

# Relatório 03: Condutividade de componentes

João Pedro K. B. - 237655, Isadora F. T. - 238787, Gabriel B. B. - 234672, Rafael L. M. - 239330

## 1 Experimento

Com o intuito de atingir os objetivos propostos no roteiro experimental, foi dividido o seguinte procedimento.

Primeiramente, com um ohmímetro, são medidos os valores de resistência dos seguintes componentes que serão usados no experimento: resistência (DUT), diodo (DUT), amperímetro e voltímetro. Os dois primeiros valores serão usados para comparação nos resultados finais, enquanto as resistências internas dos aparelhos de medição são importantes para analisar a interferência que um causa no outro, o que depende da configuração do circuito de teste, como será explicado mais a frente.

A configuração de circuito da Figura 6 (b) do Roteiro Experimental é montada com o resistor como DUT, e usando outro resistor de  $220\ \Omega$  como resistência de proteção. Após isso, variando a tensão na fonte em acréscimos de  $2.5\ \text{V}$  de  $-30\ \text{V}$  a  $30\ \text{V}$  (invertendo a polaridade da fonte no processo), são anotados os valores de corrente e tensão presentes no amperímetro e voltímetro, respectivamente. Com a mesma configuração, o diodo em polarização direta substitui o resistor como DUT, porém dessa vez as tensões escolhidas seguem uma fórmula que concentra os pontos nas tensões fornecidas mais altas, para melhor descrever o comportamento exponencial esperado do diodo por teoria e por resultados anteriores da aula teste (no caso deste experimento foram usados os valores de acordo com  $31 - \left(\frac{4}{3}\right)^n\ \text{V}$ , com  $n = 0, 1, \dots, 11$ ). Em ambos os casos, a configuração (b) foi escolhida pois tanto o diodo em polarização direta quanto o resistor (nominalmente de  $100\ \Omega$ ) possuem resistência pequena em comparação com a resistência interna do voltímetro. Com esse circuito, a medição do voltímetro é sem interferência, e pouca corrente passa pelo voltímetro devido a sua alta resistência interna relativa à resistência dos DUT, causando pouca interferência na medição amperímetro, que mede a corrente total pelo DUT e pelo voltímetro.

Para o diodo na polarização inversa, contudo, a configuração de circuito da Figura 6 (a) é mais recomendável, visto que sua resistência esperada por teoria é bem maior que a resistência interna do amperímetro, e comparável àquela do voltímetro. Com esse circuito, a corrente medida é sem interferência, e a interferência na medida do voltímetro, que depende da resistência do amperímetro (agora dentro do trecho em paralelo com o voltímetro), é pequena em comparação com a contribuição do diodo, cuja resistência é bem maior.

A variável dependente do experimento é a corrente no amperímetro, que em ambas as configurações depende da tensão fornecida, da resistência do DUT (que por sua vez varia com a temperatura do DUT e a tensão fornecida), das resistências dos fios, que não são ideais (e será considerada desprezível) e da resistência de proteção (mais detalhes sobre essa última mais a frente). Além disso, na configuração (b) em específico, a leitura do amperímetro tem uma interferência na forma da corrente que passa pelo voltímetro, como explicado acima (enquanto na configuração (a) há uma interferência na leitura da tensão do voltímetro causada pela resistência interna do amperímetro, porém como a tensão está sendo tratada como variável independente, tal efeito não é considerado como uma dependência). As variáveis independentes são aquelas mencionadas na dependência da leitura da corrente.

A resistência, por definição, é dada por

$$R = \frac{V}{A}, \quad (1)$$

onde  $V$  é a leitura da tensão e  $A$  a da corrente. Um ajuste linear no gráfico  $I \times V$  para o resistor como DUT é então efetuado, cujo coeficiente angular é uma aproximação para a condutância, isto é,

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{1}{a} \\ &= \frac{1}{G_x}, \end{aligned} \quad (2)$$

onde  $a$  é o coeficiente angular do ajuste (ver Fig. 1) e  $G_x$  a aproximação para a condutância do resistor. O valor de resistência obtido dessa forma foi  $R_x = 100.0 \pm 0.1 \, \Omega$ . Esse intervalo de incerteza inclui tanto o valor nominal quanto o valor medido com o ohmímetro, como pode ser visto na Tab. 1, além de ser relativamente controlado (cerca de 0.1% do mais provável), o que indica alta exatidão e precisão nos métodos, respectivamente.

Vale ressaltar que a interferência da resistência do amperímetro na medida do voltímetro na configuração (b) é desprezível, visto que os valores de corrente são tão baixos que sequer são detectáveis na precisão do amperímetro (logo estão na ordem de  $10^{-9}$ , no máximo), logo a queda na ddp causada pelo mesmo é muito baixa em comparação com a do diodo na polarização inversa, mesmo na configuração mais resistiva de  $\mu A$  (498  $\Omega$ ). O mesmo pode ser dito da corrente que passa pelo voltímetro e é medida pelo amperímetro na configuração (a), pois os valores de tensão da fonte (com máximo em 30 V) não são capazes de produzir muita corrente através de uma resistência de 11.05 M $\Omega$ . A análise de incerteza para os valores de resistência envolvidos nessa análise foi pulada por brevidade, uma vez que as escalas são tão destoantes. Um experimento desse tipo mais apurado poderia ser divisado levando-se em consideração as interferências dos aparelhos de medição e dos fios não ideais (todos estes, também, variam com as tensões fornecidas, temperatura, etc).

Em teoria, um fusível ideal não interfere nas medições e, portanto, nos resultados experimentais até atingir seu limite de corrente. Sua função no circuito é interromper a passagem de corrente quando dito limite é alcançado, isto é, quando há uma sobrecarga no circuito. Mesmo não sendo ideal, seu posicionamento no circuito garante que sua influência seja desconsiderada pelos aparelhos de medição (fora do trecho em paralelo ao voltímetro, e em série com o amperímetro). O mesmo pode ser dito sobre o resistor de proteção e seu posicionamento. Este último limita a corrente passando pelo circuito evitando curto-circuitos, e funciona como uma garantia de que a resistência total do sistema nunca fique abaixo de níveis que danificariam outros componentes, mesmo quando a montagem do circuito está incorreta ou algum componente já apresenta defeito.

Considerando que um componente ôhmico possui resistência  $R = V/I$  constante em intervalos controlados, e analisando a Fig. 1, é possível observar uma adequação à lei de Ohm, isto é, uma certa proporção linear entre as duas grandezas. No entanto, apesar de não ser muito visível através desse gráfico, os valores de corrente e tensão não aumentam com exatamente a mesma proporção em todo o intervalo experimental, como pode ser notado através das tabelas de dados e na Fig. 4.

Ainda nesse gráfico, contudo, considerando as incertezas dos pontos é possível identificar que existe uma certa intersecção entre os intervalos dos possíveis valores da resistência em cada ponto, por exemplo é possível notar que para tensões de módulo aproximadamente 0.8 V até aproximadamente 7.8 V existem valores possíveis para a resistência, considerando-se o erro, presentes nos intervalos de todos os pontos. Dessa forma, é possível concluir que, dependendo dos valores de tensão e corrente e da precisão necessários, seria possível aproximar o resistor pela lei de Ohm. O resistor pode ser considerado um componente ôhmico, portanto, pois a lei de Ohm não requer uma aproximação linear para todas as tensões, e sim para um intervalo.

A partir da Fig. 5, temos que a resistência do diodo para a polarização direta decresce não linearmente com a tensão, enquanto pela Fig. 2, a corrente nesse caso cresce com o aumento da tensão, com uma relação não linear e próxima de exponencial, evidente pelo ajuste produzido pelo software. Logo conclui-se que o componente não é caracteristicamente ôhmico, isto é, com um gráfico  $R \times V$  próximo de constante por intervalos e um gráfico  $I \times V$  próximo de linear por intervalos. Para o diodo na inversa, o amperímetro não foi sensível ao ponto de captar as baixas correntes e produzir um gráfico  $R \times V$  delineando o comportamento da resistência não foi possível (o gráfico  $I \times V$  é constante e nulo para todas as tensões fornecidas, e foi omitido).

Do gráfico da Fig. 3, é possível perceber que, para o diodo na polarização direta, as grandezas possuem relação linear quando em escala logarítmica, novamente evidenciado pelo ajuste efetuado pelo software. Esse resultado é condizente com a configuração exponencial já discutida na Fig. 2.

Comparando o comportamento dos dois DUT's (resistor e diodo) através de todos os gráficos e análises já citados/efetuados anteriormente, se destacam algumas diferenças; além da quase linearidade de um e forte comportamento exponencial do outro no gráfico  $I \times V$  (que os caracterizam ou não como componentes ôhmicos), é interessante apontar que o comportamento do resistor é simétrico com relação às tensões positivas e negativas, enquanto o diodo, como seu propósito sugere, resiste muito mais em uma das direções da corrente (em sua polarização inversa) do que na outra, que ele permita a passagem.

2 Figuras e tabelas

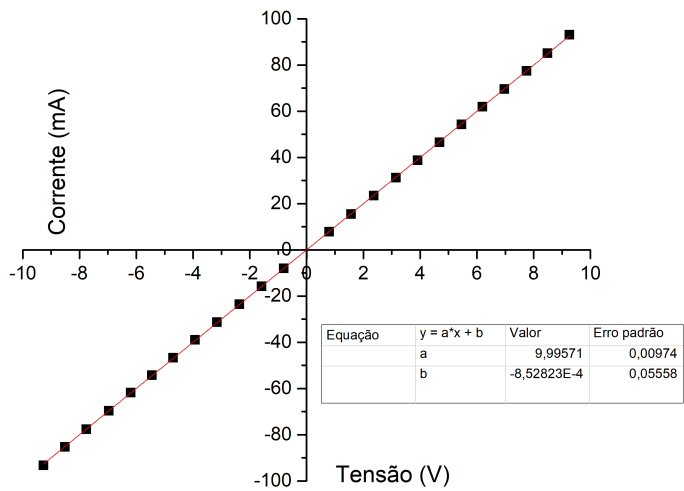


Figura 1: Ajuste linear dos dados do gráfico  $I \times V$  do resistor. Barras de incerteza pontuais não são visíveis devido à escala, porém foram consideradas pelo programa na obtenção dos coeficientes.

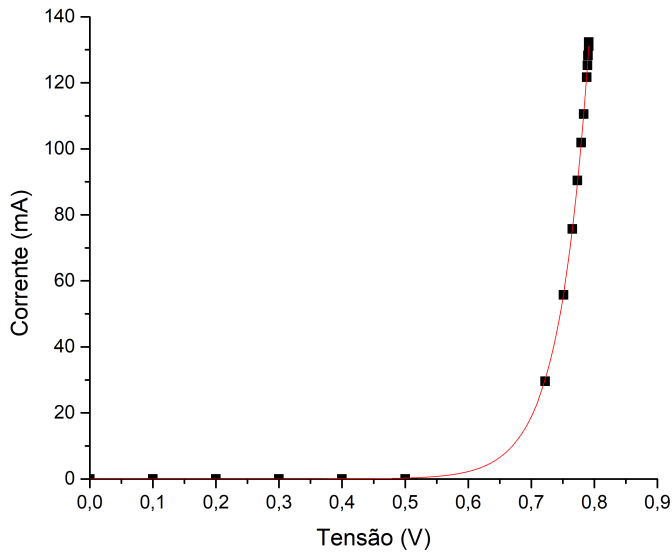


Figura 2: Ajuste exponencial dos dados do gráfico  $I \times V$  do diodo na polarização direta.

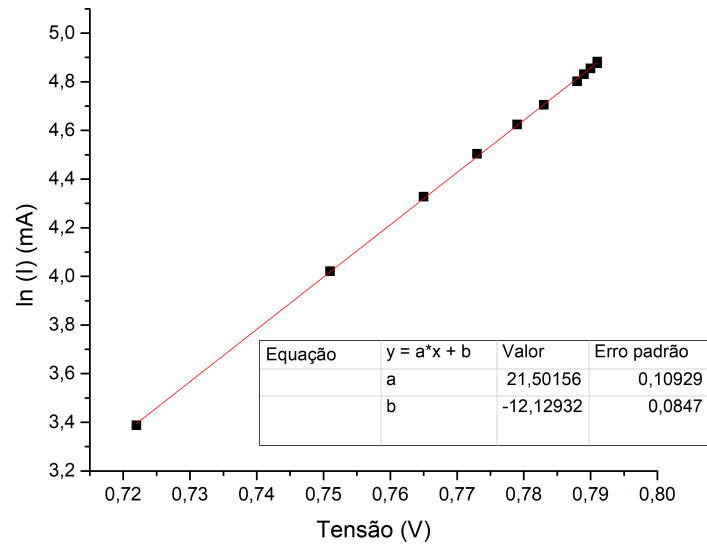


Figura 3: Gráfico  $\ln(I) \times V$  do diodo em polarização direta.

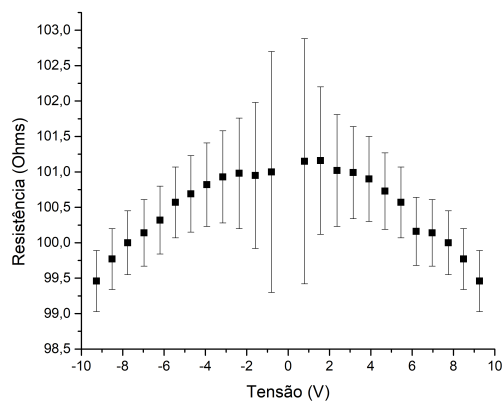


Figura 4: Gráfico  $R \times V$  do resistor.

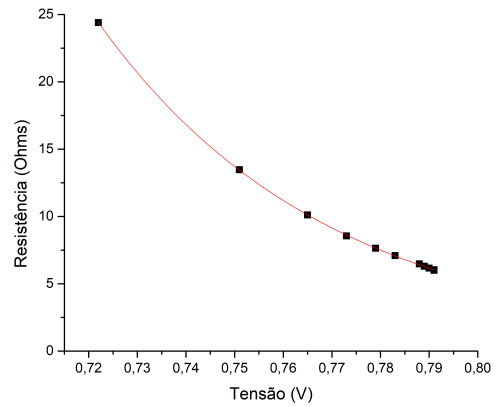


Figura 5: Gráfico  $R \times V$  do diodo em polarização direta.

	$R \text{ (M}\Omega\text{)}$
Resistor	$(101.1 \pm 0.3) \times 10^{-6}$
Diodo (polarização inversa)	$(51.3 \pm 0.3) \times 10^{-1}$

Tabela 1: Valores de  $R$  dos DUT's medidos com o ohmímetro.

Dados coletados podem ser vistos em: [https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dQkEvIP7f\\_dQnZKA5PpUosMofcR3JzrTakILmpjmHfc/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dQkEvIP7f_dQnZKA5PpUosMofcR3JzrTakILmpjmHfc/edit?usp=sharing).

### 3 Avaliação e propagação de incertezas

As fontes de incertezas discutidas e identificadas pelo grupo foram:

1. A incerteza de leitura do amperímetro, com f.d.p. retangular e  $a = 0.01$  mA (precisão da última casa decimal mostrada pelo amperímetro), é dada por  $u_{I1} = \frac{a}{2\sqrt{3}} = 0.00289$  mA, a incerteza de calibração do amperímetro, também com f.d.p. retangular com  $a$  dado de acordo com o arquivo pdf de exemplos de incertezas disponível no Moodle, é dada por  $u_{I2} = \frac{a}{2\sqrt{3}}$  mA. Dessa forma, combinando as duas incertezas, temos que a incerteza da corrente é  $u_I = \sqrt{u_{I1}^2 + u_{I2}^2}$  mA;
2. A incerteza de leitura do voltímetro, com f.d.p. retangular e  $a = 0.001$  V (precisão da última casa decimal mostrada pelo amperímetro), é dada por  $u_{V1} = \frac{a}{2\sqrt{3}} = 0.000289$  V, a incerteza de calibração do voltímetro, também com f.d.p. retangular com  $a$  dado de acordo com o arquivo pdf de exemplos de incertezas disponível no Moodle, é dada por  $u_{V2} = \frac{a}{2\sqrt{3}}$  V. Dessa forma, combinando as duas incertezas, temos que a incerteza da corrente é  $u_V = \sqrt{u_{V1}^2 + u_{V2}^2}$  V.
3. A incerteza de leitura do ohmímetro, com f.d.p. retangular e  $a = 0.01$   $\Omega$  (precisão da última casa decimal mostrada pelo amperímetro), é dada por  $u_{\Omega1} = \frac{a}{2\sqrt{3}} = 0.00289$   $\Omega$ , a incerteza de calibração do ohmímetro, também com f.d.p. retangular com  $a$  dado de acordo com o arquivo pdf de exemplos de incertezas disponível no Moodle, é dada por  $u_{\Omega2} = \frac{a}{2\sqrt{3}}$   $\Omega$ . Dessa forma, combinando as duas incertezas, temos que a incerteza da corrente é  $u_{\Omega} = \sqrt{u_{\Omega1}^2 + u_{\Omega2}^2}$   $\Omega$ ;

A incerteza da resistência para os pontos do gráfico  $R \times V$  pode ser calculada com a propagação da Eq. 1 como

$$\begin{aligned}\Delta R &= \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial V} \Delta V\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial A} \Delta A\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{A} \cdot \Delta V\right)^2 + \left(-\frac{V}{A^2} \cdot \Delta A\right)^2}.\end{aligned}$$

A incerteza para a resistência calculada através do coeficiente angular pode ser calculada com a propagação da Eq. 2 como

$$\begin{aligned}\Delta R_x &= \frac{\partial R_x}{\partial a} \Delta a \\ &= \frac{\Delta a}{a^2}.\end{aligned}$$