

PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DE OHM

Introdução

No início do século XIX, Georg Simon Ohm verificou experimentalmente que, para alguns condutores, a relação entre a tensão aplicada (V) e a corrente elétrica (I) é uma proporção direta. A constante de proporcionalidade desta relação foi denominada resistência elétrica do material. A resistência elétrica é dada em V/A , usualmente abreviada por ohm (Ω). Assim, de acordo com os experimentos de Ohm, a **1ª Lei de Ohm** é dada por:

$$V = RI \quad (1)$$

A 1ª Lei de Ohm não é uma lei de fundamental, mas uma forma de classificar certos materiais. Os materiais que obedecem à 1ª Lei de Ohm, sintetizada pela Equação (1), são ditos ôhmicos. Para estes materiais, o comportamento do gráfico $V \times I$ é uma reta, cuja inclinação corresponde ao valor da resistência elétrica do material. A resistência elétrica de um material está relacionada com o quanto esse material resiste à passagem de corrente elétrica. Como exemplo de materiais ôhmicos, serão estudados os resistores ôhmicos. A obtenção da curva $V \times I$ permitirá verificar a proporcionalidade entre a tensão aplicada e a corrente elétrica do circuito.

O valor da resistência de um dado resistor é estabelecido através de um código de cores, mostrado na Tabela 1. As duas primeiras cores representam os dois primeiros dígitos no valor da resistência, a terceira cor representa a potência de 10 que o valor deve ser multiplicado e a quarta cor é a tolerância no erro de fabricação. Por exemplo, o resistor mostrado na Figura 1 cujas quatro cores são vermelho, violeta, verde e ouro têm uma resistência de $2.700.000 \Omega$ ou $2,7 \text{ M}\Omega$, com uma tolerância de 5%, o que equivale a $0,135 \text{ M}\Omega$. Há resistores com mais faixas. Nestes casos, as faixas adicionais são outros dígitos apresentados antes das faixas do multiplicador e da tolerância.

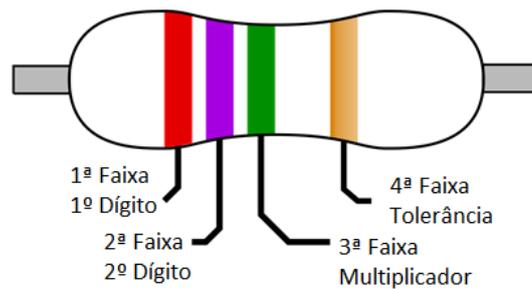


Figura 1: Resistor com resistência elétrica igual a $2.700.000 \Omega = 2,7 \text{ M}\Omega$.

Assim podemos escrever:

$$R = (2,70 \pm 0,14)\text{M}\Omega \quad (2)$$

Tabela 1: Código de cores para resistores.

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa (Multiplicador)	4ª faixa (Tolerância)
Preto	0	0	10^0	
Marron	1	1	10^1	1%
Vermelho	2	2	10^2	2%
Laranja	3	3	10^3	
Amarelo	4	4	10^4	
Verde	5	5	10^5	
Azul	6	6	10^6	
Violeta	7	7	10^7	
Cinza	8	8	10^8	
Branco	9	9	10^9	
Ouro			10^{-1}	5%
Prata			10^{-2}	10%
Sem cor				20%

Materiais que não obedecem à Lei de Ohm são denominados não ôhmicos. A relação entre a corrente elétrica e a tensão para esses materiais não obedece a nenhuma relação específica e sua representação gráfica pode ser qualquer tipo de curva, exceto uma reta. Um exemplo deste material é o diodo

de junção pn, cujo comportamento será estudado nesta prática. Dentre os diodos de junção pn, existe uma classe especial que é denominada LED (diodos emissores de luz). Para estes dispositivos, a aplicação de uma polarização direta (tensão direta) com valor superior a determinado limiar permite a passagem de uma corrente elétrica. Quando uma corrente atravessa a junção o processo de recombinação dos portadores de carga faz com que ocorra a emissão de luz, com frequência muito bem definida e dependente do tipo de material usado no semicondutor. Assim, a cor da luz do LED não vem do plástico que o envolve, mas depende do material semicondutor usado e das impurezas adicionadas ao material. Se um LED usa plástico vermelho, é porque este plástico tem a mesma cor da luz emitida e não é ele que determina essa radiação; LEDs com plástico transparente ou branco podem emitir luz de diversas cores.

A Figura 2 mostra a estrutura de um LED, onde são evidenciados o catodo (-) e o anodo (+). Esse dispositivo estará polarizado diretamente quando o anodo for positivo em relação ao catodo.

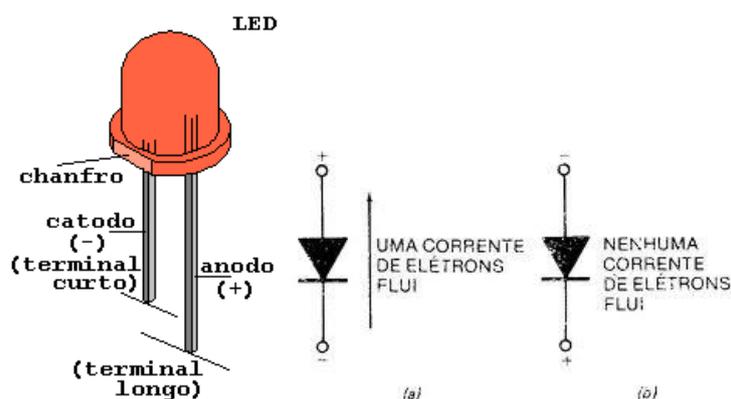


Figura 2: Estrutura interna de um LED e representação simbólica¹.

A resistência elétrica de um LED varia com a tensão aplicada. Assim, quando o LED começa a conduzir, sua resistência elétrica cai causando um aumento muito rápido da corrente. Para que não haja queima do dispositivo, utiliza-se um resistor limitador ligado em série com o LED, como pode ser visto

¹<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096.html>, acessado em 05/03/2012.

na Figura 4, correspondente a uma das montagens desta aula. O valor deste resistor será determinado por meio da seguinte equação:

$$R = \frac{(V - V_{LED})}{I} \quad (3)$$

onde R é a resistência que deve ser ligada em série com o LED; V é a tensão contínua de alimentação; V_{LED} é a queda de tensão no LED, dada pela Tabela 2; e I é a corrente no LED.

Tabela 2: Tensão limiar para emissão de luz em diferentes LEDs

Cor	Infravermelho	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul	Branco
V_{LED} (V)	1,6	1,6	1,8	1,8	2,1	2,7	2,7

A corrente com que um LED trabalha é dada pelo fabricante. Geralmente, esta corrente está entre 6 e 20 mA. No nosso experimento, vamos supor que a corrente de funcionamento do LED seja 10 mA, a tensão na fonte no máximo 10 V e a tensão limiar do LED em torno de 2 V. Esse valor é adequado para a maioria dos LEDs comerciais. Desta maneira, para garantirmos que o LED funcionará sem correr o risco de queimar devemos usar um resistor com R pelo menos igual a:

$$R = \frac{(V - V_{LED})}{I} = \frac{(10 - 2)}{10 \times 10^{-3}} = \frac{(8)}{10^{-2}} = 800 \, \Omega \quad (4)$$

De acordo com a **2ª Lei de Ohm**, a resistência elétrica (R) de um condutor homogêneo de secção transversal constante é dependente das características geométricas do condutor. Seu valor é diretamente proporcional ao comprimento ℓ , inversamente proporcional à área de secção transversal A e depende do material do qual o condutor é feito. Deste modo, podemos expressar a 2ª Lei de Ohm como:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (5)$$

onde ρ é a resistividade elétrica do material, dada em $\Omega \cdot m$ no SI.

Observe atentamente na Figura 3 os parâmetros geométricos utilizados no cálculo da resistência elétrica.

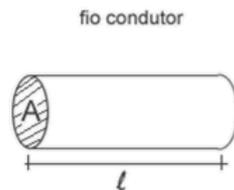


Figura 3: Esquema de um resistor com os parâmetros geométricos usados no cálculo da resistência elétrica.

A resistividade elétrica é uma característica do material usado na constituição do resistor e é dependente da temperatura. Essa característica permite classificar os materiais como condutores, semicondutores e isolantes. Os valores de resistividade do material são tabelados e esta informação pode ser encontrada facilmente na literatura técnica (Tabela 3)².

Tabela 3: Valores de resistividade elétrica, à temperatura ambiente.

Material	Resistividade elétrica ($\Omega \cdot m$)
Prata	$1,47 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
Latão (Cu 60%, Zn 40%)	$8,18 \times 10^{-8}$
Ferro	10×10^{-8}
Aço	20×10^{-8}
Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	49×10^{-8}
Porcelana	10^{17}
Borracha	10^{19}
Parafina	10^{25}
Bromo	10^{26}
PET	10^{28}

² H.D. Young; R. A. Freedman, Física III - Eletromagnetismo, 12^o edição, 2009 e <http://eduferr.free.fr/026.html>, acessado em 05/03/2012.

Atividade experimental

1. Objetivos

O objetivo desta atividade prática é contribuir para a compreensão da 1ª e 2ª Leis de Ohm.

2. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Fonte de tensão elétrica;
- Cabos;
- Multímetros;
- Jumpers;
- Placa de teste;
- LEDs;
- Resistores³;
- 2 ponteiras (vermelha/verde e preta/azul);
- 2 réguas fios metálicos.

Roteiro Experimental:

1ª Lei de Ohm

1ª Parte: Determinação dos valores de resistência.

- i. Escolha 1 resistor para realização da experiência de 1ª Lei de Ohm, evitando escolher resistores com valores nominais de resistência inferiores a 200Ω , para evitar correntes que possam danificar os multímetros e os próprios resistores.

³ **Observação:** Não utilizar resistores com resistências muito elevadas (acima de $15 \text{ k}\Omega$). Você sabe qual a razão dessa restrição?

- ii. Determine o valor da resistência e da tolerância nominais, baseado no código de cores.
- iii. Baseado no valor calculado no item ii, determine a melhor escala para medida de resistência no multímetro (utilizando a função de Ohmímetro).
- iv. Utilizando a escala escolhida, efetue a medida da resistência com o multímetro e anote o valor na Tabela 3.

2ª Parte: Circuito com resistor.

- i. Monte o circuito de acordo com a Figura 3, seguindo os procedimentos de segurança aprendidos na aula anterior. Muita atenção para a inserção dos instrumentos. A colocação do amperímetro equivocadamente em paralelo no circuito levará a sua queima.

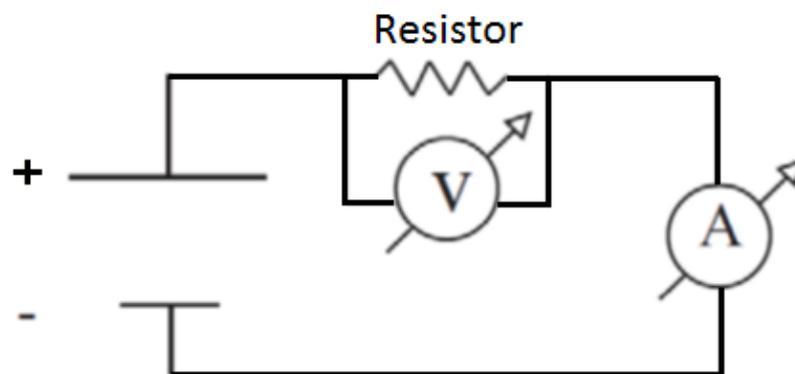


Figura 3: Esquema de ligação do circuito com resistor da experiência de 1ª Lei de Ohm.

- ii. Escolha 5 valores de tensão inferiores a 10 V e aplique no circuito cada um destes valores de tensão, medindo em cada caso os valores de corrente elétrica, utilizando sempre a escala mais adequada.

3ª Parte: Circuito com resistor e LED.

- i. Monte o circuito de acordo com a Figura 4, inserindo um LED e utilizando um resistor de 1000 Ω . Você sabe a importância do valor da resistência desse resistor? Se tiver dúvida quanto a este valor, use o ohmímetro para determiná-lo.

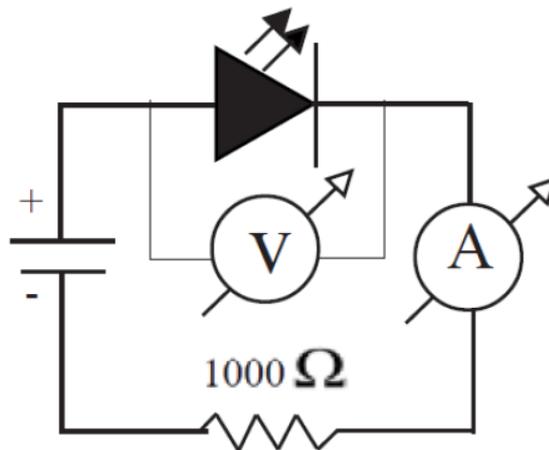


Figura 4: Esquema de ligação do circuito com resistor e LED da experiência de 1ª Lei de Ohm.

- ii. Escolha a escala de 200 mA no amperímetro.
- iii. Varie a tensão total aplicada no circuito de 0 a 10 V e observe o que acontece. **(Tome cuidado para não ultrapassar a tensão de 10 V!)**.
- iv. Inverta os pólos de ligação do LED e varie novamente a tensão de 0 a 10 V, observando novamente o que acontece.
- v. Montando o LED no circuito com a polaridade na qual ele “acende”, verifique em que tensão inicia a passagem de corrente no circuito, usando a escala de 20 mA do amperímetro e aumentando a tensão cautelosamente. Considere este valor como o valor de tensão limiar indicado na Tabela 5 e a partir dele defina os valores de tensão no LED, conforme indicação da Tabela 5⁴;
- vi. Meça os valores de corrente elétrica para cada valor nominal de tensão no LED sugeridos na Tabela 5. **Atente que os valores de tensão sugeridos se referem à diferença de potencial no LED, e não na fonte de tensão**, o

⁴ Considerando, como exemplo, que o grupo identificou que há corrente no circuito acima de 1,3 V. Esta é, portanto, a tensão limiar observada experimentalmente. O grupo deve, então, fazer medidas entre o valor da tensão limiar menos 0,3 V (ou seja, 1,0 V) até o valor da tensão limiar mais 0,5 V (ou seja, 1,8 V, em passos de 0,1 V.

que deve ser medido utilizando o voltímetro posicionado conforme Figura 4.

- vii. Considerando os valores das grandezas medidas no LED, calcule o valor da resistência para cada valor de tensão, usando a 1ª Lei de Ohm. Esse cálculo poderá ser feito em casa.

4ª Parte: 2ª Lei de Ohm

- i. Conecte as ponteiros nos respectivos bornes do multímetro na função ohmímetro.
- ii. Meça o valor da resistência interna do ohmímetro na escala de 200Ω (que será a escala usada no experimento). Para tanto, encoste as ponteiros uma na outra e verifique o valor indicado no instrumento. Há um espaço para anotar esse valor na Tabela 6.
- iii. Meça os valores de resistência correspondentes a cada um dos comprimentos sugeridos na Tabela 6 para as duas réguas de Constantan. A escala de medição escolhida deve ser sempre a mais adequada para fornecer a leitura com maior precisão.
- iv. Subtraia de cada valor do item iii o valor determinado no item ii, pois os valores do item iii são referentes à associação em série da resistência interna do instrumento com a resistência do fio metálico.

3. Tabela de Dados

Tabela 3: Valores de resistência obtidos para o resistor da atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm.

Resistor utilizado em 1ª Lei de Ohm	
Resistência Nominal (Ω)	
Tolerância Nominal (%)	
	Resistência (Ω)
Medida	
$\sigma_b (= \sigma_c)$	
Resultado	(_____ \pm _____) _____

Tabela 4: Dados coletados na atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm no circuito com resistor.

Resistor utilizado em 1ª Lei de Ohm				
Tensão Medida (V)	$\sigma_b (= \sigma_c)$ (V)	I_{medida} (mA)	$\sigma_b (= \sigma_c)$ (mA)	Resultado de I
				(_____ \pm _____) _____
				(_____ \pm _____) _____
				(_____ \pm _____) _____
				(_____ \pm _____) _____
				(_____ \pm _____) _____

Tabela 5: Dados coletados na atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm no circuito com resistor e com LED.

Resistor de 1000 Ω + LED						
Tensão no LED Sugerida (V)	Tensão Medida (V)	σ_b (V)	I_{medida} (mA)	σ_b (mA)	Resultado de I	Resistência do LED (Ω)
$V_{limiar} - 0,3 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} - 0,2 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} - 0,1 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} + 0,1 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} + 0,2 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} + 0,3 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} + 0,4 V =$					(_____ \pm _____) _____	
$V_{limiar} + 0,5 V =$					(_____ \pm _____) _____	

Tabela 6: Valores de resistência obtidos para diferentes comprimentos e espessura de fio.

Material: Constantan; Diâmetro: 0,20 mm				
Comprimento (mm)	σ_b (mm)	Resistência (Ω)	$\sigma_b (= \sigma_c)$ (Ω)	Resultado de R
400	1			(_____ \pm _____) _____
800	1			(_____ \pm _____) _____
1200	1			(_____ \pm _____) _____
1600	1			(_____ \pm _____) _____
2000	1			(_____ \pm _____) _____
Material: Constantan; Diâmetro: 0,40 mm				
Comprimento (mm)	σ_b (mm)	Resistência (Ω)	$\sigma_b (= \sigma_c)$ (Ω)	Resultado de R
400	1			(_____ \pm _____) _____
800	1			(_____ \pm _____) _____
1200	1			(_____ \pm _____) _____
1600	1			(_____ \pm _____) _____
2000	1			(_____ \pm _____) _____

4. Discussão

1ª Parte:

1. Compare o valor de resistência determinado pela marcação das faixas em cores e o valor médio determinado a partir das medidas no ohmímetro e determine o erro percentual.
2. Verifique se o valor de resistência elétrica medido está dentro da faixa de tolerância indicada no corpo do resistor.

2ª Parte:

1. De acordo com a 1ª Lei de Ohm, qual deve ser o comportamento de $V \times I$ para o resistor?
2. Construa um gráfico de $V \times I$ com os dados da Tabela 4. Faça o gráfico plotando os pontos com as suas respectivas incertezas.
3. Qual o formato das curvas obtidas? Estes componentes obedecem a 1ª Lei de Ohm? Explique.
4. Usando um ajuste linear determine a resistência do resistor com a sua respectiva incerteza (no SI). Além do gráfico faça um “print screen” dos parâmetros do ajuste.
5. Compare o resultado obtido no item anterior com os valores determinados na 1ª Parte deste experimento, determinando a diferença percentual entre os valores dos dois itens.

3ª Parte:

1. Qual a função do resistor no circuito da Figura 4?
2. Compare o valor de tensão limiar determinado experimentalmente com o valor de tensão limiar tabelado, quantificando a diferença através do erro percentual.
3. Construa um gráfico de $I \times V_{LED}$ com os dados da Tabela 5. Não se esqueça das incertezas. Atente que o gráfico solicitado nesse item é I (eixo vertical) $\times V$ (eixo horizontal) e não $V \times I$, como no caso dos resistores.
4. Qual o formato da curva obtida? Este componente obedece a 1ª Lei de Ohm? Explique.

5. Qual o comportamento da resistência do LED com a tensão? Para responder, calcule um valor estimado para a resistência do LED em cada ponto de medida de tensão e corrente usando **a relação da 1ª Lei de Ohm** (complete a última coluna da Tabela 5). Compare este comportamento com o comportamento da resistência dos resistores.

4ª Parte

1. Para cada das réguas, construa gráficos da resistência por comprimento/área ($R \times L/A$) ou resistência por comprimento ($R \times L$).
2. Que comportamento deve ter esta curva?
3. Faça o ajuste adequado para essa curva e um “print screen” dos parâmetros do ajuste.
4. Determine graficamente as resistividades e utilize os valores obtidos no ajuste para calcular a incerteza na determinação da resistividade.
5. Compare os valores obtidos com os valores tabelados.
6. Considerando a 2ª Lei de Ohm, discuta a dependência esperada da resistência com o comprimento e com o diâmetro e compare com os dados experimentais obtidos.