

ESTUDO EXPERIMENTAL DAS RELAÇÕES ENTRE RESISTÊNCIA, TENSÃO, CORRENTE E POTÊNCIA ELÉTRICA

EXPERIMENTAL STUDY OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN RESISTANCE, VOLTAGE, CURRENT AND ELECTRICAL POWER

Flávio Gil Alves Paiva¹, Ricardo Roberto Plaza Teixeira²

¹ *Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, São Paulo, Brasil,
E-mails: paiva.a@aluno.ifsp.edu.br; * rteixeira@ifsp.edu.br.*

O propósito deste trabalho é examinar as relações entre os conceitos de resistência (R), tensão (V), corrente (I) e potência elétrica (P) por meio de equipamentos de física básica. Os experimentos que foram realizados produziram resultados qualitativos e quantitativos. Os materiais foram usados com o intuito de envolver conceitos fundamentais de eletricidade e as atividades práticas foram elaboradas para que os resultados obtidos pudessem tornar mais compreensíveis estes conceitos. Em particular, a dependência da resistência elétrica com o comprimento e com a área da seção reta de um condutor é analisada estudada experimentalmente, tanto de modo qualitativo, como de modo quantitativo. Experimentos como estes podem incentivar o interesse dos alunos por assuntos de Física, estimulam o conhecimento pela ciência e colaboram para a compreensão de fenômenos frequentemente considerados contraintuitivos.

Palavras-chave: Lei de Ohm; Resistividade; Efeito Joule; Ensino de Física.

The purpose of this work is to examine the relationships between the concepts of resistance (R), voltage (V), current (I) and electrical power (P) using basic physics equipment. The experiments that were carried out produced qualitative and quantitative results. The materials were used with the aim of involving fundamental concepts of electricity and the practical activities were designed so that the results obtained could make these concepts more understandable. In particular, the dependence of electrical resistance on the length and cross-sectional area of a conductor is analyzed and studied experimentally, both qualitatively and quantitatively. Experiments like these can encourage students' interest in Physics subjects, stimulate knowledge through science and contribute to the understanding of phenomena often considered counterintuitive.

Keywords: Ohm's Law; Resistivity; Joule Effect; Physics Teaching.

INTRODUÇÃO

O ensino de física, tem um papel fundamental na formação de indivíduos críticos e aptos a compreenderem o mundo ao seu redor (SIQUEIRA, 2023). Portanto, a busca por métodos pedagógicos que colaborem com a aprendizagem é de suma importância e a realização de atividades didáticas de caráter experimental são fundamentais neste sentido.

A Física no ensino médio deve ajudar o aluno a compreender os fenômenos naturais e tecnológicos presentes no seu cotidiano, a partir de princípios, leis e modelos por construídos com este objetivo. Os fenômenos do cotidiano podem ser bons pontos de partida para o estudo da física, mas é necessário ir além das explicações baseadas no senso comum que com frequência estão limitadas a situações específicas: a formação geral que a escola deve fornecer aos alunos objetiva ampliar a compreensão que eles têm do mundo

em que vivem, algo que não é simples, porque o conhecimento científico tem características diferentes do conhecimento de senso comum e com frequência é preciso romper com ele para buscas por uma generalização dos conhecimentos adquiridos para uma infinidade de outras situações que as pessoas frequentemente desconhecem (BRASIL, 2006).

O modo como os conteúdos e conceitos são trabalhados interfere no interesse dos alunos em aprender: o trabalho com um determinado conceito sem trazê-lo para a realidade do aluno com frequência não produz uma aprendizagem satisfatória (DUGATO; PINHEIRO; PAULETTI, 2022).

Há diversos trabalhos na área de ensino de física que apontam para a importância das aulas experimentais, mas mesmo em instituições de ensino que não possuem laboratórios específicos de física para desenvolvimentos de aulas práticas, há com frequência opções para realizar experimentos em sala de aula usando materiais de baixo custo (ADMIRAL, 2020).

Em eletricidade, ao estudar o que ocorre quando se coloca um resistor em um certo circuito, quatro grandezas físicas com propriedades extensivas adquirem importância e devem ser estudadas para compreender o fenômeno por completo: a resistência elétrica R (medida em ohms, no Sistema Internacional de Unidades), tensão elétrica V (medida em volts), a corrente elétrica I (medida em ampères) e a potência elétrica dissipada P (medida em watts).

Este trabalho tem como objetivo refletir sobre as possibilidades de investigar experimentalmente e testar as leis da física relacionadas a grandezas fundamentais para o estudo da eletricidade. Após a introdução é realizada uma fundamentação teórica acerca dos conceitos físicos envolvidos neste estudo, da sua evolução histórica e das possibilidades de uso desses conhecimentos em situações de ensino. Na sequência é analisada a metodologia utilizada e são discutidos os resultados dos experimentos qualitativos e quantitativos propostos para o estudo de grandezas fundamentais da eletrodinâmica R , V , I e P . Ao término são feitas as considerações finais com reflexões acerca do trabalho como um todo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No estudo da eletricidade, a compreensão dos conceitos fundamentais de resistência, tensão, corrente e potência desempenha um papel crucial na análise de circuitos elétricos. A resistência elétrica representa a oposição que um material oferece à

passagem de corrente elétrica: essa propriedade é essencial, por exemplo, para determinar a quantidade de energia dissipada por um resistor em um circuito. Por outro lado, a tensão elétrica ou voltagem refere-se à diferença de potencial (ddp) elétrico entre dois pontos, desempenhando um papel vital na produção de corrente através dos condutores. A corrente elétrica representa o fluxo de elétrons ao longo de um condutor e é fundamental para entender como a energia elétrica é transportada e utilizada nos circuitos. Juntamente com esses três conceitos, a potência fornece uma medida da taxa ou velocidade na qual a energia é transferida ou convertida em um circuito, sendo essencial para avaliar o desempenho dos dispositivos elétricos. Em conjunto, essas quatro grandezas elétricas constituem a base para o entendimento e o projeto de sistemas elétricos, desde aplicações simples até complexas redes de distribuição de energia.

O físico e matemático alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) realizou trabalhos que foram fundamentais para o estabelecimento das bases da eletrodinâmica. Ohm, nasceu em Erlangen na Baviera, no sudoeste da Alemanha atual, em 16 de março de 1787 e faleceu em Munique, também na Baviera, em 6 de julho de 1854 (FRAZÃO, 2021). Em sua homenagem, a unidade do Sistema Internacional para a grandeza resistência elétrica leva o seu nome, o ohm, cujo símbolo é Ω , a letra grega ômega maiúscula (RIBEIRO, 2014).

Ohm se destacou pela sua contribuição para a definição do conceito de resistência elétrica. Ele desde jovem foi incentivado pelo pai a estudar matemática, se graduou na Universidade de Erlangen e, posteriormente, retornou à mesma universidade para se doutorar com a apresentação de um trabalho acadêmico sobre luzes e cores. Aos 30 anos, em 1817, Ohm entrou para o corpo docente do Colégio Jesuíta de Colônia, Alemanha, como professor de Matemática e Física. O laboratório dessa escola foi colocado à disposição de Ohm e foi lá que ele começou as suas investigações sobre as características dos circuitos elétricos, uma área que ainda era pouco explorada na época.

A leitura do livro “Théorie Analytique de la Chaleur” (“Teoria Analítica do Calor”), publicado em 1822 e escrito pelo francês Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830), levou Ohm a tentar aplicar os conceitos apresentados para o fluxo da carga elétrica em um condutor (BASSALO, 2019). Enquanto Fourier foi a sua principal influência teórica e matemática, no que diz respeito ao aspecto experimental as principais influências de Ohm foram Coulomb (1736-1806), Oersted (1777-1851), Seebeck (1770-1831) e Ampère (1775-1836), dentre outros (CONNELLY, 2022).

Entre 1825 e 1827, Ohm publicou trabalhos importantes que redundaram no desenvolvimento da famosa lei que hoje chamamos de “Lei de Ohm” (no contexto deste artigo, ela pode ser também denominada “Primeira Lei de Ohm”) e que é crucial para o estudo da eletricidade: em um circuito, a corrente elétrica I é diretamente proporcional à tensão elétrica V do circuito e inversamente proporcional à resistência elétrica R existente no circuito: $I=V/R$. Assim, Ohm procurou interrelacionar um fenômeno estático (a tensão) com um fenômeno dinâmico (a corrente), o que foi inovador, pelo fato de romper com o distanciamento entre a eletrostática e a eletrodinâmica (SANTOS, 2017). Deste modo, de acordo com a Lei de Ohm, a resistência elétrica R é dada pela razão entre a tensão elétrica V e a corrente elétrica I : $R=V/I$. De modo inverso, a condutância elétrica G – que é o inverso da resistência elétrica, ou seja, $G=1/R$ (SCHNIDER; HÖMÖSTREI, 2023) – é dada pela razão entre a corrente elétrica e a tensão elétrica: $G=I/V$. A unidade de condutância elétrica no Sistema Internacional de Unidades é o siemens (S) ou Ω^{-1} . Portanto, a Lei de Ohm pode ser escrita tanto como $V=R.I$, quanto como $I=G.V$.

Ohm também concluiu, pela fabricação de fios metálicos de diferentes comprimentos e diâmetros usados em seus experimentos sobre eletricidade, que a corrente elétrica em um condutor diminuía com o aumento do comprimento do fio e aumentava com o aumento da área de seção reta do fio, propriedades que conjuntamente estão relacionadas à resistência do condutor. A resistência dependeria também da temperatura, sendo que para a maioria dos resistores metálicos, a resistência aumenta com a temperatura (HECK *et al.*, 2015).

Essas descobertas se materializaram na denominada Segunda Lei de Ohm, segundo a qual é possível definir a resistência elétrica R de um fio elétrico em função das características geométricas deste fio (em função da sua forma: do seu comprimento L e da sua área de seção reta A), bem como do material que ele é feito, ou seja, de fatores microscópicos, descritos com base na grandeza física chamada resistividade ρ que mede a oposição que algum material oferece ao fluxo de cargas elétricas (HELERBROCK, 2018). Materiais de alta resistividade oferecem grande resistência à passagem de corrente elétrica (NASCIMENTO *et al.*, 2022). A unidade da resistividade ρ no S.I. é $\Omega.m$. Portanto, a resistência elétrica é uma propriedade de um objeto ou dispositivo específico, enquanto a resistividade elétrica é uma propriedade geral de um material (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2003).

De acordo com a segunda lei de Ohm, a resistência elétrica R de um fio é diretamente proporcional ao comprimento do fio L , é inversamente proporcional à sua área de seção transversal (seção reta) A e depende linearmente da resistividade ρ do material do qual é constituído. Portanto ela é representada pela seguinte equação: $R=\rho.L/A$. O fato de que a resistência de um condutor seja diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua área de seção transversal, é em certo sentido similar ao que ocorre com o fluxo de um líquido por um cano (SERWAY; JEWETT, 2014).

Da mesma forma que a condutância é o recíproco da resistência, a condutividade σ é o recíproco da resistividade ρ , ou seja, $\sigma=1/\rho$. Como a resistividade, a condutividade é uma característica geral de cada material, enquanto como a resistência, a condutância é uma característica de um dispositivo ou objeto específico. A unidade de condutância é siemens/metro (S/m).

Assim, apesar de a Lei de Ohm, na sua forma mais conhecida estabelecer uma relação linear entre a voltagem ou tensão aplicada V e a corrente resultante I , com a resistência elétrica R sendo a razão de proporcionalidade desta dependência linear (ou seja, $V=RI$), a Lei de Ohm pode ser definida também como a relação linear entre a densidade de corrente J (dada em A/m^2) e o campo elétrico E (dado em N/C) em um condutor, sendo a condutividade elétrica σ a razão de proporcionalidade desta dependência linear, ou seja, $J=\sigma.E$ (BAGNATO; RODRIGUES, 2006).

Particularmente, em 1827, Ohm reuniu os resultados de seus trabalhos sobre eletricidade no livro cujo título em alemão é “Die Galvanische Kette Mathematisch Bearbeitet” ou, em português, “A Corrente Galvânica Matematicamente Analisada”. Ohm percebeu que as suas leis não só concordavam com as experiências feitas até então, mas também incorporavam explicações para uma gama diversificada de fenômenos envolvendo circuitos elétricos: assim elas deveriam ser verdadeiras leis fundamentais da natureza. Portanto, as leis de Ohm ajudaram a reforçar a validação da ideia de que a matemática é um instrumento legítimo para a descrição dos fenômenos físicos (POURPRIX, 2007).

Do ponto de vista energético, uma carga ao se mover por um condutor com um certo valor de resistência elétrica R não-nula gasta energia, o que pode resultar, por exemplo, no aquecimento do circuito ou na produção de luz (no caso de uma lâmpada). A taxa com que a energia elétrica é convertida em outra forma de energia, como calor ou

luz, é denominada de potência elétrica P (HEWITT, 2002). Deste modo, em um resistor, a potência P dissipada na forma de energia térmica é igual ao produto entre a tensão elétrica V a qual este resistor está submetido e a corrente elétrica I que atravessa este resistor: $P=V.I$.

A corrente elétrica ao fluir, por um condutor, provoca o seu aquecimento: este fenômeno é denominado de “efeito Joule” (CAETANO; MOREIRA; OLIVEIRA, 2022). Isto ocorre porque quando portadores de carga são empurrados por uma força elétrica ao longo de um resistor, originando a passagem de uma corrente, ocorrem colisões que transmitem ao meio uma energia cinética “caótica”, ou seja, calor (PURCELL, 1973).

A potência P mede a taxa de transformação no resistor de energia elétrica em energia térmica em J/s . A unidade de potência no Sistema Internacional de Unidades é o watt (W) que pode também ser escrito como sendo volt-ampère: $1 W = 1 V.A$. Dimensionalmente, de fato a equação $P=V.I$ está correta, pois a dimensão de P é de energia dividida por tempo, a dimensão de V é energia dividida por carga e a dimensão de I é carga dividida por tempo: $(J/C).(C/s) = J/s$ (KELLER; GETTYS; SKOVE, 1999).

Enquanto a resistência R é dada pela razão entre a tensão V e a corrente I , a potência P é dada pela multiplicação entre a tensão V e a corrente I , ou seja, a potência é diretamente proporcional tanto à tensão, quanto à corrente (LIÉGEOIS; MULLET, 2002): esses quatro conceitos (R , V , I e P) têm cada um o seu nível de dificuldade para serem compreendidos no processo de aprendizagem e têm que ser trabalhados em sala de aula, tanto em termos abstratos, quanto em termos práticos, por meio de experimentos físicos ou meios computacionais, como é o caso das simulações do site “PhET Colorado” (PEREIRA, 2022).

Se conhecermos a corrente elétrica I passando em um resistor, pela combinação das equações $P=V.I$ e $V=R.I$ (Lei de Ohm), podemos eliminar a tensão V da equação para a potência elétrica, obtendo: $P=I^2.R$. Por outro lado, se conhecermos a tensão elétrica V a qual um resistor está submetido, pela combinação das equações $P=V.I$ e $I=V/R$ (Lei de Ohm, escrita de modo alternativo), podemos eliminar a corrente I da equação para a potência elétrica, obtendo: $P=V^2/R$ (GUSSOW, 2009).

Na equação $P=I^2.R$, P é diretamente proporcional a R , enquanto na equação $P=V^2/R$, P é inversamente proporcional a R : isto pode parecer contraditório, mas não é, porque a primeira equação é usada quando temos, de partida, os valores de R e de I bem definidos (mas não o valor de V), enquanto a segunda equação é usada quando temos, de partida, os valores de R e de V bem definidos (mas não o valor de I). Em um resistor, a

potência P depende de três grandezas, resistência R , tensão V e corrente I , e para obtermos o valor da potência P usamos a equação $P=V.I$ se tivermos em mãos os valores de V e I , usamos a equação $P=V^2/R$ se tivermos em mãos os valores de V e R e usamos a equação $P=I^2.R$ se tivermos em mãos os valores de I e R .

EXPERIMENTO QUALITATIVO: METODOLOGIA E RESULTADOS

O experimento que será examinado a seguir, foi pensado de modo que o comprimento e a área de secção transversal de um resistor pudessem ser variados para simular o que ocorre com a resistência elétrica quando se alteram esses dois parâmetros. A ideia básica é procurar compreender e testar na prática a denominada Segunda Lei de Ohm: $R=\rho.L/A$.

O material básico usado consistiu em duas barras de grafite originárias do miolo de lápis de carpinteiro. Para que ocorresse sempre o mesmo padrão de material, foi usada a mesma marca de lápis de carpinteiro (Faber Castell). Especificamente, a barra de grafite do miolo do lápis de carpinteiro usada tinha como dimensões 2,0 mm x 5,1 mm x 175 mm. Portanto, a área da seção reta era de 10,2 mm².

Para variar a área de secção transversal A , foram juntadas (em paralelo) as barras de grafite de lápis de carpinteiro por meio de fita isolante. Assim foram feitas duas configurações: com apenas uma barra de grafite e com duas barras de grafite unidas em paralelo de modo que a área de secção transversal dobrasse. Como a área de secção transversal para uma barra é de 10,2 mm², para a configuração com duas barras em paralelo, a área de seção transversal foi de 20,4 mm².

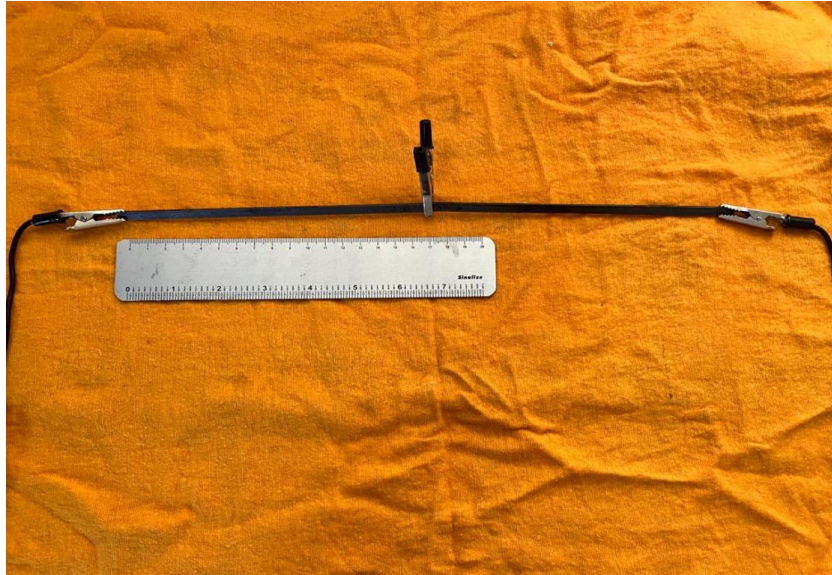
Para variar o comprimento L , foi utilizada a configuração das barras em série. Para este presente trabalho foram feitas duas configurações: 175 mm (com as duas barras de grafite em paralelo) e 350 mm (com as duas barras em série e desprezando a resistência ligação entre elas), como mostram as Figuras 1 e 2.

Foi feita a opção por identificar a variação de resistência de modo qualitativo pela variação do brilho (da potência) de uma lâmpada (Figura 3), pois à medida que se altera a resistência por meio da configuração das barras de grafite, a corrente elétrica se modifica e a potência dissipada pela lâmpada também varia.

Para alimentar o circuito da lâmpada, foi utilizada uma bateria de 12V (associação em série de uma bateria de 9 V e duas pilhas de 1,5 V). Além disso, foi usada uma lâmpada

de farol de automóvel de 12 V e 5 W. A intensidade da luz emitida pela lâmpada foi medida por um luxímetro (Figura 4).

Figura 1. Configuração com as duas barras de resistência de grafite em série, aumentando o comprimento.



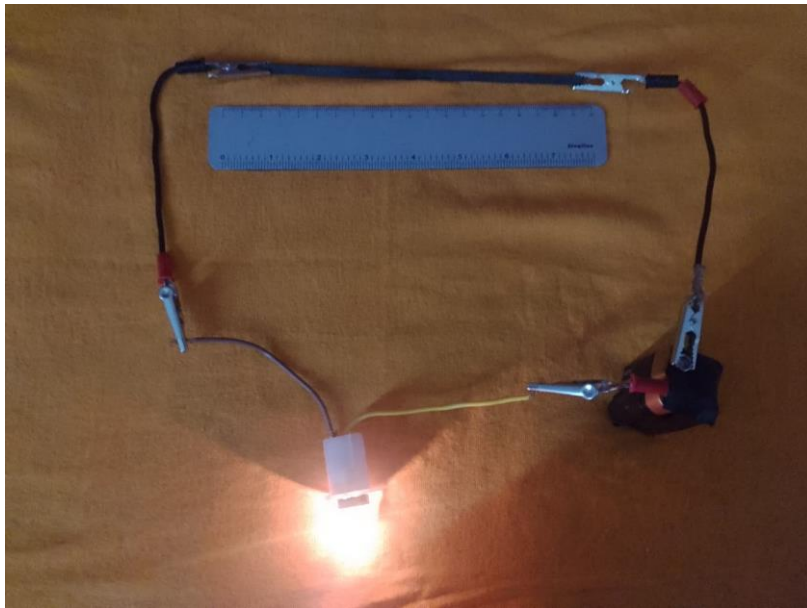
Fonte: Autores: (2023).

Figura 2. Configuração com as duas barras de resistência de grafite em paralelo, aumentando a área de secção transversal.



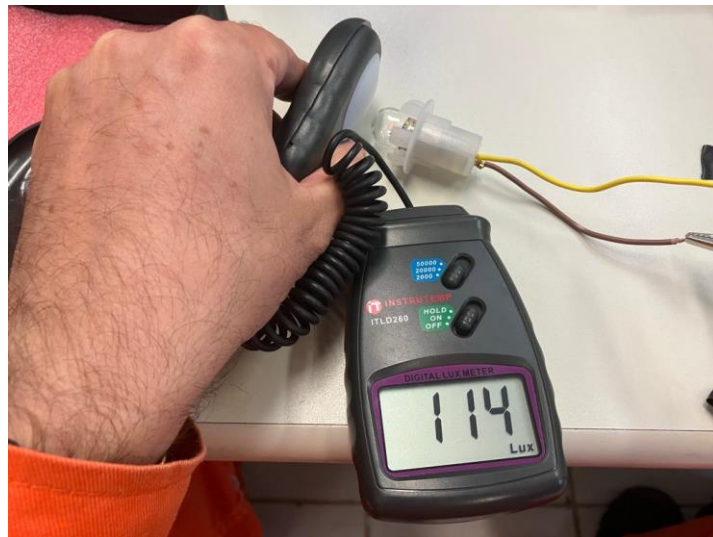
Fonte: Autores: (2023).

Figura 3. Configuração de um circuito usando apenas uma barra de grafite como resistência, com a lâmpada e a fonte de tensão.



Fonte: Autores (2023).

Figura 4. Luxímetro usado para medir a luminosidade.



Fonte: Autores (2023).

Na configuração em paralelo, com as duas barras juntas, lado a lado, aumentando a área de secção reta (portanto, com uma resistência elétrica resultante menor, de acordo com a segunda lei de Ohm), a lâmpada apresentou um brilho maior (potência maior) quando comparado com a configuração com apenas uma barra de grafite. Já na

configuração em série, com as duas barras ligadas uma no final da outra (portanto, com uma resistência elétrica resultante maior, de acordo com a segunda lei de Ohm), a lâmpada apresentou um brilho menor (potência menor) quando comparado com a configuração com apenas uma barra de grafite.

A Tabela 1 mostra os resultados encontrados de acordo com as configurações utilizadas no experimento. Sendo R_L a resistência da lâmpada e R a resistência da configuração das barras, temos que a resistência total R_T da configuração das barras em série com a lâmpada será dada por $R_T=R+R_L$ e, portanto, como a resistência da lâmpada R_L é um valor constante e fixo para todas as configurações, quanto maior for R , maior será R_T e vice-versa (quanto menor for R , menor será R_T). É importante também lembrar que em todas as configurações, a tensão V fornecida tinha um valor bem definido e constante igual a 12 V. Deste modo, em termos matemáticos, a explicação para as diferenças na luminosidade da lâmpada nas duas configurações será exposta a seguir.

Na configuração com as duas barras em paralelo, a resistência da configuração das barras R é menor (o mesmo ocorrendo com a resistência total R_T), o que significa que a corrente I pelo circuito será maior (pela equação da primeira Lei de Ohm, $I=V/R_T$) e que a potência P da lâmpada também será maior (pois $P=I^2.R_L$), ou seja, haverá uma maior luminosidade produzida pela lâmpada.

Já na configuração com as duas barras em série, a resistência da configuração das barras R é maior (o mesmo ocorrendo com a resistência total R_T), o que significa que a corrente I pelo circuito será menor (pela equação da primeira Lei de Ohm, $I=V/R_T$) e que a potência P da lâmpada também será menor (pois $P=I^2.R_L$), ou seja, haverá uma menor luminosidade produzida pela lâmpada.

Assim, neste caso, como a tensão fornecida sendo constante (fixa), quanto maior a resistência R , menor será a potência P , ou seja, a potência P é inversamente proporcional a R , um resultado que para alguns alunos pode parecer contraintuitivo (LEAL; POLASTRANI; VIEIRA JUNIOR, 2015).

De modo análogo, é o mesmo que ocorre com o chuveiro elétrico que temos em nossas casas (que funcionam a uma tensão elétrica constante e bem definida que é fornecida pela rede de eletricidade): quando queremos que seja produzido mais calor (energia térmica), ao mudarmos a posição do botão do chuveiro para a opção “INVERNO”, estaremos diminuindo a resistência elétrica do chuveiro (e não aumentando a resistência elétrica do chuveiro, como alguns alunos pensam), para que a corrente I aumente e a potência $P=V.I$ aumente também.

Tabela 1 – Luminosidade da lâmpada de acordo com a configuração utilizada.

Arranjo	Luminosidade	Resistência
Duas barras em paralelo	250 lux	Menor
Apenas uma barra de grafite	150 lux	Média
Duas barras em série	114 lux	Maior

Fonte: Autores (2023).

Em resumo, os resultados das medidas das resistências elétricas desses objetos, visualizados e estimados de modo qualitativo por meio do brilho da lâmpada, apontam para a seguinte conclusão: quanto menor for a resistência elétrica, maior será a corrente elétrica e, por consequência, maior será a potência da lâmpada, gerando um brilho maior nela.

Os alunos com frequência apresentam concepções alternativas, ou seja, com significados contextualmente errôneos e não compartilhados pela comunidade científica. Assim, é fundamental encontrar estratégias educacionais para facilitar a mudança conceitual que permita trocar os significados alternativos por significados científicos (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989): muitas vezes a experimentação pode ser usada com sucesso, como ocorre neste caso.

EXPERIMENTO QUANTITATIVO: METODOLOGIA E RESULTADOS

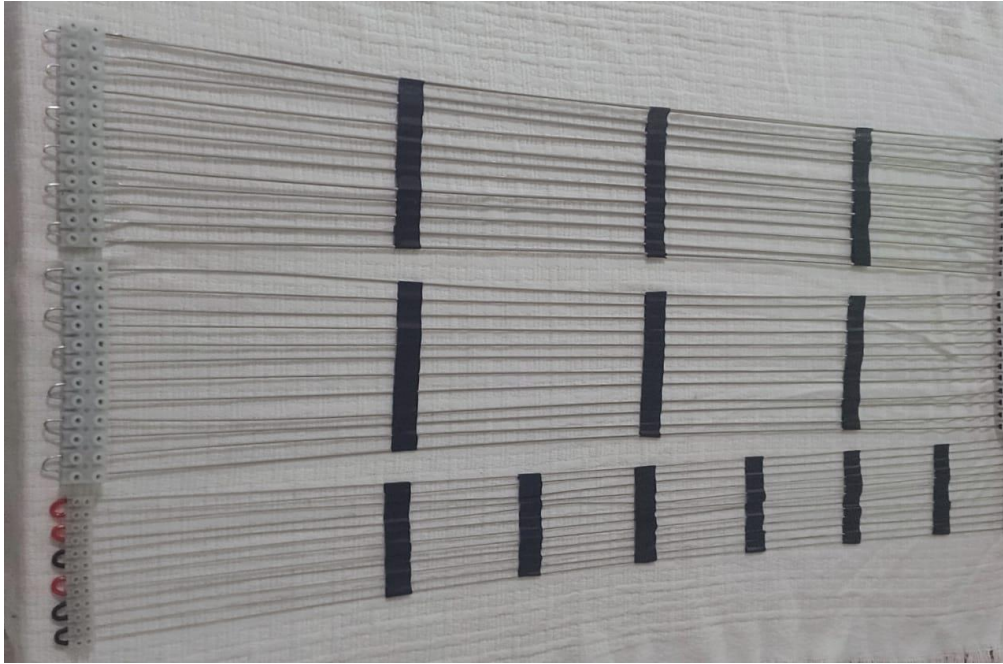
A seguir será estudado de modo quantitativo o que ocorre com o valor da resistência elétrica R quando variamos o comprimento L e a área de seção transversal A . O material básico usado consistiu em varetas de aço inoxidável austenítico 316L que é encontrado comercialmente com diâmetros iguais a 1,0 mm, 1,6 mm e 2,4 mm (Figura 5).

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam uma ampla aplicação nas áreas industriais da química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia e de biotecnologia, sobretudo devido à sua resistência à corrosão, uma propriedade considerada determinante em seu desempenho (TSCHIPTSCHIN; PINEDO, 2010).

Para variar a área de seção transversal A foram utilizadas varetas de diâmetros correspondentes a três áreas diferentes: $0,785 \text{ mm}^2$ para vareta de diâmetro 1 mm, $2,011 \text{ mm}^2$ para varetas de diâmetro 1,6 mm e $4,524 \text{ mm}^2$ para varetas de diâmetro 2,4 mm.

Para variar o comprimento L , foram utilizados bornes para ligar em série até 12 varetas, com cada vareta tendo comprimento de 0,87 m (870 mm). Foram obtidas diversas configurações com tamanhos múltiplos dessa medida, a resistência elétrica foi medida em cada trecho com um multímetro na função de ohmímetro (Figura 6).

Figura 5. Montagem dos dispositivos com varetas de diâmetro 1,0 mm, 1,6 mm e 2,4 mm que serão usadas para medir resistências.



Fonte: Autores (2023).

Figura 6. Aparelho Multímetro utilizado na função Ohmímetro para medir a resistência do material.



Fonte: Autores (2023).

Nas tabelas seguintes encontram-se o resultado do experimento, com a medida da resistência para diversos comprimentos e áreas de secção transversal, sendo que para cada caso foi calculada a resistividade elétrica do material. Para cada um dos três diâmetros possíveis (1,0 mm, 1,6 mm e 2,4 mm), foi determinada a resistência elétrica para n varetas do mesmo tipo ligadas em série, com n variando entre 1 e 12 (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2 – Resultado da medição da resistência elétrica de um condutor de aço inoxidável, para diferentes comprimentos, com o diâmetro fixo e igual a 1 mm.

Diâmetro (mm)	Área de secção transversal (mm ²)	Comprimento (mm)	Resistência medida (Ω)	Resistividade calculada ρ (Ω .mm)
1	0,785	870	0,8	0,000722
1	0,785	1740	1,8	0,000812
1	0,785	2610	2,5	0,000752
1	0,785	3480	3,4	0,000767
1	0,785	4350	4,4	0,000794
1	0,785	5220	5,3	0,000797
1	0,785	6090	6,1	0,000786
1	0,785	6960	7,0	0,000790
1	0,785	7870	7,7	0,000768
1	0,785	8700	8,7	0,000785
1	0,785	9570	9,4	0,000771
1	0,785	10440	10,5	0,000790

Fonte: Autores (2023).

A resistividade média usando condutores de diferentes comprimentos, mas com diâmetro fixo igual a 1,0 mm (dados da Tabela 2), é de 0,000778 Ω .mm.

Tabela 3 – Resultado da medição da resistência elétrica de um condutor de aço inoxidável, para diferentes comprimentos, com o diâmetro fixo e igual a 1,6 mm.

Diâmetro (mm)	Área de secção	Comprimento (mm)	Resistência medida (Ω)	Resistividade calculada ρ (Ω .mm)
---------------	----------------	------------------	---------------------------------	--

	transversal (mm ²)			
1,6	2,011	870	0,2	0,000462
1,6	2,011	1740	0,7	0,000809
1,6	2,011	2610	1	0,000770
1,6	2,011	3480	1,3	0,000751
1,6	2,011	4350	1,7	0,000786
1,6	2,011	5220	2	0,000770
1,6	2,011	6090	2,3	0,000759
1,6	2,011	6960	2,6	0,000751
1,6	2,011	7870	3	0,000767
1,6	2,011	8700	3,4	0,000786
1,6	2,011	9570	3,7	0,000778
1,6	2,011	10440	4	0,000770

Fonte: Autores (2023).

A resistividade média, usando condutores de diferentes comprimentos, mas com diâmetro fixo igual a 1,6 mm (dados da Tabela 3), é de 0,000747 Ω.mm.

Tabela 4 – Resultado da medição da resistência elétrica de um condutor de aço inoxidável, para diferentes comprimentos, com o diâmetro fixo e igual a 2,4 mm.

Diâmetro (mm)	Área de secção transversal (mm ²)	Comprimento (mm)	Resistência medida (Ω)	Resistividade calculada ρ (Ω.mm)
2,4	4,524	870	0,1	0,000520
2,4	4,524	1740	0,2	0,000520
2,4	4,524	2610	0,4	0,000693
2,4	4,524	3480	0,5	0,000650
2,4	4,524	4350	0,7	0,000728
2,4	4,524	5220	0,8	0,000693
2,4	4,524	6090	1,1	0,000817
2,4	4,524	6960	1,2	0,000780

2,4	4,524	7870	1,4	0,000805
2,4	4,524	8700	1,5	0,000780
2,4	4,524	9570	1,7	0,000804
2,4	4,524	10440	1,8	0,000780

Fonte: Autores (2023).

Portanto, a resistividade média, usando condutores de diferentes comprimentos, mas com diâmetro fixo igual a 2,4 mm (dados da Tabela 4), é de 0,000714 Ω .mm.

Em resumo, a média total dos três valores obtidos (0,000778 Ω .mm; 0,000747 Ω .mm; 0,000714 Ω .mm), para varetas com diferentes diâmetros, é 0,000746 Ω .mm, o que pode ser considerado o resultado obtido pelo experimento para o valor da resistividade do material constituinte das varetas.

Consultando a literatura de referência existente na internet (pelo site da “Elite Sales Inc.”¹), o valor tabelado para a resistividade do aço inoxidável austenítico 316L, a uma temperatura de 20°C, é de 74 microohm-cm, o que nas unidades que usamos neste artigo corresponde a 0,000740 Ω .mm que está situado próximo do valor obtido nos experimentos que realizamos (0,000736 Ω .mm), com um erro de aproximadamente 0,5%.

Pelas várias mensurações feitas e apresentadas nas três tabelas desta seção é possível notar que as diferentes configurações no que diz respeito ao diâmetro e ao comprimento corresponderam a diferentes valores da resistência elétrica, mas a aproximadamente um mesmo valor para a resistividade elétrica que é, como é possível concluir, uma propriedade que depende apenas do material e não da configuração geométrica em questão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, exploramos o potencial de alguns experimentos de física, mais especificamente na área da eletricidade, que podem ser usados como recursos valiosos para o estudo dos conceitos fundamentais de corrente, tensão, resistência e potência elétricas. A realização deste estudo evidenciou que estes experimentos têm o potencial de tornar a aprendizagem dos conceitos de física em questão mais acessível e envolvente

¹ Disponível em: <[2402.15](https://www.elitesalesinc.com/type-316-and-316l-stainless-steels/#:~:text=Physical%20Properties%20of%20type%20316,%2Dcentimeters%20(20%20degrees%20Celsius)>”. Acesso em: 28 out. 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

para os alunos. A realização dos experimentos investigados pode proporcionar aos estudantes uma compreensão mais profunda e duradoura sobre conceitos básicos da eletrodinâmica. A experiência direta de montar circuitos, medir grandezas elétricas e observar os resultados concretiza princípios teóricos, permitindo que os alunos internalizem esses conceitos de maneira mais eficaz e fomentando o espírito investigativo e a criatividade ao desafiar os alunos a encontrarem explicações para os fenômenos observados e para os valores das grandezas medidas.

As atividades experimentais investigadas neste trabalho foram de natureza tanto qualitativa, quanto quantitativa.

Por meio do experimento qualitativo investigado, foi observado que à medida que aumentávamos a área de secção da barra de grafite (configuração em paralela) a luz da lâmpada aumentava devido à diminuição da resistência e à medida que aumentávamos o comprimento da barra de grafite (configuração em série) a luz da lâmpada diminuía devido ao aumento da resistência do circuito, comportamento este que é decorrente das duas leis de Ohm ($V=R.I$ e $R=\rho.L/A$) e da definição de potência elétrica ($P=V.I$).

Por meio do experimento quantitativo investigado, foi observado que à medida que aumentamos a área de secção das varetas de aço inoxidável ocorre a diminuição da resistência elétrica mensurada pelo ohmímetro e à medida que aumentamos o comprimento das varetas de aço inoxidável ocorre o aumento da resistência elétrica mensurada pelo ohmímetro, o que evidencia quantitativamente a segunda lei de Ohm ($R=\rho.L/A$). Com os valores medidos da área, do comprimento e da resistência elétrica foi possível calcular a resistividade do material usado que apresentou um valor bem próximo ao valor tabelado pela literatura de referência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pelo fomento concedido a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADMIRAL, Tiago Destéffani. Ensino de Física por Investigação: Usando o Arduino como Ferramenta Educacional. **Sala de Aula em Foco**, v. 9, n. 1, p.116-131, 2020. Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/saladeaula/article/view/495>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- BAGNATO, Vanderlei S.; RODRIGUES, Vinicius. Análogo mecânico para condutividade elétrica dos metais: efeito da temperatura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 35–39, 2006. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/rbef/a/WCKGZFmc4Y78Lvz3HwHYT5t/?lang=pt&format=html#>>. Acesso em: 28 out. 2023.

BASSALO, José Maria. **Leis de Ohm**. Ceara da Ciência, Curiosidades de Física, Universidade Federal do Ceará (UFC), 2019. Disponível em: <<https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore255.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2023.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares nacionais**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Volume 2). Brasília: Ministério da Educação, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

CAETANO, T. C.; MOREIRA, C. C.; DE OLIVEIRA, I. D. Desenvolvimento de um experimento didático operável remotamente para o ensino de termometria: um método para a determinação do coeficiente de dilatação linear do cobre baseado em efeito Joule. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, e20220125, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/66zsy5b95fFMCJQTz3Z7Ykp/?format=html#>>. Acesso em: 28 out. 2023.

CONNELLY, Charlotte Elizabeth. **A History of Ohm's Law**: Investigating the flow of electrical ideas through the instruments of their production. 2022. 355 f. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Cambridge, Cambridge, U.K., 2022. Disponível em: <<https://api.repository.cam.ac.uk/server/api/core/bitstreams/ebc5e738-7107-4347-902e-4c97a93ca8fd/content>>. Acesso em: 28 out. 2023.

DUGATO, Danian Alexandre; PINHEIRO, Márcio do Carmo; PAULETTI, Diogo. A física mais próxima: estudo de sensores residenciais. **Ciências em Foco**, v. 15, e022008, 2022. Disponível em: <<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/cef/article/view/9596>>. Acesso em: 28 out. 2023.

FRAZÃO, Dilva. Georg Simon Ohm: Físico e matemático alemão. **Ebiografia**, 2021. Disponível em: <https://www.ebiografia.com/georg_simon_ohm/>. Acesso em: 21 set. 2023.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**: Eletromagnetismo (volume 3). Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HECK, Carine *et al.* **Leis de Ohm**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Araranguá, SC, 2015. Disponível em: <http://relle.ufsc.br/moodle/pluginfile.php/1453/mod_resource/content/2/3.%20Lei%20de%20Ohm%20Pronto.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

HELERBROCK, Rafael. Lei de Ohm. **Brasil Escola**, 2018. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-lei-ohm.htm>>. Acesso em: 21 set. 2023.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KELLER, Frederick J.; GETTYS, W. Edwards; SKOVE, Malcolm J. **Física (Volume 2)**. São Paulo: Makron Books, 1999.

LEAL, Lucas Ribeiro; POLASTRANI, Fernando Henrique; VIEIRA JUNIOR, Niltom. Os níveis de evolução dos modelos mentais de potência elétrica em circuitos de

- corrente contínua. **ScientiaTec**, v. 2, n. 1, p. 86-101, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/ScientiaTec/article/view/1430>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- LIÉGEOIS, Laurent; MULLET, Etienne. High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. **International Journal of Science Education**, v. 24, n.6, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223736134_High_school_students'_understanding_of_resistance_in_simple_electric_circuits>. Acesso em: 28 out.2023.
- NASCIMENTO, Emily Cecília S. do *et al.* Divulgação Científica: As Leis de Ohm (Capítulo 8). In: PESSOA, Jacimara Oliveira da Silva (Org.). **Educação e o Ensino Contemporâneo: Práticas, Discussões e Relatos de Experiência** (v. 5). Ponta Grossa, PR: Aya Editora, 2022. Disponível em: <<https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/Livros/L176.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2023.
- PEREIRA, Josiane Cristina Peres. **Proposta didática de atividades práticas de eletrodinâmica utilizando o simulador PHET Colorado**. 2022. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29375>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- POURPRIX, Bernard. De la reconstitution de la physyque allemande du XIXe siècle: Les exemples de Georg Simon Ohm et Hermann Helmholtz. **Revue d'Histoire des Sciences**, v. 60, p. 185-202, 2007.
- PURCELL, Edward M. **Curso de Física de Berkeley (Volume 2): Eletricidade e Magnetismo**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- RIBEIRO, Daniel. Georg Simon Ohm. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 3, 234, 2014. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2014/234/>>. Acesso em: 21 set. 2023.
- SANTOS, Fabiano Quintino dos. **Roteiro para a condução das aulas destacando o Uso de Filosofia e História da Ciência no Ensino das 1ª e 2ª Leis de Ohm**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Fluminense / Sociedade Brasileira de Física, Volta Redonda, RJ, 2017. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4695/produto%20MNPEF%20-%20Fabiano%20-%20professor.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 set. 2023.
- SCHNIDER, Dorotyya; HÖMÖSTREI, Mihály. Electrical conductance lab: a low-cost, simple and useful project with Arduino. **Physics Education**, v. 58, 065023, 2023. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/acf817/pdf>>. Acesso em: 28 out. 2023.
- SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física: Eletromagnetismo (Volume III)**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Ciência e Cultura**, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327238409_Validacao_de_um_teste_para_verificar_se_o_aluno_possui_concepcoes_cientificas_sobre_corrente_eletrica_em_circuito_simples>. Acesso em: 28 out.2023.

SIQUEIRA, Kleber Saldanha de. Ensino de física na educação de jovens e adultos: caminhos e reflexões. **Diversitas Journal**, v. 8, n.2, p. 1106-1124, 2023. Disponível em: <https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2544>. Acesso em: 28 out. 2023.

TSCHIPTSCHIN, André Paulo; PINEDO, Carlos Eduardo. Estrutura e propriedades do aço inoxidável austenítico AISI 316L Grau ASTM F138 nitretado sob plasma à baixa temperatura. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 1, p. 137–141, jan. 2010. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rem/a/tj4kXMq6QgFqKcC8kQkhCfy/#>>. Acesso em: 28 out. 2023.