

No experimento anterior medimos algumas quantidades elétricas e observamos alguns comportamentos importantes apenas medindo correntes e diferenças de potencial em elementos simples. Vimos que correntes elétricas se dividem quando encontram uma junção. Vimos que esta divisão é de alguma forma relacionada com o valor do resistor que utilizamos, e de como os resistores estão conectados entre si. Vimos ainda que as diferenças de potencial também se comportam seguindo certas regras. As voltagens se somam ao longo de um circuito em série, e são as mesmas em conexões em paralelo.

Vamos estudar um pouco mais a fundo o comportamento de certos circuitos e das correntes e tensões neles.

Nos experimentos anteriores estudamos o comportamento de correntes e voltagens em circuitos simples. Neste experimento vamos fazer uma verificação gráfica da relação entre voltagem e corrente medidas em resistores simples e em associações de resistores. Vamos verificar que existe uma lei que governa o comportamento. Além disso, iremos estudar dois outros elementos (lâmpada simples e diodo) e verificar se o comportamento é o mesmo observado em resistores.

Lei de OHM - Elementos ôhmicos

Procedimento:

- 1) Monte o circuito mostrado na figura abaixo

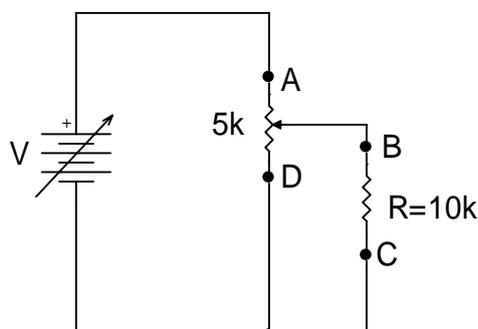


Tabela 1 - Curva característica de um elemento da bancada

$$\delta I \text{ (mA)} = \quad \delta V_{BC} \text{ (V)} =$$

I (mA)	V_{BC} (V)
0,00	
0,10	
0,20	
0,30	
0,40	
0,50	
0,60	
0,70	
0,80	
0,90	
1,00	

- 2) Queremos observar como a voltagem no resistor R, ou seja, entre os pontos B e C varia conforme variamos a corrente. Isso pode ser facilmente determinado se medirmos simultaneamente a corrente no resistor R e a voltagem entre B e C, para diversos valores de corrente e voltagem. Para isso, ligue a fonte, verificando antes que ela esteja regulada para 0V.
- 3) Coloque a escala do miliamperímetro para o valor 100mA ou maior. Conecte o amperímetro ao circuito de modo a medir a corrente que passa por R (ponto B). Use uma escala que permita ler apenas uma casa decimal (0,1mA).
- 4) Posicione a agulha do potenciômetro da bancada para fornecer uma resistência mais ou menos a metade do seu valor. Esse potenciômetro será utilizado para fazer o ajuste fino dos valores de I e V desejados.
- 5) Conecte o voltímetro nas extremidades do resistor R (pontos B e C) e ajuste potenciômetro da fonte de forma que e tenha uma corrente inicial de 0mA e anote esses valores iniciais (para I e V_{BC}) na Tabela 1. Reajuste a escala do miliamperímetro para ler duas casas decimais (0,01mA).

Jamais permita que a corrente que passa no amperímetro seja maior que o valor indicado na escala.

- 6) Complete a Tabela 1 utilizando os valores de corrente indicados na Tabela 1. Use o potenciômetro da fonte inicialmente e faça o ajuste fino (se necessário) com ajuda do potenciômetro da bancada, varie a tensão no resistor R.

Análise de Dados:

- 1) Faça em papel milimetrado o gráfico da voltagem em função da corrente, ou seja, I no eixo x e V no eixo y, utilizando os pontos obtidos na Tabela 1. Use barras de erro.

Observação importante: Como os valores das correntes foram escolhidos arbitrariamente por nós, do ponto de vista formal eles podem ser considerados como variáveis independentes. Como tal, podemos atribuir a esses valores uma incerteza zero (embora saibamos que isso não é verdade!). Assim, as incertezas decorrentes da determinação das correntes serão jogadas para a variável dependente (as voltagens) e se manifestarão no desvio-padrão do ajuste. Assim sendo, em qualquer gráfico de uma função analítica do tipo $y = f(x)$ somente aparecerão barras de erro verticais.

- 2) Verifique se há linearidade nos dados obtidos. Trace a reta que você julga ser a melhor reta que passa pelos pontos e determine graficamente o valor do seu coeficiente angular.

Observação importante: Quando realizamos uma experiência para determinar uma relação funcional do tipo $y = f(x)$ (as outras variáveis sendo mantidas constantes), nosso objetivo é determinar experimentalmente essa relação analítica, ou seja, a curva teórica correspondente a essa função. Isso é feito traçando a função esperada e, a partir dela os parâmetros que a definem. No nosso caso, a função é uma reta e os parâmetros que a definem são seus coeficientes linear e angular. Isso significa que uma vez traçada a função experimental, os pontos experimentais perdem a sua utilidade (eles são utilizados apenas para determinar a função) e todas as análises passam a ser feitas exclusivamente a partir da curva traçada, não importando mais os pontos experimentais.

- 3) Calcule, também, o coeficiente angular desta reta usando regressão linear ou método dos mínimos quadrados. Determine em ambos processos a incerteza deste coeficiente angular. Caso você tenha dúvidas de como fazê-lo, pergunte ao professor. Observe que no caso da determinação gráfica inicialmente traçamos a reta e a partir dessa reta determinamos os coeficientes angular e linear. Nos métodos numéricos ocorre justamente o contrário: inicialmente determinamos os coeficientes e então traçamos a reta. No Apêndice deste Guia de Experimentos de Laboratório esse ajuste é discutido.
- 3) A reta obtida mostra uma relação linear entre corrente e voltagem. Dessa forma podemos escrever uma lei do tipo $V = V_0 + k \cdot I$, onde k é o coeficiente angular da reta obtida e V_0 não tem significado físico, sendo colocado apenas por consistência para ajustar os dados experimentais.
- 4) Compare o valor de k com o valor nominal de R. Levando em conta o erro do coeficiente angular, e a tolerância nominal de R, o que se pode afirmar em relação aos dois? Determine a discrepância da sua medida e faça considerações sobre as causas que originaram essa discrepância
- 5) Essa experiência, como qualquer outra, foi feita para se determinar uma lei de variação da corrente em um resistor em função da voltagem aplicada (lei de Ohm). A reta, que representa a lei, é uma “reta média”, caracterizada pelo fato da soma dos desvios ser nula. Isso quer dizer não existe a obrigatoriedade de algum ponto experimental se localizar sobre essa reta. Dessa forma, é errado tentar determinar o coeficiente angular a partir de dois pontos da tabela. Como foi dito mais acima, o coeficiente angular deve, obrigatoriamente, ser obtido da reta traçada. A partir dessas considerações, determine o valor das correntes para os valores constantes na tabela abaixo

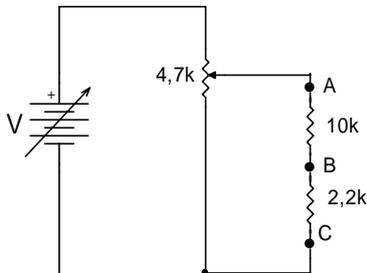
V_{BC} (V)	2,3 V	6,5V	12,7V	18,0V
I (mA)				

A curva obtida no gráfico acima é chamada de CURVA CARACTERÍSTICA do elemento. CURVAS CARACTERÍSTICAS podem ser do tipo $V \times I$ ou também $I \times V$.

O resultado obtido mostra uma LINEARIDADE entre V e I e é conhecido como LEI DE OHM. O resistor é portanto um ELEMENTO ÔHMICO, e as voltagens e correntes se relacionam de forma LINEAR.

Procedimento 2.2

Monte o circuito abaixo.

**Tabela 2**

I (mA)	V_{AC} (V)	V_{AB} (V)	V_{BC} (V)
0,00			
0,10			
0,20			
0,30			
0,40			
0,50			
0,60			
0,70			
0,80			
0,80			
1,00			

1. Ajuste a fonte para 0V. Coloque o potenciômetro da bancada no seu valor médio e ligue o amperímetro na escala de 100mA ou maior.
2. Com a ajuda do divisor de tensão, ajuste a corrente para os valores indicados na Tabela 2, e complete-a, seguindo o mesmo procedimento feito anteriormente.

Análise de Dados:

1. Trace em uma mesma folha de papel milimetrado e na mesma escala, as curvas de V_{AC} , V_{AB} e V_{BC} em função da corrente no circuito.
2. Verifique a linearidade de cada resultado. Calcule o coeficiente angular de cada um das retas com suas respectivas incertezas. Use tanto o método gráfico como o numérico.
3. Compare os valores dos coeficientes e verifique se existe alguma relação entre os coeficientes angulares das retas relativas a V_{AC} , V_{AB} e V_{BC} .
4. Determine o quociente entre os coeficientes angulares das retas relativas à V_{AB} e V_{BC} e compare o valor obtido com o quociente dos valores de V_{AB} e V_{BC} para uma corrente $I=1,2\text{mA}$. Faça o mesmo para o quociente dos valores de V_{AB} e V_{BC} para uma corrente $I=0,85\text{mA}$. O que você pode concluir ?

Lei de OHM - Elementos não ôhmicos

Nesta parte vamos utilizar dois elementos novos e verificar o como se comportam correntes e tensões em seus terminais. Vamos verificar a linearidade da relação corrente e tensão, e julgar se os elementos podem ser considerados como ôhmicos ou não ôhmicos.

Primeiro vamos fazer medidas com uma lâmpada comum. Estas lâmpadas são feitas de um filamento de tungstênio muito fino, que possui uma resistência elétrica elevada quando a lâmpada está acesa.

Procedimento 2.3 :

1. Monte o circuito abaixo. Use o potenciômetro para construir o divisor de tensão. Use um miliamperímetro digital em série com a lâmpada, com escala inicial de 200mA.
2. Ajuste a fonte para 0V de saída para que a tensão na lâmpada (V_L) seja de zero volts e coloque a agulha do potenciômetro na metade de sua excursão. Registre esses valores iniciais na Tabela abaixo
3. Aumente um pouco a tensão na lâmpada (Use como ponto de partida uma variação $\Delta I_L = 0,2\text{mA}$).

Procedimento 2.4 :

Utilizaremos agora um elemento chamado de diodo. O diodo é um dispositivo fabricado a partir de semicondutores, e apresenta um mecanismo de condução de corrente elétrica um pouco diferente dos condutores normais. Este dispositivo permite passagem de corrente elétrica apenas em um sentido. Ele possui polaridade, e deve ser conectado corretamente. O seu esquema elétrico tem forma de uma seta que indica o sentido da corrente quando o diodo está conectado de forma correta à fonte de alimentação. Essa conexão deve ser segundo a seguinte figura:



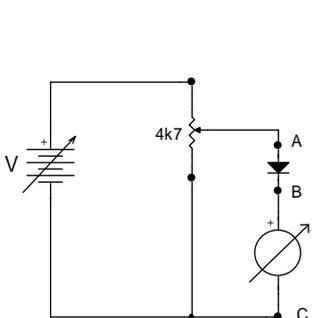
A Curva característica de um diodo pode ser obtida com o auxílio da Mecânica Quântica e tem a forma geral

$$I = I_0 (e^{\alpha qV/kT} - 1)$$

onde q é a carga do elétron, V a diferença de potencial aplicada ao diodo, k a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta do diodo. Nessa relação, α representa o conjunto das outras variáveis específicas, tais como o material e a dopagem do material, bem como outras características específicas de cada dispositivo e que são definidas pelo fabricante. I_0 representa a corrente que passaria pelo diodo quando $V \rightarrow \infty$. Como vemos, essa equação dá o comportamento qualitativo da corrente em função da voltagem aplicada pois o valor de α depende de cada fabricante e de cada modelo de diodo.

Procedimento 2-4

1) Monte o circuito abaixo colocando a fonte em 0V antes de ligá-la



#	$V_D(V)$	$I_D(mA)$	#	$V_D(V)$	$I_D(mA)$	#	$V_D(V)$	$I_D(mA)$
1			11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		

2) Usando simultaneamente os potenciômetros da fonte e da bancada, ajuste a voltagem no diodo para variar em intervalos de 0,1V para voltagens até 0,50V. A partir daí varie V_D em intervalos de 0,01V, medindo a corrente correspondente no miliamperímetro digital (use escala de 20mA). Repita o processo até completar a Tabela acima.

Análise dos Dados

- 1) Observe agora os resultados da tabela acima. A relação entre tensão e corrente nos terminais do diodo é sempre constante? Observe o valor do quociente entre V_D e I_D na sua tabela.
- 2) Trace em papel milimetrado a curva V_D em função da corrente I_D .
 1. Com base no gráfico obtido, podemos afirmar que o diodo tem um comportamento linear no que diz respeito a voltagem em função da corrente em seus terminais ?
 2. Trace, usando seu bom senso, uma curva que melhor se ajuste aos pontos obtidos experimentalmente.
 3. Para um corrente $I=0.75mA$, qual seria o valor de V_D ? Qual é o valor do quociente entre V_D e I_D neste ponto? Para este valor de corrente, podemos afirmar que o diodo se comporta como um resistor com este valor que acabamos de calcular. Este valor recebe o nome de RESISTÊNCIA APARENTE.

4. Preencha a seguir a Tabela 5, com base nos resultados obtidos para a Tabela 4.

Linearização da equação característica de um diodo

A equação característica de um diodo

$$I = I_0 (e^{\alpha qV/kT} - 1)$$

mostra que para valores relativamente grandes do argumento da exponencial, esta se torna muito maior que 1, e a equação característica pode ser reescrita, nessas condições, simplesmente como

$$I = I_0 e^{\alpha qV/kT}$$

Essa é uma função exponencial bastante conhecida que pode ser linearizada simplesmente aplicando-se logaritmos a ambos os lados da igualdade. Fazendo isso, resulta

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{\alpha q}{kT} V$$

Essa equação representa uma reta em um gráfico monolog, onde o eixo das ordenadas (y) é logarítmico e o eixo das abcissas (x) é linear. Fazendo-se o gráfico de ln(i) em função de V, portanto, teremos uma reta cujo coeficiente angular dará o valor de (αq/kT).

Observe que qualquer tipo de logarítmo pode ser utilizado para linearizar essa função. No entanto, se uma base diferente da base dos logaritmos neperianos for utilizada, o coeficiente angular anteriormente obtido deve ser multiplicado pelo logarítmo de “e” na base utilizada.

Procedimento 2-5

- 1) Preencha a Tabela 5 abaixo utilizando os valores obtidos na Tabela 4
- 2) Trace agora, em papel milimetrado, a curva do logarítmo de I_D em função de I_D. Observe o que ocorre para altos valores de corrente. A curva que melhor se ajusta aos pontos é um reta? Que tipo de lei relacionando corrente e voltagem você imagina ser possível de obter com base nos seus resultados gráficos? Determine, a partir desse gráfico, o valor de α. Considere T = 295K, q = 1,6 10⁻¹⁹C e k=1,38 10⁻²³ J/K. Espera-se um valor de α em torno de 1

Tabela 5: Curva característica de um diodo em escala logarítmica

#	V _D (V)	I _D (mA)	ln (I _D)	#	V _D (V)	I _D (mA)	ln (I _D)
1				16			
2				17			
3				18			
4				19			
5				20			
6				21			
7				22			
8				23			
9				24			
10				25			
11				26			
12				27			
13				28			
14				29			
15				30			