Exemplo

A equação (2) permite concluir que o valor da f.e.m. de uma fonte real será igual a ε somente quando não houver corrente circulando pela fonte.

Objetivo

Determinar a resistência interna de uma bateria e fazer aplicação do método estatístico dos mínimos quadrados de regressão linear para a obtenção da equação de uma reta.

Material

1 pilha de 1,5 V, 2 multímetros, placa para circuitos, 2 resistores de 22 Ω

Procedimentos

1. Configure um dos multímetros como ohmímetro com um fundo de escala de 200 Ω e meça o valor de cada resistor. Anotes esses valores e calcule a resistência equivalente, lembrando que estão em paralelo $\left(\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$:

   R1= 22,0 Ω   R2= 21,8 Ω

   Req= 10,9 Ω

   Meça as duas resistências em paralelo para confirmar seu cálculo.

2. Configure o multímetro como um voltímetro para medir tensões contínuas com um fundo de escala de 2000 mV. Meça a tensão nos terminais da pilha, sem que ela esteja ligada no circuito. Este será o valor da f.e.m. ε:

   ε= 1,547 V

3. Configure outro multímetro como um amperímetro para medir correntes contínuas com um fundo de escala de 200 mA.

4. Monte um circuito como o representado na figura 1, abaixo, com os resistores de 22Ω e a pilha. Utilize a placa para montagem de circuitos. Atente para a forma correta de ligar o voltímetro e o amperímetro ao circuito.

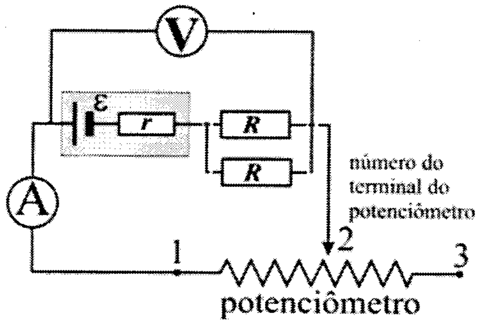

Figura 1

5. Gire o botão do potenciômetro de modo a identificar o valore mínimo de corrente (mA). Anote na linha 1 da tabela abaixo, e a tensão correspondente. Aumente a corrente em ~~10~~mA, e assim sucessivamente, até obter pelo menos 10 pares de valores. 5

	Corrente (mA)	Tensão (mV)	Corrente (A)	Tensão (V)	$\epsilon - V$
1	15	1325	0.015	1,325	0,222
2	20	1247	0.020	1,247	0,290
3	25	1184	0.025	1,184	0,363
4	30	1117	0.030	1,117	0,430
5	35	1045	0.035	1,045	0,502
6	40	976	0.040	0.976	0,571
7	45	906	0,045	0,906	0.641
8	50	835	0,050	0.835	0,712
9	55	760	0.055	0,760	0,787
10	60	697	0.060	0,697	0,850

6. Desconecte a pilha do circuito.

7. Transforme as medidas para volts e ampères anotando os valores nas colunas correspondentes.

8. Preencha a última coluna, subtraindo a f.e.m. da pilha, ϵ, medida no item 2, do valor da tensão medida agora em volts. O resultado será a queda de tensão

ocorrida no conjunto da resistência interna da pilha e das resistências em paralelo

9. Faça um gráfico com os valores acima, colocando o valor de $\epsilon - V$ no eixo x (variável independente) e a corrente i no eixo y (variável dependente).

10. Os pontos deverão formar aproximadamente uma reta. Utilizaremos o método de regressão linear dos mínimos quadrados para a determinação da equação dessa reta.

11. Preencha a seguinte tabela, somando as colunas e anotando o resultando na linha das somatórias:

n	x	y	xy	x^2
Número da observação	$\epsilon - V$ (volts)	i (ampères)	$(\epsilon - V) \cdot i$	V^2
1	0.222	0.015	0,0033	0.049
2	0,290	0.020	0,0058	0.084
3	0, 363	0.025	0,0091	0,132
4	0, 430	0,030	0,0129	0,185

5	0.502	0,035	0,0176	0.252
6	0.571	0,040	0,0228	0,326
7	0,641	0.045	0,0288	0,411
8	0.712	0,050	0,0356	0.507
9	0.787	0.055	0,0433	0.619
10	0,850	0.060	0,0510	0.723
$\sum$	$\sum x =$ 5,368	$\sum y =$ 0,375	$\sum xy =$ 0,230	$\sum x^2 =$ 3,298

12. Como estamos determinando a equação de uma reta, ela terá a forma $y = ax + b$, onde a é o coeficiente angular e b o coeficiente linear. Faça o cálculo de a e de b usando as fórmulas do método dos mínimos quadrados:

$$a = \frac{n(\sum xy) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \Rightarrow a = \frac{10 . 0,230 - 5,368 . 0,375}{10 . 3,288 - 5,368^2}$$

$a = 0,0706$

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} \Rightarrow b = \frac{0,375 - 0,0706 . 5,368}{10}$$

$b = -0,000398$

13. Com os valores acima, a equação da reta correspondente a esse gráfico ficou:

$$y = \underline{0,0706}\, x - \underline{0,000398}$$

14. O valor de b deve ser muito próximo de zero, pois quando não há tensão, não há corrente.

15. O valor de "a" da equação acima é o coeficiente angular da reta ajustada. Lembrando que $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, ele corresponde ao quociente $\frac{i}{V}$. Como, pela Lei de

Ohm, $R = \frac{V}{I}$, é correto afirmar que $R = \frac{1}{a}$. Calcule o valor de R desse modo e anote abaixo:

$R = \frac{1}{a} \Rightarrow R = \frac{1}{0.0706} \Rightarrow R = 14{,}2\,\Omega$

16. O valor calculado acima de R, corresponde à soma da resistência interna da bateria (r) com as resistências colocadas em paralelo, calculadas no item 1, (R_{eq}). Insira o valor de R e o valor de R_{eq} na equação abaixo, e obtenha o valor de r.

$R = r + R_{eq} \Rightarrow 14{,}2 = r + 10{,}9$

$r = 14{,}2 - 10{,}9$

$r = 3{,}3\,\Omega$

$r =$ 3,3 Ω

Conclusão: com base nesse experimento, determinamos que a resistência interna da pilha utilizada é de: $r =$ 3,3 Ω