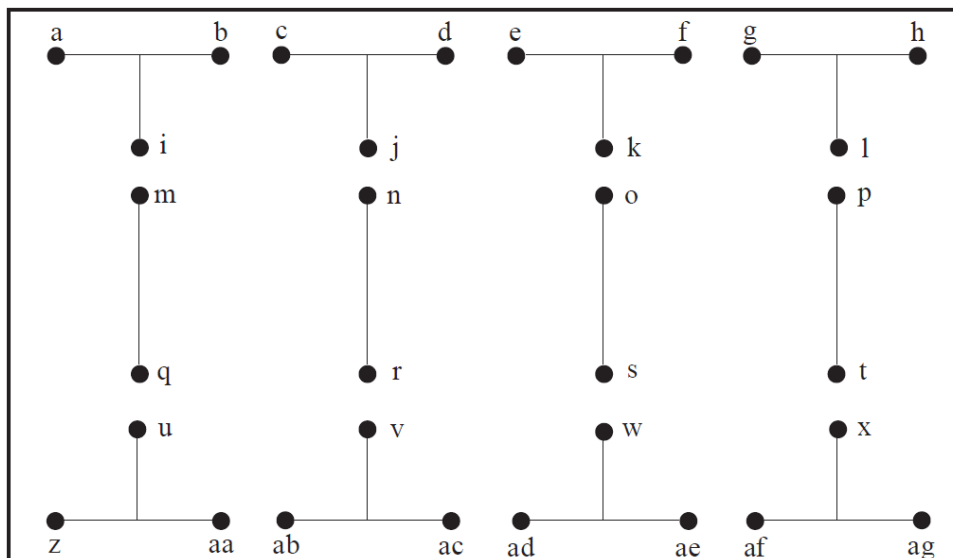


Figura 10: Ilustração de uma placa de teste para montagem de circuito.

Atividade experimental

1. Objetivos

O objetivo desta atividade prática é aprender a manusear o multímetro, nas funções voltímetro e amperímetro, e a fonte de tensão elétrica.

2. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Fonte de tensão elétrica;
- Cabos;
- 2 Multímetros;
- Jumpers;
- Placa de teste;
- Resistor.

Roteiro Experimental:

1ª Parte: Medição das resistências internas dos instrumentos.

- i. Coloque um multímetro na função **ohmímetro** na maior escala disponível;
- ii. Coloque um segundo multímetro da função **voltímetro** na menor escala disponível e conecte os cabos corretamente nos bornes indicados para a função selecionada;
- iii. Insira os cabos do **voltímetro** no **ohmímetro** e realize a medida de resistência da escala do voltímetro;
- iv. Se o valor de resistência medida permitir, diminua a escala selecionada do **ohmímetro**¹;

¹ Deve-se evitar usar escalas menores do que a medida, pois neste caso a escala ficará saturada e pode haver danos ao equipamento. Nas funções de **ohmímetro** e de **voltímetro** este “equivoco” é menos problemático, e o grupo deve inclusive colocar em uma escala saturada para verificar como isto é indicado no

- v. Repita os passos de i a iv para todas as demais escalas do **voltímetro**;
- vi. Coloque um multímetro na função **ohmímetro** na menor escala disponível;
- vii. Coloque um segundo multímetro da função **amperímetro** na menor escala disponível e conecte os cabos corretamente nos bornes indicados para a função selecionada;
- viii. Insira os cabos do **amperímetro** no **ohmímetro** e realize a medida de resistência da escala do amperímetro;
- ix. Se o valor de resistência medida permitir, aumente a escala selecionada do **ohmímetro**;
- x. Repita os passos de i a iv para todas as demais escalas do **amperímetro**, atentando para mudar a conexão dos cabos na escala de 10 A;

2ª Parte: Medição de tensão elétrica contínua.

- xi. Ligue a fonte de tensão à rede elétrica, atentando para a correta voltagem de alimentação do equipamento (110 ou 220 V);
- xii. Usando o multímetro na função **voltímetro**, verifique os valores de tensão de saída da fonte de tensão utilizando a correta conexão dos cabos com os instrumentos. Lembre que a primeira medida deve ser feita sempre na maior escala disponível e depois a correta escala deve ser escolhida;
- xiii. Posicione a chave seletora na escala de 20 V (DC)² e ajuste a fonte de tensão para fornecer aproximadamente 15 V, **segundo medida do voltímetro**. É a leitura do **voltímetro** que deverá ficar em torno de 15 V. Então, observe para o voltímetro enquanto estiver girando o botão da fonte de tensão. Anote, na tabela de dados disponibilizada na seção seguinte, 3 medidas nestas condições;
- xiv. Sem modificar a tensão de saída da fonte, altere a escala de medida do voltímetro, para as escalas indicadas na Tabela 1. Discuta com seus

mostrador. **Já na função amperímetro, saturar a escala normalmente danifica o equipamento e deve ser evitado ao máximo.**

² O símbolo DC indica a utilização de corrente contínua e o símbolo AC indica a utilização de corrente alternada.

- colegas de grupos as modificações observadas nas medidas realizadas, identificando a importância da correta seleção da escala;
- xv. Retorne a chave seletora para a escala 20 V (DC) e desligue momentaneamente a fonte de tensão;
 - xvi. Inverta a conexão dos cabos (vermelho e azul) com os bornes de entrada do voltímetro e refaça uma medida de tensão da escala mais adequada, verificando a influência da polaridade nas leituras;
 - xvii. Desmonte o seu experimento e desligue os instrumentos.

3ª Parte: Medição de corrente elétrica contínua.

- i. Monte o circuito sugerido na Figura 11, conectando o cabo vermelho do amperímetro ao borne de entrada de 10 A e selecionando a correta escala do amperímetro para medida de corrente contínua de até 10 A;³

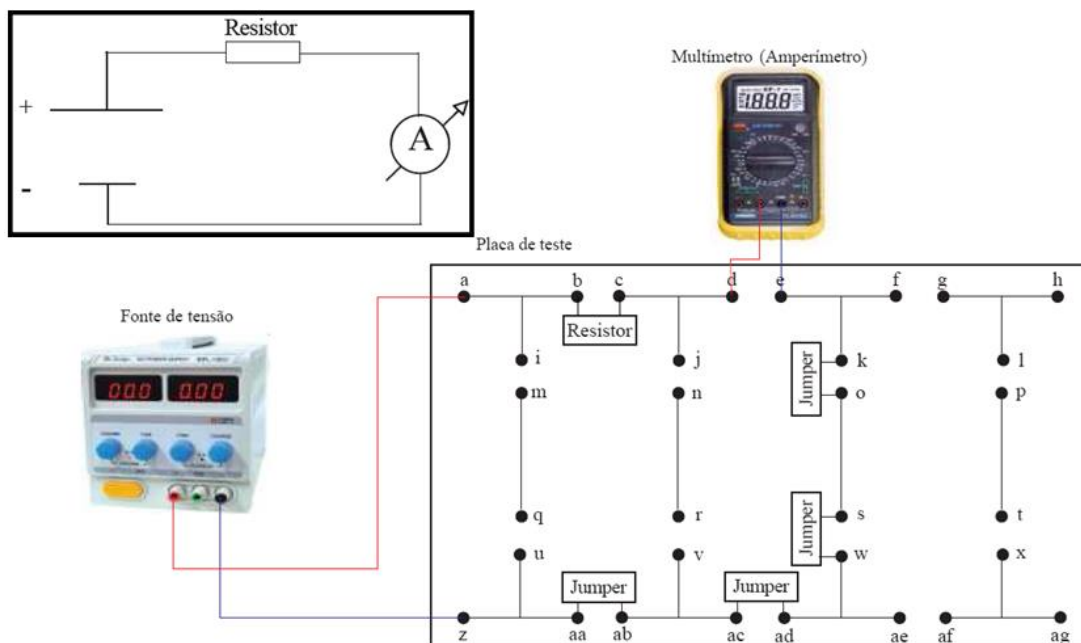


Figura 11: Sugestão para montagem do circuito, no quadro em destaque, para experimento com o amperímetro.

³ A função amperímetro do multímetro exige máximo cuidado e atenção. Escolhas equivocadas geram danos ao instrumento.

- ii. Ligue a fonte de tensão e aplique 15 V no circuito; monitorando esse valor através do medidor da própria fonte.
- iii. Realize 3 medidas de corrente e verifique se é possível mudar a posição do cabo para o borne de 200 mA;
- iv. Caso a corrente medida seja inferior a 200 mA, desligue a fonte e o amperímetro, reposicione o cabo vermelho no borne de 200 mA e reconecte o amperímetro no circuito;
- v. Faça medidas da corrente nas escalas do amperímetro que tenham fundo de escala maior do que a medida. Não meça em escalas que fiquem saturadas para não danificar o equipamento;
- vi. Desligue a fonte, inverta os cabos (vermelho e azul) e faça uma medida de corrente da melhor escala, verificando a influência da polaridade nas leituras;
- vii. Desmonte todo o experimento e deixe a bancada arrumada, com cabos e dispositivos guardados devidamente e todos os equipamentos desligados e desconectados da rede elétrica.

3. Tabela de Dados

Tabela 1: Dados coletados na atividade prática com o ohmímetro.

Voltímetro								
Escala do voltímetro	$R_{\text{Medida}} \text{ (M}\Omega\text{)}$			R (M Ω)	σ_a (M Ω)	σ_b (M Ω)	σ_c (M Ω)	Resultado de R
	Medida 1	Medida 2	Medida 3					
200 mV								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
2000 mV								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
20 V								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
200 V								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
500 V								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
Amperímetro								
Escala do amperímetro	$R_{\text{Medida}} \text{ (}\Omega\text{)}$			R (Ω)	σ_a (Ω)	σ_b (Ω)	σ_c (Ω)	Resultado de R
	Medida 1	Medida 2	Medida 3					
10 A								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
200 mA								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
20 mA								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>
2000 μ A								(<u> </u> \pm <u> </u>) <u> </u>

Tabela 2: Dados coletados na atividade prática com o voltímetro.

Escalas do voltímetro								
Tensão indicada na fonte (V): _____								
Escala do voltímetro	V_{Medida} (V)			V (V)	σ_a (V)	σ_b (V)	σ_c (V)	Resultado de V
	Medida 1	Medida 2	Medida 3					
20 V								(_____ \pm _____)
200 V								(_____ \pm _____)
500 V								(_____ \pm _____)
2000 mV								(_____ \pm _____)
200 mV								(_____ \pm _____)

Tabela 3: Dados coletados na atividade prática com o amperímetro.

Escalas do amperímetro								
Tensão indicada na fonte (V): _____								
Escala do amperímetro	I_{Medida} (mA)			I (mA)	σ_a (mA)	σ_b (mA)	σ_c (mA)	Resultado de I
	Medida 1	Medida 2	Medida 3					
10 A								(_____ \pm _____)
200 mA								(_____ \pm _____)
20 mA								(_____ \pm _____)
2000 μ A								(_____ \pm _____)

4. Discussão

1. Qual a resistência interna em cada escala do voltímetro? Discuta o resultado considerando a forma como o voltímetro é introduzido no circuito para realização de medidas.
2. Qual a resistência interna em cada escala do amperímetro? Discuta o resultado considerando a forma como o amperímetro é introduzido no circuito para realização de medidas.
3. Os valores de tensão medidos com o multímetro são semelhantes aos valores indicados no visor da fonte de tensão? Estime o erro para algumas das medidas feitas.
4. O que ocorrerá com a leitura se selecionarmos a escala de 2 V para fazermos uma medida de 15 V? E se fizermos uma medida de 150 mV em uma escala de 200 V, haverá algum prejuízo às medidas?
5. Qual a melhor escala e função para medida da tensão da rede elétrica de Aracaju? E de uma pilha de 1,5 V? Justifique sua resposta.

6. O que ocorre com as leituras quando invertemos a polaridade dos cabos do instrumento de medida ao conectá-los ao circuito?
7. O que ocorre com o amperímetro se a corrente medida for maior do que a máxima prevista para os bornes de entrada selecionados?
8. Porque é mais fácil danificar o instrumento no modo amperímetro do que no modo voltímetro?