

ANÁLISE DOS EFEITOS DA TEMPERATURA SOBRE O COMPORTAMENTO ÔHMICO E NÃO ÔHMICO DE RESISTORES

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE OHMIC AND NON-OHMIC BEHAVIOR OF RESISTORS

Marcos Vinícius da Silva Câmara¹
Francisco Edcarlos Alves Leite²
Alex Garcez Gomes Castro³

RESUMO

O presente estudo trata da idealização e montagem de um aparato experimental para analisar os efeitos da temperatura sobre o comportamento ôhmico e não-ôhmico dos resistores. O trabalho partiu da ideia de verificar como a temperatura influencia na mudança de comportamento de resistores, fazendo com que os mesmos deixem de apresentar um comportamento linear e passem a adotar um comportamento não-linear, e ter uma ideia do limiar dessa mudança. O aparato experimental é composto por fonte de corrente contínua, cabos e conectores, um recipiente contendo água e um resistor imerso nela, uma base de vedação para o recipiente, amperímetro, termômetro digital e voltímetro. O experimento procedeu com o circuito inicialmente a uma voltagem de 0,50 volts e aumentando em razão igual a cada 10 minutos até que a água atingisse 100 graus celsius (ponto de ebulição). Foram utilizados resistores com três valores de resistência diferentes e foram aferidas as medidas sobre tensão, corrente, e temperatura de cada resistor a cada mudança na voltagem. Os resultados obtidos permitem concluir que quanto maior for o valor da resistência elétrica do resistor, o limiar da temperatura para que o comportamento ôhmico deixe de existir e o comportamento não-ôhmico passe a predominar no resistor tende a ser maior. Todavia a partir de um certo valor de resistência elétrica, o limiar da temperatura para a mudança de comportamento do ôhmico para o não-ôhmico pode apresentar decréscimo a partir de um determinado ponto.

Palavras-chave: Resistor; Temperatura; Comportamento ôhmico; Comportamento não-ohmico.

ABSTRACT

The present study deals with the idealization and assembly of an experimental apparatus to analyze the effects of temperature on the ohmic and non-ohmic behavior of resistors. The work started from the idea of verifying how the temperature influences the behavior change of resistors, causing them to stop presenting a linear behavior and start to adopt a non-linear behavior, and to have an idea of the threshold of this change. The experimental apparatus consists of a direct current source, cables and connectors, a container containing water and a resistor immersed in it, a sealing base for the container, ammeter, digital thermometer and voltmeter. The experiment proceeded with the circuit initially at a voltage of 0.50 volts and increasing at an equal rate every 10 minutes until the water reached 100 degrees Celsius (boiling point). Resistors with three different resistance values were used and measurements of voltage, current, and temperature of each resistor were taken at each change in voltage. The results obtained allow us to conclude that the greater the value of the electrical resistance of the resistor, the temperature threshold for the ohmic behavior to cease to exist and the non-ohmic behavior to predominate in the resistor tends to be greater. However, from a certain value of electrical resistance, the temperature threshold for changing behavior from ohmic to non-ohmic may show a decrease after a certain point.

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

Keywords: Resistor; Temperature; Ohmic behavior; Non-ohmic behavior.

1 INTRODUÇÃO

Desde séculos passados até os tempos modernos, os estudos dedicados a compreender os fenômenos envolvendo a eletricidade foram capazes de proporcionar importantes e valiosíssimas contribuições envolvendo a tecnologia e a eletrônica em benefícios para a evolução da tecnologia e para evolução da humanidade. No que diz respeito ao estudo da eletricidade e o eletromagnetismo, um dos componentes eletrônicos básicos mais comuns em aparelhos elétricos é o resistor.

Um resistor consiste em um tipo de condutor que tem como função introduzir uma certa resistência a passagem da corrente elétrica, ou seja, atua limitando o fluxo de cargas que percorrem determinado caminho em um circuito. Essa resistência ao fluxo de cargas causa dissipação na energia elétrica, a qual é dissipada na forma de energia térmica. Neste sentido, os resistores são muito utilizados como dispositivo meio de aquecer alguns objetos. Por exemplo, em chuveiros elétricos para aquecer a água do banho, em ferros elétricos para passar roupas, em lâmpadas incandescentes (pouco usadas hoje em dia) para iluminação e até mesmo em aparelhos modernos como os televisores, computadores. Essa ampla utilidade é devido a sua função principal de transformar a energia elétrica em energia térmica, isto é, energia elétrica é dissipada em energia térmica. Este fenômeno de dissipação de energia é denominado de Efeito Joule (HALLIDAY, 2009).

Em sua fabricação, os resistores são produzidos de tal forma que suportam uma temperatura limite para o seu funcionamento adequado. Assim sendo, os resistores podem se apresentar de duas formas no que diz respeito aos valores de suas resistências elétricas quando submetidos a variações de temperaturas. Um comportamento bem definido é do tipo linear, no qual o valor constante da resistência obedece a Lei de Ohm. Esta Lei relaciona os valores do potencial elétrico (em unidade de volt - V), da corrente elétrica (em unidades de ampère - A) e da resistência (em unidades de ohms - Ω). Quando o resistor obedece a este comportamento diz-se que o resistor é ôhmico. Quando não obedece ao comportamento ôhmico, diz-se que o resistor apresenta comportamento não ôhmico ou não linear, cuja resistência não pode ser calculada através da Lei de Ohm (HALLIDAY, 2009).

Os resistores mais simples utilizados na eletrônica são construídos de forma a obedecer ao comportamento ôhmico. Isto é, o seu valor da resistência permanece constante mesmo submetidos a variações de temperaturas quando distribuídos em seus componentes eletrônicos como placas eletrônicas em computadores, telefones, dentre outros. Porém, quando a temperatura é elevada o suficiente, esta pode ocasionar uma ruptura no funcionamento linear do resistor (HALLIDAY, 2009). Isto é, a resistência do resistor pode apresentar valores variáveis com o tempo, devido a altas temperaturas, para a sua resistência. Este fato é o comportamento não ôhmico de um resistor. A variação de temperatura acontece porque a corrente que passa através do resistor o aquece tanto que “danifica” o seu funcionamento.

Diante das considerações aqui anunciadas, nós idealizamos um aparato experimental para submetermos resistores ao ambiente de temperatura variável ao limite de testar o comportamento ôhmico e não-ôhmico, bem como o limiar de mudança do comportamento com base na temperatura para cada resistor utilizado. Visando uma homogeneização da temperatura ao redor do resistor, nós o inserimos dentro de um recipiente isolado termicamente contendo uma certa quantidade de água destilada. Assim, todo calor dissipado pelo resistor será transferido integralmente à água de tal forma a manter o sistema (água + ar + resistor) aquecido de forma uniforme. Assim sendo, a temperatura medida, na qual o resistor está submetido, é exatamente a medida da temperatura da água. Portanto, o presente estudo objetiva analisar os efeitos da temperatura sobre o comportamento ôhmico e não-ôhmico dos resistores em estudo quando imerso em água.

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resistor

O resistor é um dispositivo eletrônico (objeto físico) bastante utilizado na eletrônica e na tecnologia moderna. Sua principal função é limitar o fluxo de cargas, como o próprio nome sugere e assim, como afirma Halliday (2009, p. 147), introduzindo uma certa resistência à passagem de corrente elétrica através dele quando inserido em um circuito. Quando resistores são inseridos em um circuito, na verdade, estamos direcionando um limiar de corrente elétrica que passará por cada resistor. Esse fluxo de corrente que passará por cada resistor depende do valor da resistência de cada resistor. Porém, claro, a corrente total está sendo preservada. É a conservação das cargas elétricas.

Assim sendo, a energia que é impedida de passar pelo resistor é transformada em energia térmica por meio do efeito joule, e como consequência direta disso, o resistor é aquecido e libera para o ambiente (dissipa) este aquecimento em forma de energia térmica. Devido a esta funcionalidade simples, mas de extrema importância, em que se permite limitar a passagem da corrente elétrica, os resistores são componentes fundamentais em qualquer circuito elétrico.

2.1 Resistência Elétrica

A resistência elétrica R trata de uma forma de impedimento à corrente elétrica que um corpo oferece dada uma diferença de potencial V , e depende da característica do material, conforme afirma Halliday (2009, p. 147). Esta resistência está presente em todos os materiais e objetos que existem. Em termos de unidade de medida, no Sistema Internacional de unidades (SI), a resistência elétrica R é dada em ohm (Ω), que resulta da razão entre a voltagem, que o objeto é submetido, e a corrente elétrica I que circula através deste objeto.

Quando consideramos o objeto como sendo o resistor que é submetido a uma diferença de potencial elétrico V , uma corrente elétrica I circula através do resistor. Matematicamente podemos expressar essa relação da seguinte forma:

$$R = V/I \quad (\text{Equação 1})$$

onde R é a medida da resistência do resistor. Quando a resistência R apresenta valores constantes para uma variação de potencial elétrico ΔV , mesmo submetido a ações externas, dizemos que o resistor apresenta comportamento ôhmico ou comportamento linear. Quando a resistência apresenta variações em seus valores, para a mesma diferença de potencial ΔV , dizemos que o resistor apresenta comportamento não-ôhmico ou comportamento não-linear. A equação 01 que descreve as relações entre resistência R , potencial elétrico V e corrente elétrica I é conhecida como Lei de Ohm e que, segundo o livro do Halliday, pode ter a seguinte afirmação: “A Lei de Ohm é a afirmação de que a corrente que atravessa um dispositivo é sempre diretamente proporcional à diferença de potencial elétrico aplicada ao dispositivo”. (HALLIDAY, 2009, p.151).

Porém, nem todos os dispositivos e resistor obedecem a Lei de Ohm quando submetidos a ações externas. É o caso quando são submetidos a temperaturas elevadas. Neste sentido, Halliday coloca que: “Um dispositivo obedece a Lei de Ohm se a sua resistência não depende do valor absoluto nem da polaridade da diferença de potencial elétrico aplicado a este dispositivo”. (HALLIDAY, 2009, p.151).

Dessa forma, existe uma limitação para a Lei de Ohm. Como veremos em nosso trabalho, que é nosso objetivo, um exemplo dessa limitação é a ação da temperatura sobre um dispositivo. Para o nosso caso, o dispositivo utilizado foi o resistor que foi submetido a variações de temperaturas e assim estudarmos o comportamento da resistência do resistor em função dessas variações.

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

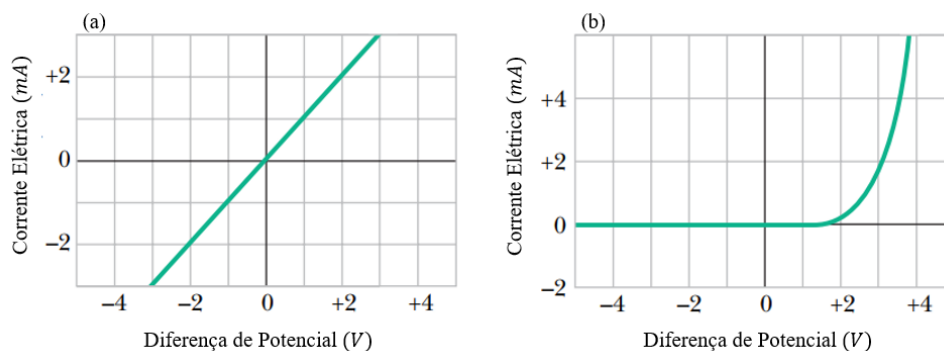
² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

Na figura 01(a) e (b) abaixo dispomos de um exemplo do comportamento linear e não-linear para dispositivos eletrônicos. A figura 01(a) temos o gráfico da corrente elétrica (em mA) *versus* potencial elétrico (em V) para um resistor de resistência de $1000\ \Omega$ quando uma diferença de potencial ΔV é aplicado em seus terminais. Claramente percebemos o comportamento linear. Para os dispositivos que obedecem a Lei de Ohm, no limite da equação 01, o comportamento gráfico da corrente elétrica *versus* voltagem ($V \times I$) é uma reta, cuja inclinação, numericamente, corresponde ao valor da resistência elétrica R .

Na figura 01(b) temos o gráfico da corrente elétrica (em mA) *versus* potencial elétrico (em V) para um diodo semiconductor de junção pn . Claramente observamos o comportamento não linear quando a mesma diferença de potencial é aplicada. Neste sentido, os diodos semicondutores desse tipo não obedecem a Lei de Ohm.

Figura 01 – Em (a) temos o gráfico do comportamento linear da corrente elétrica *versus* voltagem para um resistor de resistência 1000Ω e que obedece a Lei de Ohm. Em (b) temos o gráfico do comportamento não-linear da corrente elétrica *versus* voltagem para um diodo semiconductor de junção pn .



Fonte: Halliday, vol. 3, 8ª ed., 2009.

2.3 REGRESSÃO LINEAR

O processo de análise gráfica dos dados experimentais coletados foi utilizando o procedimento matemático da regressão linear simples. Este método, além de possibilitar o estabelecimento de previsões matemáticas com base nos dados obtidos no experimento, é uma ferramenta estatística de aplicação simples e confiável. A regressão linear é bastante utilizada para análise de ajuste gráfica e previsibilidade de aferições de parâmetros estatísticos. Também está disponível em diversos *softwares*, facilitando assim não somente o acesso, mas também a aplicação desta técnica estatística.

O método consiste em determinar uma equação linear e que esta possibilite a previsão de resultados com o menor grau de erro possível. A forma geral da equação matemática para tal está representada pode ser expressa da seguinte forma:

$$\hat{y} = a\hat{x} + b \quad (\text{Equação 2})$$

onde a é o coeficiente angular ou parâmetro de aferição da inclinação da reta e b é um termo independente, os quais são calculados conforme descrito nas equações 3 e 4:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - a \sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (\text{Equação 4})$$

onde x_i e y_i são medidas realizadas e N é o número de medidas realizadas. Em nossa análise, nos gráficos da voltagem *versus* corrente elétrica a variável $\hat{y}$ representará os valores das voltagens e estará no eixo na vertical do gráfico e a variável $\hat{x}$ representará os valores para a corrente elétrica e estará no eixo horizontal dos gráficos. O coeficiente angular a representará o valor para a resistência elétrica R de cada resistor. O software utilizado neste trabalho para a realização do ajuste linear dos gráficos foi o Microsoft Office Excel Professional Plus 2016.

2.4 ANÁLISE DE ERRO RELATIVO

Ao coletar dados numéricos de um experimento prático, por mais que haja todo um cuidado em elevar a precisão dos dados ao máximo, deve-se ter conhecimento que cada etapa está sujeita a erros, seja por erros sistemáticos instrumentais relacionados à precisão do equipamento, erros teóricos, como aproximações, ou ainda erros ambientais que, podem ocorrer, por exemplo, devido a variações imprevisíveis da voltagem da rede elétrica, temperatura, ou vibrações mecânicas do equipamento. (PRESTON & DIETZ, 1991).

Desse modo, torna-se necessário a determinação do erro para aferir a precisão do experimento comparando os valores do experimento com os valores de referência. Uma análise adequada do erro é uma forma de confiabilidade no método e na metodologia utilizada no trabalho. O cálculo do erro relativo percentual é dado pela razão entre o módulo da diferença entre o valor experimental e o valor de referência, sobre o valor de referência, e tudo isto multiplicado por 100% para se obter o valor em termos percentuais. A expressão matemática que define o erro é a seguinte:

$$\varepsilon\% = \frac{|R_{exp} - R_{referência}|}{R_{referência}} \times 100\% \quad (\text{Equação 5})$$

onde R_{exp} é o valor numérico para a resistência obtido a partir das análises gráficas dos dados utilizando o método da regressão linear e $R_{referência}$ é o valor da resistência teórica, isto é, o valor da resistência medido pelo mapa de cores presentes no resistor ou sua identificação de fábrica, e pelo valor medido com o auxílio do ohmímetro.

3. METODOLOGIA

3.1. O APARATO EXPERIMENTAL

O experimento foi montado e executado nas dependências da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Campus Angicos, no Laboratório de Eletricidade e Magnetismo. Para esta prática, foi montado um aparato experimental objetivando simular a prática de modo a minimizar ao máximo a influência do ambiente externo.

O aparato é mostrado por uma foto real na Figura 02(a) e sua ilustração na Figura 02(b). A descrição do aparato experimental está ilustrado na figura com identificação por letras e segue: em (A) temos a fonte de corrente contínua, em (B) temos cabos e conectores, em (C) temos o recipiente contendo água e onde o resistor está imerso, em (D) uma base de vedação ao recipiente (C), em (E) temos um amperímetro utilizado para medir a corrente que flui através do resistor, em (F) temos um termômetro digital utilizado para medir a temperatura da água contida no recipiente (C) e em (G) temos um voltímetro utilizado para medir a voltagem nos terminais do resistor.

Quanto ao resistor, nós utilizamos três resistores cujos valores nominais das resistências foram: $R_{1nom} = 1,30 \, \Omega$, $R_{2nom} = 3,80 \, \Omega$ e $R_{3nom} = 5,40 \, \Omega$. Os valores nominais foram medidos através do mapa de cores ou por sua identificação de fábrica. Uma medida pré-

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

experimental das resistências dos resistores foi realizada. Utilizamos um ohmímetro (multímetro na escala de ohms) para as aferições e encontramos os seguintes valores medidos: $R_{1real} = 1,28 \, \Omega$, $R_{2real} = 3,75 \, \Omega$ e $R_{3real} = 5,30 \, \Omega$. A estas medidas as chamamos de valores reais uma vez que são os reais valores medidos através do ohmímetro.

Quanto ao recipiente nós utilizamos um copo isopor térmico de 50 ml (0,05 L) tipo usado para café e chá, conforme ilustrado na Figura 02(a), item (C) na descrição. Adicionamos 40 ml (0,04 L) de água destilada no recipiente (copinho de café), inserimos também o resistor (o qual será medido sua resistência) e o termômetro digital para medir as variações das temperaturas da água e, conseqüentemente, medir as temperaturas que o resistor será submetido. Fizemos um ajuste em soldar os jumpers dos resistores para inseri-los ao recipiente. A ideia é prolongar os jumpers e deixar disponíveis fora do recipiente para poder conectar os cabos da fonte e dos multímetros.

3.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a montagem do aparato experimental, conforme ilustrado na foto real da figura 02(a), o procedimento foi realizado da seguinte forma: a fonte (A) foi ligada em 0,5 volt gera a corrente que passa através do resistor (inserido no recipiente (C)). Deixamos a fonte ligada nessa voltagem durante um tempo de 10 minutos. Esse tempo é necessário para equilibrar e uniformizar a temperatura da água no recipiente. A corrente através do resistor dissipa energia na forma de calor (energia térmica). Este calor dissipado aquece a água, na qual sua temperatura é medida pelo termômetro (F). A corrente através do resistor é medida pelo amperímetro (E) e a fonte nos terminais do resistor é medida pelo voltímetro (G). Após passados 10 minutos a fonte é ajustada para 1,0 volt (variação de 0,5 volt) e assim repete o procedimento de medidas.

Desse modo, foram feitas aferições sobre a corrente elétrica, a temperatura da água, da tensão nos terminais do resistor com objetivo em analisar o comportamento da resistência quando submetida a variações de correntes e temperaturas. Com os dados obtidos foram feitas análises destes e, em seguida relacioná-los em um gráfico para aferir e interpretar o comportamento dos resistores ôhmicos e não ôhmicos. Após todas as medidas realizadas os dados foram postos em gráficos da voltagem *versus* a corrente, conforme ilustrados nas figuras 03, 04 e 05.

Agora, sigamos com as explicações sobre a função de cada item descrito na figura 02(a).

Fonte de Tensão Contínua: a fonte (A), conforme ilustrado na figura 02(a), foi utilizada para gerar a energia e a corrente que foi enviado ao resistor. O valor inicial da tensão foi de 0,5 volt. Deixávamos durante 10 minutos e em seguida a tensão era ajustada para 1,0 volt. E assim sucessivamente com incremento de 0,5 volt. O limite de ajustes da tensão era até que a água atingisse 100,0°C celsius. A água ao atingir essa temperatura, não faz mais sentido continuar com as medidas uma vez que a água entra em ebulição nessa temperatura.

Os multímetros: Os dois multímetros utilizados no estão mostrados na figura 02(a) em (E) e (G). Um foi usado para medir a tensão (item (G)) nos terminais do resistor e o outro para medir a corrente (item (E)) através do resistor. A cada ajuste na tensão gerada pela fonte (A) foi possível registrar uma medida da corrente e uma medida da tensão. O fato de utilizarmos o multímetro (G) para medir a tensão é devido ao fato de a medida ser mais precisa que o valor da tensão gerado pela fonte (A). A cada 10 minutos era realizada uma medida da corrente e uma medida da tensão.

O termômetro: um termômetro digital foi utilizado para medir a temperatura da água e, conseqüentemente, a temperatura na qual o resistor está inserido. A cada 10 minutos foi realizado uma medida da temperatura da água.

O recipiente: o recipiente é um isopor térmico tipo copo de café. Foi utilizado 40 ml (0,4 L)

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

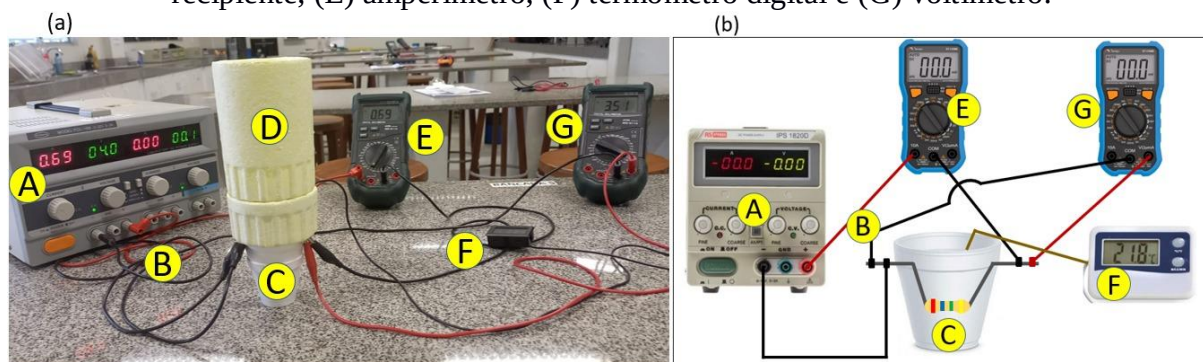
² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

de água dentro do isopor e, no qual foram também inseridos o resistor e o termômetro, sendo que ambos são imersos completamente.

Cronômetro: o cronômetro foi utilizado para medir o tempo necessário para que a água atingisse o equilíbrio. Esse tempo foi de 10 minutos e foi escolhido apenas com base na experiência que temos. Não sendo necessário nenhum cálculo previamente ou análise com base em algum conceito teórico ou experimental.

Figura 02 – Aparato experimental montado, o qual é composto de: (A) fonte de voltagem, (B) cabos, (C) recipiente contendo água onde o resistor está imerso, (D), vedação do recipiente, (E) amperímetro, (F) termômetro digital e (G) voltímetro.



Fonte: Autoria própria.

4. ANÁLISE DOS DADOS

A fim de mostrarmos o nosso método e a metodologia adotada e utilizada neste trabalho foi fazer uma análise gráfica com os dados coletados. Após a coleta dos dados foram feitas tabelas, relacionando os valores coletados durante a experiência, e construções gráficas para observarmos o comportamento das resistências dos resistores, quando submetidos a variações de temperaturas, e assim aferir sobre o procedimento realizado e, em seguida, avaliar os erros, e concluiu-se que os valores de erros encontrados foram todos aceitáveis. Os dados coletados estão dispostos nas tabelas 1, 2 e 3, e mostrados graficamente nas figuras 03, 04 e 05.

4.1 – Análise do Resistor de Resistência Nominal $R = 1,30\Omega$

Durante a realização do experimento, os valores de corrente e temperatura aferidos durante cada intervalo de tempo para o resistor de $1,30\Omega$ foram coletados e organizados conforme descrito na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Dados referentes a tensão, corrente elétrica e temperatura coletados durante o início de cada intervalo de tempo para o resistor $R=1,30\Omega$

RESISTOR $R = 1,30\Omega$		
Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura (K)
0,5	0,42	302,5
1,0	0,82	304,7
1,5	1,23	309,6
2,0	1,62	318,5
2,5	2,02	332,1
3,0	2,55	356,4
3,5	3,25	373

Fonte: Autoria própria.

No gráfico da Figura 03, no eixo horizontal estão dispostas as medidas das correntes elétricas

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

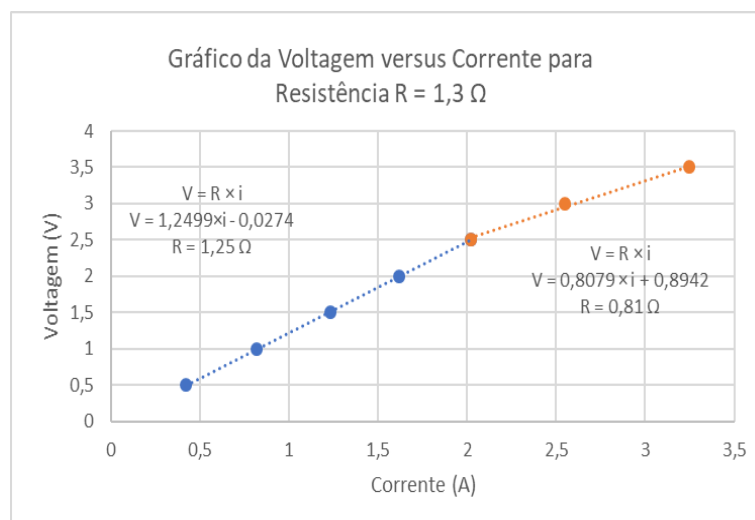
(em unidade de ampère – A) e no eixo vertical as medidas para as voltagens (em unidade de volt – V). Claramente observamos dois regimes comportamentais para as retas. Uma no intervalo (reta de cor azul) de voltagem *versus* corrente elétrica 0,50 – 2,70 V *versus* 0,42 – 2,10 A, que vamos chamar de regime 1, e o outro regime no intervalo (reta de cor laranja) 2,71 – 3,50V *versus* 2,11 – 3,25 A, que vamos denominar de regime 2.

Nesta figura temos os dados coletados para o resistor de resistência com valor nominal de valor $R_{1nom} = 1,30 \Omega$, o qual foi medido através do mapa de cores e valor real medido de $R_{1real} = 1,28 \Omega$, o qual foi medido utilizando o ohmímetro. Após a construção gráfica foi realizado o ajuste linear na reta para se obter a melhor inclinação através do método da regressão linear e, de acordo com a equação 2, temos que a inclinação representa, numericamente, o valor da resistência experimental R_{1exp} do resistor. O valor numérico encontrado para a resistência elétrica foi $R_{1exp} = 1,25 \Omega$. Este valor encontrado foi analisando somente o intervalo compreendido ao regime 1. Para estes intervalos (cor azul da reta) percebemos que a reta tem um padrão linear, isto é, apresenta inclinação única.

Neste sentido, dizemos que a resistência obedece a Lei de Ohm. Então o resistor é chamado de resistor ôhmico. Em consideração ao erro temos que fazer duas análises: uma do erro relativo $\varepsilon_{1nom}\%$ do valor experimental R_{1exp} calculado com valor nominal R_{1nom} e do erro relativo $\varepsilon_{1real}\%$ do valor experimental com o valor real R_{1real} da resistência. O erro foi calculado conforme a Equação 05 e os valores encontrados foram: $\varepsilon_{1nom} = 3,80\%$ e $\varepsilon_{1real} = 2,34\%$.

Ademais, através de uma análise visual do gráfico da Figura 03 é possível perceber a ocorrência de um comportamento não ôhmico em um dado momento do experimento, isto é, uma alteração na inclinação da reta acontece no intervalo do regime 2. Após a realização do ajuste linear para este regime, o valor numérico encontrado para a resistência elétrica foi $R_{2exp} = 0,81 \Omega$. Este valor de resistência elétrica descaracteriza completamente o comportamento ôhmico do resistor, no qual foi causado pelo efeito do aumento da temperatura sobre a resistência. Observou-se também que tal comportamento ocorre quando a água atinge a temperatura em torno de $T_c = 70,0^\circ C$ ou $T_K = 343 K$. Os erros relativos calculados para o regime 2 foram: $\varepsilon_{2nom} = 37,71\%$ e $\varepsilon_{2real} = 36,72\%$.

Figura 03 – Gráfico de voltagem *versus* corrente elétrica para o resistor com valor nominal $R_{1nom}=1,30 \Omega$.



Fonte: Autoria própria

4.2 – Análise do Resistor de Resistência Nominal $R = 3,80\Omega$

Repetindo o processo realizado no primeiro resistor, os valores de corrente e temperatura aferidos durante cada intervalo de tempo para o resistor de $3,80 \Omega$ foram coletados e

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

organizados conforme descrito na tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Dados referentes a tensão, corrente elétrica e temperatura coletados durante o início de cada intervalo de tempo para o resistor $R = 3,80 \, \Omega$

RESISTOR $R = 3,80 \, \Omega$		
Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura (K)
0,5	0,13	302,3
1,0	0,26	304
1,5	0,39	307,7
2,0	0,52	313,6
2,5	0,66	322,4
3,0	0,8	336
3,5	0,93	351
4,0	1,151	373,6
4,5	1,45	373

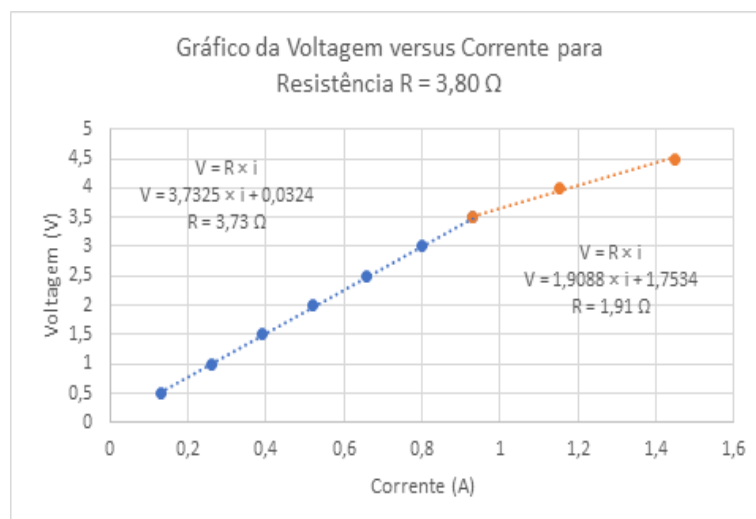
Fonte: Autoria própria.

No gráfico da Figura 04 observamos os dois regimes comportamentais para as retas. Uma no intervalo (reta de cor azul) de tensão *versus* corrente elétrica 0,50 – 3,50 V *versus* 0,13 – 0,93 A, que vamos chamar de regime 1, e o outro regime no intervalo (reta de cor laranja) 3,51 – 4,50V *versus* 0,94 – 1,45 A, que vamos denominar de regime 2.

Nessa figura, nós utilizamos um resistor de resistência com valor nominal de $R_{1nom} = 3,80 \, \Omega$ e valor real de $R_{1real} = 3,75 \, \Omega$. Após a construção e ajuste linear o valor numérico encontrado para a resistência elétrica foi $R_{1exp} = 3,73 \, \Omega$. Este valor encontrado foi analisando somente o intervalo compreendido ao regime 1, no qual obedece a Lei de Ohm. Neste sentido, o comportamento é linear para a resistência e o resistor é chamado de resistor ôhmico. Os erros analisados deram os seguintes resultados: $\varepsilon_{1nom} = 1,90\%$ e $\varepsilon_{1real} = 1,33\%$.

Para o intervalo que compreende o regime 2 o valor encontrado da resistência foi $R_{1exp} = 1,91 \, \Omega$. Este valor caracteriza um comportamento não ôhmico para o resistor. Esta observação é fácil graficamente devido à mudança na inclinação da reta. Este comportamento não linear é causado pelo efeito da temperatura sobre a resistência. A temperatura que ocasiona esta alteração acontece em torno de $T_C = 78,0^\circ C$ ou $T_K = 351 \, K$. Os erros relativos calculados para o regime 2 foram: $\varepsilon_{2nom} = 49,74\%$ e $\varepsilon_{2real} = 49,10\%$.

Figura 04 – Tensão (em volt) *versus* a corrente elétrica (em ampère) para um resistor com valor nominal de sua resistência $R_{1nom}=3,80 \, \Omega$.



¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

Fonte: Autoria própria

4.2 – Análise do Resistor de Resistência Nominal $R = 5,40\Omega$

Repetindo novamente o procedimento para os dois primeiros resistores, os valores de corrente e temperatura aferidos durante cada intervalo de tempo para o resistor de $5,40\Omega$ foram coletados e organizados conforme descrito na tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Dados referentes a tensão, corrente elétrica e temperatura coletados durante o início de cada intervalo de tempo para o resistor $R = 5,40\Omega$

RESISTOR $R = 5,40\Omega$		
Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura (K)
0,5	0,1	301,8
1,0	0,2	302,2
1,5	0,3	303,3
2,0	0,4	305,1
2,5	0,5	308
3,0	0,59	311,7
3,5	0,68	316,6
4,0	0,78	322,9
4,5	0,88	331,2
5,0	0,97	341
5,5	1,13	355,2
6,0	1,39	373

Fonte: Autoria própria.

No gráfico da Figura 05 temos que os regimes considerados são: regime 1 no intervalo de voltagem *versus* corrente elétrica $0,50 - 5,00\text{ V}$ *versus* $0,10 - 0,98\text{ A}$ e regime 2 no intervalo $5,10 - 6,00\text{ V}$ *versus* $0,99 - 1,39\text{ A}$.

Nesta análise o valor nominal do resistor foi $R_{1nom} = 5,40\Omega$ e valor real de $R_{1real} = 5,30\Omega$. Através da regressão linear o valor encontrado foi $R_{1exp} = 5,21\Omega$, ao qual compreende ao regime 1. Percebemos que este valor se aproxima do valor nominal e real. Neste sentido, dizemos que o resistor apresenta comportamento linear e obedece a Lei de Ohm. Os erros analisados deram os seguintes resultados: $\varepsilon_{1nom} = 3,60\%$ e $\varepsilon_{1real} = 1,70\%$.

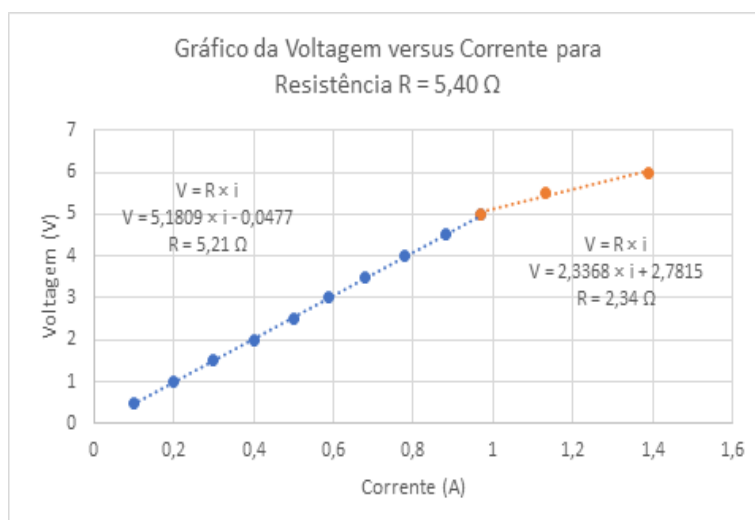
Para o intervalo que compreende o regime 2 o valor encontrado da resistência foi $R_{1exp} = 2,34\Omega$. Este valor caracteriza um comportamento não ôhmico para o resistor e este comportamento não linear é causado pelo efeito da temperatura sobre a resistência. A temperatura que ocasiona esta alteração acontece em torno de $T_C = 68,0^\circ\text{C}$ ou $T_K = 341\text{ K}$. Os erros relativos calculados para o regime 2 foram: $\varepsilon_{2nom} = 56,67\%$ e $\varepsilon_{2real} = 55,85\%$.

Figura 05 – Voltagem (em volt) *versus* a corrente elétrica (em ampère) para um resistor com valor nominal de sua resistência $R_{1nom} = 5,40\Omega$.

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.



Fonte: Autoria própria

Após verificar o comportamento dos três diferentes resistores sob as mesmas condições experimentais e considerando também que todos os experimentos foram finalizados em um mesmo valor de referência (que é a temperatura de ebulição da água), pode-se perceber que:

Com relação à **diferença de potencial** e a **temperatura**, em ambas as grandezas os resistores $R = 1,30 \, \Omega$ e $R = 3,80 \, \Omega$, apresentaram uma mudança de comportamento passando do ôhmico para o não ôhmico em intervalos relativamente próximos um do outro (2,5 e 3,5 volts e 343K e 351K), em comparação com o $R = 5,40 \, \Omega$ (5,1 volts e 341 K) . Isto pode ser explicado pelo fato de que no resistor de $5,40 \, \Omega$, o efeito joule ocorre menos intensa, e isto faz com que a corrente elétrica atinja um valor menor e, conseqüentemente, o valor da temperatura necessária para a mudança de comportamento também seja menor, mesmo sujeito a um intervalo de tempo maior que os resistores de $1,30 \, \Omega$ e $3,80 \, \Omega$ para atingir o ponto de ebulição da água.

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado tinha como proposta analisar o comportamento ôhmico e não-ôhmico de resistores quando submetido a variações de temperaturas, através da idealização de um aparato experimental, em que diferentes resistores foram submetidos a um ambiente de temperatura variável ao limite de testar tais comportamentos (ôhmico e não-ôhmico). Também foi analisado o limiar da temperatura, isto é, a temperatura no momento em que ocorre a mudança de comportamento ôhmico para o não-ôhmico, com base nos dados coletados para a voltagem, corrente e temperatura de cada resistor.

Diante disto, e considerando também os valores dos erros experimentais dentro do aceitável, através dos resultados obtidos experimentalmente, analisando as situações envolvendo os resistores R_1 e R_2 é possível afirmar que, quanto maior for o valor da resistência elétrica do resistor, o limiar da temperatura para que o comportamento ôhmico deixe de existir e o comportamento não-ôhmico passe a predominar no resistor tende a ser maior.

Todavia, considerando a análise do resistor R_3 , pode-se concluir que a partir de um certo valor de resistência elétrica, o limiar da temperatura para a mudança de comportamento do ôhmico para o não-ôhmico pode apresentar decréscimo a partir de um determinado ponto. Porém, ocorreu para um valor maior da voltagem. Enquanto para R_1 e R_2 as voltagens foram de 2,5 volt e 3,5 volts, respectivamente, a voltagem para ocorrer a mudança de comportamento para o resistor R_3 foi de 5,0 volt. Neste sentido, percebemos uma variação pequena quando comparamos os resistores R_1 e R_2 mas que uma variação maior quando analisamos o resistor R_3 . Isto justifica a corrente através e, conseqüentemente, o efeito joule de forma menos intensa. Ocasionalmente uma temperatura menor na mudança do comportamento ôhmico para não-ôhmico.

Portanto, os resultados obtidos permitem uma análise interessante sobre como a temperatura pode afetar no comportamento da resistência dos resistores, e isto pode contribuir para futuros

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.

estudos ainda mais profundos sobre o tema, envolvendo não somente a influência da temperatura, mas também analisando como as trocas de calor influenciam no processo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSENTINO, Mauro Rogerio; RIOS, Lucas. Experimentos de Calorimetria em Cursos Universitários. Revista Brasileira de Ensino de Física, Santo André, SP, vol. 42, e20190159 (2020). Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbef/a/tRgwmcyxsbXWkTzrhzFkFhf/?lang=pt>>. Acesso em: 23 de fev. 2023;

HALLYDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. Vol. 3, 8ª ed., Editora LTC, Rio de Janeiro, 2009.

MATTEDE, Henrique. **Código de cores de resistores.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/codigo-de-cores-de-resistores/>>. Acesso em: 23 de fev. 2023;

MICROSOFT Office Excel Professional Plus 2016. Version 16.0.4266.1001. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/download/details.aspx?id=55017>> Acesso em 20 de out. 2022;

PRESTON, D. W.; DIETZ, E. R.. **The Art of Experimental Physics.** Disponível em: <http://wwwp.fc.unesp.br/~jhdsilva/Tipos_de_Erros_Experimentais.pdf> Acesso em: 15 de abr. 2023;

¹ Marcos Vinícius da Silva Câmara. E-mail: marcos.camara74426@alunos.ufersa.edu.br.

² Francisco Edcarlos Alves Leite. E-mail: edcarlos@ufersa.edu.br.

³ Alex Garcez Gomes Castro. E-mail: alex.garcez@ufersa.edu.br.