

Noções básicas de circuitos elétricos e Lei de Ohm

1.1 Material

- multímetro digital;
- amperímetro;
- fonte de alimentação;
- resistores $10\text{ k}\Omega$ e $2,2\text{ k}\Omega$.

1.2 Introdução

Existem duas quantidades que normalmente queremos acompanhar em circuitos elétricos e eletrônicos: *voltagem e corrente*. Essas grandezas podem ser constantes ou variáveis no tempo. Vejamos a seguir algumas definições.

1.3 Voltagem

A voltagem, ou diferença de potencial entre dois pontos, é o custo em energia, ou seja, o trabalho necessário para mover uma carga unitária de um ponto com um potencial elétrico mais baixo a outro de potencial elétrico mais alto. O conceito de potencial elétrico é muito similar ao conceito de potencial gravitacional. Mover uma carga de um ponto cujo potencial é menor para outro ponto de potencial maior é um processo similar a mover uma massa de uma altura a outra. Para mover a massa do chão até um ponto situado sobre uma mesa a energia potencial é alterada. Podemos definir como zero de energia potencial o solo, e neste caso estaremos ganhando energia potencial gravitacional. Se definirmos o potencial zero como sendo o nível da mesa, o solo terá um potencial negativo. Mesmo assim, ao mover a massa no sentido do chão para a mesa, ganhamos energia potencial! Com

o potencial elétrico ocorre o mesmo. Temos que definir um ponto de referência, as medidas que realizamos correspondem às diferenças de potencial elétrico entre a referência e um outro ponto qualquer do espaço. Costuma-se definir esse ponto de referência como sendo a terra (o ponto onde a altura é zero). A voltagem entre dois pontos, portanto, é a diferença que existe entre os potenciais desses pontos. Fica claro que só há sentido em definir voltagem ENTRE DOIS PONTOS. O trabalho realizado ao se mover uma carga de 1 coulomb através de uma diferença de potencial de 1 volt é de 1 joule. A unidade de medida de diferença de potencial é o volt (V), e frequentemente é expressa em múltiplos, tais como o quilovolt ($1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$), ou em submúltiplos, como o milivolt ($1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$) e o microvolt ($1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$).

1.4 Corrente elétrica

Usualmente identificada pelo símbolo i , a corrente é o fluxo de carga elétrica que passa por um determinado ponto. A unidade de medida de corrente é o ampère ($1 \text{ A} = 1 \text{ coulomb/segundo}$). O ampère, em geral, é uma unidade muito grande para as aplicações do dia-a-dia. Por isso, as correntes são geralmente expressas em mili-ampères ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$), micro-ampères ($1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$) ou nano-ampères ($1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$). Por convenção, os portadores de corrente elétrica são cargas positivas que fluem de potenciais mais altos para os mais baixos (embora o fluxo de elétrons real seja no sentido contrário).

1.5 Resistência

Para que haja fluxo de cargas elétricas são necessários dois ingredientes básicos: uma diferença de potencial e um meio por onde as cargas elétricas possam circular. Para uma dada voltagem, o fluxo de cargas dependerá da resistência do meio por onde essas cargas deverão passar. Quanto maior a resistência, menor o fluxo de cargas para uma dada diferença de potencial.

Os materiais são classificados, em relação à passagem de corrente elétrica, em três categorias básicas: os isolantes, que são aqueles que oferecem alta resistência à passagem de cargas elétricas; os condutores, que não oferecem quase nenhuma resistência à passagem de corrente elétrica; e os semicondutores que se situam entre os dois extremos mencionados anteriormente.

Usamos a letra R para indicar a resistência de um material, e a unidade de medida desta grandeza é o ohm (Ω). O símbolo para indicar uma resistência em um circuito elétrico é mostrado na figura 1.1.

As diferenças de potencial são produzidas por geradores, que são dispositivos que realizam trabalho de algum tipo sobre as cargas elétricas, levando-as de um potencial mais baixo para outro mais alto. Isso é o que ocorre em dispositivos como baterias (energia eletroquímica), geradores de usinas hidrelétricas (energia potencial da água armazenada na represa), células solares (conversão fotovoltaica da energia dos fótons da luz incidente),



Figura 1.1: Representação esquemática de um resistor colocado entre os pontos A e B de um dado circuito.

etc. A resistência de um material condutor é definida pela razão entre a voltagem V aplicada aos seus terminais e a corrente i passando por ele:

$$R = \frac{V}{i}. \quad (1.1)$$

A equação 1.1 é uma das representações da Lei de Ohm, e será muito utilizada neste curso. Através dela vemos que no SI a unidade de resistência é definida por $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.

Na montagem de circuitos elétricos e eletrônicos dois tipos de associações de elementos são muito comuns: associações em série e em paralelo.

1.5.1 Associação de resistores em série

Na figura 1.2 mostramos uma associação em série dos resistores R_1 e R_2 . Num circuito elétrico os dois resistores ligados em série tem o mesmo efeito de um resistor equivalente de resistência R_s .

Na associação em série de resistores, a corrente i_1 passando por R_1 e a corrente i_2 por R_2 são a mesma corrente i passando pela associação:

$$i = i_1 = i_2. \quad (1.2)$$

As voltagens no resistor R_1 , $V_1 = V_{AB}$, e no resistor R_2 , $V_2 = V_{BC}$, somadas são iguais à voltagem da associação V_{AC} :

$$V_{AC} = V_{AB} + V_{BC} = V_1 + V_2. \quad (1.3)$$

Para a associação em série de resistores temos então:

$$R = R_1 + R_2. \quad (1.4)$$

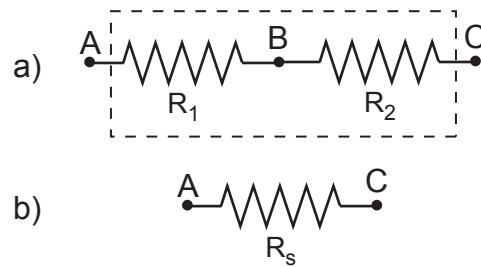


Figura 1.2: a) Associação em série de resistores. b) Resistor equivalente.

1.5.2 Associação de resistores em paralelo

Na figura 1.3 mostramos uma associação em paralelo dos resistores R_1 e R_2 . Num circuito elétrico os dois resistores ligados em paralelo tem o mesmo efeito de um resistor equivalente de resistência R_p . Na associação em paralelo de resistores, soma da corrente i_1 passando por R_1 e da corrente i_2 por R_2 é a corrente total i passando pela associação:

$$i = i_1 + i_2. \quad (1.5)$$

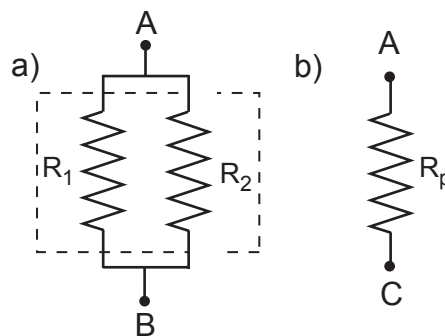


Figura 1.3: a) Associação em paralelo de resistores. b) Resistor equivalente.

As voltagens nos resistores R_1 , V_1 , e R_2 , V_2 , são a mesma voltagem da associação V_{AB} :

$$V_{AB} = V_1 = V_2. \quad (1.6)$$

Para a associação em paralelo de resistores, a resistência equivalente R_p será:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (1.7)$$

1.6 Introdução ao uso dos equipamentos de medida da bancada

Um ponto importante, e que diz respeito diretamente ao nosso curso, é que para verificar as relações entre as diversas grandezas que participam de um circuito elétrico devemos medi-las. Mais precisamente, devemos conhecer as correntes e as voltagens que ocorrem no circuito. Para isso, existem diversos instrumentos, como o voltímetro e o amperímetro, que nos permitem realizar essas medidas. Esses instrumentos indicam o valor medido através do movimento de uma agulha ou ponteiro em uma escala (mostradores analógicos), ou por um mostrador digital.

Um outro instrumento, mais versátil, que iremos utilizar é o osciloscópio. Com ele podemos literalmente ver voltagens em função do tempo em um ou mais pontos de um circuito. Teremos a oportunidade de trabalhar com osciloscópios um pouco mais à frente no curso, quando utilizarmos correntes e voltagens que variam no tempo.

Inicialmente vamos nos restringir a correntes e voltagens que não variam no tempo, ou seja, que possuem um valor constante. Elas são classificadas como contínuas. Usamos o termo genérico *corrente contínua* quando nos referimos a voltagens e correntes que não variam no tempo. Para as voltagens e correntes que variam no tempo damos o nome genérico de *corrente alternada*.

Os equipamentos disponíveis para nossas medidas na aula de hoje são o multímetro e uma fonte de alimentação DC. Há ainda uma bancada com diversos resistores e capacitores que serão utilizados nas montagens experimentais. Vamos introduzir o uso de todos esses equipamentos através de experimentos que serão realizados no decorrer do curso.

1.6.1 Fonte de alimentação DC

A fonte de alimentação DC (corrente direta do termo original em inglês) na bancada é um equipamento utilizado para transformar a corrente alternada que existe na rede normal de distribuição em corrente contínua. As fontes utilizadas neste curso serão fontes de voltagem variável, ou seja, a voltagem nos terminais pode ser variada entre 0 V e algumas dezenas de volts. A voltagem desejada pode ser ajustada no painel frontal da fonte, e pode ser usada nos circuitos apenas conectando os cabos nos conectores de saída da fonte, identificados como saída positiva (potencial mais alto) e negativa (potencial mais baixo).

Representamos uma fonte de tensão contínua pelo símbolo mostrado na Figura 1.4, onde a seta inclinada indica que a tensão por ela produzida é variável.

Num circuito elétrico a fonte DC é um elemento polarizado, isto significa que a corrente sai de seu terminal positivo (B) e entra em seu terminal negativo (A). Se a polaridade não for respeitada, alguns componentes do circuito podem ser danificados.

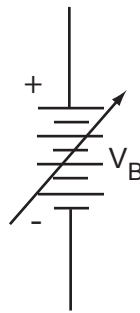


Figura 1.4: Representação de uma fonte DC de tensão variável.

1.6.2 Amperímetro

Medidas de correntes elétricas podem ser feitas com o uso de amperímetros. Os primeiros amperímetros construídos eram aparelhos analógicos e seu funcionamento se baseava em um instrumento chamado galvanômetro.

Galvanômetro é o nome genérico de um instrumento capaz de acusar a passagem de uma corrente elétrica. Seu princípio de funcionamento é baseado nos efeitos magnéticos associados às correntes elétricas.

Ao fazermos passar uma corrente elétrica por um condutor, geramos um campo magnético à sua volta. Se este condutor for enrolado na forma de uma espira (ou várias delas), podemos verificar que ele se comporta exatamente como um ímã, ou como uma agulha de uma bússola, causando e sofrendo forças e torques devido a interações com outros ímãs, ou campos magnéticos externos. Este é o princípio de funcionamento básico do galvanômetro: uma bobina muito leve formada por muitas espiras de fio de cobre, com diâmetro da ordem da espessura de um fio de cabelo, é montada de tal maneira que quando passa uma corrente por ela, um torque é gerado fazendo com que haja a deflexão de uma agulha, conforme mostrado na Figura 1.5.

Uma observação importante é que o torque gerado pela passagem da corrente é uma grandeza vetorial e, portanto, possui direção e sentido. O fabricante indica por onde a corrente deve entrar no galvanômetro, pois se invertermos o sentido da corrente a agulha será defletida no sentido oposto e isso pode causar danos ao aparelho.

A deflexão da agulha pode ser entendida analisando-se a força de Lorentz que atua nas cargas em movimento nas espiras. Uma carga q , movendo-se com velocidade \mathbf{v} , sujeita à ação de um campo magnético \mathbf{B} , sofre ação de uma força \mathbf{F} dada por:

$$\mathbf{F}_q = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}. \quad (1.8)$$

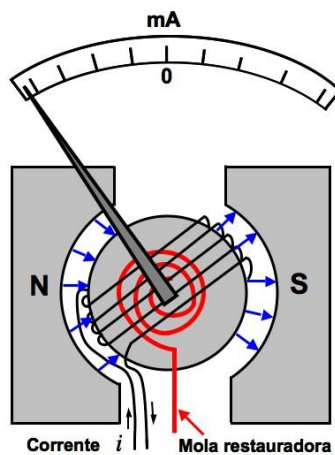


Figura 1.5: Representação esquemática de um galvanômetro. As espiras são enroladas em um cilindro que gira preso a um eixo quando uma corrente passa pelas mesmas. O torque produzido no fio de cobre das espiras é equilibrado pelo torque da mola de torção (mola restauradora) mudando a posição da agulha de medida.

A deflexão da agulha é proporcional à corrente elétrica que passa pela bobina. Na ausência de corrente elétrica, o ponteiro se mantém na posição zero do galvanômetro. A bobina é projetada de maneira tal que se tenha deflexão máxima para a maior corrente permitida (com uma boa segurança) pela sua resistência elétrica. Uma vez tendo sido definidos os valores mínimo e máximo de corrente, uma escala linear é construída. Como se sabe, a corrente elétrica ao passar por um condutor dissipa, sob a forma de calor, a energia correspondente fornecida pelo gerador. Se a corrente for muito alta, o condutor será aquecido e, dependendo da situação, o fio da bobina poderá se romper, queimando o aparelho. Por isso, devemos ter muito cuidado ao utilizarmos um galvanômetro.

O galvanômetro, portanto, deve ser ligado em série com o circuito para que a corrente que passa pelo circuito passe também através dele e cause uma deflexão no ponteiro, podendo assim ser medida.

Suponha que queiramos medir a corrente elétrica que passa no circuito mostrado na Figura 1.6. Nesta figura representamos o galvanômetro pelo retângulo de linhas tracejadas. Ele tem uma resistência interna, R_G , que tem valor muito pequeno e corresponde à resistência do fio de cobre com o qual são feitas suas espiras.

A corrente no circuito pode ser escrita utilizando a Lei de Ohm (eq. 1.1):

$$i = \frac{V}{R + R_G}. \quad (1.9)$$

Para $R_G \ll R$ a corrente medida pelo galvanômetro é uma boa aproximação para o valor da corrente que passa pelo resistor R .

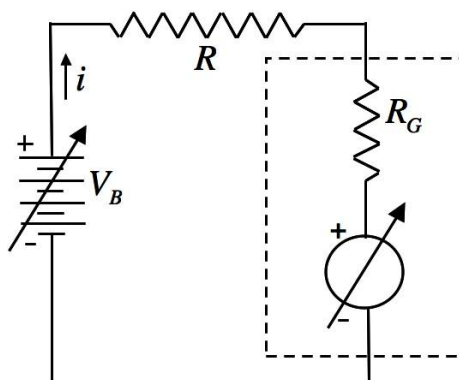


Figura 1.6: Circuito utilizando um galvanômetro para medir a corrente passando pelo mesmo.

Os galvanômetros têm algumas limitações práticas intrínsecas. Primeiramente, devido à existência da bobina, eles possuem uma resistência interna cujo valor dependerá da forma como ele é construído. O galvanômetro ideal deve possuir resistência interna nula. No entanto, sabemos que nas situações práticas sua resistência interna se compõe com a resistência do circuito produzindo uma resistência equivalente. Se essa resistência equivalente diferir muito do valor original da resistência do circuito, a corrente medida terá um valor aparente, diferente do valor real da corrente que passa pelo circuito. Nessa situação as medidas apresentam um erro sistemático. Quanto mais a resistência equivalente diferir do valor da resistência original do circuito, maior será esse erro.

Em segundo lugar, eles estão limitados a medir correntes numa faixa bastante pequena. Em geral, os galvanômetros encontrados em laboratórios medem correntes de fundo de escala (uma leitura com a agulha totalmente defletida) da ordem de 1 mA, ou até menores.

Para medirmos correntes mais altas devemos utilizar resistências de desvio (ou shunts, que são resistências de valor muito baixo e com capacidade de suportar correntes mais altas) de forma a que a maior parte da corrente passe pelo desvio. Nesse caso, uma outra escala deve ser desenhada. Dessa forma, para cada resistência de desvio, deveremos ter uma nova escala. Esse é o princípio de funcionamento dos amperímetros.

Na Figura 1.7 mostramos a representação esquemática de um amperímetro. Ele é construído associando-se em paralelo um galvanômetro a uma resistência de desvio (R_D).

Os amperímetros se aproximam mais da condição de resistência nula. Por exemplo, imagine um galvanômetro de resistência interna $R_G = 90 \Omega$ que permita uma corrente máxima de 1 mA, associado a uma resistência de desvio $R_D = 10 \Omega$. A resistência interna desse amperímetro, R_A , é a resistência equivalente da associação em paralelo descrita na Figura 1.7:

$$R_A = \frac{R_G R_D}{R_G + R_D} = 9 \Omega \quad (1.10)$$

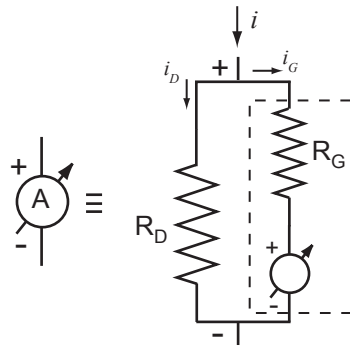


Figura 1.7: Representação esquemática de um amperímetro.

Observe que a resistência do amperímetro é bem menor que a resistência do galvanômetro, o que faz com que sua influência na corrente do circuito onde ele é utilizado seja menor. Além disso, a corrente no amperímetro, dada em função da corrente no galvanômetro pode ser escrita como (verifique):

$$i = \frac{R_G + R_D}{R_D} i_G \quad (1.11)$$

Assim, para que tenhamos valores menores que o máximo possível de corrente no galvanômetro (1 mA), podemos medir com o amperímetro correntes até 10 vezes maiores (10 mA). Quanto maior for a corrente que desejamos medir, menor será a resistência de desvio a ser utilizada e, portanto, menor será a resistência do amperímetro. Em geral os amperímetros são construídos com um galvanômetro de 50 μA de fundo de escala.

Como um galvanômetro, o amperímetro é polarizado e deve ser inserido em série no ponto do circuito onde se deseja medir a corrente. O símbolo mostrado na Figura 1.8 é utilizado frequentemente para indicar um medidor de corrente.



Figura 1.8: Representação esquemática de um medidor de corrente.

1.6.3 Voltímetro

O voltímetro, como o nome diz, é um instrumento que mede voltagens ou diferenças de potencial. Sua construção também é baseada no princípio do galvanômetro. Na Figura

1.9 mostramos o esquema de construção do voltímetro a partir de um galvanômetro de resistência R_G associado em série com uma resistência R_V . Observe que no circuito da Figura 1.9 o voltímetro é constituído pelo conjunto de elementos no interior do retângulo tracejado. Observe também que ele é ligado ao circuito em paralelo.

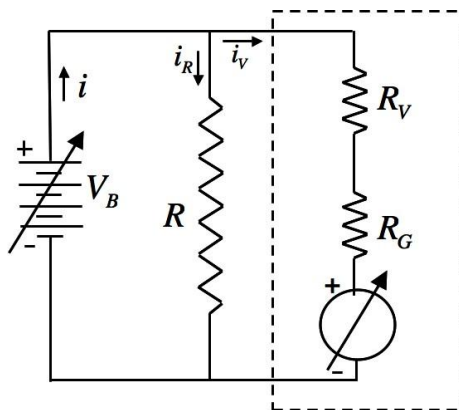


Figura 1.9: Esquema de um voltímetro ligado a um circuito simples para medir voltagens.

Como sabemos, quando duas resistências são ligadas em paralelo, a diferença de potencial em cada resistência é a mesma da associação e a corrente que passa em cada uma das resistências dependerá do valor da resistência.

Se uma dessas resistências for constituída pela resistência interna (R_G) de um galvanômetro e mais uma resistência de valor muito alto (R_V) em série com ela, duas coisas podem ocorrer:

a) se a resistência do ramo do galvanômetro for muito maior que a resistência R do circuito, a quase totalidade da corrente da associação em paralelo passará pela resistência R e não pelo galvanômetro. Sendo R_V muito alto (tendendo para infinito) o valor da resistência equivalente formada pela resistência R , onde se quer medir a diferença de potencial e o voltímetro, será praticamente igual à resistência R (verifique) e as condições de trabalho do circuito não serão afetadas.

b) Se R_V for pequeno, a resistência equivalente formada pelo voltímetro e a resistência R será menor que qualquer uma das resistências envolvidas e, portanto, a corrente que passará pela associação aumentará e estaremos cometendo um erro sistemático. Portanto, é necessário que para termos uma medida correta da voltagem nos extremos de uma resistência, o erro cometido ao ligarmos o voltímetro no circuito esteja dentro do erro experimental da leitura. Nos voltímetros analógicos comerciais, em geral, a resistência interna é de cerca de $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ vezes o valor do fundo da escala. Já nos voltímetros digitais, a resistência interna é da ordem de $10^{12} \Omega$, o que garante que os efeitos de sua resistência interna sejam desprezíveis.

O símbolo apresentado na Figura 1.10 é frequentemente utilizado para representar um voltímetro em circuitos elétricos.



Figura 1.10: Representação usual de voltímetros em circuitos elétricos.

1.6.4 multímetro digital: medidas de voltagem

Os voltímetros e amperímetros das formas descritas acima apresentam muitas limitações (algumas das quais já foram discutidas) e, por isso, estão sendo substituídos gradualmente por aparelhos digitais que apresentam algumas vantagens extremamente importantes. Em primeiro lugar, a resistência interna do voltímetro passa de algumas dezenas de $k\Omega$ para alguns $T\Omega$ (T significa tera, 1 tera = 10^{12} , além do prefixo tera usamos também com frequência o giga = 10^9 e o mega = 10^6), o que o torna um instrumento ideal para as medidas usuais de diferenças de potencial. O princípio de medida também é diferente, pois ao invés de interações entre correntes e campos magnéticos, como no caso dos instrumentos analógicos, usam-se conversores analógico-digitais para detectar diferenças de potencial.

O multímetro digital é um instrumento que permite medir digitalmente voltagens, correntes e diversas outras grandezas derivadas, com alto grau de precisão e acurácia. Trata-se de um equipamento sensível e com o qual se deve tomar, na sua utilização, os mesmos cuidados observados com os instrumentos analógicos. Com este instrumento podemos medir voltagem contínua, voltagem alternada, corrente contínua, resistência elétrica, capacitância, entre outros.

Por questões de segurança, quando vamos efetuar uma medida de uma grandeza desconhecida, temos que tomar um certo cuidado para não submeter o aparelho a grandezas cujas intensidades sejam demasiadamente grandes e que podem danificá-lo. Por isso, uma boa regra é mantermos o aparelho ligado sempre na MAIOR escala possível e irmos diminuindo o valor da escala até obtermos a medida com menor incerteza possível.

1.7 Procedimentos Experimentais

1.7.1 Procedimento I: Lei de Ohm

Iremos montar um circuito formado por um resistor ($R_1 = 10\text{ k}\Omega$) e uma fonte de alimentação e medir a corrente que passa por esse resistor e a voltagem nos terminais do mesmo. A partir dos valores da voltagem e corrente, aplicando a Lei de Ohm iremos determinar o valor da resistência.

1. Monte o circuito indicado na Figura 1.11. Certifique-se de que a voltagem na fonte

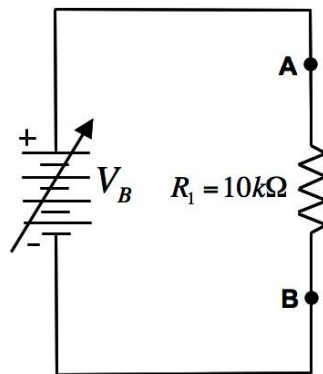


Figura 1.11: Circuito a ser montado para o Procedimento I.

esteja indicando zero volts antes de conectar os cabos. Preste atenção à polaridade do amperímetro. Só complete a conexão dos cabos após seu professor conferir a montagem do circuito. O resistor não possui polaridade e poderá ser usado sem preocupação quanto ao sentido da corrente que o atravessa.

Queremos observar como a voltagem no resistor R_1 (isto é, entre os pontos A e B) varia conforme variamos a corrente. Isso pode ser facilmente determinado se medirmos simultaneamente a corrente que passa pelo resistor R_1 e a voltagem V_{AB} , para diversos valores de corrente e voltagem. Observe que V_{AB} é a voltagem aplicada pela fonte.

2. Conecte o amperímetro ao circuito de modo a medir a corrente que passa por R_1 (pontos A ou B). Faz alguma diferença na medida a posição em que você insere o amperímetro? Justifique sua resposta.
3. Conecte o voltímetro entre os terminais do resistor e ajuste a voltagem de saída fonte de forma que a corrente inicial seja próxima ao fundo de escala do amperímetro (máximo valor da escala). Meça os valores de i e V_{AB} ajustados e anote-os na Tabela 1. Jamais permita que a corrente que passa pelo amperímetro seja maior que o valor de fundo de escala do aparelho.
4. Considerando o intervalo de corrente entre 0 mA e o valor de fundo de escala do amperímetro, complete a tabela 1 com outros cinco pares de pontos (i , V_{AB}). Para isso utilize a fonte regulável para variar a voltagem no resistor. Não se esqueça de anotar também os valores das incertezas de suas medidas. Meça também o valor de R_1 usando um multímetro digital.
5. Faça um gráfico de V_{AB} versus i . Determine graficamente (isto é, sem o uso de computadores) o coeficiente angular da reta que melhor se ajusta aos seus pontos experimentais, e a partir dele o valor da resistência R . Estime também a sua incerteza σ_R .

Tenha atenção com as unidade de medida dos valores usados no ajuste da reta. Será feito o ajuste da função $V = Ri$, onde V deve estar em volts e i em ampères, para que tenhamos R em ohms.

Tabela 1

N	$i \pm \sigma_i$ (mA)	$V_{AB} \pm \sigma_V$ (V)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

1.7.2 Procedimento II: associações de resistores

Iremos verificar experimentalmente associações de resistores em série e em paralelo, fazendo medidas de voltagem e corrente.

Resistores em série

1. Ligue a fonte de alimentação e ajuste a voltagem para $V_B = 0$ V antes de iniciar a montagem do circuito. Monte o circuito mostrado na Figura 1.12.

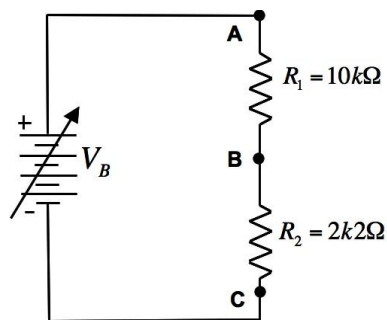


Figura 1.12: Circuito a ser montado para o procedimento 1.7.2.

2. Ajuste o valor da voltagem na fonte para $V_B = 5$ V, usando o voltímetro.
3. Meça as correntes nos pontos A e B e as voltagens V_{AB} , V_{BC} e V_{AC} . Complete as tabelas 2 e 3 com estes valores e suas respectivas incertezas.

Tabela 2

Ponto no circuito	i (mA)	σ_i (mA)
A		
B		

Tabela 3

Pontos no circuito	V (V)	σ_V (V)
AB		
BC		
AC		

Resistores em paralelo

1. Ligue a fonte de alimentação e ajuste a voltagem para $V_B = 0$ V antes de iniciar a montagem do circuito. Monte o circuito mostrado na Figura 1.13.

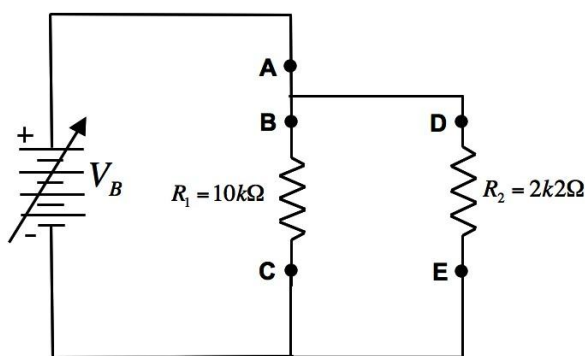


Figura 1.13: Circuito a ser montado para o procedimento 1.7.2.

2. Ajuste o valor da voltagem na fonte para $V_B = 2$ V, usando o voltímetro.
3. Meça as correntes nos pontos A, B e D e as voltagens V_{AC} , V_{BC} e V_{DE} . Complete as tabelas 4 e 5 com estes valores e suas respectivas incertezas.

Tabela 4

Ponto no circuito	i (mA)	σ_i (mA)
A		
B		
D		

Tabela 5

Pontos no circuito	V (V)	σ_V (V)
AC		
BC		
DE		

1.7.3 Procedimento III (opcional): Interferência dos instrumentos nas medidas

Os instrumentos utilizados para a realização de medidas de corrente e voltagem afetam as características dos circuitos onde são inseridos por também possuírem resistências internas finitas. Vamos realizar algumas medidas para verificar a extensão desta interferência.

A partir das montagens propostas nas figuras 1.14 (circuito A) e 1.15 (circuito B), ambas para medidas de V e i no resistor R_x com o intuito de obter o valor de sua resistência, vamos observar os efeitos das resistências internas do amperímetro e do voltímetro.

1. Sejam V_V e i_A a voltagem medida pelo voltímetro e a corrente medida pelo amperímetro, respectivamente. A partir dos circuitos A e B mostre que o valor esperado

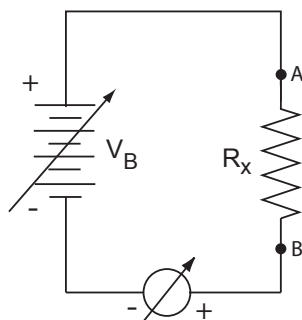


Figura 1.14: Circuito A.

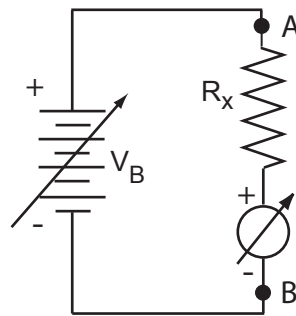


Figura 1.15: Circuito B.

para o quociente V_V/i_A em cada caso é igual a:

- Circuito A:

$$\frac{V_V}{i_A} = \frac{R_x}{1 + (R_x/R_V)} \quad (1.12)$$

- Circuito B:

$$\frac{V_V}{i_A} = R_x + R_A \quad (1.13)$$

- Monte o circuito A da figura 1.14 com um resistor $R_x = 100 \Omega$ e ajuste a tensão na fonte para 2 V. Meça a corrente i_A e a voltagem V_V e calcule $R_x = V_V/i_A$ com sua respectiva incerteza.

Atenção para não exceder o fundo de escala do amperímetro, use a maior escala possível inicialmente e verifique depois se a medida pode ser realizada em escala menor. Inicie as medidas sempre com 0 V na fonte de tensão.

- Utilizando o mesmo resistor $R_x = 100 \Omega$ do item anterior, monte o circuito B (figura 1.15), alimentado-o novamente com uma tensão de 2 V. Obtenha o valor de $R_x = V_V/i_A$ com sua respectiva incerteza.
- Repita os itens 2 e 3 para um resistor $R_x = 10 \text{ k}\Omega$. Neste caso você pode aplicar uma tensão de 10 V na fonte.
- Meça os valores das resistências utilizadas com o multímetro e compare com os resultados obtidos nos itens 2 a 4. Calcule as discrepâncias relativas.
- Comente os resultados obtidos levando em consideração as resistências internas dos instrumentos de medida.

A expressão 1.12 se alteraria se levássemos em conta que o amperímetro possui resistência $R_A \neq 0$? Similarmente, a expressão 1.13 se alteraria se levássemos em conta que o voltímetro possui resistência $R_V < \infty$? Justifique suas respostas.