

Física Experimental B (4320303)

ELEMENTOS RESISTIVOS LINEARES E NÃO LINEARES¹

Guia de trabalho

Turma: _____ Data: __ / __ / __ Nome do(a) Professor(a): _____

Equipe:

Número USP

nota

ATENÇÃO. Você usará um multímetro para medir resistências e tensões. Selecione a escala desejada ANTES de realizar a medida. Evite danificar seu instrumento usando uma escala errada.

1 Objetivos

Esta experiência tem por objetivo estudar as curvas características de tensão versus corrente ($V \times I$) de um elemento resistivo linear (resistor de carbono) e dois elementos não lineares (filamento de uma lâmpada incandescente e um diodo semicondutor).

2 Introdução

2.1 Curva Característica

A função que descreve a corrente elétrica através de um dispositivo condutor em função do potencial elétrico aplicado é denominada curva característica que caracteriza totalmente o comportamento elétrico do dispositivo. É possível que um dispositivo apresente uma coleção de curvas características em função de um parâmetro qualquer, tal como a temperatura ou outra variável externa. Para obter a curva característica de um dispositivo condutor usa-se um circuito como o da figura 2. As medidas de tensão e corrente elétrica são geralmente feitas com multímetros, um instrumento que combina as funções de voltímetro, amperímetro, ohmímetro e outras, dependendo de marca e modelo. As figuras 1a, 1b e 1c mostram um voltímetro, um amperímetro e um ohmímetro conectados a um circuito genérico com um elemento X que se

¹ Texto adaptado de 4320303, Física III, SS-2014

deseja testar. Nessas figuras pode se observar que o amperímetro e o ohmímetro se parecem com o voltímetro, exceto por um circuito auxiliar interno. Num amperímetro mede-se a diferença de potencial (tensão no jargão elétrico) nas extremidades de um resistor interno no instrumento. No ohmímetro, mede-se a corrente que passa no circuito criada pela fonte de tensão interna do aparelho. A mudança do circuito interno num multímetro é obtida ao chavear (ou selecionar) a função desejada no painel do instrumento. A resistência do voltímetro, indicada R_{∞} na figura, varia de $M\Omega$ ($M=10^6$) a $G\Omega$ ($G=10^9$). A resistência interna do amperímetro varia tipicamente de 1 a $100\ \Omega$ e a fonte de tensão interna de um ohmímetro comercial pode alcançar 30V.

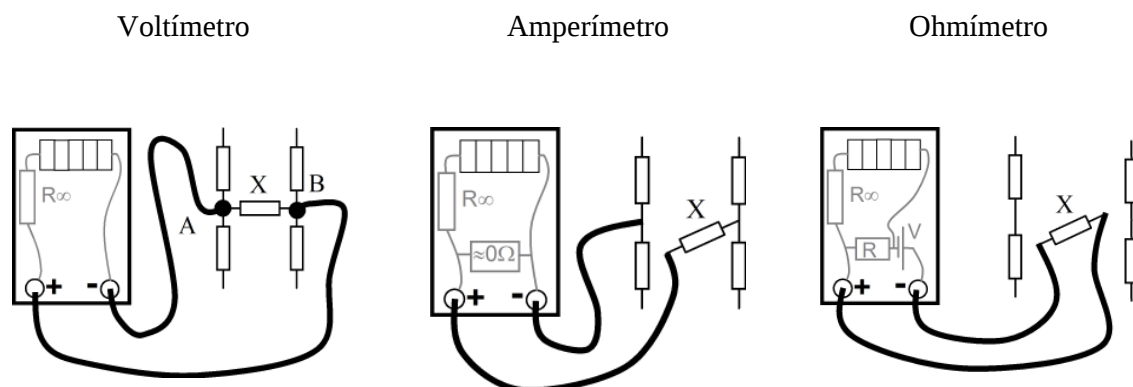


Figura 1a. Diagrama para ligação de um voltímetro num circuito. Mede-se $V_X = V_B - V_A$. Parte da corrente entre A e B é conduzida através do voltímetro e usada para medida da tensão. R_{∞} é a resistência interna do voltímetro, entre 10^6 e $10^9\ \Omega$

Figura 1b. Uso do amperímetro num circuito para medida da corrente I_X . O circuito é aberto para inserir o amperímetro. O voltímetro interno é usado para medir a tensão num resistor (com baixa resistência) introduzido em série no circuito.

Figura 1c. Para medir a resistência de um elemento X, ele deve ser desligado do circuito. O valor de R, interno, depende da escala. Uma bateria interna alimenta o circuito.

2.2 Voltímetro ideal x voltímetro real

Conforme mostrado na Figura 1a, um voltímetro conectado a um circuito externo na realidade conecta seu resistor interno R_{∞} em paralelo com o dispositivo X a ser medido. O voltímetro altera o circuito sob teste pois a tensão é medida sobre a resistência equivalente. Para $R_{\infty} \gg R_X$, a adição do voltímetro pouco interfere com a medida. Caso contrário, a tensão medida deve ser corrigida para se obter a tensão real no circuito em funcionamento: O mesmo vale para o amperímetro, cuja resistência interna é introduzida em série no circuito na Figura 1b.

3 Curva característica de um resistor de carbono

3.1. Monte o circuito indicado na figura 2. Varie a tensão aplicada e meça a corrente correspondente preenchendo a tabela 1. Se as medidas forem anotadas com os dígitos significativos corretos, não é necessário registrar as incertezas das medidas, pois o ajuste da reta por mínimos quadrados calcula a dispersão dos pontos e fornece a incerteza estatística dos coeficientes (Note bem: a incerteza estatística pode não conter a incerteza da calibração do instrumento.)

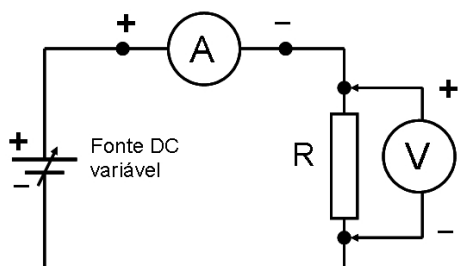


Figura 2. Circuito para determinar a curva característica de um resistor R.

Tabela 1. Correntes e tensões num resistor.

	U (V)	I (mA)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

3.2. Com o multímetro na posição " Ω ", meça o valor da resistência do resistor fornecido:

$R_{\text{ohmímetro}} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

3.3. Utilizando o programa Origin, crie uma tabela com os valores I , U medidos. Faça um gráfico XY tipo espalhamento (*scatter*), grafique os pontos medidos e ajuste uma reta, tipo $U = A + BI$. No gráfico, inclua os resultados do ajuste numa caixa de texto, nomeie os eixos Y e X e coloque um título. Imprima o gráfico e anexe-o ao guia de trabalho. Anote a seguir o valor dos parâmetros A e B do ajuste:

$$A = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ unidade} .$$

$$B = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ unidade} .$$

3.4. Indique o valor da resistência do ajuste e compare-o com o valor medido com o ohmímetro calculado o desvio percentual:

$$R_{\text{ajuste}} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\text{Desvio \%} = \frac{R_{\text{ajuste}} - R_{\text{ohmímetro}}}{R_{\text{ohmímetro}}} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$$

3.4. Comente seu trabalho: Os resultados concordam entre si? Os medidores A e V no circuito na figura 2, interferem nas medidas? Como melhorar?

4 Curva característica do filamento de uma lâmpada incandescente

Uma lâmpada de filamento metálico (em geral tungstênio) é um elemento resistivo não linear, cuja resistência depende da temperatura. Numa lâmpada, o filamento fica num invólucro de vidro com gás inerte a baixa pressão cuja função é inibir a evaporação do filamento. A pressão do gás deve ser baixa, para reduzir as perdas de calor por condução e convecção. Assim,

o filamento pode atingir altas temperaturas sem oxidar, nem queimar, nem sublimar, com perdas de energia sob forma de calor economicamente aceitáveis. A lâmpada (assim como o resistor) converte energia elétrica em luz e calor. A potência elétrica $P_L = I \times V_L$ consumida por uma lâmpada incandescente é parcialmente convertida em potência luminosa (a maior parte no infravermelho e apenas ~10% no visível) e também parcialmente perdida por condução térmica do gás isolante.

O procedimento experimental aqui é análogo ao caso do resistor de carbono. A diferença é que o gráfico $U \times I$ não é linear (não é uma reta), pois a resistência do filamento varia com a temperatura que pode chegar a 2000°C. Para valores pequenos de V e I (quando a lâmpada ainda não emite no visível) sua curva característica é aproximadamente a de um elemento resistivo linear. É possível ajustar a resistência R de um fio metálico em função da temperatura T por uma lei polinomial:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots] \quad (1)$$

onde T_0 é uma temperatura em que R assume o valor R_0 e $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, são coeficientes que dependem da temperatura T_0 . Estes coeficientes são positivos para os metais, o que significa que a resistência do filamento de tungstênio da lâmpada incandescente aumenta com a temperatura. O carbono tem estes coeficientes negativos, isto é, sua resistência diminui com o aumento de temperatura.

Tabela 2. Medidas de tensão e corrente de um filamento de tungstênio

	U (V)	I (mA)	R = V/I (Ω)	P=U*I (mW)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

4.1. Substitua o resistor no circuito da figura 2, por uma lâmpada e varie a tensão com intervalos de 3V até 30V aproximadamente, preenchendo a tabela 2. A tabela pode ser calculada numa planilha Excel e anexada ao relatório.

4.2. Construa um gráfico $U \times I$ para as medidas do filamento no Origin. Não emende os pontos. Anexe o gráfico ao guia.

4.3. Comente se a dependência da resistência com a potência elétrica dissipada na lâmpada é linear. (extra: faça um gráfico $\log R \times \log P$)

5 Curva característica de um diodo semicondutor de silício

Um diodo elétrico é um dispositivo que conduz corrente elétrica apenas numa direção e se comporta como um isolante quando a tensão é invertida. A figura 3 mostra uma curva característica típica de um diodo. A figura 4 mostra o símbolo de um diodo como usado em circuitos elétricos.

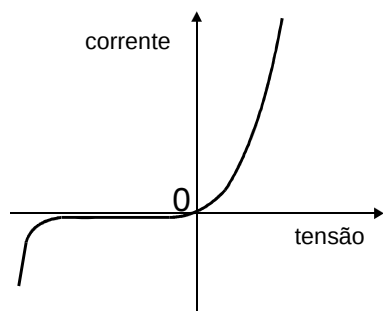


Figura 3. Curva característica de um diodo. Quando a polarização é direta, a corrente é positiva e o diodo conduz. Quando a polarização é inversa, o diodo se comporta como um isolante, até que o potencial rompa o isolante e o diodo conduz em avalanche.

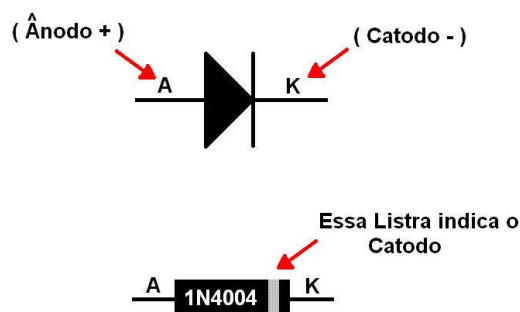


Figura 4. Símbolo de um diodo usado em circuitos e imagem do diodo 1N4004 com indicação do catodo. No diodo a corrente (convencional) flui do ânodo para o catodo, no sentido da seta.

O silício é um material semicondutor usado para construir diodos (e uma série de outros circuitos bastante complexos). Um diodo de silício semicondutor é construído introduzindo na rede cristalina elementos químicos que não casam o número de elétrons da banda de valência do silício, que tem 4 elétrons. Introduzindo alumínio por exemplo, que tem apenas três elétrons de valência, deixa uma ligação com o Si vaga. Essa vacância se comporta como uma carga positiva livre que pode se mover no semicondutor. Um semicondutor com vacâncias é chamado **semicondutor tipo p**. O oposto acontece se introduzirmos um elemento químico com 5 elétrons na camada de valência, tal como o fósforo. O elétron extra (uma carga negativa) fica livre num **semicondutor tipo n**. Um diodo resulta da junção de dois semicondutores, um do tipo p e outro do tipo n, como mostrado na figura 5.

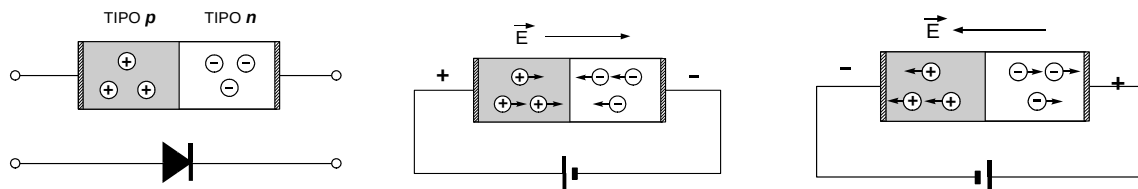


Figura 5a. Um diodo formado pela junção de silício tipo p e tipo n.

Figura 5a. Um diodo em polarização direta é um condutor.

Figura 5a. Num diodo com polarização reversa, as cargas são separadas e a corrente elétrica não flui.

5.1. Monte o circuito mostrado na figura 6, com um diodo semicondutor em série com um resistor de $\sim 1\text{K}\Omega$ para limitar a corrente no circuito em caso de polarização direta do diodo.

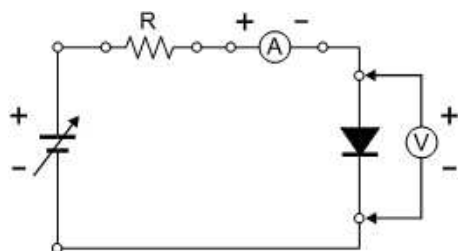


Figura 6. Circuito para medida da curva característica de um diodo semicondutor. O resistor $R = 1000\ \Omega$ serve para limitar a corrente no circuito no caso de polarização direta do diodo.

5.2. Variando a tensão na fonte, meça a corrente que passa pelo diodo em função da tensão aplicada e complete a tabela 3. Grafique os valores medidos num gráfico $I \times V$, como o da figura 3. Não emende os pontos. Anexe o gráfico ao guia de trabalho.

Tabela 3. Correntes e tensão num diodo semiconductor

	U (V)	I(.....)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

5.3. Inverta o sentido do diodo. Escolhendo alguns valores na faixa de tensão disponível, tente medir a corrente elétrica que flui pelo diodo. Relate o que observou.