



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE ARARANGUÁ
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Mateus Elias Mateus

A corrente do controle: estudo da lei de ohm com uso de um braço robótico como
plataforma de ensino-aprendizagem

Araranguá
2025

Mateus Elias Mateus

A corrente do controle: estudo da lei de ohm com uso de um braço robótico como plataforma de ensino-aprendizagem

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional para o Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus de Araranguá. como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física

Orientador: Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Araranguá

2025

Elias Mateus, Mateus

A corrente do controle : estudo da lei de Ohm com uso de um braço robótico como plataforma de ensino-aprendizagem / Mateus Elias Mateus ; orientador, Evy Augusto Salcedo Torres, 2025.

369 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Araranguá, 2025.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Lei de Ohm. 3. Ensino de Física. 4. Robótica. I. Augusto Salcedo Torres, Evy. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

Mateus Elias Mateus

A corrente do controle: estudo da lei de ohm com uso de um braço robótico como plataforma de ensino-aprendizagem

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 26 de setembro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

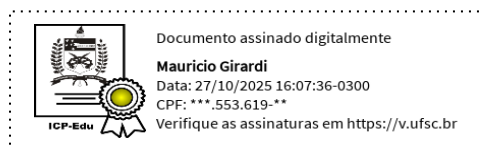
Prof. Marcelo Freitas de Andrade, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. (a) Patricia Ternes Dallagnollo, Dr.
University of Leeds

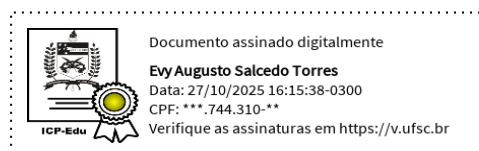
Prof. Marcelo Zannin da Rosa, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Mauricio Girardi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof. Evy Augusto Salcedo Torres, Dr.
Orientador

Araranguá, 2025.

Dedico este trabalho:

Ao meu pai, José (in memoriam), cuja presença permanece como guia silencioso em minha vida.

À minha mãe, Maria de Fátima, por sempre me manter firme nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, Marcelo e Doglas, que me deram equilíbrio e incentivo; e a você, Doglas, toda programação desta dissertação foi inspirada em você.

Ao meu orientador, que aceitou o desafio de caminhar comigo em um momento de incertezas, oferecendo paciência, confiança e clareza que foram decisivas para a realização desta dissertação.

E à minha noiva, Ana Paula, pelo amor, paciência e presença constante, trazendo esperança e força para que esta jornada fosse possível.

A todos, minha sincera gratidão

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e todos os Professores de excelência que tivemos o privilégio de aprender, à Escola de Educação Básica São Domingos e aos alunos que participaram do projeto da luva controladora. Sem o envolvimento e empenho de todos, este trabalho não teria sido possível.

“A grandeza de uma descoberta científica reside na sua simplicidade e aplicabilidade.” (Georg Simon Ohm).

RESUMO

Nos últimos anos, tem havido crescente demanda por programas educacionais que integrem teoria e prática nas ciências, sendo a Física fundamental para o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico. Contudo, muitos estudantes enfrentam dificuldades em compreender conceitos teóricos e aplicá-los em situações reais. Para enfrentar esse desafio, este trabalho propõe um projeto que utiliza resistor flexível, Arduino, uma luva controladora e um protótipo de braço robótico para o ensino da Lei de Ohm a alunos do terceiro ano do ensino médio. Durante a aplicação, os estudantes realizam experimentos variados, como construir resistores de papel e grafite, verificar a linearidade proposta pela Lei de Ohm, observar o Efeito Joule, medir potenciômetros e explorar divisores de tensão, além de manipular o resistor flexível para observar como a resistência elétrica varia conforme propriedades do material, tensão aplicada e flexão. Ao conectar o resistor ao Arduino, os alunos conseguem controlar a garra do braço robótico, observando de forma prática a aplicação da Lei de Ohm. Essa abordagem experimental e interativa visa não apenas consolidar os conceitos teóricos, mas também proporcionar uma experiência de aprendizado significativa, profunda e duradoura, despertando o interesse dos estudantes pela física e estimulando a exploração de áreas como eletrônica e robótica. Em síntese, o projeto demonstra que a integração de tecnologia, experimentação e robótica, aliada a atividades práticas diversificadas, favorece a compreensão ativa dos conceitos fundamentais da Física, conectando o conteúdo escolar a contextos reais e motivadores.

Palavras-chave: Lei de Ohm; resistores; ensino de física; robótica.

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing demand for educational programs that integrate theory and practice in the sciences, with Physics playing a key role in the development of problem-solving skills and critical thinking. However, many students face challenges in understanding theoretical concepts and applying them in real-world contexts. To address this issue, the present study proposes an innovative project that employs a flexible resistor, Arduino, a controller glove, and a robotic arm prototype to teach Ohm's Law to high school seniors. During the implementation, students engage in a variety of experiments, including constructing paper and graphite resistors, testing the linearity predicted by Ohm's Law, observing the Joule effect, measuring potentiometers, and exploring voltage dividers, as well as manipulating the flexible resistor to examine how electrical resistance varies with material properties, applied voltage, and bending. By connecting the resistor to the Arduino, students can control the robotic arm's gripper, directly observing the practical application of Ohm's Law. This hands-on, interactive approach not only reinforces theoretical concepts but also provides a meaningful and lasting learning experience, fostering students' interest in physics and encouraging exploration in areas such as electronics and robotics. In summary, the project demonstrates that the integration of technology, experimentation, and robotics, combined with diverse practical activities, enhances the active understanding of fundamental physics concepts, linking classroom content to real-world and motivating contexts.

Keywords: Ohm's Law; resistors; physics teaching; robotics

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Revisão de eletrostática	18
2.2	Corrente elétrica	23
2.3	Resistencia elétrica e lei de ohm	25
2.4	A lei de ohm: contexto histórico e perspectivas originais	27
2.5	Leis de Kirchhoff e sua relação com a lei de ohm	30
2.5.1	Primeira lei de Kirchhoff: lei dos nós	31
2.5.2	Segunda lei de Kirchhoff: lei das malhas	31
2.5.3	Inter-relação entre Lei de Ohm e Leis de Kirchhoff para a medida da queda de tensão em um resistor	32
3	REVISÃO DE LITERATURA	35
3.1	Busca no repositório da UFSC	35
3.1.1	Uma proposta de atividade experimental para o ensino da lei de Ohm	36
3.1.2	Modelo construtivista para criação de conhecimento em física	36
3.1.3	Ilhas de racionalidade: o ensino de ciências através de projetos	36
3.1.4	Modelização na formação inicial de professores de física	37
3.2	Busca no portal de periódicos da CAPES	37
3.2.1	Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio	38
3.2.2	Lei de Ohm	38
3.2.3	Laboratório virtual para o ensino da 1ª Lei de Ohm e associação de resistores	39
3.2.4	Abordagem da Lei de Ohm para Estudantes com Deficiência Visual no Ensino Superior	39
3.2.5	Aplicações da lei de Ohm para o ensino médio	40
3.2.6	Georg Simon Ohm	41
3.2.7	Uso do geogebra na modelagem de gráficos de resistores ôhmicos para alunos de ensino médio	41
3.2.8	Uso de TIC's em circuitos de corrente contínua: proposta didática e avaliação	42
3.3	Busca na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP	42

3.4	Busca no repositório LUME da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	43
3.4.1	Ensino das Leis de Ohm à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa	43
3.4.2	Desenvolvimento de uma metodologia para o ensino das leis de Kirchhoff e Ohm em aulas práticas de física	44
3.4.3	Utilizando equipamentos domésticos para compreender a associação de resistores e Efeito Joule	44
3.4.4	A importância das medidas em física: um olhar sobre a prática pedagógica	45
3.4.5	Oficina de robótica no ensino médio como metodologia de construção de conhecimentos de ciências exatas	45
3.5	Busca na plataforma SCIELO	46
3.5.1	Hands-on classroom experiments to study the characteristics of an electric generator (voltaic cell) and receiver (voltameter) using simple, low-cost and easy-access materials	46
3.6	Resumo dos trabalhos encontrados e utilizados	47
4	METODOLOGIA DE ENSINO	49
4.1	Epistemologia do conhecimento	50
4.2	Teoria de ensino e aprendizagem	53
5	METODOLOGIA	60
5.1	DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	60
5.2	PANORAMA GERAL DAS DEZ AULAS DESENVOLVIDAS	61
5.2.1	Primeira aula: descobrindo a lei de ohm, como a física controla uma garra robótica	62
5.2.2	Aula 02: experimento de verificação da lei de ohm	65
5.2.3	Aula 03: explorando o efeito joule, da teoria à prática experimental	68
5.2.4	Aula 4: a influência dos parâmetros dos materiais na resistência elétrica	70
5.2.5	Aula 5: exploração experimental das associações de resistores em série e paralelo	74
5.2.6	Aula 6: resistores em série e paralelo, conceitos e aplicações das Leis de Kirchhoff	78
5.2.7	Aula 7: análise prática do comportamento de dispositivos com resistência variável	81
5.2.8	Aula 8: montagem da luva controladora com resistor flexível	87
5.2.9	Aula 9: construção da garra robótica didática	90

5.2.10 Aula 10: aprendendo a lei de ohm na prática, da experimentação e teoria ao controle da garra robótica	96
5.3 Análise e resultados	100
5.3.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS RESULTADOS	102
5.3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS	105
5.3.3 Análise comparativa entre as Turmas A (experimental) e B (controle)	113
5.4 ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA POR MEIO DE QUESTIONÁRIO DISCURSIVO	123
5.4.1 Questões discursivas	124
5.5 ANÁLISE GERAL COM VIÉS PEDAGÓGICO E RELAÇÃO COM A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA	135
5.6 REFLEXÃO FINAL SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS	139
6 CONCLUSÃO	143
REFERÊNCIAS	147
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	153

1 INTRODUÇÃO

O ensino da Física é fundamental para proporcionar uma compreensão consistente dos princípios científicos que estruturam o mundo natural. Entretanto, como destaca Moreira (2011), a forma como os conteúdos são tradicionalmente apresentados muitas vezes os torna excessivamente teóricos e distantes da realidade dos estudantes, dificultando a atribuição de significados e a construção de um conhecimento realmente integrado. Essa característica confere à disciplina um caráter abstrato, em que a aplicação prática dos conceitos não parece óbvia ou possível no cotidiano escolar.

Nesse sentido, Moreira (2011) argumenta que a aprendizagem significativa ocorre quando o estudante consegue relacionar o novo conhecimento a experiências prévias de forma reflexiva e contextualizada, desenvolvendo uma postura ativa diante do conhecimento científico. Assim, estratégias didáticas que unam conceitos teóricos a situações experimentais e aplicações concretas podem favorecer não apenas a compreensão, mas também o interesse dos alunos.

Com base nesse entendimento, propôs-se um produto educacional que consistiu na construção e utilização de uma luva controladora equipada com resistor flexível e de uma garra robótica didática, desenvolvidas como recursos para o ensino da Lei de Ohm. Ao longo das aulas, os conteúdos foram trabalhados de forma integrada, contemplando abordagens teóricas, práticas experimentais e o uso de simuladores computacionais. Entre os conceitos explorados destacaram-se a resistência elétrica e suas propriedades, o efeito Joule, as Leis de Kirchhoff, o divisor de tensão e os resistores variáveis, como potenciômetros e resistores flexíveis. Esses conteúdos serviram de base para a análise, compreensão e verificação da Lei de Ohm e de suas aplicações durante o desenvolvimento do produto educacional.

A sequência didática permitiu que os alunos participassem de diversas atividades teóricas e experimentais com o objetivo de compreender e confirmar, por meio da prática, a validade da Lei de Ohm. No decorrer das atividades, os estudantes fabricaram resistores utilizando papel e grafite, analisando como esses elementos influenciavam o comportamento dos parâmetros elétricos em diferentes circuitos, especialmente nas associações de resistores e na verificação da linearidade prevista por essa lei. Também investigaram o efeito Joule e observaram como parâmetros

físicos, como comprimento, espessura e resistividade dos materiais, interferem na resistência elétrica.

Como etapa culminante, os estudantes desenvolveram uma luva controladora capaz de detectar variações de resistência causadas pelo movimento dos dedos, e construíram uma garra robótica didática para ser operada por esse mecanismo, integrando conceitos de eletricidade, robótica e tecnologia aplicados ao ensino de Física. O uso do resistor flexível permitiu que os alunos observassem concretamente as variações de resistência elétrica geradas pelo movimento, compreendendo como essas alterações influenciavam o funcionamento do circuito e o movimento da garra.

A abordagem prática e interativa buscou proporcionar uma aprendizagem mais significativa (MOREIRA, 2011), promovendo a conexão entre teoria e prática. Além de favorecer a assimilação dos conceitos relacionados à Lei de Ohm e aos resistores, a proposta estimulou a curiosidade científica, o pensamento crítico e a resolução de problemas (FREIRE, 1996; MOREIRA, 2017). Assim, ao relacionar conteúdos abstratos da Física com uma aplicação concreta e envolvente, o projeto mostrou-se capaz de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais atrativo e efetivo.

A aplicação do produto educacional teve como âncora a teoria da aprendizagem significativa crítica. Essa teoria busca orientar como tornar um determinado tema mais atraente e acessível a um maior número de alunos, procurando também responder à recorrente questão que permeia os sistemas de ensino, principalmente na educação básica: “Por que tenho que aprender isso?”.

A fundamentação teórica desta dissertação revisa os fundamentos da eletricidade conforme a Física clássica, definindo os conceitos fundamentais que estruturam essa área do conhecimento. Entre os principais pontos abordados estão as ideias de carga elétrica, campo e potencial elétrico, necessárias para a compreensão das correntes elétricas em condutores. Essa discussão inclui a descrição dos circuitos elétricos e de seus componentes, convergindo posteriormente para a Lei de Ohm, suas formulações e outras teorias correlatas, como as Leis de Kirchhoff e suas aplicações práticas.

São apresentadas também citações do próprio Georg Simon Ohm, com o propósito de esclarecer o significado de seus princípios teóricos e evidenciar o processo pelo qual desenvolveu o conceito de resistência elétrica. Essa abordagem retoma parte de suas pesquisas originais, permitindo compreender a gênese de sua

teoria e a forma como percebeu a relação entre corrente, tensão e resistência, ainda que, à época, o termo “resistência elétrica” não estivesse plenamente consolidado. A inserção das palavras do autor contribui para situar a Lei de Ohm em seu contexto histórico e científico, destacando sua relevância para a compreensão moderna da eletricidade e a permanência de sua importância ao longo das décadas.

Um dos capítulos é dedicado à revisão da literatura, a qual envolve a busca e análise das produções científicas mais recentes publicadas nos principais repositórios acadêmicos nos últimos dez anos. Essa revisão abrange diferentes abordagens e práticas de ensino relacionadas a projetos educacionais baseados na Lei de Ohm, com o propósito de identificar metodologias, habilidades de aprendizagem desenvolvidas e estratégias de ensino eficazes.

Em especial, foram examinados estudos que exploram atividades práticas e experimentais sobre a Lei de Ohm, bem como pesquisas que investigam o engajamento e o interesse de alunos do ensino médio diante dessas propostas. Dessa forma, a revisão serviu não apenas como fundamentação teórica para o presente projeto, mas também como referência para a análise dos resultados e discussões, contribuindo para compreender os desafios e as inovações enfrentadas por professores e estudantes ao aplicarem metodologias ativas no ensino da eletricidade. A busca revelou, em todos os repositórios, uma lacuna relacionada a projetos que explorem de forma prática a Lei de Ohm, principalmente no contexto do ensino médio.

Ao final, é apresentada uma análise pedagógica e estatística da metodologia aplicada, na qual foram coletados e analisados dados quantitativos e qualitativos considerados fundamentais para a discussão dos resultados. Para tanto, aplicou-se um questionário diagnóstico ao término da implementação do projeto, permitindo comparar o desempenho da turma participante da proposta com o de outra turma que manteve suas aulas regulares conforme o planejamento anual da escola.

Os dados quantitativos permitiram avaliar diferenças de desempenho entre as turmas, enquanto os dados qualitativos revelaram percepções dos alunos sobre a experiência prática, o entendimento dos conceitos de eletricidade e as estratégias de resolução de problemas em situações reais. Essas análises possibilitaram avaliar a efetividade da abordagem proposta, verificando em que medida o uso da luva controladora e da garra robótica contribuiu para uma compreensão prática e significativa da Lei de Ohm.

Por fim, os resultados e discussões buscaram analisar não somente a eficácia do produto educacional aplicado; além disso, procurou-se explorar como a experiência de desenvolver e utilizar a luva controladora impactou o engajamento e a motivação dos alunos em relação ao aprendizado de Física. Foi relevante compreender se a interação prática com a tecnologia e a aplicação direta dos conceitos da Lei de Ohm contribuíram para um interesse mais profundo na disciplina e no tema, bem como verificar se essa abordagem experimental auxiliou na superação de dúvidas conceituais que os alunos apresentavam em aulas tradicionais.

A análise também buscou explicitar os desafios e dificuldades enfrentados pelo professor e pelos alunos durante o processo de apropriação dos conceitos da Lei de Ohm e na construção da luva controladora. Compreender esses obstáculos permite não apenas aprimorar futuras implementações do projeto, mas também oferecer subsídios pedagógicos para que outros professores possam aplicá-lo de forma mais eficaz.

Dessa forma, a discussão dos resultados não se limitou a métricas de eficácia, mas incluiu reflexões sobre a metodologia, o desenvolvimento de habilidades práticas e a promoção de uma aprendizagem significativa e duradoura, conforme propõem Moreira (2011; 2017) e Freire (1996), ao destacarem que o ato de aprender deve ser um processo crítico, dialógico e libertador, no qual o aluno se reconhece como sujeito ativo da construção do conhecimento.

Além disso, durante o desenvolvimento do projeto, os alunos realizaram atividades experimentais com a luva controladora e a garra robótica, explorando relações entre resistência elétrica, tensão e corrente. Foram registradas variações de parâmetros elétricos em função do movimento dos dedos, e os estudantes observaram como essas alterações afetavam o funcionamento do circuito e o movimento da garra. Essas atividades permitiram o registro sistemático de dados e a análise de diferentes configurações de circuitos, aproximando os estudantes da prática científica por meio da experimentação.

Em síntese, esta dissertação buscou contribuir para o ensino da Física por meio de uma proposta didática que integra teoria e prática, tecnologia e experimentação, estimulando o protagonismo dos alunos e o interesse pela investigação científica. Acredita-se que o uso da luva controladora e da garra robótica como recursos pedagógicos favorece a aprendizagem significativa da Lei de Ohm e

desperta nos estudantes uma nova percepção sobre o papel da ciência e da inovação tecnológica na sociedade contemporânea.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste projeto é dedicada à exploração da Lei de Ohm e dos conceitos fundamentais da eletricidade, baseando-se nos princípios da física clássica. A Lei de Ohm, introduzida pelo físico Georg Simon Ohm em 1827, descreve a relação linear entre tensão, corrente e resistência, estabelecendo-se como um dos pilares essenciais para a compreensão dos fenômenos elétricos. Neste capítulo, discutiremos os conceitos fundamentais que sustentam a eletricidade, como carga elétrica, corrente elétrica e tensão, além de examinarmos as características dos resistores e suas aplicações em circuitos elétricos.

Essa base teórica é indispensável não apenas para a aplicação prática da Lei de Ohm, mas também para a compreensão das dinâmicas elétricas em sistemas mais complexos. Ao adotar essa abordagem, visamos proporcionar aos professores e demais apreciadores deste trabalho, uma compreensão aprofundada que servirá como alicerce para as atividades práticas e teóricas do projeto.

2.1 REVISÃO DE ELETROSTÁTICA

Discutir sobre corrente elétrica conduzida ao longo de fios condutores nos leva necessariamente a discutir sobre conceitos de eletrostática, sendo assim, faremos aqui uma revisão desses conceitos.

O fundamento da eletrostática reside na propriedade física de Carga elétrica, não existe uma definição muito mais elaborada que a operacional para esse conceito, isto é, carga, que denotamos por q ou Q , é a propriedade da matéria, tal que, quando um objeto com essa propriedade se aproxima de outro objeto com a mesma propriedade experimenta uma força, que chamaremos de força elétrica, dada pela lei de Coulomb: $\underline{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qQ}{r^3} \underline{r}$. “O módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.” (Young et al, 2015. p. 9)

Na equação da lei de Coulomb, F representa a força experimentada pelos corpos carregados, ϵ é uma propriedade física do espaço no qual as cargas estão imersas, r é a separação entre as cargas, q e Q são as cargas dos objetos. Os resultados experimentais mostram que a carga pode ser de dois tipos e tem se

convencionado chamar de carga positiva e negativa. O que independe de convenção é que cargas do mesmo tipo se repelem e cargas de tipos diferentes se atraem. A unidade de carga depende do sistema básico de unidades escolhido, se se utiliza o sistema internacional de medidas (SI) a unidade de carga é o Coulomb, denotado por C.

A carga elétrica é uma propriedade fundamental das partículas subatômicas que determina como elas interagem umas com as outras através de forças eletromagnéticas. A interação entre cargas opostas é denominada de atração, enquanto cargas de mesmo sinal se repelem. Este comportamento é um dos princípios básicos da eletrostática e está relacionado com a conservação da carga em um sistema isolado. Segundo Halliday, "a carga elétrica não é criada nem destruída, apenas transferida de um corpo para outro" (HALLIDAY, 2011, p. 57). Essa conservação é essencial para o entendimento dos processos elétricos, sendo a base para o estudo de circuitos e fenômenos eletrostáticos.

As cargas elétricas estão presentes em todos os materiais e podem ser classificadas como positivas ou negativas. Essa classificação foi inicialmente proposta por Benjamin Franklin no século XVIII, estabelecendo as bases para o estudo das forças eletrostáticas. Halliday reforça essa ideia ao afirmar que "as forças entre cargas elétricas são descritas pela Lei de Coulomb, que estabelece que a magnitude da força entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas" (HALLIDAY, 2011, p. 62). Este princípio é fundamental para compreender as interações elétricas que ocorrem tanto em nível atômico quanto em circuitos elétricos.

Além disso, a noção de campo elétrico é essencial para o entendimento das interações à distância entre cargas. Como apontado por Tipler, "o campo elétrico é uma representação das forças que uma carga exerce no espaço ao seu redor, sendo uma forma conveniente de descrever como outras cargas serão influenciadas" (TIPLER, 2015, p. 112). Essa abordagem permite uma visualização mais intuitiva de como as cargas interagem no espaço, contribuindo para uma melhor compreensão do comportamento dos materiais em condições diversas, desde o nível microscópico até o macroscópico.

A nossa definição operacional de carga pressupõe a existência de dois corpos carregados próximos, a experiência também mostra que existem situações nas quais, mesmo só se tendo um corpo supostamente isolado, este experimenta uma força

elétrica, este aparente impasse pode ser subsanado introduzindo um outro conceito, o de campo elétrico. Operacionalmente o campo elétrico é definido como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Segundo Serway, "o campo elétrico em torno de uma carga de ponto é definido como a força por unidade de carga que uma carga de prova positiva sentiria ao ser colocada nesse ponto do campo" (SERWAY; JEWETT, 2018, p. 142). Essa relação permite entender como as forças elétricas são transmitidas pelo espaço, fundamental para descrever fenômenos como a atração e a repulsão entre partículas carregadas. Ou, substituindo na lei de Coulomb:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^3} \vec{r} \quad (2)$$

De forma que um o campo elétrico é uma alteração no espaço devido a presença de um corpo carregado com carga Q.

Podemos definir o campo elétrico em um ponto nas proximidades de um objeto carregado, como o ponto, da seguinte forma: Colocamos no ponto P uma pequena carga positiva q_0 , que chamamos de carga de prova porque será usada para provar (ou seja, sondar) o campo. (Usamos uma carga pequena para não perturbar a distribuição de carga do objeto.) Em seguida, medimos a força eletrostática que age sobre a carga q_0 e definimos o campo elétrico produzido pelo objeto pela equação $\underline{F} = q\underline{E}$ (Halliday, 2016, p.152).

A física pode ser descrita a partir de duas perspectivas diferentes, em termos de forças ou em termos de energia. Essas perspectivas não são excludentes, de fato, em geral tratamos como as ditas forças conservativas, que são originadas a partir de um potencial escalar, isto é:

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}U \quad (3)$$

Para o caso da força elétrica, o potencial U do qual se deriva a força é dado por:

$$\Delta U = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \Delta\left(\frac{1}{r}\right) \quad (4)$$

Esta energia corresponde ao trabalho que tem que ser realizado sobre as cargas para trazê-las desde pontos infinitamente afastados até pontos onde a separação entre elas seja r. Da mesma forma que foi possível definir um campo

vetorial associado à força elétrica somos capazes de definir um campo escalar associado à energia, esse campo se define como:

$$\Delta V = \frac{U}{q} \quad (5)$$

A qual recebe o nome de potencial elétrico, que para o caso de partículas puntiformes é dado por:

$$\Delta V = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \Delta\left(\frac{1}{r}\right) \quad (6)$$

A unidade do potencial elétrico é o volt, uma medida da capacidade de um campo elétrico em realizar trabalho ao mover uma carga de um ponto a outro. Essa medida, denominada "volt", está associada à energia potencial por unidade de carga. O volt, é a unidade de medida de potencial elétrico, que descreve a diferença de potencial entre dois pontos e está diretamente relacionado à energia necessária para mover cargas através de um campo elétrico. De acordo com Halliday, "o potencial elétrico em um ponto é definido como a energia potencial elétrica por unidade de carga positiva colocada nesse ponto" (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011, p. 232). Isso nos permite entender como a energia é distribuída em um circuito e como diferentes componentes elétricos se comportam.

Tipler afirma que "o potencial elétrico, muitas vezes medido em volts, é uma ferramenta essencial para descrever e analisar circuitos elétricos, pois simplifica o cálculo da energia necessária para mover cargas em um campo elétrico" (TIPLER; MOSCA, 2015, p. 245). Esse conceito facilita a compreensão dos processos energéticos em sistemas elétricos, sendo um dos fundamentos mais importantes para o estudo de eletricidade e circuitos. Pela definição de energia vemos que corresponde a trabalho por unidade de carga realizado para aproximar às cargas, de fato:

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{-W_{AB}}{q} \quad (7)$$

Nesta expressão, V_A e V_B correspondem aos potenciais associados ao ponto A e ao ponto B, enquanto que W é o trabalho realizado pela força. Devemos entender que definir os potenciais V_A e V_B implica na escolha consciente de um referencial no qual o potencial elétrico (e por onde, a energia elétrica) é considerado nulo, dada a dependência com o inverso da distância a escolha óbvia é considerar o potencial como

sendo nulo a uma distância infinitamente afastada da carga, sendo assim definimos a energia e o potencial elétrico num ponto como sendo:

$$U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qQ}{r} \Rightarrow V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} \quad (8)$$

Antes de continuar, devemos esclarecer que como o potencial elétrico com origem eletrostático é associado a um campo conservativo, não teremos como extrair trabalho quando percorremos um circuito, uma vez que para campos conservativos se verifica:

$$\oint dU = 0 \quad (9)$$

Para extrair trabalho durante o percurso fechado o potencial elétrico deve ter outra origem, como por exemplo as pilhas elétricas, onde a energia tem origem química. Para entender a relação entre o potencial elétrico e a realização de trabalho em um circuito, é importante reconhecer a natureza das fontes de energia envolvidas. O potencial elétrico, geralmente associado à capacidade de realizar trabalho, pode ter diferentes origens, incluindo a energia química em pilhas. De acordo com Halliday, "a função básica de uma bateria é fornecer uma diferença de potencial entre seus terminais, o que possibilita a movimentação das cargas ao longo do circuito" (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011, p. 451). Portanto, mesmo quando estamos lidando com sistemas não conservativos, como os que envolvem reações químicas, o conceito de potencial elétrico ainda se aplica, pois as fontes de energia apenas mudam a origem do trabalho realizado sobre as cargas. Se esse é o caso poderíamos nos perguntar se as definições de campo elétrico e potencial elétrico deixam de ter valia quando tratamos com sistemas não conservativos, na realidade continuam sendo válidas, a ação do campo elétrico continua a gerar força sobre corpos carregados e a diferença de potencial elétrico continua a estar relacionada com a quantidade de trabalho realizada ao deslocar uma carga desde um ponto A até outro B.

Em sistemas não conservativos, como no caso das pilhas elétricas, o campo elétrico e o potencial elétrico ainda desempenham papéis essenciais. Como Tipler destaca, "a diferença de potencial em um sistema pode ser considerada uma medida da capacidade de uma fonte em converter outras formas de energia em energia

elétrica, sendo este princípio fundamental para a geração de corrente contínua em dispositivos como pilhas" (TIPLER; MOSCA, 2015, p. 310). Dessa forma, mesmo quando a energia não é diretamente derivada de um campo elétrico conservativo, o conceito de potencial elétrico permanece útil, já que descreve o trabalho necessário para mover cargas dentro de um circuito.

Portanto, podemos concluir que o conceito de potencial elétrico e campo elétrico continua válido mesmo em sistemas não conservativos. A presença de uma fonte de energia não conservativa, como uma pilha, não invalida as definições básicas da física clássica. Segundo Serway, "o campo elétrico continua a exercer uma força que age sobre as cargas, e a diferença de potencial elétrico ainda está associada à quantidade de trabalho envolvido no deslocamento das cargas" (SERWAY; JEWETT, 2018, p. 279). Dessa forma, a física clássica fornece uma descrição coesa do comportamento dos sistemas elétricos, independentemente da origem conservativa ou não da energia envolvida.

2.2 CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica é um dos conceitos fundamentais da eletricidade e desempenha um papel essencial em inúmeros tipos de circuitos elétricos que fazem parte de aplicações tecnológicas, como a luva controladora e o próprio braço robótico utilizados neste projeto. Nesta seção, exploraremos os fundamentos e propriedades da corrente elétrica, a fim de compreender melhor seu comportamento e suas aplicações práticas. Iniciaremos abordando a definição básica da corrente elétrica.

"Uma corrente elétrica é qualquer movimento de cargas de uma região para outra" (Young et al, 2016. p.146). Quando analisamos em um condutor, corrente elétrica é a taxa de fluxo de carga elétrica através deste condutor. É medida em ampères (A) e representa o número de elétrons em movimento por unidade de tempo. A corrente elétrica é gerada quando há uma diferença de potencial (tensão) aplicada a um circuito elétrico. Tipler (2006, p. 145) relata que:

A corrente elétrica é definida como o fluxo de carga elétrica através da seção transversal de um condutor. No seguimento de um fio condutor por onde passa uma carga. Se ΔQ é a carga que flui através da área de seção transversal durante o intervalo de tempo Δt , a corrente será definida como $i = \Delta Q / \Delta t$. A unidade de corrente no sistema internacional de medidas (SI) é o ampere (A): $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

A direção da corrente elétrica é convencionalmente definida como o fluxo de carga positiva, oposta ao movimento real dos elétrons. Essa convenção, conhecida como "modelo de corrente convencional", foi estabelecida antes do conhecimento sobre a natureza dos elétrons. Assim, o sentido da corrente é definido como do polo positivo para o polo negativo da fonte de tensão, ou seja, ao contrário do sentido real do movimento dos elétrons.

Por convenção, a orientação da corrente é considerada como sendo a do fluxo da carga positiva. Essa convenção foi estabelecida antes de se saber que os elétrons livres são partículas que na verdade se movem nos cabos metálicos carregados. Assim, os elétrons se movem no sentido oposto à orientação convencionada para a corrente. Em um acelerador que produz um feixe de prótons, as orientações da corrente e do movimento dos prótons positivamente carregados são idênticas. (Tipler, 2006, p. 145)

A corrente elétrica pode ser dividida em dois tipos principais: corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). Cada uma delas apresenta características próprias que determinam suas aplicações práticas. De acordo com Halliday, "a corrente contínua é um fluxo de carga elétrica que se mantém constante e sempre no mesmo sentido, característica típica das baterias e de outras fontes de energia de baixo consumo" (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011, p. 672). Essa característica de fluxo constante permite a aplicação da CC em dispositivos eletrônicos que requerem um fornecimento de energia estável, como celulares e computadores portáteis.

Existem, portanto, dois tipos principais de corrente elétrica: corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). A corrente contínua é caracterizada pelo fluxo constante de elétrons em uma direção, geralmente encontrada em pilhas, baterias e fontes de alimentação de dispositivos eletrônicos. Já a corrente alternada é aquela em que a direção dos elétrons se inverte periodicamente ao longo do tempo, como é o caso da energia fornecida pela rede elétrica residencial e industrial. Tipler complementa afirmando que "a corrente alternada é produzida por geradores que operam com base no movimento de condutores em campos magnéticos, o que resulta em uma variação cíclica da polaridade e do fluxo de elétrons" (TIPLER; MOSCA, 2015, p. 411). Esse tipo de corrente é mais adequado para a transmissão de energia em grandes distâncias, como a energia fornecida pela rede elétrica, devido à facilidade de conversão de tensão por transformadores, o que reduz as perdas durante a transmissão.

Olhando a matéria até uma certa escala podemos afirmar que é constituída por átomos, os quais por sua vez são formados por elétrons, prótons e nêutrons. "A

matéria, quando analisada em um nível microscópico, revela-se composta por átomos, que são as unidades fundamentais de sua estrutura. Cada átomo é, por sua vez, constituído de três partículas elementares: elétrons, prótons e nêutrons" (ATKINS; JONES, 2011, p. 45). Tanto os elétrons quanto os prótons possuem cargas de $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ e $+1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, respectivamente, enquanto que os nêutrons não possuem carga elétrica. "A unidade mais fundamental de carga elétrica é o módulo da carga de um próton ou de um elétron, que será designado por "e". O valor mais preciso disponível quando este livro foi escrito é dado por $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ " (Young et al, 2016. p. 16)

Com base na carga dos elétrons e prótons, pode-se concluir que o movimento dos elétrons em um material é o que gera corrente elétrica. "A carga dos elétrons e prótons estabelece a base para o movimento de corrente elétrica através de condutores, mas esse movimento é sempre afetado por uma oposição natural conhecida como resistência elétrica. Segundo Halliday, Resnick e Walker, 'a resistência elétrica é uma medida da dificuldade que os portadores de carga têm para se mover em um condutor, dependendo de fatores como a natureza do material, sua temperatura e suas dimensões' (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011, p. 250). Assim, a compreensão da resistência é essencial para explorar como a eletricidade se comporta em diferentes materiais.". O que exploraremos na próxima seção.

2.3 RESISTENCIA ELÉTRICA E LEI DE OHM

A resistência elétrica é uma propriedade fundamental dos materiais que determina a dificuldade com que a corrente elétrica flui através deles. Essa propriedade é influenciada por diversos fatores, incluindo a natureza do material, sua temperatura e suas dimensões. De acordo com Ohm, "a resistência de um condutor é diretamente proporcional à sua extensão e inversamente proporcional à sua seção transversal" (OHM, 1994, p. 56). Essa relação, expressa na famosa Lei de Ohm, permite que se compreenda como a resistência atua nos circuitos elétricos, sendo essencial para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e sistemas de energia.

A resistência elétrica é um conceito fundamental na área da eletricidade e desempenha um papel crucial em inúmeras aplicações práticas. A Lei de Ohm, formulada por Georg Simon Ohm em 1827, estabelece uma relação fundamental entre a resistência elétrica, a corrente elétrica e a diferença de potencial em um circuito

elétrico. A resistência elétrica é uma propriedade inerente aos materiais que se opõem ao fluxo de corrente elétrica. É representada pelo símbolo "R" e é medida em ohms (Ω). A resistência elétrica depende de vários fatores, como a geometria do condutor, a natureza do material e a temperatura.

A Essa relação, chamada de lei de Ohm, foi descoberta em 1826 pelo físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854). A palavra "lei" deveria, na verdade, estar entre aspas, porque a lei de Ohm, assim como a lei dos gases ideais e a lei de Hooke, fornece um modelo idealizado que descreve muito bem o comportamento de alguns materiais, porém não fornece uma descrição geral para todos os materiais. (Young et al, 2016. p. 151)

Neste contexto, A Lei de Ohm estabelece que a corrente elétrica que flui através de um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada e inversamente proporcional à resistência elétrica do condutor. Matematicamente, essa relação pode ser expressa como: "A razão entre V e I para um dado condutor denomina-se resistência $R = \frac{V}{I}$." (Young et al, 2016. p. 155).

Onde:

- a) V é a diferença de potencial aplicada ao condutor, medida em volts (V).
- b) I é a corrente elétrica que flui através do condutor, medida em amperes (A).
- c) R é a resistência elétrica do condutor, medida em ohms (Ω).

A lei de Ohm é válida para condutores ôhmicos, ou seja, aqueles que mantêm uma relação linear entre tensão e corrente elétrica dentro de uma faixa de operação específica. Em outros materiais, como semicondutores ou mesmo para condutores em altíssimas tensões, a relação entre tensão e corrente pode ser não linear. "Entretanto, é importante entender que o verdadeiro significado da lei de Ohm consiste na indicação de uma proporcionalidade direta (para alguns materiais) de V com I ou de J com E". (Young et al, 2016. p. 153)

A Lei de Ohm é amplamente utilizada em diversos campos da eletricidade e eletrônica. Algumas das aplicações mais comuns são cálculos de Circuitos Elétricos, onde é utilizada para determinar a corrente elétrica em um circuito, conhecendo a tensão aplicada e a resistência elétrica dos componentes envolvidos. Essa relação é essencial para o projeto e análise de circuitos elétricos. A Lei de Ohm é uma ferramenta fundamental na análise de circuitos elétricos, segundo Horowitz e Hill, "a Lei de Ohm é uma das leis mais importantes da eletricidade, pois fornece a base para a análise de circuitos elétricos" (HOROWITZ; HILL, 2015, p. 63). Essa relação não apenas facilita o cálculo da corrente elétrica em um circuito, mas também é essencial

para o projeto e a otimização de sistemas eletrônicos, contribuindo para a eficiência e funcionalidade de dispositivos em diversos campos da tecnologia, como na luva controladora com resistor flexível.

Ao projetar um circuito eletrônico, é necessário dimensionar os componentes adequadamente para garantir que a corrente elétrica e a tensão estejam dentro de limites seguros. A lei de Ohm também é aplicada para selecionar resistores, capacitores e outros dispositivos com base nas especificações do circuito, conforme Malvino e Bates:

O dimensionamento dos componentes em um circuito é uma tarefa fundamental na eletrônica. Uma escolha inadequada de valores pode levar a falhas no funcionamento do circuito e até mesmo a danos permanentes nos componentes. Para evitar tais problemas, a Lei de Ohm é utilizada para determinar as características dos resistores, capacitores e outros dispositivos, assegurando que a corrente elétrica e a tensão se mantenham dentro das especificações requeridas” (MALVINO; BATES, 2018, p. 112)

Portanto, a compreensão da Lei de Ohm ganha um aspecto tangível e envolvente quando explorada através de um controlador de braço robótico equipado com um resistor flexível. Nesse cenário, os princípios abstratos da eletricidade se transformam em uma experiência prática e palpável. O resistor flexível, sensível à curvatura, age como o elemento de resistência, onde a curvatura do resistor está diretamente relacionada à sua resistência elétrica. Ao ajustar a voltagem aplicada ao circuito e observar as mudanças correspondentes na corrente elétrica, enquanto manipula a curvatura do resistor flexível, os aprendizes podem testemunhar a aplicação direta da Lei de Ohm. Conforme a curvatura varia, a resistência muda e, conseqüentemente, a corrente elétrica é modificada, seguindo a relação $V = R \times i$. Essa abordagem prática oferece uma oportunidade interessante de relacionar conceitos abstratos com ações concretas, capacitando os estudantes a internalizar a interconexão entre voltagem, resistência e corrente elétrica de maneira significativa. O controlador de braço robótico, atuando como um meio de aprendizado interativo, oferece uma maneira estimulante e eficaz de compreender os fundamentos da Lei de Ohm e sua aplicação em sistemas reais.

2.4 A LEI DE OHM: CONTEXTO HISTÓRICO E PERSPECTIVAS ORIGINAIS

A Lei de Ohm é um dos pilares fundamentais da eletrodinâmica, essencial para compreender fenômenos elétricos e aplicações tecnológicas. Embora sua

formulação matemática seja amplamente ensinada nas escolas, o contexto histórico de sua descoberta e as ideias originais de Georg Simon Ohm são frequentemente negligenciados no ensino tradicional. Conforme Almeida e Araújo (2016), “o ensino da Lei de Ohm ainda se restringe, em grande parte, à aplicação de fórmulas, negligenciando a contextualização histórica e epistemológica de sua elaboração” (p. 27).

A famosa relação $U=R \cdot I$ é frequentemente apresentada de forma descontextualizada, como se tivesse surgido diretamente das páginas dos livros didáticos. Essa abordagem, embora prática, acaba obscurecendo a rica história por trás da descoberta e desvalorizando o mérito e o esforço científico de Georg Simon Ohm, cujo nome batiza essa lei tão fundamental.

No contexto do Ensino Médio, a Lei de Ohm é geralmente introduzida a partir do conceito de resistência elétrica, apresentando a relação $U=R \cdot I$ como base para entender circuitos elétricos. Embora essa abordagem simplificada seja útil para fins didáticos, ela inverte a relação de causa e efeito originalmente proposta por Georg Simon Ohm. Conforme apontam Silva e Ferreira (2018), “o ensino tradicional apresenta a resistência como uma propriedade do circuito e não como uma consequência da relação entre tensão e corrente, distanciando-se da proposta original de Ohm” (p. 45).

Historicamente, Ohm manteve constante a diferença de potencial (V) enquanto variava a resistência (R), deduzindo, em termos modernos, a equação $I=V/R$. Assim como neste projeto, alguns professores utilizam a montagem de circuitos elétricos para verificar a Lei de Ohm, uma prática que tem se mostrado eficaz. Nesse método, diferentes valores de tensão são aplicados a um resistor considerado ôhmico, e a corrente resultante é medida. No entanto, essa abordagem depende de instrumentos como voltímetros e amperímetros, que, por sua vez, operam com base na própria Lei de Ohm. Isso levanta uma questão: seria essa prática totalmente coerente, considerando que os aparelhos já pressupõem a validade da lei? Para que isto não ocorra, e também, para que devidos questionamentos relacionados a esta análise possam ser respondidos, vamos analisar a lei de Ohm sob a perspectiva do próprio Jorge Simon Ohm.

Como ocorre com muitos avanços científicos, os experimentos e a teoria desenvolvidos por Ohm foram influenciados por outros cientistas de sua época. De acordo com Costa e Oliveira (2017), “os trabalhos de Ohm dialogaram diretamente

com estudos de seus predecessores, como Ampère e Fourier, sendo a síntese de ideias e resultados que circulavam no meio científico da época” (p. 89).

Seus principais experimentos tiveram conexão com descobertas de figuras importantes como Charles Coulomb, Christian Oersted e Alessandro Volta. O primeiro artigo de Ohm, publicado em maio de 1825, intitulado "Comunicação prévia da lei segundo a qual os metais conduzem eletricidade de contato", buscava investigar a relação entre o decréscimo da força eletromagnética em um fio condutor e seu comprimento. Esse experimento foi essencial para fundamentar seu trabalho principal, publicado em 1827.

Ohm avançou buscando uma lei que descrevesse os dados de seu primeiro experimento, chegando à equação geral $v = m \cdot \log(1 + x/a)$. Segundo Pereira e Santos (2019), “em sua busca por uma relação matemática que explicasse seus experimentos, Ohm inicialmente propôs uma equação logarítmica, evidenciando seu esforço em traduzir fenômenos físicos em termos matemáticos” (p. 123). A validade dessa equação foi confirmada em experimentos posteriores, levando Ohm a considerá-la a lei que buscava.

Após muitos experimentos, inclusive alguns utilizando a famosa Balança de Torção, destaca-se que Ohm, não possuía um conceito preciso de resistência elétrica, pelo menos não como entendemos hoje, mas compreendia bem as relações entre as variáveis do circuito. Conforme Souza e Lima (2020), “Ohm trabalhava com uma compreensão empírica das relações entre corrente, tensão e elementos do circuito, sem adotar o conceito moderno de resistência, que só foi consolidado posteriormente” (p. 57). Suas conclusões indicavam que o fluxo elétrico em um circuito era diretamente proporcional à diferença de potencial, à seção transversal do condutor e à condutividade do material, e inversamente proporcional ao comprimento do fio.

Somente décadas após a publicação de seu trabalho, o entendimento conceitual evoluiu. Avanços teóricos, como o conceito de potencial elétrico introduzido por Poisson e consolidado por Green, conectaram as ideias de Ohm às teorias de campo e eletrostática. Em 1845, Kirchhoff demonstrou que a força eletroscópica de Ohm era equivalente ao potencial de Green, e, em 1859, mostrou a consistência entre a teoria de Ohm e a eletrostática. Isso permitiu a reformulação da equação original de Ohm na forma moderna $I = V/R$ mantendo seu significado físico. Segundo Nascimento e Andrade (2021), “a conexão entre os trabalhos de Ohm, Poisson e Kirchhoff permitiu

situar a Lei de Ohm no contexto mais amplo das teorias de campo, garantindo sua interpretação moderna e a relação com os fundamentos da eletrostática” (p. 112).

Em suma, embora Ohm não tivesse uma compreensão clara do conceito moderno de resistência elétrica, ele demonstrou um profundo entendimento das relações entre as grandezas envolvidas em seus experimentos, como a diferença de potencial, a corrente elétrica e as propriedades do material condutor. Sua abordagem experimental e teórica lançou as bases para a formulação posterior da Lei de Ohm como a conhecemos hoje, evidenciando a importância de observar e correlacionar fenômenos físicos mesmo diante de conceitos ainda em desenvolvimento.

Essa conexão entre experimentação e teoria inspira o projeto da luva controladora, no qual os alunos não apenas aplicam a Lei de Ohm, mas também exploram como diferentes variáveis do circuito, tensão, corrente e resistência e interação para criar movimentos precisos na garra robótica que imitam o movimento da mão do controlador. Assim como Ohm usou a experimentação para entender as relações físicas, os estudantes têm a oportunidade de vivenciar o aprendizado prático, reforçando sua compreensão da eletrodinâmica e da aplicabilidade da ciência em contextos tecnológicos como o apresentado neste trabalho.

2.5 LEIS DE KIRCHHOFF E SUA RELAÇÃO COM A LEI DE OHM

A compreensão dos fenômenos elétricos em circuitos, como exposto até este momento, depende diretamente da análise das relações fundamentais que regem a corrente elétrica, a tensão e a resistência. Nesse contexto, a Lei de Ohm ocupa um papel central ao descrever a relação entre a diferença de potencial (tensão), a corrente elétrica e a resistência em um condutor. Contudo, embora a Lei de Ohm forneça uma descrição pontual e direta dessa relação, a análise de circuitos mais complexos, compostos por diversas resistências interligadas, exige o uso das Leis de Kirchhoff. Estas leis ampliam a aplicação dos conceitos básicos da eletricidade, permitindo o estudo de circuitos em malha e ramificados.

De acordo com Nussenzveig (2003), a Lei de Ohm relaciona tensão, corrente e resistência, sendo aplicada em circuitos simples, enquanto circuitos mais complexos exigem o uso das Leis de Kirchhoff. No entanto, quando diversos elementos resistivos são conectados em série ou paralelo, ou ainda quando há múltiplos caminhos para a corrente, é necessário recorrer a outras ferramentas para analisar a distribuição de

corrente e tensão no circuito. É nesse cenário que as Leis de Kirchhoff, formuladas por Gustav Kirchhoff em 1845, tornam-se fundamentais.

2.5.1 Primeira lei de Kirchhoff: lei dos nós

A Primeira Lei de Kirchhoff, conhecida como Lei dos Nós, baseia-se na conservação da carga elétrica em um ponto de ramificação de um circuito. Essa lei afirma que a soma algébrica das correntes que entram e saem de um nó é igual a zero. Em outras palavras, a corrente total que chega a um ponto deve ser igual à corrente que sai desse ponto, assegurando que não há acúmulo e nem perda de carga.

Matematicamente, a Lei dos Nós é expressa como:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (10)$$

Onde I_i representam as correntes que chegam ou saem do nó, e o sinal positivo ou negativo indica o sentido relativo das correntes (RIBEIRO, 2012).

Essa lei reflete diretamente o princípio de conservação da carga elétrica, um dos pilares da eletrodinâmica clássica. Em aplicações práticas, como o projeto da luva controladora de uma garra robótica, essa lei garante que as correntes que fluem pelos diversos caminhos do circuito (como o resistor flexível e os controladores da garra) estejam em equilíbrio, permitindo o correto funcionamento do dispositivo.

2.5.2 Segunda lei de Kirchhoff: lei das malhas

A Segunda Lei de Kirchhoff, ou Lei das Malhas, está relacionada à conservação da energia elétrica em um circuito fechado. Ela estabelece que a soma algébrica das tensões em qualquer malha fechada de um circuito é igual a zero. Ou seja, a energia total fornecida por fontes de tensão é igual à energia total dissipada ou armazenada pelos componentes do circuito.

Matematicamente, a Lei das Malhas é expressa como:

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (11)$$

Onde V_i são as diferenças de potencial associadas a cada elemento do circuito (TOLEDO; RAMALHO; NICOLAU, 2009).

Essa lei se fundamenta no princípio de conservação da energia, assegurando que não haja criação ou destruição espontânea de energia dentro de um circuito fechado. Nussenzveig (2003) destaca que, ao aplicarmos a Segunda Lei de Kirchhoff a um circuito contendo resistores, a relação entre corrente e tensão em cada resistor é, necessariamente, regida pela Lei de Ohm. Assim, as Leis de Kirchhoff e a Lei de Ohm não são leis isoladas, mas sim complementares.

No contexto do projeto da luva controladora, a Segunda Lei de Kirchhoff permite entender como a variação na resistência do sensor flexível (que depende da flexão da mão) influencia a tensão detectada pelo Arduino, responsável por controlar o movimento da garra robótica. Dessa forma, a análise da malha do circuito com o resistor flexível e o Arduino é essencial para a correta transdução do movimento em sinal elétrico.

2.5.3 Inter-relação entre Lei de Ohm e Leis de Kirchhoff para a medida da queda de tensão em um resistor

Embora a Lei de Ohm estabeleça a relação entre tensão, corrente e resistência em um elemento único de forma linear, as Leis de Kirchhoff permitem generalizar o comportamento coletivo de diversos componentes interligados. Como afirmam Toledo, Ramalho e Nicolau (2009), a Lei de Ohm é utilizada em conjunto com as Leis de Kirchhoff para resolver problemas práticos de circuitos, sobretudo quando se deseja determinar as correntes e tensões em pontos específicos de um circuito com mais de um componente.

No desenvolvimento de um sistema como a luva controladora, onde o resistor flexível modifica sua resistência em função da flexão dos dedos, é essencial aplicar a Lei de Ohm para determinar como a corrente varia com a resistência. Contudo, a análise completa de como essa variação afeta o sistema inteiro, inclusive o sinal de

saída que comanda o servo motor da garra robótica requer o uso das Leis de Kirchhoff para considerar as múltiplas malhas e ramos do circuito.

Para medir a queda de tensão em um resistor específico R_x , partimos da análise do circuito utilizando a Segunda Lei de Kirchhoff. Suponha que o resistor R_x esteja inserido em uma malha composta por outros resistores e fontes de tensão. A aplicação da Segunda Lei implica que a soma algébrica das tensões ao longo da malha será nula:

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (12)$$

Assim, ao percorrer a malha, podemos escrever:

$$E - R_1 \cdot I - R_2 \cdot I - \dots - R_x \cdot I = 0 \quad (13)$$

Resolvendo a equação da malha, obtém-se o valor da corrente I que circula pelo circuito. Como estamos considerando que a resistência R_x é constante no tempo T , e que as propriedades físicas do resistor não se alteram com a corrente ou tensão aplicadas (isto é, não há variação térmica ou dependência de campo), a corrente obtida será válida para o período de análise. Com o valor da corrente conhecido, a Lei de Ohm pode ser empregada diretamente para determinar a queda de tensão no resistor R_x :

$$V_{R_x} = R_x \cdot I \quad (14)$$

Portanto, as Leis de Kirchhoff permitem a obtenção da corrente total do circuito ou malha específica, enquanto a Lei de Ohm permite o cálculo individualizado da tensão sobre cada resistor. A análise torna-se ainda mais relevante ao considerarmos o circuito funcionando em regime estacionário, em um instante de tempo T , onde todas as grandezas elétricas se mantêm constantes e não variam com o tempo, sendo, portanto, válidas as relações diretas entre corrente, tensão e resistência.

Como as resistências são consideradas invariáveis, não há necessidade de aplicar correções de temperatura ou efeitos de corrente elétrica intensa (não há efeito Joule significativo para alterar o valor de R_x). Isso simplifica a análise e torna a combinação entre as Leis de Kirchhoff e a Lei de Ohm uma ferramenta para a medição prática de quedas de tensão em circuitos resistivos. Além disso, a utilização desta

metodologia para medir a queda de tensão no caso de dispositivos como os resistores flexíveis, embora a resistência possa variar com a deformação, a técnica de análise por Kirchhoff e Ohm permanece válida para cada valor estático de R_x , correspondente a uma posição específica da luva. Portanto, a análise conjunta das Leis de Kirchhoff e da Lei de Ohm permite não apenas o entendimento teórico, mas também a aplicação prática na determinação de quedas de tensão.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste projeto tem como objetivo examinar as abordagens e práticas educacionais que utilizam a Lei de Ohm e o ensino de física em contextos de aprendizagem práticos e interativos, ou seja, que tenham como foco o aprendizado da lei de Ohm experimentação e a Educação. Neste contexto, a busca pela literatura existente, pode oferecer uma base sólida para compreender como a aplicação prática da teoria elétrica pode facilitar a compreensão dos conceitos fundamentais da física. Ao analisar estudos anteriores que abordam a utilização de tecnologias educacionais e experiências práticas no ensino da física, buscou-se identificar estratégias eficazes a serem incorporadas ao projeto. Essa revisão não apenas fundamentou as escolhas metodológicas do projeto, mas também serviu como referência para investigações de materiais que serviram como apoio.

A busca teve foco em cinco grandes plataformas de artigos científicos, teses e dissertações, o repositório da UFSC, o portal de periódicos da Capes, a plataforma SciELO, a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP e o Repositório Digital da UFRGS.

3.1 BUSCA NO REPOSITÓRIO DA UFSC

A busca teve início com o repositório da Universidade a qual pertence o curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), curso este para qual foi desenvolvida esta dissertação. Neste site a busca inicial foi feita com as palavras chaves Lei de Ohm mais filtro Educação, com poucos resultados apresentados, ampliamos, portanto, para uma busca somente pela palavra-chave Lei de Ohm, sem filtros, o que indicou 355 trabalhos, em seguida foi feita uma busca manual, através dos títulos e análise daqueles que de alguma forma poderiam contribuir com a proposta desta dissertação, segue uma breve descrição dos resultados:

3.1.1 Uma proposta de atividade experimental para o ensino da lei de Ohm

A dissertação de Spillere (2020) apresenta uma proposta de atividade experimental para o ensino da Lei de Ohm, destacando a importância de abordagens práticas no ensino de Física, especialmente no nível médio.

O trabalho enfatiza a complexidade de modelar fenômenos elétricos, dado que as cargas elétricas não são visíveis. Spillere realiza uma pesquisa sobre atividades experimentais na educação, revelando que poucos trabalhos oferecem abordagens práticas diretas da Lei de Ohm. Sua proposta inclui uma sequência de ações para professores, utilizando fios de NiCr e um sistema de medição de tensão e corrente, semelhante à abordagem deste projeto que visa construir uma luva controladora com resistores flexíveis. Essa dissertação ressalta a necessidade de experiências práticas para a compreensão efetiva da Lei de Ohm, alinhando-se à proposta de enriquecer o ensino através da construção de dispositivos interativos.

3.1.2 Modelo construtivista para criação de conhecimento em física

A dissertação de Silva (2001), intitulada "Modelo construtivista para criação de conhecimento em física", investiga a aplicação de um modelo pedagógico construtivista no ensino de Física, com foco especial em experimentos que envolvem a Lei de Ohm. O autor compara abordagens tradicionais e construtivistas em turmas de nível básico da Universidade de Fortaleza, identificando que a metodologia construtivista facilita uma compreensão mais profunda dos conceitos físicos e promove um engajamento mais significativo dos alunos.

Os resultados indicam que a integração entre teoria e prática é essencial para uma aprendizagem efetiva. O estudo reforça a importância de metodologias ativas na educação, sugerindo que a manipulação direta de materiais e conceitos pode resultar em um aprendizado mais duradouro e significativo.

3.1.3 Ilhas de racionalidade: o ensino de ciências através de projetos

A dissertação intitulada Ilhas de racionalidade: o ensino de Ciências através de projetos propõe uma abordagem pedagógica baseada na realização de projetos

como eixo central do processo de ensino-aprendizagem (SILVA, 2013). O conceito de "Ilhas de Racionalidade" busca aproximar o conteúdo teórico da realidade dos alunos, promovendo a alfabetização científica e técnica como ferramentas essenciais para formar cidadãos críticos e engajados.

Essa proposta dialoga com a necessidade de metodologias ativas que conectem teoria e prática, refletindo a importância de experiências dos alunos no processo de ensino-aprendizagem. Ao integrar projetos práticos, como aqueles que abordam conceitos fundamentais da eletricidade, a pesquisa contribui para um ensino mais dinâmico e relevante, que estimula a curiosidade e a compreensão profunda dos alunos, de acordo com a proposta desta pesquisa.

3.1.4 Modelização na formação inicial de professores de física

A dissertação de Machado (2009), intitulada "Modelização na formação inicial de professores de física", analisa a implementação do conceito de modelização no curso de licenciatura em Física da UFSC. A pesquisa investiga como futuros educadores compreendem e aplicam o conceito de modelo durante a construção de Projetos Temáticos. Através de uma análise qualitativa, os resultados destacam a diversidade de entendimentos sobre modelos científicos e a fragmentação na construção desses conhecimentos.

Este trabalho destaca a proposta de integrar teoria e prática no ensino de Física, evidenciando a relevância de metodologias que promovam um aprendizado ativo e significativo. Avalia também que a modelização, ao igualar conceitos físicos a experiências práticas, pode ser um componente essencial na formação de professores e na educação dos alunos, estimulando a curiosidade e a aplicação de teorias em contextos concretos. Apesar de não ter a proposta diretamente ligada ao ensino de lei de Ohm, esta dissertação serve como orientação nas análises dos resultados propostos.

3.2 BUSCA NO PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES

Para a pesquisa no Portal de Periódicos da Capes, foram utilizados filtros que abrangem os últimos dez anos, com foco na temática da Lei de Ohm. Inicialmente, a busca foi realizada com termos específicos relacionados à lei. Após a verificação dos

resultados, optou-se por uma pesquisa manual mais detalhada para identificar trabalhos que se assemelham à proposta deste projeto, visando enriquecer a revisão de literatura com estudos que abordam a integração de teoria e prática no ensino de Física, mais necessariamente na Lei de Ohm.

3.2.1 Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio

O artigo de Santos e Dickman (2018), intitulado "Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio," apresenta um roteiro de atividades para o ensino de eletricidade, incluindo a Lei de Ohm. O estudo investigou quatro estratégias didáticas diferentes em turmas do terceiro ano do ensino médio, envolvendo aulas expositivas, simulações virtuais e atividades experimentais. Os resultados demonstraram que as abordagens experimentais, tanto reais quanto virtuais, foram significativamente mais eficazes do que as aulas teóricas, evidenciando a importância de experiências práticas no ensino de conceitos eletrônicos.

O artigo reforça a relevância da aplicação prática dos conceitos de eletricidade no aprendizado. Ao integrar experiências práticas à teoria, a busca aumentar o engajamento dos alunos e facilitar a compreensão dos princípios fundamentais da eletricidade.

3.2.2 Lei de Ohm

O artigo de Ferreira (2015), intitulado "Lei de Ohm", discute os fundamentos da Lei de Ohm, enunciada por Georg Ohm em 1827, que estabelece a relação constante entre a diferença de potencial e a intensidade da corrente em um condutor metálico a temperatura fixa, destacando sua importância para o ensino da eletricidade e a compreensão de fenômenos elétricos.

Destaca-se neste trabalho a sua aplicação educacional, ao abordar a Lei de Ohm de maneira clara e didática, facilitando a compreensão de conceitos que podem ser explorados em contextos práticos. O autor explora a importância de compreender a relação entre tensão, corrente e resistência, fornecendo exemplos e contextos que facilitam o aprendizado. Além disso, a obra enfatiza a necessidade de uma abordagem

didática para ensinar esses conceitos fundamentais, destacando que a prática experimental pode ser uma ferramenta eficaz para a compreensão teórica, alinhando-se à proposta de desenvolver a luva controladora.

3.2.3 Laboratório virtual para o ensino da 1ª Lei de Ohm e associação de resistores

O artigo de Soares e Guerreiro (2020), intitulado "Laboratório virtual para o ensino da 1ª Lei de Ohm e associação de resistores", apresenta um aplicativo desenvolvido para simular experimentos relacionados à 1ª Lei de Ohm e à associação de resistores, visando o ensino de Física para alunos do ensino médio. Utilizando o software GeoGebra, o projeto busca aumentar a motivação dos professores e o engajamento dos estudantes, permitindo a exploração prática do conteúdo de forma virtual.

Além disso, o aplicativo é estruturado para que os docentes possam utilizar suas funcionalidades em sala de aula, promovendo uma abordagem interativa e atraente do tema, o que pode ser relevante para o desenvolvimento de projetos que buscam integrar a teoria à prática. Ambos os autores buscaram promover um ambiente de ensino mais interativo, utilizando o GeoGebra para facilitar o aprendizado prático. O foco deles está em proporcionar uma ferramenta digital acessível para motivar professores e engajar alunos no ensino de eletricidade, visando tornar o aprendizado mais ativo e dinâmico.

3.2.4 Abordagem da Lei de Ohm para Estudantes com Deficiência Visual no Ensino Superior

O artigo de Silva e Ribeiro (2021), tem grande destaque, mesmo não sendo o foco deste trabalho, pois trabalha com alunos do ensino superior, foi inserido por sua capacidade de inclusão. O artigo "Abordagem da Lei de Ohm para Estudantes com Deficiência Visual no Ensino Superior" discute uma proposta para abordar conteúdos de Eletricidade e Magnetismo em um curso de Engenharia da Computação, aplicada a um aluno cego. A pesquisa destaca métodos e materiais didáticos adaptados para aulas remotas durante a pandemia, permitindo a participação ativa do aluno, incluindo

a montagem de circuitos e o cálculo da resistência elétrica. Essa abordagem inovadora demonstrou ser eficaz para incluir estudantes com deficiência visual em práticas experimentais complexas. O artigo destaca a importância de uma abordagem inclusiva para o ensino da Lei de Ohm, adaptando métodos e materiais para atender estudantes com deficiência visual. Os autores desenvolveram estratégias específicas para permitir que um aluno cego pudesse participar das aulas de eletricidade e magnetismo, mesmo em um formato remoto.

Esse enfoque inclusivo traz uma outra perspectiva, que visa tornar o aprendizado da Lei de Ohm mais acessível e prático para todos os alunos, o que contribui para uma abordagem prática e tangível, podendo colaborar com as adaptações feitas para estudantes com deficiência visual. Reforçando a intenção de trazer experiências experimentais ao alcance de todos os alunos, cada um utilizando tecnologias apropriadas para suas necessidades específicas.

3.2.5 Aplicações da lei de Ohm para o ensino médio

Oliveira (2015), discute métodos práticos para ensinar a Lei de Ohm aos alunos do ensino médio. A proposta busca tornar o ensino da eletricidade mais acessível por meio de atividades práticas e experimentações, envolvendo os estudantes na aplicação direta dos conceitos teóricos. O artigo "Aplicações da lei de Ohm para o ensino médio" explora técnicas e estratégias que facilitam a compreensão dos conceitos fundamentais de eletricidade para estudantes, utilizando exemplos práticos e experimentações.

O autor sugere a utilização de experimentos simples que os alunos podem reproduzir com materiais acessíveis. Isso contribui para uma aprendizagem mais ativa e para a construção do conhecimento por meio de experiências concretas. Essas práticas não só facilitam a compreensão da Lei de Ohm, como também ajudam os estudantes a desenvolverem habilidades experimentais importantes para a sua formação científica.

3.2.6 Georg Simon Ohm

O artigo de Ribeiro (2014), intitulado "Georg Simon Ohm", apresenta uma visão histórica sobre o físico alemão e sua contribuição para a eletricidade, especialmente a formulação da Lei de Ohm. A publicação detalha como a descoberta de Ohm impactou o desenvolvimento de circuitos elétricos e a compreensão das relações entre corrente, resistência e voltagem.

A abordagem histórica e didática deste trabalho proporciona um contexto importante para o ensino da Lei de Ohm, destacando-se como um recurso útil na educação para facilitar o entendimento dos alunos sobre os fundamentos da eletricidade, semelhante ao projeto deste estudo. Além da visão histórica apresentada no artigo, este contexto pode ser utilizado como um ponto de partida inspirado, na forma de ensinar a Lei de Ohm de maneira prática e aplicada e que ao incorporar elementos históricos e o impacto das descobertas de Ohm no desenvolvimento tecnológico, pode-se enriquecer o ensino prático, gerando maior engajamento dos alunos ao verem a relevância do conteúdo.

3.2.7 Uso do geogebra na modelagem de gráficos de resistores ôhmicos para alunos de ensino médio

O artigo de Silva (2019), intitulado "Uso do GeoGebra na Modelagem de Gráficos de Resistores Ôhmicos para Alunos de Ensino Médio" aborda o uso do software GeoGebra como uma ferramenta para ensinar a modelagem de gráficos de resistores ôhmicos. A proposta visa promover a interdisciplinaridade entre Física e Matemática, incentivando os alunos a explorarem conceitos de resistência elétrica de uma forma visual e interativa. A utilização de ferramentas tecnológicas como o GeoGebra permite aos alunos relacionar os conceitos abstratos da física com representações gráficas concretas, facilitando a compreensão dos fenômenos envolvidos.

A autora destaca a importância de inserir tecnologias digitais no ambiente educacional, favorecendo não apenas o desenvolvimento cognitivo, mas também a inclusão digital e o estímulo à aprendizagem significativa. A abordagem se baseia na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, na qual os conhecimentos prévios dos estudantes são fundamentais para a construção de novos saberes. O uso do

GeoGebra, além de tornar as aulas mais dinâmicas, proporciona aos alunos uma compreensão mais profunda das relações entre tensão, corrente e resistência.

3.2.8 Uso de TIC's em circuitos de corrente contínua: proposta didática e avaliação

O artigo de Cavalcante (2015), intitulado "Uso de TIC's em circuitos de corrente contínua: proposta didática e avaliação" tem como objetivo explorar o impacto do uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino de circuitos elétricos, especialmente na aplicação prática da Lei de Ohm e na dedução da resistência equivalente. A pesquisa foi realizada com alunos de engenharia entre 2012 e 2013, e os resultados indicaram que, apesar de efeitos positivos na aprendizagem, um treinamento prévio no uso das TIC poderia ter melhorado ainda mais os resultados.

Além de abordar a relevância da aplicação prática da Lei de Ohm, o trabalho sugere que a integração de tecnologias pode enriquecer a experiência educacional. O foco em uma abordagem prática para o ensino de conceitos elétricos é um ponto de convergência com a proposta do meu projeto, que também busca tornar a aprendizagem da Lei de Ohm mais interativa e envolvente através da construção de um protótipo que utiliza resistores flexíveis. Devemos destacar o fato de que um conhecimento prévio poderia ter melhorado o resultado, o que reforça a importância de trabalharmos também conceitos paralelos a aplicação da lei de Ohm, como a programação básica e a robótica educacional.

3.3 BUSCA NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA USP

Nesta seção, será relatada a busca realizada na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo (USP), também com o intuito de identificar trabalhos acadêmicos que abordem a Lei de Ohm e se possível sua aplicação no ensino.

Porém, a pesquisa realizada neste repositório não revelou trabalhos específicos sobre a Lei de Ohm aplicada ao ensino médio, nem mesmo estudos focados unicamente na Lei de Ohm. Para ter certeza de que a busca estava sendo feita corretamente, e que o site estava em pleno funcionamento, foi submetido buscas sobre trabalhos relacionados a mecânica e a óptica, tendo como resposta 4852 e 3182

trabalhos, respectivamente. A ausência de trabalhos específicos sobre a Lei de Ohm aplicada ao ensino médio, contrastando com a expressiva quantidade de estudos em mecânica e óptica, evidencia uma diferença no foco das pesquisas disponíveis. Esse pode indicar que, enquanto certas áreas da física recebem maior atenção em investigações educacionais, outras, como a Lei de Ohm, ainda carecem de estudos que aprofundem sua abordagem no contexto escolar.

3.4 BUSCA NO REPOSITÓRIO LUME DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)

Nesta seção, será explanada a busca feita no repositório Lume da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com o objetivo de identificar trabalhos acadêmicos relacionados à Lei de Ohm e sua aplicação no ensino. O objetivo também foi encontrar dissertações e teses que contribuam para a fundamentação teórica da proposta de projeto, essa investigação permitiu uma análise crítica do estado atual da pesquisa sobre o tema e sua relevância no contexto educacional.

Neste repositório a busca por trabalhos relacionados a lei de Ohm foi bem abrangente, para convergir para a proposta desta dissertação foi feita uma busca manual, e destacou-se 33 trabalhos com maior semelhança. Após leitura, 5 destes foram salvos, analisados e utilizados no contexto deste trabalho, os que iremos mencionar nos itens a seguir.

3.4.1 Ensino das Leis de Ohm à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa

O trabalho de Nunes (2021), intitulado “Ensino das Leis de Ohm à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa”, foi elaborado sob orientação de Araujo na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A pesquisa aborda experiências didáticas que visam melhorar a compreensão das leis de Ohm, utilizando a Teoria da Aprendizagem Significativa como fundamento. O estudo é relevante para a formação de professores de Física e para a prática pedagógica, focando em metodologias que incentivam a construção do conhecimento.

A pesquisa enfatiza a importância da abordagem prática no ensino das leis de Ohm, permitindo que os alunos experimentem e relacionem teorias à prática. Essa

conexão entre teoria e prática é fundamental para a retenção do conhecimento e para a formação de conceitos científicos robustos. Ao promover experiências significativas, o trabalho contribui para a melhoria do ensino de Física no ensino médio, com uma perspectiva que pode ser aplicada em projetos inovadores. Esse estudo tem relação com o projeto proposto, pois ambos visam aprimorar a compreensão da Lei de Ohm através de metodologias que favorecem a aprendizagem ativa e significativa.

3.4.2 Desenvolvimento de uma metodologia para o ensino das leis de Kirchhoff e Ohm em aulas práticas de física

O trabalho de Soares (2021), intitulado “Desenvolvimento de uma metodologia para o ensino das leis de Kirchhoff e Ohm em aulas práticas de Física”, propõe uma abordagem didática inovadora, focada no uso de experimentos práticos para o ensino dessas leis. A pesquisa se baseia em experiências que buscam conectar teoria e prática, visando um aprendizado mais significativo e contextualizado. O estudo destaca a importância da experimentação como ferramenta para o ensino de conceitos fundamentais da eletricidade.

O estudo de Tiago do Amaral Soares enfatiza a necessidade de metodologias que integrem o ensino teórico à prática, promovendo a compreensão profunda das leis de Kirchhoff e Ohm. A pesquisa revela que a prática laboratorial é essencial para despertar o interesse dos alunos e para facilitar a assimilação de conceitos complexos. Além disso, a investigação destaca o impacto positivo que um ensino mais experimental pode ter na motivação dos estudantes em Física. O projeto não apenas facilita a compreensão teórica, mas também engaja os alunos em atividades práticas que promovem a aprendizagem significativa. Dessa forma, reforça a importância de estratégias inovadoras no ensino de conceitos elétricos, contribuindo para um aprendizado mais efetivo e motivador.

3.4.3 Utilizando equipamentos domésticos para compreender a associação de resistores e Efeito Joule

O trabalho de Silva (2022), intitulado “Utilizando equipamentos domésticos para compreender a associação de resistores e Efeito Joule”, realizado no contexto

do Estágio de Docência III, apresenta a construção e aplicação de uma unidade didática para alunos do terceiro ano do Colégio de Aplicação da UFRGS. A pesquisa utiliza eletrodomésticos e objetos cotidianos como ferramentas de ensino, mostrando a Física em um contexto próximo da realidade dos alunos, em vez de se limitar a teorias abstratas.

Destaca-se no trabalho que essa abordagem prática não apenas facilita a compreensão de conceitos fundamentais, como a associação de resistores e o Efeito Joule, mas também incentiva o engajamento dos alunos, que veem a relevância da Física em seu dia a dia. A metodologia proposta demonstra que é possível ensinar de forma significativa, utilizando materiais familiares para os estudantes.

3.4.4 A importância das medidas em física: um olhar sobre a prática pedagógica

A pesquisa de Steffens (2013) aborda como as medições em Física podem ser aprimoradas por meio de práticas pedagógicas eficazes, destacando a necessidade de um ensino que promova a experimentação. O autor sugere que ao integrar medições no processo educativo, é possível não apenas reforçar conceitos teóricos, mas também engajar os alunos em uma aprendizagem mais ativa e contextualizada.

Além disso, as metodologias propostas por Steffens podem ser aplicadas à construção de atividades que utilizam a Lei de Ohm em contextos reais. De acordo com sua proposta, observa-se o uso de materiais do cotidiano, o que facilita a compreensão dos conceitos elétricos. De acordo com sua abordagem, os alunos puderam visualizar diretamente a relação entre a teoria da eletricidade e a prática, aumentando seu interesse e compreensão.

3.4.5 Oficina de robótica no ensino médio como metodologia de construção de conhecimentos de ciências exatas

A dissertação de Libardoni (2020), intitulada “Oficina de robótica no ensino médio como metodologia de construção de conhecimentos de ciências exatas”, investiga como a robótica pode servir como ferramenta pedagógica para o ensino de

Física e Matemática no ensino médio. O trabalho destaca que as oficinas de robótica não apenas facilitam a aprendizagem dos conceitos teóricos, mas também promovem o desenvolvimento de habilidades práticas. A dissertação de Gláucio destaca a importância da robótica como uma metodologia inovadora para o ensino de ciências exatas, enfatizando que a prática lúdica e a construção de projetos favorecem a assimilação dos conteúdos. Essa abordagem permite que os alunos desenvolvam habilidades técnicas e criativas, preparando-os para os desafios contemporâneos. O trabalho de Libardoni demonstra também a relevância de integrar a robótica no currículo escolar da educação básica.

Estes foram os trabalhos encontrados no repositório Lume da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que, juntos enriqueceram, cada um no seu aspecto, o desenvolvimento deste trabalho.

3.5 BUSCA NA PLATAFORMA SCIELO

Este foi o último repositório consultado para a revisão de literatura da dissertação, permitindo uma visão abrangente sobre os estudos relacionados à Lei de Ohm e sua aplicação no ensino. A busca na SciELO complementou as investigações anteriores, realizadas em outras plataformas, contribuindo para uma compreensão mais ampla das metodologias e práticas pedagógicas relacionadas e lei de Ohm. A busca focou na identificação de trabalhos relacionados à Lei de Ohm no contexto educacional, visando compreender como a teoria pode ser aplicada de maneira prática.

A busca revelou poucos trabalhos relacionados a Lei de Ohm neste repositório, nenhum deles no contexto direto desta dissertação, porém um, por suas particularidades distintas dos demais encontrados nas outras plataformas, teve destaque e foi utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

3.5.1 Hands-on classroom experiments to study the characteristics of an electric generator (voltaic cell) and receiver (voltameter) using simple, low-cost and easy-access materials

O artigo de Oliveira e Paixão (2021) explora a implementação de experimentos práticos em sala de aula, projetados para estudar as características de

geradores elétricos e voltímetros. Os autores destacam a importância do aprendizado ativo, onde os alunos interagem diretamente com os materiais, promovendo uma melhor compreensão dos conceitos elétricos.

Além disso, os experimentos propostos são acessíveis, permitindo que escolas com recursos limitados também possam implementar tais atividades. A metodologia enfatiza o uso de materiais simples e de baixo custo, o que não só facilita a execução dos experimentos, mas também encoraja a criatividade dos alunos na resolução de problemas práticos. A pesquisa aponta que essa abordagem prática contribui para uma aprendizagem mais significativa, pois os alunos podem observar diretamente os efeitos das teorias que estudam.

O estudo investigou as dificuldades enfrentadas por alunos portugueses no ensino experimental da Física, propondo soluções através do desenvolvimento de kits experimentais de diferentes complexidades. O artigo apresenta uma experiência, embora simples, focando na construção de um voltâmetro por alunos com materiais acessíveis, aplicável em sala de aula.

Além disso, são fornecidas sugestões metodológicas para professores, junto com os resultados obtidos nos grupos experimental e de controle, evidenciando a eficácia das intervenções propostas. A relação deste artigo com a proposta de minha dissertação é clara, pois ambos defendem a importância de uma educação prática, especialmente no que diz respeito ao ensino de Física.

3.6 RESUMO DOS TRABALHOS ENCONTRADOS E UTILIZADOS

A seguir, apresenta-se uma tabela que organiza e resume os resultados obtidos durante a busca de trabalhos acadêmicos utilizados para compor esta revisão de literatura. A tabela tem como objetivo sintetizar as informações coletadas, evidenciando as áreas pesquisadas, a quantidade de estudos encontrados e sua relevância para a análise proposta neste estudo.

Tabela 1- Análise de artigos encontrados para revisão bibliográfica

Periódico	Trabalhos encontrados	Trabalhos utilizados
Repositório da UFSC	355	4
Periódicos da CAPES	52	9
Biblioteca USP	0	0
Repositório LUME	33	5
Plataforma SCIELO	5	1
Total	445	19

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Todo este material foi utilizado na produção, tanto do produto educacional, que está alinhado a esta dissertação, como nela mesmo, servindo a todo momento para delinear, recalcular rotas e atividades, sanar dúvidas, nortear os próximos passos, além de trazerem enorme segurança no que estava sendo produzido e aplicado. Finaliza-se esta seção com a frase de um ícone da física "A ciência não é um empreendimento solitário, mas sim o resultado do esforço coletivo e da construção conjunta do conhecimento" (EINSTEIN, [s.d.]).

4 METODOLOGIA DE ENSINO

Nesta seção, abordaremos os fundamentos teóricos que sustentam a metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho. A escolha desta metodologia visa proporcionar aos alunos do terceiro ano do ensino médio uma experiência de aprendizagem significativa e crítica, capaz de unir teoria e prática de forma integrada. Aprender lei de Ohm utilizando uma luva controladora e um protótipo robótico não apenas permite a aplicação de conceitos científicos, como a Lei de Ohm no funcionamento dos sensores, mas também promove um ambiente de ensino no qual os alunos se tornam protagonistas do seu próprio processo de aprendizagem. Para apoiar esse objetivo, utilizaremos a teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica proposta por Marco Antonio Moreira, bem como os fundamentos epistemológicos de Paul Feyerabend, que oferecem uma base para uma prática pedagógica mais aberta e contextualizada.

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica, conforme desenvolvida por Marco Antonio Moreira, é um alicerce fundamental desta pesquisa, pois enfatiza a necessidade de os alunos atribuírem significado aos conceitos trabalhados em sala de aula. Esta abordagem vai além da simples memorização de informações, defendendo que o conhecimento se torna verdadeiramente significativo quando se conecta a experiências prévias ao contexto do estudante. O envolvimento dos alunos em todas as etapas de construção do protótipo faz com que eles possam relacionar lei de Ohm a uma aplicação prática e concreta, favorecendo um aprendizado mais profundo e engajador. A abordagem crítica também traz a reflexão sobre o impacto e as implicações das tecnologias, incentivando os alunos a questionarem o papel da robótica e da automação em nossa sociedade, o que contribui para uma aprendizagem não apenas técnica, mas também social e crítica.

Paralelamente, a epistemologia do conhecimento de Paul Feyerabend é utilizada para embasar a flexibilidade necessária no desenvolvimento deste projeto. Feyerabend argumenta que o processo de construção do conhecimento não deve se limitar a metodologias rígidas e que, muitas vezes, o avanço científico se dá através da quebra de paradigmas estabelecidos e da incorporação de novas abordagens que desafiam o status quo. A aplicação desta epistemologia ao contexto educacional permite que os alunos sejam incentivados a explorar diferentes caminhos e métodos na construção da luva e da garra robótica, sem medo de errar ou de experimentar.

Esta liberdade contribui para um ambiente de aprendizado mais criativo e inovador, onde o erro faz parte do processo de descoberta e a diversidade de pensamentos é valorizada.

Ao integrar a teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica de Moreira e a epistemologia pluralista de Feyerabend, a metodologia de ensino proposta neste trabalho busca promover uma experiência educativa transformadora. Aprender sobre a lei de Ohm através da construção da luva controladora e da garra robótica de palitos não é apenas uma atividade prática, mas uma oportunidade de os alunos experimentarem o papel da física e da tecnologia em suas vidas de forma ativa e reflexiva. Ao trabalharem em um projeto que envolve desde conceitos teóricos até a aplicação prática, os alunos têm a chance de ver como o conhecimento se transforma em ação e como diferentes abordagens teóricas e práticas se complementam para enriquecer o processo de aprendizagem. Essa metodologia não só aumenta a motivação dos estudantes, mas também contribui para o desenvolvimento de competências críticas, colaborativas e criativas, fundamentais para sua formação integral.

4.1 EPSTEMOLOGIA DO CONHECIMENTO

Faremos agora uma reflexão sobre a natureza, o ser humano e suas relações, o método sobre como estes se relacionam, será que não há método que melhor estabeleça, ou, que pelo menos explique está estreita relação entre mente humana e natureza? Afinal a física, no seu mais íntimo objetivo, busca desvendar, explicar e porque não prever os fenômenos dos quais chamamos de naturais. Com base na epistemologia de Paul Feyerabend, que foi um dos maiores revolucionários na concepção da antiga e nova forma de se fazer ciência, defendida pelos mais diversos filósofos da ciência.

Como já esboçamos, a física tem como premissa compreender a natureza para que o ser humano possa usufruir da mesma da melhor maneira possível, para tanto, faz-se necessário compreendê-la de forma acessível e explorar todas as possibilidades que o conhecimento científico possa propiciar. “A ciência é um empreendimento essencialmente anárquico: o anarquismo teórico é mais humano.” (Feyerabend, Paul, 1977, p. 17). Como afirma Feyerabend, nada mais justo de que, se os conhecimentos sobre a natureza serão aproveitados por todos os seres

humanos, que tenhamos métodos, ou quem sabe ausência de métodos, de se fazer ciência natural, que possa possibilitar com que todos da sociedade tenham possibilidade de usufruir, melhorar e até mesmo criar do zero novos conhecimentos científicos.

Devemos ter cuidado, pois as afirmações anteriores podem surtir com o mesmo efeito do qual o anarquismo epistemológico de Feyerabend causa no meio relativo as ciências, em especial, as ciências naturais. Pois quando se fala em não ter regras, não se quer dizer que qualquer pessoa, totalmente despretensiosa e sem preparo algum consiga obter os mesmos resultados. É extremamente necessário a seriedade, quando se busca produzir conhecimento, boas escolas, universidades, etc. O que não se pode é impor regras que limitem e impossibilitem pessoas de contribuírem para a construção de novos conhecimentos e aperfeiçoamento dos que já estão satisfatoriamente estabelecidos. Afinal, as pessoas serão as mais beneficiadas com as descobertas e domínios científicos, todos então podem ser estrelas principais nesta constante estruturação do saber.

Toda forma de se chegar ao conhecimento é bem-vinda, esta sim deve ser a real tradução do que defende Feyerabend: “O único princípio que não inibe o progresso é: tudo vale.” (Feyerabend, Paul, 1977, p. 19). Assim podemos reforçar a importância de se propiciar aos educandos, além de aulas teóricas sobre conceitos já bem estabelecidos, para o momento que vivemos, que possam também literalmente “meter a mão na massa” e abrir o leque de oportunidades, tanto profissionais, como empreendedoras e de pesquisa. Na construção da luva controladora estamos praticando o que defende Feyerabend, pois a ciência pode vir de qualquer lugar, não menosprezando os ambientes educacionais é claro, mas no sentido de que até mesmo um aluno que não tenha interesse ou aptidão pela física, seja ela teórica ou experimental, possa participar do processo. Afinal até mesmo alguns filósofos da ciência contrários, e porque não dizer antiquados, defendem que o método científico, se existir um, pode partir do observador. E quem melhor seria um observador do que pessoas, que mesmo sem pretensão, acabam contribuindo para novas descobertas.

Ao aplicar o projeto com um braço robótico didático, pretende-se explorar ao máximo a capacidade de “valer tudo” para se obter melhorias e novos conhecimentos científicos. Alunos que pretendem cursar áreas inicialmente desconexas das ciências aqui discutidas, como futuros artistas, advogados, agricultores, etc. podem então

contribuir com seu olhar neutro e que visa apenas tirar proveito dos conhecimentos estudados, como enfatiza Feyerabend:

Esse conflito corresponde, ainda, a um primeiro passo na tentativa de identificar princípios implícitos em noções observacionais comuns." Assim reflete-se a possibilidade de que todos educando e educadores envolvidos no projeto proposto possam contribuir de alguma forma, toda contribuição vale, "tudo vale. (Feyerabend, Paul, 1977, p. 77).

Ao aplicar o projeto com o braço robótico didático, busca-se explorar ao máximo a capacidade do "vale tudo", conforme descrito por Feyerabend, para encorajar os alunos a desafiar as convenções e experimentar novas ideias, levando ao surgimento de melhorias e novos conhecimentos científicos. Essa abordagem permite que todos os envolvidos, independentemente de sua afinidade com as ciências exatas, possam contribuir para o desenvolvimento do projeto. Feyerabend (1977, p. 77) afirma: "Esse conflito corresponde, ainda, a um primeiro passo na tentativa de identificar princípios implícitos em noções observacionais comuns", indicando que a diversidade de perspectivas e experiências enriquece o processo de construção do conhecimento.

Além do pluralismo defendido em *Contra o Método*, Feyerabend também aborda em *Adeus à Razão* a importância de múltiplas abordagens no processo de construção do conhecimento, reforçando que a ciência não é o único meio válido para entender a realidade (FEYERABEND, 1977; 1987). Ele argumenta: "a diversidade de teorias e métodos é necessária não só para o desenvolvimento do conhecimento, mas também para o desenvolvimento das pessoas envolvidas" (FEYERABEND, 1987, p. 214). Essa perspectiva é extremamente pertinente para o contexto educacional do projeto da luva controladora, uma vez que permite que os alunos desenvolvam habilidades e competências de maneira mais integrada e adaptada às suas próprias formas de ver o mundo. Assim, os alunos são incentivados a explorar suas curiosidades e a contribuir de formas diversas para o sucesso do projeto, utilizando o conhecimento científico em diálogo com outras áreas do saber.

Essa visão pluralista é especialmente relevante ao considerar a participação de alunos com interesses diversos, como futuros artistas, advogados ou agricultores, cujas contribuições podem ser fundamentais para enriquecer o aprendizado coletivo. Para Feyerabend (1977), a ciência não é uma entidade fechada, mas um campo de ação aberto a múltiplas influências e abordagens. Essa abertura cria um ambiente no qual a curiosidade e o questionamento se tornam a base para a descoberta,

proporcionando um espaço onde a criatividade e a inovação são constantemente incentivadas, mesmo por aqueles que não pretendem seguir carreira na área científica.

Portanto, o projeto de aprendizagem sobre a lei de Ohm através da luva controladora e do braço robótico não se limitam ao ensino da teoria científica convencional, mas busca incorporar a participação ativa e criativa de todos os envolvidos, com base na ideia de que “tudo vale” (FEYERABEND, 1977, p. 19). A contribuição de cada aluno, independentemente de sua formação ou interesse, é valorizada, e o papel do professor é guiar, sem impor limites rígidos, o processo de aprendizagem. Assim, o conhecimento emerge de uma verdadeira interação entre teoria, prática e a diversidade de perspectivas, cumprindo a visão de Feyerabend de uma ciência que é, ao mesmo tempo, inclusiva e transformadora.

4.2 TEORIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica, proposta por Marco Antonio Moreira, é um marco importante na área da educação, especialmente no contexto do ensino que mescla teoria, experimentação e prática. Esta seção explora os principais fundamentos e contribuições da teoria de Moreira para a compreensão e aprimoramento dos processos de ensino e aprendizagem, destacando seus conceitos-chave e sua aplicabilidade na prática educacional, como no exemplo deste projeto.

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica, de Marco Antonio Moreira, estabelece que o conhecimento se torna verdadeiramente significativo quando o aluno é capaz de relacioná-lo a experiências reais e prévias, promovendo um aprendizado contextualizado e transformador. Segundo Moreira (2011, p. 25), "a aprendizagem significativa crítica vai além da construção de significados; envolve a construção de significados que permitam a transformação da realidade do estudante". Nesse sentido, o projeto que busca ensinar lei de Ohm através da luva controladora e da garra robótica didática, torna-se uma aplicação tangível dessa teoria, pois possibilita que os alunos relacionem conceitos abstratos de física, como a Lei de Ohm, com as situações concretas e aplicáveis. Essa conexão entre teoria, experimentação e prática permite que os estudantes se envolvam de maneira mais profunda e crítica, proporcionando uma aprendizagem significativa que ultrapassa a simples

memorização e se converte em uma ferramenta para transformar a sua própria realidade.

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica se baseia no construtivismo, que defende que o conhecimento é construído ativamente pelo aprendiz, em contraposição a ser transmitido passivamente por um professor. De acordo com Moreira (2012), a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é incorporado ao já existente na estrutura cognitiva do estudante, estabelecendo relações relevantes e lógicas entre eles. O autor também enfatiza a importância dos conceitos de ancoragem e de conflito cognitivo. A ancoragem refere-se à ligação dos novos conteúdos com os já existentes na mente do estudante, tornando-os mais coerentes e integrados. Por outro lado, o conflito cognitivo surge quando há discrepâncias entre o conhecimento prévio do aluno e as novas informações, desencadeando um processo de reflexão e reestruturação cognitiva. Nas palavras de Moreira (2012)

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva. (MOREIRA, 2012, p. 63).

Para que a aprendizagem significativa crítica ocorra, Moreira destaca que os conteúdos devem ser apresentados de forma relevante e contextualizada, conectando-se com a experiência de vida do aluno, tornando-os mais significativos. O professor deve agir de forma intencional ao selecionar os conteúdos e ao criar situações de ensino que estimulem a aprendizagem significativa. A teoria sempre valoriza a flexibilidade do processo de ensino, permitindo que o estudante construa seu próprio conhecimento de acordo com suas características individuais. Por fim, a aprendizagem deve ser contextualizada e aplicada a situações que envolvam o mundo real, possibilitando ao aluno perceber sua relevância e utilidade. “A essência do processo da aprendizagem significativa está, portanto, no relacionamento não-arbitrário e substantivo de ideias simbolicamente expressas a algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do sujeito” (MOREIRA et al, 1997, p. 02, 23).

As contribuições da teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira são abrangentes e impactam diretamente a prática educacional, como por exemplo, podemos citar que a teoria favorece o uso de

metodologias ativas de ensino, nas quais o estudante é colocado no centro do processo educacional, estimulando a participação ativa, a reflexão e o diálogo. A teoria também valoriza a diversidade de saberes e experiências dos estudantes, tornando a educação mais inclusiva e respeitando suas individualidades.

Além disso, Moreira (2013, p. 48) enfatiza que “a educação deve ser um espaço de construção coletiva, onde todos têm voz e a diversidade de saberes é reconhecida e valorizada”. Essa visão reforça novamente a importância de metodologias ativas que promovem a participação de todos os alunos, independentemente de suas origens e experiências prévias. No contexto deste projeto, essa abordagem se torna crucial, pois permite que cada aluno traga suas próprias perspectivas e conhecimentos para o processo de aprendizado, contribuindo assim para um ambiente educacional mais dinâmico e colaborativo. A ênfase na construção coletiva do conhecimento e na valorização das experiências individuais transforma a sala de aula em um verdadeiro laboratório de ideias, onde a interação entre os alunos e a prática científica se tornam fundamentais para o desenvolvimento de um aprendizado significativo e transformador.

Um conceito-chave na teoria de Marco Antonio Moreira é o de subsunção. O termo subsunção é fundamental para entender como ocorre o processo de aprendizagem significativa, uma vez que está relacionado à organização da estrutura cognitiva do indivíduo e ao estabelecimento de relações entre os conceitos.

Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012, p. 52).

No contexto do ensino de Física, esses conceitos assumem uma relevância particular. O ensino muitas vezes pode ser desafiador, pois envolve conceitos abstratos e complexos. No entanto, a utilização dos subsunções pode ser uma estratégia eficaz para promover a compreensão significativa dos fenômenos físicos pelos alunos. Ao introduzir novos conceitos em Física, é fundamental relacioná-los aos subsunções dos alunos, isso facilita a assimilação do novo conhecimento, permitindo que os estudantes estabeleçam conexões relevantes com o que já sabem. Neste sentido, Moreira (2011, p. 37) ressalta que “a aprendizagem é mais eficaz quando os novos conceitos são ancorados em conhecimentos prévios”. Essa

abordagem é especialmente pertinente no ensino de Física, onde muitos alunos enfrentam dificuldades ao lidarem com abstrações e teorias complexas. Ao utilizar os subsunçores como uma ferramenta pedagógica, os educadores podem ajudar os estudantes a transformar essas abstrações em algo tangível e compreensível. Por exemplo, ao conectar conceitos de eletricidade à experiência prática de construir uma luva controladora, os alunos não apenas assimilam novas informações, mas também conseguem visualizar e aplicar esses conceitos em situações reais. Isso não só facilita a aprendizagem, tendo como “base” os subsunçores, mas também aumenta o engajamento dos alunos, consolidando e transformando cada momento em aprendizado significativo e crítico, como afirmado por Moreira (2011, p. 55), “o ensino deve ser uma prática que desafie os alunos a pensar criticamente e a construir seu próprio conhecimento”.

Na aplicação deste trabalho, para estudar a Lei de Ohm podemos utilizar de subsunçores para tornar o conceito mais acessível e significativo. Nesse caso, pode-se recorrer ao uso de subsunçores baseados em resistências elétricas presentes em objetos comuns do cotidiano, como lâmpadas incandescentes, chuveiros elétricos, chaleiras elétricas e outros dispositivos. O primeiro passo é a identificação de subsunçores relevantes, como por exemplo uma chaleira elétrica, que utiliza resistência elétrica para gerar calor e aquecer a água. Uma vez identificado os subsunçores, pode ser realizada uma contextualização desse objeto, destacando como eles são utilizados no dia a dia e qual a função de sua resistência. O primeiro passo é a identificação de subsunçores relevantes, como, por exemplo, uma chaleira elétrica, que utiliza resistência elétrica para gerar calor e aquecer a água. Esse objeto cotidiano, presente na maioria dos lares, permite que os alunos estabeleçam uma conexão imediata com o conceito de resistência elétrica, tornando-o mais acessível e compreensível. Como enfatiza Moreira (2011, p. 45), “os subsunçores devem ser elementos que façam parte do cotidiano dos alunos, facilitando a construção de novos conhecimentos.” Uma vez identificados os subsunçores, pode ser realizada uma contextualização desse objeto, destacando não apenas como ele é utilizado no dia a dia, mas também explorando a função de sua resistência. Essa exploração pode incluir discussões sobre a eficiência energética, a conversão de energia elétrica em térmica e a importância da resistência elétrica em outros dispositivos eletrônicos. Assim, a chaleira elétrica se transforma em uma ponte para o entendimento de

conceitos fundamentais da Física, possibilitando que os alunos relacionem teoria e prática de forma significativa.

Podemos também explorar subsunçores baseados em analogias, como um brinquedo aquático comum em parques: o toboágua com uma piscina. Um toboágua onde as pessoas escorregam de uma altura até caírem na piscina, nesse contexto, altura do toboágua pode ser associada à diferença de potencial elétrico (V), pois representa a energia disponível para mover algo de um ponto a outro. Quanto maior a altura, maior a energia que cada pessoa tem ao deslizar. O fluxo de pessoas escorregando por unidade de tempo pode ser relacionado à corrente elétrica. Se muitas pessoas descem continuamente, temos um fluxo intenso, assim como uma corrente elétrica elevada indica um grande número de cargas passando por um condutor. Quando as pessoas chegam na piscina, sua velocidade muda devido ao impacto com a água, um fenômeno que pode ser associado à resistência elétrica. Se a piscina for rasa e com água densa, a desaceleração será maior (maior resistência); se for mais profunda e fluida, a desaceleração será menor (menor resistência).

Essa abordagem não só facilita a assimilação do novo conhecimento, no caso a Lei de Ohm, mas também motiva os estudantes a refletirem sobre o papel da física em suas vidas cotidianas, fortalecendo seu interesse pela disciplina, porém, antes de abordar a Lei de Ohm propriamente dita, deve ser feita uma introdução aos conceitos básicos necessários para o entendimento do tema. Os conceitos de tensão elétrica (V), corrente elétrica (I) e resistência elétrica (R) devem ser apresentados aos alunos de forma clara e acessível. Com os conceitos básicos estabelecidos, a relação dos subsunçores com a Lei de Ohm será introduzida quase que automaticamente. Explica-se como a Lei de Ohm descreve a relação entre a tensão, a corrente elétrica e a resistência em um circuito elétrico, e como isso se aplica aos objetos do cotidiano que possuem resistências elétricas. Estuda-se também como a variação da tensão elétrica afeta a corrente elétrica que passa pela resistência do dispositivo, proporcionando uma aplicação concreta e prática da Lei de Ohm.

Segunda a teoria de ensino, para consolidar o aprendizado, poderá ser realizado experimentos práticos com os objetos que possuem resistências elétricas, assim, os alunos terão a oportunidade de medir a resistência de uma chaleira ou de um chuveiro elétrico com a ajuda de um multímetro. Através dessas experiências, é possível observar, de forma qualitativa, a transformação da energia elétrica em energia térmica. O experimento não apenas ilustra a aplicabilidade da lei, como

também permite aos alunos perceberem como ela se relaciona com a conversão de energia elétrica em calor por meio do Efeito Joule. Essa abordagem qualitativa contribui para enriquecer a compreensão das interações fundamentais entre eletricidade e calor.

Ao analisar a lei de Ohm no contexto da chaleira elétrica, torna-se evidente como esses três parâmetros estão intrinsecamente conectados. A voltagem selecionada afeta diretamente a corrente elétrica que percorre a resistência, que é o elemento de aquecimento, dessa forma, a fórmula $V = R \times i$ transcende sua simplicidade matemática, tornando-se um guia prático para entender como a voltagem, a resistência e a corrente se entrelaçam para operar um dispositivo tão comum e essencial em nosso cotidiano.

O ensino da Lei de Ohm, a partir de subsunçores baseados em resistências elétricas, utilizando a abordagem de aprendizagem significativa crítica, torna o ensino mais eficaz e envolvente para os alunos. A contextualização dos subsunçores torna o aprendizado mais relevante, permitindo que os alunos relacionem os novos conceitos com o que já sabiam em sua vida cotidiana. Portanto, o uso de subsunçores possibilita uma compreensão mais profunda e aplicável dos princípios elétricos, como o exemplo da lei de Ohm em suas vidas diárias. Progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável mais diferenciado, mais rico em significados, podendo cada vez mais facilitar novas aprendizagens. (MOREIRA, 2012).

Não se almeja, utilizando esta teoria de ensino aprendizagem, que o aluno jamais esqueça o que aprendeu no projeto, mas sim que ele possa reter o máximo, através da significação do que aprendeu, podendo assim reconstruir o que aprendeu mais facilmente, assim que necessário em sua vida acadêmica ou profissional. “Portanto, aprendizagem significativa não é, como se possa pensar, aquela que o indivíduo nunca esquece. A assimilação obliteradora é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total. (MOREIRA, 2012).

Ao enfatizar a relevância e a conexão entre os conteúdos e a experiência dos estudantes, a teoria oferece um caminho promissor para a aplicação deste trabalho, colocando-os como agentes ativos da sua aprendizagem. A abordagem significativa pode promover o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico, criativo e reflexivo, preparando os alunos para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea, seja na sua vida acadêmica ou profissional, habilidades que poderá

melhorar através das provocações e desafios que irá sofrer durante o desenvolvimento do projeto.

Ademais, a identificação e a contextualização de subsunçores não apenas facilitam a compreensão dos conceitos físicos, mas também promovem uma aprendizagem que se conecta com a realidade dos alunos. Moreira (2012, p. 63) afirma que “a educação deve promover a articulação entre o conhecimento teórico e a prática social”, destacando a importância de um ensino que transcende o ambiente escolar e se insere na vida cotidiana dos estudantes. Essa articulação é crucial para que os alunos percebam a relevância das aulas do produto educacional, reforcem a importância da física em suas experiências diárias, aumentando a motivação e o interesse pelo objeto de estudo.

Importante também que, ao integrar subsunçores e práticas pedagógicas inovadoras, durante aplicação do produto, cria-se um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e dinâmico. Segundo Moreira (2013, p. 92), “o papel do educador é estimular o protagonismo dos alunos, incentivando-os a explorar, questionar e construir seu próprio conhecimento.” Dessa forma, a aplicação de conceitos de física através de objetos do cotidiano, como a chaleira elétrica, e posteriormente a luva controladora, não só fortalece a aprendizagem significativa, mas também prepara os alunos para se tornarem agentes ativos em suas próprias trajetórias de conhecimento, engajando-os em um processo de aprendizado contínuo e crítico.

5 METODOLOGIA

Durante a sequência, pretende-se abordar os conceitos teóricos da Lei de Ohm no desenvolvimento de uma luva controladora, que irá utilizar um resistor flexível para imitar os movimentos da mão de um controlador humano para uma garra robótica, feitas de palitos pelos alunos do projeto. Analisaremos, através de questionários, de forma quantitativa, e engajamento, motivação e interação como indícios qualitativos dos alunos da turma, intitulada turma A, em contraposição com uma turma que não participará do projeto intitulada de turma B.

5.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A física, embora fundamental para a compreensão do mundo que nos cerca, muitas vezes se apresenta aos estudantes como um conjunto de fórmulas e teorias abstratas, distantes da realidade, o que na maioria dos casos resulta num aprendizado mecânico (MOREIRA, 2011). Essa desconexão entre teoria e prática pode contribuir para a falta de interesse e engajamento dos estudantes, impactando negativamente na sua formação como cidadão, que está imerso em uma sociedade altamente tecnológica. Moreira (2011, p. 2) afirma que “o ensino tradicional, frequentemente desvinculado da realidade dos estudantes, tende a gerar aprendizagens mecânicas e descontextualizadas, resultando em desinteresse e dificuldades na aplicação dos conceitos científicos no cotidiano.”

Para romper esse ciclo e tornar o aprendizado da Lei de Ohm mais significativo, propomos uma abordagem que integra a robótica educacional ao ensino dos conceitos básicos sobre circuitos elétricos. A robótica, com seu caráter prático e interativo, oferece um contexto concreto para a aplicação desses conceitos, permitindo que os alunos experimentem e manipulem grandezas físicas que tradicionalmente são abordadas unicamente de forma teórica. Além disso, de acordo com Ribeiro (RIBEIRO, 2006), a robótica educacional estimula o desenvolvimento de habilidades como imaginação, criatividade, raciocínio lógico, resolução de problemas e trabalho em equipe, que são essenciais para o sucesso no século XXI. Essas mesmas habilidades também estão previstas no rol de competências a serem desenvolvidas segundo os parâmetros da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018).

Nesta proposta, os alunos constroem uma luva destinada a controlar os movimentos de uma garra robótica, a partir do uso de um sensor flexível. Durante o desenvolvimento, foram realizadas uma série de atividades, tanto teóricas como experimentais, onde explorou-se a relação entre resistência, corrente e tensão. Por meio da experimentação e do embasamento teórico, foi possível verificar a relação linear entre essas grandezas físicas, que constitui a Lei de Ohm. Por fim verificaram como estes conceitos podem ser utilizadas com o objetivo de controlar o movimento da garra robótica.

Reforça-se que, desde uma perspectiva pedagógica, esta abordagem está em consonância com a teoria da aprendizagem significativa crítica. Moreira (2011) argumenta que, ao integrar o conhecimento novo ao que os alunos já conhecem, promove-se uma compreensão mais profunda e duradoura. Assim, a prática educativa deve estimular a participação ativa dos estudantes, permitindo que eles se tornem protagonistas em seu processo de aprendizagem, desenvolvendo não apenas habilidades cognitivas, mas também a capacidade de refletir criticamente sobre o que aprendem.

Em suma, o objetivo do produto educacional foi propor uma sequência didática de dez aulas, que utilizaram a robótica educacional (o controle do braço robótico por uma luva com um sensor flexível) para discutir os conceitos físicos relacionados com a Lei de Ohm e, como consequência, despertar nos alunos o interesse pelos conteúdos explorados.

5.2 PANORAMA GERAL DAS DEZ AULAS DESENVOLVIDAS

Nesta seção, será apresentado um panorama geral das dez aulas desenvolvidas ao longo da implementação do produto educacional, disponível no Apêndice 1, que visa discutir a lei de Ohm através da construção de uma luva controladora com resistores flexíveis, capaz de controlar uma garra robótica. Cada aula foi planejada de maneira a integrar na sua sequência teoria e prática, permitindo que os alunos do terceiro ano do ensino médio não apenas compreendessem os conceitos fundamentais da Física, mas fossem construindo passo a passo os conhecimentos, e por fim, aplicaram em um contexto real e significativo. A proposta metodológica, fundamentada nas teorias de aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira e na epistemologia de Paul Feyerabend, enfatizou a

importância da participação ativa dos alunos e da contextualização dos conteúdos, utilizando subsunçores do cotidiano.

O produto educacional foi implementado na turma "3ª série 01" entre 13 de março e 28 de abril de 2025. A unidade escolar solicitou que permanecessem a sequência das avaliações tradicionais S1 (Somativa 01), S2 (Somativa 02), F1 (Formativa 01) e P1 (Processual 01), a fim de assegurar uniformidade de avaliação entre as turmas do terceiro ano. Portanto, a participação dos alunos nos questionários do produto foi facultativa, tanto para os alunos que participaram do produto educacional como para os que não participaram, mas também responderam, contribuindo para a análise da aplicação do mesmo.

Apesar da participação facultativa, boa parte dos alunos respondeu aos questionários. Esses dados foram fundamentais para analisar e comparar o desempenho das turmas "3ª série 01" e "3ª série 02". Os alunos que se dispuseram a responder e participaram do produto educacional passaram a ser denominados turma A, ou turma experimental, os alunos que toparam responder os questionários, mas não haviam participado das aulas do produto educacional, foram denominados turma B, ou de controle.

As aulas foram desenvolvidas de forma sequencial e interligada no Itinerário Formativo denominado "Aprofundamento em Física", no qual o autor atua como professor efetivo na unidade educacional. Cada aula foi estruturada para promover a reflexão crítica, o diálogo e a colaboração entre os alunos, favorecendo um ambiente de aprendizado inclusivo e dinâmico. Na seção a seguir, detalham-se as atividades realizadas, oferecendo uma visão abrangente do processo educativo voltado para o aprendizado da Lei de Ohm, que culminou na construção de uma luva controladora e de uma garra robótica feita com palitos.

5.2.1 Primeira aula: descobrindo a lei de ohm, como a física controla uma garra robótica

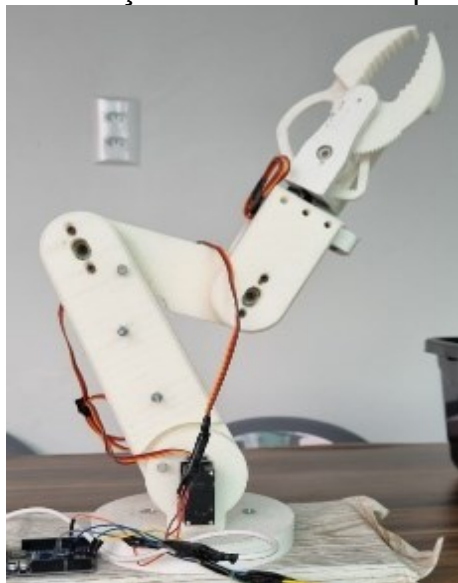
No primeiro encontro, a aula iniciou com uma saudação e apresentação do projeto do professor aos alunos. Durante esse período, alguns alunos manifestaram curiosidade sobre o mestrado, levantando questões como: "É muito difícil?", "Estuda-se física quântica?" e "Por que fazer um mestrado?". Em seguida, foi promovida uma discussão sobre a importância da eletricidade na sociedade moderna, incentivando os

alunos a compartilharem suas experiências com dispositivos que utilizam resistência elétrica, como chuveiros, secadores de cabelo e carregadores de celular.

O professor explicou o objetivo do projeto: estudar a Lei de Ohm por meio do desenvolvimento de uma luva com resistor flexível, capaz de reproduzir os movimentos da mão humana para controlar uma garra robótica. Para contextualizar, foi exibido um vídeo sobre a utilização de braços robóticos na indústria automobilística, mais especificamente na linha de montagem do Volkswagen Up. O vídeo mostrou como os robôs industriais desempenham funções precisas e repetitivas, auxiliando na montagem de peças e garantindo eficiência e segurança na produção. Após a exibição, o professor instigou os alunos a refletirem sobre a importância da física no funcionamento desses equipamentos, abordando conceitos como força, movimento, sensores e circuitos elétricos. Alguns alunos compartilharam exemplos de tecnologias robóticas presentes no cotidiano, como assistentes virtuais, veículos autônomos e braços robóticos utilizados em cirurgias médicas.

Na sequência, como o professor já possuía uma luva controladora pronta e um braço robótico impresso em 3D (Figura 1), vestiu a luva e demonstrou seu funcionamento, abrindo e fechando a mão para movimentar a garra robótica. Essa abordagem teve o objetivo de aguçar a curiosidade e despertar o interesse dos alunos para o aprendizado da Lei de Ohm. Sem explicações imediatas, os alunos foram incentivados a descrever e teorizar sobre o funcionamento do sistema.

Figura 1- Braço robótico utilizado pelo autor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Na sequência da aula, a discussão foi direcionada para a relação entre a eletricidade e o funcionamento da luva. A Lei de Ohm foi apresentada, com a equação fundamental ($V = R \times I$) escrita no quadro. Os conceitos de tensão, corrente e resistência foram explicados detalhadamente, relacionando-os ao projeto. Foi enfatizada a relação linear entre tensão, corrente e resistência. Os alunos discutiram e compararam circuitos com diferentes resistências para reforçar a ideia de que a resistência limita a corrente elétrica. Exemplos numéricos foram utilizados para demonstrar a aplicação da Lei de Ohm.

A seguir o professor desenhou um gráfico tensão x corrente, mostrando a linearidade da Lei de Ohm para resistores ôhmicos. Também foi explicado o conceito de coeficiente angular da reta e sua relação com a resistência elétrica.

A aula foi concluída relacionando a teoria com a luva controladora, destacando como a variação da resistência do resistor flexível afeta o funcionamento da garra robótica. Os alunos foram informados de que, nas próximas aulas, aprofundariam seu entendimento sobre resistores e suas aplicações. Foi aplicado um questionário com perguntas sobre a variação da resistência no resistor flexível e sua influência no controle da garra robótica, incentivando os alunos a fazerem conexões com outras tecnologias do cotidiano (Figura 2).

Figura 2 - Alunos respondendo ao primeiro questionário do projeto



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

5.2.2 Aula 02: experimento de verificação da lei de ohm

A segunda aula iniciou com uma contextualização sobre a eletricidade em nosso cotidiano, destacando exemplos como raios durante tempestades e o uso de tomadas e pilhas. Os alunos foram instigados a refletir sobre o conceito de volts e a relação com a energia elétrica, comparando fontes de diferentes tensões. Utilizando a metáfora de uma montanha-russa, o professor explicou a diferença entre uma fonte de 220V e outra de 1,5V, destacando o impacto da tensão na movimentação dos elétrons e sua conversão em energia cinética. Os alunos participaram ativamente, compartilhando seus entendimentos prévios e fazendo conexões com dispositivos elétricos que utilizam no dia a dia.

Em seguida, foi introduzido o conceito de resistência elétrica, explicando como os elétrons perdem energia ao interagir com os átomos do material condutor, causando o aquecimento do fio. A Lei de Ohm foi apresentada como uma relação matemática que descreve essa interação de forma linear, com a fórmula $V=R \times I$. Para tornar o conceito mais concreto, foi proposto um experimento prático utilizando grafite como condutor. O professor explicou que o grafite é um material condutor e que seria possível verificar a Lei de Ohm através de uma faixa desenhada com lápis 8B sobre uma folha de papel A4.

Os alunos então iniciaram a montagem do experimento, desenhando uma faixa de aproximadamente 5mm de largura e 13 cm de comprimento com lápis 8B. Continuaram delimitando com faixas perpendiculares nas extremidades do comprimento, para que as medidas fossem feitas sempre no mesmo local (Figura 3).

Figura 2 - Faixa desenhada com lápis 8B de 5 mm de largura.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O professor orientou para que a faixa fosse bem marcada e uniforme, garantindo a consistência do material depositado. Após a preparação, os estudantes

conectaram os cabos do multímetro e da fonte de tensão conforme as instruções, garantindo que o circuito estivesse corretamente montado.

Conforme ilustrado na Figura 4, realizou-se a primeira medição de corrente e tensão, registrando os valores na tabela da sequência didática correspondente a esta aula. A tensão foi medida com o multímetro preto na posição de tensão contínua (20V) e a corrente foi medida com o multímetro azul, disponibilizado pela escola, na posição de microamperes (2000 μA).

Figura 4 - Aluno medindo corrente e tensão na faixa desenhada com lápis 8B



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A atividade prosseguiu com os alunos ajustando a tensão da fonte para diferentes valores e registrando os resultados correspondentes de corrente elétrica. Conforme os dados eram coletados, o professor auxiliava na interpretação dos resultados e incentivava os alunos a identificarem padrões. Ao final da coleta de dados, os alunos construíram um gráfico de corrente em função da tensão aplicada, observando a linearidade da relação, característica de um resistor ôhmico. A partir da inclinação da reta obtida, calcularam a resistência da faixa de grafite.

Para reforçar o aprendizado, foi realizada uma comparação entre a resistência medida graficamente e a obtida diretamente pelo multímetro, analisando possíveis discrepâncias e fatores que poderiam influenciar a diferença nos valores. Os alunos discutiram como a tonalidade da faixa de grafite poderia afetar a resistência, refletindo sobre como um lápis de numeração diferente poderia alterar os resultados. Debateram também como a posição e a pressão da ponteira do multímetro sobre a faixa de grafite

poderia afetar os resultados. O professor estimulou a reflexão sobre a relação entre esse experimento e o resistor flexível utilizado na demonstração anterior, ajudando os alunos a estabelecerem conexões entre os conceitos.

A aula foi finalizada com um questionário (Figura 5), onde os alunos responderam questões sobre a relação entre tensão e corrente, a influência da resistência e a comparação de resultados entre colegas.

Figura 5 - Questionário preenchido pela aluna 01 no final da aula 2

• Meça o valor da resistência da faixa de grafite colocando cada terminal do multímetro em cada um dos extremos da faixa de grafite

• Responda ao questionário a seguir com base nos conteúdos teóricos e na atividade experimental realizada na aula de hoje. Caso surjam dúvidas, solicite a orientação do professor

Questionário

1. Qual o valor da resistência medida a partir do gráfico

R: $134388\Omega (\cong 134k\Omega)$

2. Qual o valor da resistência medida a partir do multímetro? os valores foram semelhantes ou muito diferentes?

R: $137,8K\Omega$, bem próximo

3. Que informação interessante podemos obter a partir da forma do gráfico da corrente em função da tensão. Por exemplo, se a tensão aplicada for V1 a corrente obtida seria I1, se duplicamos a tensão aplicada que valor de corrente esperamos obter, e se V1 for triplicada, qual seria a corrente?

R: São proporcionais. Na prática seriam bem próximos do dobro e do triplo. Nos cálculos, exatamente.

4. Compare os valores obtidos por você com os valores obtidos com seu colega(s), analise o resultado(s) dele(s) em comparação com o seu por exemplo, a faixa de grafite dele(s) é mais escura ou mais clara que a sua e como isso afeta o valor de resistência obtida?

R: A cor do grafite não mudou muito, mas como ficou o preenchimento sim, mas mudou muito pouco o valor

5. A partir do resultado anterior, será que se utilizamos lápis de outra numeração alteraria o resultado, por exemplo 6B que é mais claro?

R: Acho que depende de como preencher a faixa, se apertar mais ou menos

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Durante essa etapa final da aula, os estudantes foram incentivados pelo professor atribuírem sentido ao que aprenderam. O professor acompanhou de perto

essa etapa, orientando os alunos na interpretação dos dados e na formulação de argumentos baseados nos conceitos abordados, permitindo que os alunos relacionassem os resultados adquiridos com os conceitos da Lei de Ohm.

5.2.3 Aula 03: explorando o efeito joule, da teoria à prática experimental

A terceira aula iniciou com uma contextualização sobre o aquecimento de fios e dispositivos elétricos no cotidiano, levando os alunos a refletirem sobre exemplos como chuveiros, ferros de passar e carregadores de celular. O professor questionou se esse aquecimento seria um problema ou uma vantagem, incentivando a participação dos estudantes na formulação de hipóteses. Foi introduzido o conceito de Efeito Joule, explicando que a transformação de energia elétrica em calor ocorre devido às colisões entre os elétrons e os átomos do condutor. Para facilitar a compreensão, foi utilizada a metáfora de pessoas andando por um corredor estreito, representando os elétrons colidindo e gerando calor à medida que a corrente aumenta.

No quadro, o professor apresentou a equação da potência elétrica, $P=I \times U$, e demonstrou sua relação com a Lei de Ohm por meio da substituição algébrica da tensão ($U=R \times I$), resultando na expressão $P=I^2 \times R$. Os alunos foram incentivados a interpretar como o aumento da corrente influencia diretamente a dissipação de calor e a relacionar esse fenômeno com situações práticas, como a queima de fios por sobrecarga. Para reforçar a abordagem conceitual, foram exibidas imagens de dispositivos elétricos que utilizam o Efeito Joule, como chuveiros, secadores de cabelo e lâmpadas incandescentes. Durante essa etapa, discutiu-se como o calor gerado pode ser útil ou prejudicial, dependendo do contexto e do material empregado no circuito.

Após a explicação teórica, os alunos participaram da montagem experimental para observar o Efeito Joule na prática (Figura 6).

Figura 6 - Aluno preparando o grafite do lápis para o experimento do efeito Joule



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Destaca-se, nesta etapa, a dificuldade apresentada pelos alunos em expor o grafite do lápis sem danificá-lo, o que exigiu cuidado e atenção. Ressalta-se também o tempo considerável demandado para a conclusão da tarefa, bem como a sujeira gerada durante a realização da atividade.

Na sequência, utilizando o lápis com o grafite exposto, conectado a uma fonte de alimentação regulável de 0 a 12V (Figura 7), os estudantes acompanharam a evolução do aquecimento do material em diferentes tensões. Inicialmente, com baixa tensão, não havia mudanças visíveis.

Figura 7 - Montagem do experimento para observação do efeito joule



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Conforme a tensão aumentava, os alunos notaram que o grafite começava a esquentar, chegando à incandescência e, em valores mais altos, provocando a combustão da madeira ao redor. Durante o experimento, o professor destacou como

a resistência do grafite influenciava na dissipação de energia elétrica em calor e a importância do dimensionamento adequado de fios e componentes para evitar acidentes elétricos.

Ao término do experimento, foi realizada uma discussão guiada para relacionar os conceitos explorados com o cotidiano e os riscos associados ao Efeito Joule descontrolado. Os alunos refletiram sobre as consequências de curtos-circuitos, a necessidade de isolamento térmico em circuitos elétricos e os cuidados na escolha de materiais condutores para evitar superaquecimentos. O professor reforçou como o conhecimento adquirido pode ser aplicado na interpretação do funcionamento de dispositivos elétricos e na segurança ao lidar com equipamentos do dia a dia. A aula foi finalizada com um debate sobre a importância do controle do Efeito Joule, e como ele está presente nos dispositivos elétricos ao seu redor, refletindo sobre a física das resistências que há por trás de seu funcionamento.

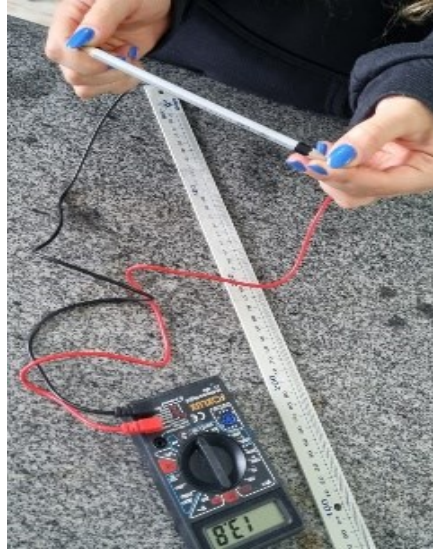
5.2.4 Aula 4: a influência dos parâmetros dos materiais na resistência elétrica

A quarta aula teve como foco a influência dos parâmetros dos materiais na resistência elétrica. O objetivo principal foi explorar como o comprimento, a largura e a resistividade de um material afetam diretamente sua resistência, reforçando os conceitos da Lei de Ohm. Para tornar essa abordagem mais prática e palpável, realizamos um experimento no qual os alunos mediram a resistência elétrica de lápis de diferentes tipos, especificamente os modelos 2B e 6B, utilizando um multímetro. A atividade possibilitou observar como a composição do grafite influencia o comportamento elétrico do condutor.

Iniciamos a aula com uma revisão teórica sobre a resistência elétrica e sua relação com as propriedades físicas do material. Os alunos participaram ativamente, trazendo exemplos do cotidiano, como fios elétricos e componentes eletrônicos. Foi abordado a equação da resistência $R = \rho (L/A)$, onde ρ representa a resistividade do material, L é o comprimento do condutor e A é a área de sua seção transversal. Durante essa parte da aula, fizemos analogias com sistemas hidráulicos para facilitar a compreensão, comparando a corrente elétrica ao fluxo de água em tubos de diferentes diâmetros e comprimentos.

Após a exposição teórica, os alunos iniciaram a medição da resistência elétrica dos lápis, utilizando diferentes escalas do multímetro. Começaram fazendo as medidas sem utilizar ajuda de nenhum tipo de suporte, apenas as mãos (Figura 8).

Figura 8 - Aluna medindo resistência do lápis sem suporte adequado



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O objetivo inicial das medições era fazer com que os alunos percebessem como o manuseio inadequado do instrumento, do lápis ou das ponteiros poderia comprometer os resultados, ocasionando oscilações e imprecisões nas medições. A montagem do suporte estava prevista no roteiro da aula, porém os alunos julgaram desnecessário, tendo que comprovarem na prática seu equívoco. Após concluírem por si só a importância de montar um suporte que auxiliasse na tarefa, começamos pela montagem de um suporte orientado pelo roteiro (Figura 9).

Figura 9 - Suporte para medições confeccionado pelos alunos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O suporte foi feito de arame e garras de jacaré. Reforçamos que embora seja possível realizar medições sem um suporte, sua preparação garantiu maior segurança e precisão durante as medições, especialmente quando realizadas pelos alunos, considerando sua inexperiência no manuseio do multímetro.

Após a montagem do suporte, os alunos receberam os materiais necessários: lápis 2B e 6B, um multímetro, garras jacaré, régua, paquímetro e suporte de fixação. Antes de iniciar as medições, discutimos a importância da precisão nas anotações e a necessidade de padronizar os pontos de contato das ponteiros do multímetro com o lápis, para garantir consistência nos resultados. Cada grupo seguiu o procedimento proposto, começando pela medição do comprimento do grafite exposto e do diâmetro do mesmo, utilizando o paquímetro para maior exatidão. Os valores foram registrados na tabela disponibilizada no roteiro desta aula (Figura 10)

Figura 10 - Tabela de anotações dos parâmetros dos lápis sendo preenchida pelo aluno 07

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (QuiloOhms)	Medida 03 (MegaOhms)
Lápis 2B	0,2	13	38	0,04	0
Lápis 6B	0,2	12	33	0,03	0

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Área (m ²)	Comprimento (m)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (Ohms)	Medida 03 (Ohms)
Lápis 2B					
Lápis 6B					
Resistividade ρ (rho) do lápis 2B ($\Omega \cdot m$)					
Resistividade ρ (rho) do lápis 6B ($\Omega \cdot m$)					

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Os alunos realizaram a medição da resistência elétrica dos lápis em diferentes escalas do multímetro: Ohms, Quilo-Ohms e Mega-Ohms. Durante essa etapa, foi possível perceber variações nos valores entre os lápis, evidenciando que a resistência elétrica é diretamente afetada pela composição do grafite. O lápis 6B, apresentou menor resistência elétrica em comparação ao lápis 2B, fato que os alunos puderam comprovar por meio dos valores registrados.

Com os dados coletados, os grupos foram orientados a calcular a resistividade elétrica dos lápis, aplicando a equação $\rho = R(A/L)$. Esse momento foi fundamental para consolidar a compreensão dos conceitos apresentados na primeira parte da aula. Os alunos tiveram que converter as unidades para o Sistema Internacional antes de realizarem os cálculos. A discussão dos resultados levou a uma reflexão sobre a escolha de materiais condutores na eletrônica, comparando a resistividade do grafite com a de materiais como cobre e alumínio, amplamente utilizados na fabricação de fios elétricos.

Finalizamos a aula com uma análise dos resultados e a resolução de um questionário para reforçar os conceitos abordados. Os alunos discutiram sobre qual lápis apresentava menor resistividade e justificaram suas respostas com base na composição do material. Os cálculos realizados, juntamente com as respostas ao

questionário, encerraram a aula com o objetivo de promover uma compreensão mais aprofundada sobre a resistência elétrica e os parâmetros que influenciam seu valor. Além disso, os alunos fizeram conexões entre a resistência dos lápis e a resistência de elementos do dia a dia, como chuveiros elétricos. Por fim, relacionamos o experimento com o resistor flexível utilizado na luva controladora do projeto desenvolvido ao longo das aulas, destacando como a resistência do material pode variar conforme sua deformação.

5.2.5 Aula 5: exploração experimental das associações de resistores em série e paralelo

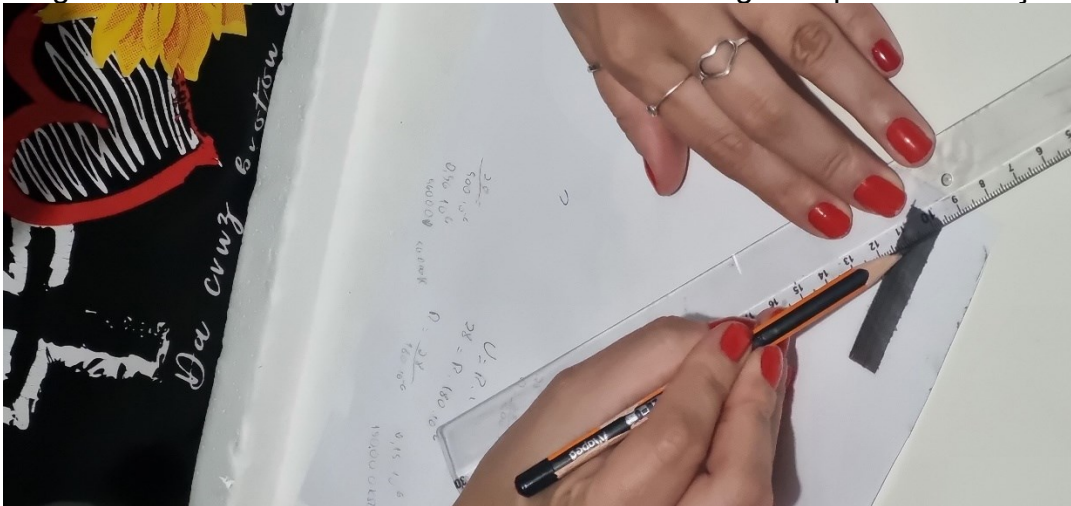
A quinta aula foi dedicada à exploração experimental das associações de resistores em série e paralelo, proporcionando aos alunos uma experiência prática para compreender o comportamento da resistência elétrica em diferentes configurações de circuitos. O objetivo principal foi permitir que os alunos construíssem seus próprios resistores utilizando grafite de lápis sobre papel e, em seguida, realizassem medições elétricas para analisar como a resistência total do circuito varia de acordo com a disposição dos resistores.

Com certeza esta foi uma das etapas mais desafiadoras, o desenvolvimento dos resistores demorou bem mais do que o planejado, além disso, os resistores são muito sensíveis, tem que ser manipulados com muito cuidado e atenção. O ideal seria disponibilizar uma aula apenas para a confecção dos materiais e outra para as medições das associações.

Apesar dos atrasos a aula seguiu com o objetivo de compreender, inicialmente de forma prática, o comportamento físico das associações de resistências e, posteriormente, aprofundar-se na teoria que fundamenta esse fenômeno, foi relembando conceitos fundamentais sobre resistência elétrica e sua relação com a associação de resistores. Para ativar o conhecimento prévio, foi proposto questões instigantes, como: "O que acontece com a resistência total quando adicionamos mais resistores?", "Como a corrente elétrica se comporta em diferentes configurações?" e "Quais motivos podem levar ao uso de múltiplos resistores em um circuito?". Essas perguntas estimularam a curiosidade e prepararam os alunos para a parte experimental.

A etapa prática começou com a confecção dos resistores de papel. Utilizando folhas de sulfite, lápis grafite 8B, régua e multímetros, os alunos desenharam cinco faixas retangulares de 5 cm de comprimento por 1 cm de largura, que foram completamente preenchidas com grafite (Figura 11).

Figura 11 - Aluna confeccionando resistências de grafite para associação



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A importância da espessura e uniformidade da camada de grafite foi destacada, garantindo a padronização dos resistores. Em seguida, os resistores foram recortados e tiveram suas resistências medidas individualmente com o multímetro, ajustado para a escala de 200 k Ω . Caso os valores estivessem fora da faixa esperada (entre 45 k Ω e 55 k Ω), os alunos reforçavam a pintura, ajustavam a largura ou o comprimento dos resistores ou, em último caso refaziam os que fossem necessários.

Após a construção e calibração dos resistores, passamos à montagem da configuração em série. Utilizando garras jacaré, os alunos conectaram os resistores de forma que a extremidade de um estivesse ligada à extremidade do próximo, formando um único caminho para a corrente elétrica, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Conexão dos resistores em série



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Com o multímetro, com ponteiros constituídas de garras de jacaré na extremidade, os alunos mediram a resistência total do circuito e compararam com os valores individuais, observando que a resistência equivalente em série corresponde à soma das resistências individuais (Figura 13).

Figura 13 - Tabela de anotações das associações de resistores

RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE	
	Valor da resistência em $k\Omega$
Resistor 01	56 $k\Omega$
Resistor 02	47 $k\Omega$
Resistor 03	53 $k\Omega$
Resistor 04	47 $k\Omega$
Resistor 05	47 $k\Omega$
Associação de Resistores em Série	
	Valor da resistência da associação em $k\Omega$
Cinco resistores em série	264 $k\Omega$
Quatro resistores em série	220 $k\Omega$
Três resistores em série	170 $k\Omega$
Dois resistores em série	110 $k\Omega$
Medição de tensão e corrente nos resistores	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Em seguida, os alunos realizaram medições de tensão em cada resistor, verificando que a soma das quedas de tensão nos resistores era aproximadamente igual à tensão total aplicada pela fonte. Os alunos investigaram também o comportamento da corrente elétrica no circuito em série. Para isso, ajustaram o

multímetro para a escala de miliamperes e mediram a corrente em diferentes pontos do circuito, comprovando que a corrente elétrica se mantém constante em toda a associação em série. Todos os resultados foram registrados nas tabelas disponibilizadas no roteiro da aula, que foi elaborado cuidadosamente para orientar os alunos na realização dos experimentos das associações da forma mais adequada possível.

A segunda parte da aula foi dedicada à montagem dos resistores em paralelo. Os alunos posicionaram os resistores lado a lado, conectando todas as extremidades esquerdas a um terminal da fonte de tensão e todas as extremidades direitas ao outro terminal, observe a montagem na Figura 14:

Figura 14 - Resistores conectados com ligação em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Antes de ligar a fonte, utilizaram o multímetro para medir a resistência total da associação, observando que, diferentemente da configuração em série, a resistência equivalente em paralelo era menor do que a menor resistência individual.

Ao realizar medições de tensão em cada resistor da associação em paralelo, os alunos notaram que a tensão era a mesma em todos os resistores, independentemente da quantidade utilizada. Já na medição da corrente, verificaram que a corrente total do circuito era aproximadamente a soma das correntes individuais que passavam por cada resistor, demonstrando outra característica essencial da associação em paralelo. Também foi discutida a discrepância observada na soma das correntes medidas, que não correspondeu exatamente à corrente total do circuito.

Essa diferença pode ser atribuída a dissipações nas próprias resistências, bem como a perdas associadas ao multímetro e a outros acessórios de medição.

Para encerrar a aula, os alunos responderam ao questionário, disponível na sequência do roteiro da aula, e em seguida promovemos uma discussão comparativa entre as duas configurações. Os alunos analisaram as diferenças na resistência total, na distribuição da tensão e na corrente elétrica em circuitos série e paralelo. Além disso, refletiram sobre aplicações práticas dessas associações, como no funcionamento de circuitos elétricos residenciais e dispositivos eletrônicos. Através das medições realizadas e das observações feitas, discutiram sobre a influência da disposição dos resistores no comportamento do circuito.

5.2.6 Aula 6: resistores em série e paralelo, conceitos e aplicações das Leis de Kirchhoff

Nesta aula, buscou-se aprofundar a compreensão dos alunos acerca das associações de resistores e das Leis de Kirchhoff, fundamentais para a análise de circuitos elétricos mais complexos, como os que possuem mais de uma resistência. O ponto de partida foi a retomada dos conceitos explorados na atividade prática anterior, em que os estudantes haviam construído resistores utilizando grafite sobre papel. A proposta foi desenvolver uma articulação entre a prática e a teoria, favorecendo a consolidação dos conhecimentos a partir da experimentação. Com o objetivo de aprofundar ainda mais a compreensão dos conceitos abordados, utilizou-se a simulação computacional por meio de um simulador de circuitos disponível na plataforma PhET Interactive Simulations, da Universidade do Colorado.

A aula iniciou-se com perguntas direcionadas para ativar o conhecimento prévio dos alunos. As questões abordaram o comportamento do grafite como material condutor, as alterações na resistência quando os elementos foram associados em série ou paralelo e os desafios enfrentados nas medições durante a prática anterior. Essa etapa teve a função de contextualizar os novos conteúdos a partir da experiência vivenciada, promovendo uma transição natural para a abordagem teórica.

Em seguida, o professor introduziu formalmente o conceito de resistores em série, utilizando uma analogia cotidiana para tornar a explicação mais acessível: a de uma sequência de lâmpadas que, ao terem uma única unidade queimada, interrompem o funcionamento de todo o circuito. Essa analogia favoreceu a

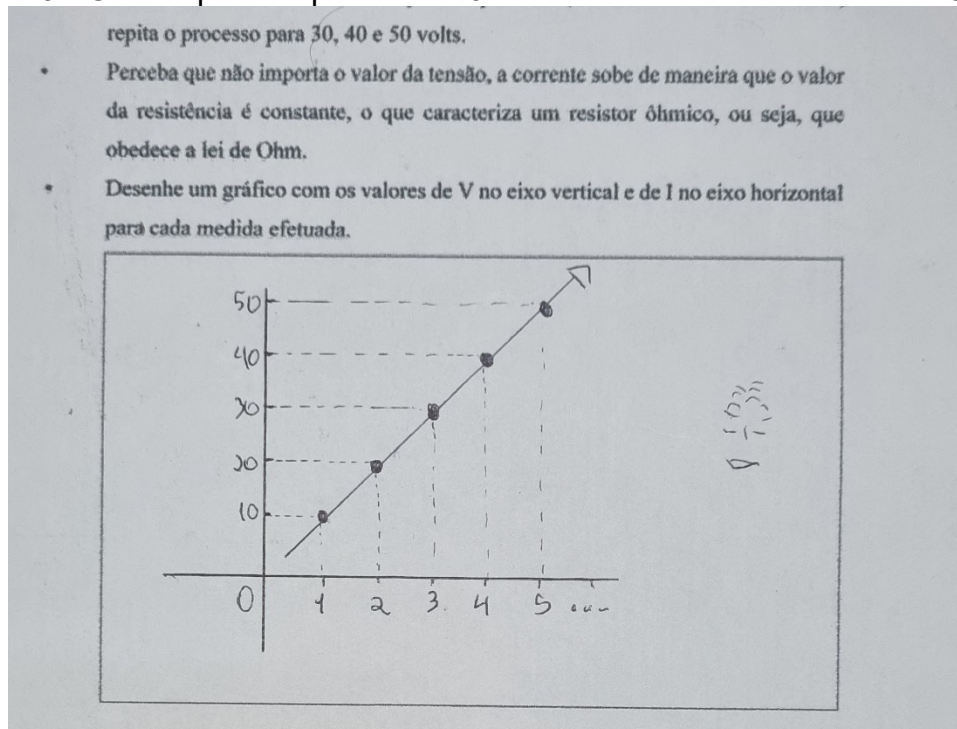
compreensão intuitiva do caminho da corrente elétrica em uma associação em série. Um circuito simples com dois resistores foi desenhado no quadro, e os conceitos de resistência equivalente, distribuição de tensão e conservação da corrente foram explorados.

Para reforçar o raciocínio, o professor aplicou a Lei de Ohm para mostrar que a corrente elétrica é a mesma em todos os resistores da associação, e que a tensão total da fonte se distribui proporcionalmente às resistências individuais. A fórmula da resistência equivalente para resistores em série, $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$, que foi discutida e justificada com base na linearidade da relação entre tensão e corrente. Essa abordagem permitiu aos alunos compreender que, em série, os resistores agem como se fossem um único resistor de valor equivalente à soma das resistências.

Posteriormente, a aula se voltou para os circuitos com resistores em paralelo. O ponto de partida foi uma indagação do cotidiano: “Por que, quando uma lâmpada queima em casa, as demais continuam funcionando normalmente?”. A partir dessa provocação, os alunos foram levados a refletir sobre o fato de que, na associação em paralelo, há mais de um caminho para a corrente elétrica circular. Um novo circuito foi desenhado, desta vez com três resistores em paralelo. Nesse momento, o professor introduziu a Lei dos Nós (primeira Lei de Kirchhoff), explicando que a corrente elétrica que entra em um nó (ponto de ramificação) é igual à soma das correntes que dele saem. A fórmula da resistência equivalente para resistores em paralelo, $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$. A fórmula foi apresentada e discutida com exemplos numéricos.

A seguir, os alunos foram apresentados a parte computacional da aula, realizada com o auxílio do simulador PhET – Circuit Construction Kit: DC, recurso tecnológico que pode ser utilizado no ensino de Física por sua interatividade e representação visual intuitiva. A primeira tarefa proposta foi a construção de um circuito com dois resistores em série. Os alunos mediram a corrente elétrica com o amperímetro virtual e observaram como ela permanecia constante em todos os pontos do circuito. Foram orientados a variar a tensão da fonte (10 V, 20 V, 30 V, 40 V, 50 V) e registrar os valores de corrente obtidos em cada caso, mantendo os resistores constantes. Com os dados em mãos, os alunos construíram gráficos de tensão versus corrente e discutiram sua linearidade, reforçando o comportamento ôhmico dos resistores (Figura 15).

Figura 15 - Gráfico plotado pelo aluno 3 com os dados do Simulador de Circuitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Em seguida, os alunos montaram circuitos com resistores em paralelo, utilizando valores de $5\ \Omega$ e $10\ \Omega$. A proposta era verificar que, ao contrário da associação em série, a tensão em todos os resistores era a mesma, e que a corrente se dividia entre os ramos de maneira inversamente proporcional à resistência. Essa atividade permitiu aos alunos observar, na prática, que o ramo com menor resistência conduzia maior corrente, conclusão compatível com os modelos teóricos.

Na etapa final, os alunos montaram utilizando tablets, um circuito misto no simulador (Figura 16), com uma associação em série e outra em paralelo, compondo uma configuração mais próxima dos circuitos reais. Com o auxílio dos instrumentos virtuais do simulador, os alunos realizaram medições em diferentes pontos do circuito e aplicaram as duas Leis de Kirchhoff para prever e interpretar os resultados. A Lei das Malhas (segunda Lei de Kirchhoff) foi verificada ao constatar que a soma das tensões nos elementos de uma malha fechada era igual à tensão da fonte. A Lei dos Nós foi testada nas bifurcações, nas quais os alunos puderam observar a conservação da corrente elétrica, confirmando experimentalmente os fundamentos teóricos.

Figura 16 - Alunos montando circuito misto no simulador utilizando tablets



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Para sistematizar a aprendizagem e finalizar a aula, os alunos responderam a um questionário reflexivo com questões abertas e fechadas, tais como: “Qual a principal diferença entre as associações em série e paralelo?”, “Em que situações práticas você já viu circuitos em paralelo?”, “O que acontece com a corrente em um nó do circuito?”, “Como as Leis de Kirchhoff ajudam a prever o comportamento dos circuitos?”. Essa atividade final teve como objetivo consolidar os conceitos abordados e promover uma análise nos moldes do fazer científico, observando o comportamento da natureza para, em seguida, explicá-lo por meio de teorias e formulações, incentivando os estudantes a refletirem sobre o próprio processo de aprendizagem de forma crítica.

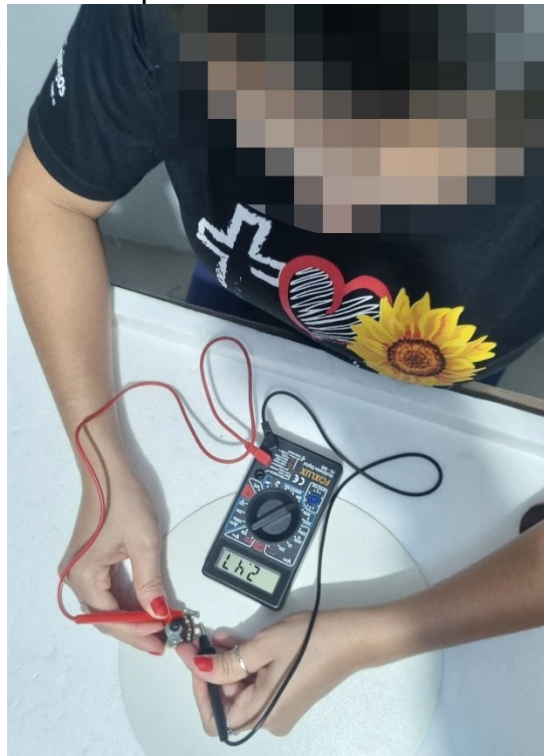
5.2.7 Aula 7: análise prática do comportamento de dispositivos com resistência variável

A primeira parte desta aula teve como foco a compreensão do funcionamento do potenciômetro como componente eletrônico com resistência variável e sua relação com a Lei de Ohm. Inicialmente, foi feita uma apresentação teórica do potenciômetro, destacando seu princípio de funcionamento: um dispositivo cuja resistência pode ser alterada mecanicamente ao se girar um eixo, no caso do modelo rotativo utilizado. Os estudantes observaram que o corpo do potenciômetro pode ter diferentes formatos e tamanhos, mas todos compartilham a mesma lógica de funcionamento.

Em seguida, foi realizada uma breve retomada da Lei de Ohm ($V = R \cdot I$), com ênfase na análise de circuitos onde a resistência varia dentro de limites ôhmicos, permitindo prever como essas variações influenciam a tensão e a corrente. Com base nesse contexto, os estudantes foram orientados a identificar os três terminais do potenciômetro: os dois terminais laterais, correspondentes à resistência total (15 k Ω no modelo utilizado), e o terminal central (cursor), cuja resistência em relação aos extremos varia conforme o giro do eixo. Esse reconhecimento foi essencial para compreender como o potenciômetro funciona como um divisor de tensão.

Posteriormente, os alunos realizaram medições práticas com auxílio do multímetro digital (Figura 17). Inicialmente, mediram a resistência total entre os terminais A e C, registrando os valores na tabela disponível no roteiro desta aula. Em seguida os estudantes realizaram medições da resistência entre o terminal do meio (B) e os terminais laterais (A e C) em diferentes posições do giro (0%, 10%, 30%, 50%, 80% e 100%). A cada nova posição, os alunos registraram os valores obtidos, tanto da resistência entre B e A quanto entre B e C, e, em alguns casos, também a tensão resultante, simulando condições reais de uso do potenciômetro como divisor de tensão.

Figura 17 - Aluna medindo potenciômetro em diferentes posições do cursor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Ao final desta atividade experimental, os alunos foram convidados a analisar os dados registrados, respondendo a perguntas reflexivas, como: “O que acontece com a resistência conforme o giro aumenta?” e “Em que ponto a resistência é aproximadamente a metade da resistência total?”.

Na segunda parte da aula, os alunos passaram a explorar o uso do potenciômetro como divisor de tensão, aprofundando a aplicação prática do componente em circuitos elétricos. A proposta consistiu em montar um circuito simples, alimentado por uma fonte de tensão contínua ajustada para 3,5 V, de modo a observar como a tensão se divide entre os terminais do potenciômetro conforme a posição do cursor.

O terminal lateral esquerdo (A) foi conectado ao terminal positivo da fonte, enquanto o terminal lateral direito (C) foi ligado ao terminal negativo. O terminal central (B), por sua vez, foi utilizado como ponto de medição da tensão de saída (V_{out}), em relação ao terminal C (terra), conforme ilustrado na Figura 18:

Figura 18 - Potenciômetro ligado a fonte como divisor de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Com o auxílio do multímetro ajustado para a escala de tensão contínua de 20V, os alunos realizaram medições da tensão no terminal central (B) para diferentes posições de giro do eixo do potenciômetro (10%, 30%, 50%, 80% e 100%). Os valores obtidos foram registrados na mesma Tabela 07 utilizada na etapa anterior, permitindo a comparação entre a variação da resistência e a variação da tensão.

A análise dos resultados possibilitou a introdução formal da equação do divisor de tensão, destacando que o potenciômetro funciona como dois resistores em série, cuja resistência relativa varia com a posição do cursor. Assim, a tensão no ponto central do potenciômetro é dada por:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (15)$$

Nesse contexto, foi destacada a aplicação da Lei das Tensões de Kirchhoff, que afirma que a soma das quedas de tensão em um circuito fechado é igual à tensão fornecida pela fonte. Os alunos puderam observar, de forma prática, como a tensão de entrada de 10 V se divide proporcionalmente entre as duas partes internas do potenciômetro, dependendo da posição do cursor.

Ao final desta atividade experimental, os estudantes foram incentivados a refletir sobre os dados registrados e responder a questões investigativas, como: "A tensão no cursor é metade da tensão total quando o giro está em 50%?", "Como a tensão varia em relação à posição do eixo?" e "Como o potenciômetro pode ser útil na construção da luva controladora para a garra robótica?".

Na etapa seguinte da aula, foi introduzido aos estudantes o resistor flexível, um componente eletrônico que se destaca por sua capacidade de ser curvado sem perder a linearidade em sua resposta resistiva. Após a apresentação física do componente, os alunos observaram e manipularam o resistor flexível instalado na luva do professor (Figura 19).

Figura 19 - Alunos observando resistor flexível na luva do professor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Durante a interação, foi explicado que a resistência desse tipo de resistor varia conforme a curvatura aplicada, mantendo um comportamento aproximadamente ôhmico dentro de determinados limites operacionais. Esse aspecto foi relacionado diretamente com o funcionamento do potenciômetro, abordado anteriormente na sequência, estabelecendo uma ponte conceitual entre os dois dispositivos.

Na sequência os alunos fizeram medições em um resistor flexível solto, que seria utilizado nas luvas que eles iriam construir nas aulas posteriores. As medidas seguiram padrões semelhante as feitas no potenciômetro anteriormente. Utilizando uma protoboard para facilitar o manuseio, os alunos realizaram a medição da resistência do resistor flexível em diferentes níveis de curvatura: posição natural (sem

flexão), leve flexão, flexão moderada e flexão máxima. As medições foram registradas na Tabela 8. Esse procedimento permitiu aos estudantes observar diretamente a variação da resistência em função da deformação física do material, desenvolvendo a percepção de como sensores resistivos podem ser usados para detectar movimentos mecânicos.

Na sequência, os estudantes foram orientados a montar um circuito divisor de tensão utilizando o resistor flexível em série com um resistor fixo de 10 k Ω . Com o auxílio de uma fonte de alimentação ajustada para 5 V, realizaram a medição da tensão no ponto intermediário entre os dois resistores, ponto este correspondente ao terminal de leitura da tensão de saída do divisor (Figura 20).

Figura 20 - Aluno medindo resistor flexível ligado como divisor de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Seguindo a mesma lógica da etapa anterior com o potenciômetro, os estudantes verificaram experimentalmente como a tensão de saída variava de acordo com a curvatura aplicada ao resistor flexível. Os valores foram novamente anotados na Tabela 08, disponível no roteiro referente a esta aula. Os valores foram comparados com os valores teóricos obtidos por meio da fórmula do divisor de tensão:

Para concluir a atividade, os alunos foram convidados a refletir sobre a aplicação prática do resistor flexível na luva controladora, traçando relações entre os dados experimentais obtidos e a possibilidade de converter movimentos manuais em sinais elétricos que possam movimentar uma garra robótica. A atividade buscou

proporcionar, portanto, uma experiência significativa, aliando conceitos de física, eletrônica e tecnologia em um contexto de aprendizagem ativa e investigativa, consolidando a proposta de aprender lei de Ohm através da construção da luva controladora na sequência.

5.2.8 Aula 8: montagem da luva controladora com resistor flexível

Nesta aula, os estudantes iniciaram a fase central do projeto: a montagem prática da luva controladora equipada com um resistor flexível. A aula foi conduzida com foco em aplicar, de forma concreta, os conhecimentos desenvolvidos nas etapas anteriores sobre resistores ôhmicos, divisores de tensão e o aprendizado sobre a Lei de Ohm.

A aula começou com a manipulação da luva previamente construída pelo professor. Os alunos puderam manusear o material (Figura 21), uma luva feita de tecido com detalhes em borracha, que oferecem flexibilidade e resistência, características ideais para suportar os movimentos repetitivos e a fixação dos componentes eletrônicos. Em seguida, foi mostrado como estava conectado o resistor flexível, já conhecido dos alunos por meio da aula anterior, reforçando sua propriedade fundamental: a variação de resistência conforme o grau de flexão.

Figura 21 - Alunos analisando a luva controladora do professor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Um detalhe importante é que, na luva montada posteriormente pelos alunos, foi instalado um resistor flexível de outro fabricante, embora com as mesmas

propriedades. Essa escolha se deu porque o resistor utilizado na luva do professor apresentou problemas de oscilações na resistência durante a flexão, trazendo movimentos inconsistentes na garra robótica. Após a realização de testes, o professor optou por adotar o modelo alternativo, que foi o mesmo utilizado nas aulas anteriores pelos alunos nas medições, garantindo assim maior estabilidade e confiabilidade nas movimentações, ainda que ele seja diferente do instalado na luva demonstrativa do professor.

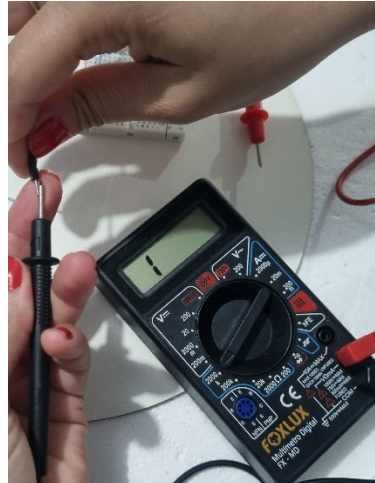
Com os materiais em mãos, os alunos iniciaram a montagem da luva controladora, foram orientados a posicionar o resistor sobre o dedo médio da luva, utilizando fio sólido para fixá-lo de forma segura, garantindo que a flexão dos dedos promovesse a deformação do componente de maneira eficiente sem retirá-lo da posição ideal. Foi necessário um cuidado especial para garantir que o resistor nem ficasse frouxo, nem apertado demais, o que poderia prejudicar a captação dos movimentos.

Após a fixação, os estudantes vestiram as luvas e testaram os movimentos de abrir e fechar a mão, observando se o resistor acompanhava corretamente a curvatura. Em seguida, cortaram dois fios de aproximadamente 50 cm, desencaparam as extremidades e realizaram a soldagem dos fios nas extremidades do resistor flexível. Esse momento supervisionado com bastante cuidado, para que os alunos não se queimassem com o equipamento de solda e nem danificassem o resistor flexível, tendo em vista sua fragilidade.

Para proteger as conexões, os alunos aplicaram fita isolante sobre os pontos de solda e ao longo dos fios, organizando o cabeamento de forma funcional e visualmente limpa. Cortaram cabos jumper ao meio e os soldaram nas pontas dos fios, facilitando a conexão do sistema à protoboard e, futuramente, ao Arduino.

Após a fixação do resistor flexível na luva controladora, os estudantes passaram à montagem do circuito elétrico na protoboard, estruturando um divisor de tensão com o resistor flexível e um resistor fixo de 10 k Ω (Figura 22).

Figura 22 - Aluna montando o divisor de tensão na protoboard

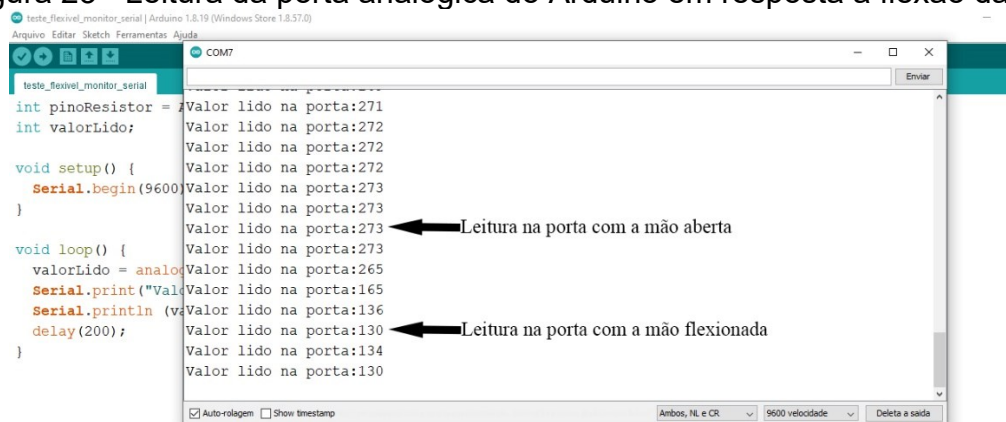


Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Durante essa etapa, o professor reforçou a importância da função do divisor de tensão, destacando como a resistência variável do resistor flexível, influenciada pelo movimento da mão, gera uma variação de tensão que pode ser lida pela entrada analógica do Arduino. A aplicação da Lei de Ohm e das Leis de Kirchhoff foi novamente discutida, com ênfase na relação entre resistência, corrente e tensão no circuito.

Com o circuito montado, os alunos conectaram o Arduino ao computador e carregaram o primeiro código de leitura analógica. Essa fase teve como objetivo observar no monitor serial os valores lidos pela porta A3 do Arduino conforme os movimentos da mão eram realizados e flexionavam o resistor flexível (Figura 23).

Figura 23 - Leitura da porta analógica do Arduino em resposta a flexão da luva



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Foi possível visualizar a correspondência direta entre a flexão do dedo (e, portanto, a resistência do sensor) e a variação da leitura de tensão (Figura 23). Os

alunos anotaram os valores mínimo e máximo obtidos nas posições de mão completamente aberta e completamente fechada, respectivamente.

Em seguida, com base nesses valores (exemplo: 100 a 300), os estudantes implementaram um novo código utilizando a função `map()` da linguagem Arduino, que permite converter a leitura analógica do resistor flexível para uma faixa de 0 a 90 graus, valores correspondentes ao controle de rotação do servo motor na garra robótica. Esse passo foi fundamental para que os movimentos da mão passassem a ser traduzidos em ângulos de abertura e fechamento da garra robótica que seria desenvolvida.

A exibição contínua do ângulo no monitor serial permitiu ajustes finos na calibração dos valores de entrada do `map()`, garantindo que os movimentos da luva resultassem em respostas precisas da garra, que será construída na próxima aula.

5.2.9 Aula 9: construção da garra robótica didática

Na aula número nove da aplicação do produto, os alunos participaram da construção de uma garra robótica didática. Essa atividade representaria a aplicação prática dos conceitos estudados nas aulas anteriores, onde a Lei de Ohm e a relação entre resistência, tensão e corrente elétrica seriam capazes de traduzir o movimento de uma mão humana para uma garra robótica. A proposta integrou teoria e prática de forma dinâmica, permitindo aos alunos compreenderem como variações em grandezas físicas poderiam controlar sistemas mecânicos, buscando assim uma aprendizagem ativa, crítica e significativa.

A garra robótica seria projetada para ser controlada pela luva construída na aula anterior. A garra utiliza um servo motor cuja movimentação depende diretamente da variação de resistência gerada pelo sensor flexível instalado na luva. À medida que o usuário abre ou fecha a mão, o sensor sofre uma deformação mecânica, alterando sua resistência elétrica. Essa mudança é convertida em sinal elétrico e interpretada pelo circuito de controle, ajustando o ângulo do servo motor.

Nesta aula, os alunos foram organizados em três grupos para a realização prática da construção da garra robótica, conforme previsto no roteiro do produto educacional e respeitando a limitação dos materiais disponíveis. O Grupo 01 decidiu seguir majoritariamente a proposta original da atividade, que previa a utilização de palitos de picolé e materiais simples para a montagem da garra. No entanto, os

integrantes do grupo realizaram pequenas modificações na base estrutural do projeto, substituindo alguns elementos por palitos de churrasco, com o objetivo de melhorar o alcance, estabilidade e a resistência da estrutura. Essa adaptação foi autorizada pelo professor, que reconheceu o valor da proposta como uma forma de enriquecer o processo de aprendizagem.

Por outro lado, os Grupos 02 e 03 optaram por um caminho diferente. Ao discutirem as possibilidades de montagem e os materiais disponíveis, propuseram desenvolver a garra robótica utilizando uma combinação de peças de LEGO Mindstorms, LEGO Education SPIKE Prime e outras peças soltas compatíveis. Estas peças pertencem aos alunos participantes do produto educacional.

Seguiram a montagem mantendo os mesmos princípios de funcionamento da garra de palitos, como a articulação por meio de servo motor e o formato de pinça. Essa mudança de abordagem foi acolhida de forma positiva pelo docente, que entendeu a proposta como uma oportunidade para estimular a criatividade dos alunos e reforçar a construção significativa do conhecimento. A liberdade concedida aos grupos para adaptar o projeto de acordo com suas ideias e preferências demonstrou a importância de uma abordagem pedagógica flexível, centrada no protagonismo estudantil e na valorização das múltiplas formas de expressar a compreensão dos conceitos físicos e tecnológicos envolvidos.

Durante a aula, os alunos do grupo 01 começaram seguindo o roteiro de montagem detalhado desta aula. Iniciaram projetando a construção da base da garra, utilizando materiais acessíveis como palitos de picolé, blocos de madeira, uma tampa plástica e cola quente (Figura 24).

Figura 24 - Alunos iniciando a montagem da garra robótica com palitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Posteriormente, os alunos montaram o dedo móvel da garra, também utilizando palitos de picolé, agora em diferentes tamanhos e posições angulares. Um ponto importante da atividade foi a fixação da engrenagem ao dedo móvel, que permitiria sua conexão ao servo motor. Antes da fixação final, os alunos foram orientados a posicionar o motor em seu limite máximo no sentido horário, e com espaço suficiente para encaixar corretamente o dedo móvel, a fim de garantir o adequado funcionamento do sistema e evitar danos ao equipamento (Figura 25).

Figura 25 - Fixação correta do servo motor na garra robótica com palitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Na etapa seguinte de construção da base estrutural da garra robótica, os alunos do Grupo 01 optaram por realizar modificações no projeto original proposto no roteiro da atividade. Demonstrando iniciativa e criatividade, decidiram aprimorar a estabilidade e resistência da base utilizando materiais alternativos, como palitos de

churrasco, que não estavam previstos inicialmente (Figura 26). Essa escolha refletiu um olhar crítico dos estudantes em relação à funcionalidade do protótipo e à adequação dos materiais disponíveis.

Figura 26 - Alterações na base da garra robótica de palitos

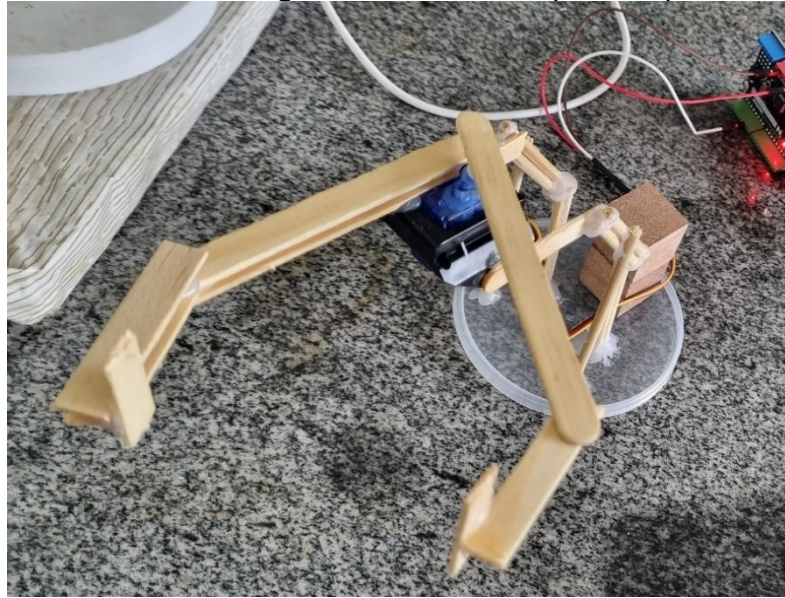


Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A proposta de alteração foi prontamente endossada pelo professor, que reconheceu o valor pedagógico da iniciativa. Ao permitir essa adaptação, buscou-se fomentar a construção significativa do conhecimento, promovendo um ambiente de aprendizagem no qual os alunos se sentissem protagonistas de suas descobertas durante o processo.

Com o dedo móvel encaixado corretamente no servo motor e alinhado ao dedo fixo, os alunos finalizaram a montagem da garra, que passou a funcionar como uma pinça mecânica (Figura 27). Essa construção será utilizada na próxima aula, quando o sistema será conectado à luva controladora para que os alunos visualizem, na prática, a transformação da variação de resistência em movimento mecânico.

Figura 27 - Estrutura da garra robótica com palitos quase concluída

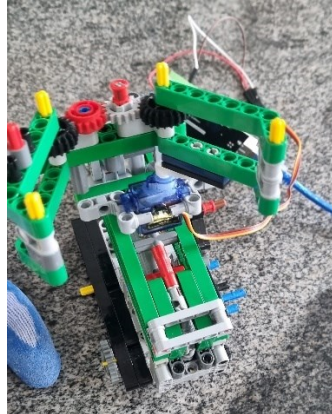


Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Durante o desenvolvimento da atividade, dois grupos de alunos propuseram uma alternativa criativa à construção da garra com palitos de madeira, onde utilizariam peças de montar LEGO para desenvolver uma garra funcional, mantendo os mesmos princípios de funcionamento. Assim como na versão de palitos, as garras de LEGO seriam acionadas por servo motor e reproduziam o movimento de pinça, abrindo e fechando de forma sincronizada com os comandos enviados pela luva controladora.

Essa iniciativa foi incentivada pelo professor, que, reconhecendo o potencial pedagógico da proposta, autorizou que esses grupos seguissem com a construção alternativa, conforme é possível perceber nas figuras 28a e 28b.

Figura 28a - Garra de peças Lego do grupo 02



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Figura 28b - Garra de peças Lego do grupo 03



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A decisão visou não inibir a criatividade dos alunos e, ao mesmo tempo, preservar os objetivos das teorias educacionais do projeto. Os alunos que optaram pela construção com LEGO seguiram o roteiro adaptado à sua realidade, aplicando os mesmos conceitos elétricos para o controle posterior da garra, o que reforçou ainda mais a autonomia dos alunos na construção do conhecimento, sem abrir mão da compreensão dos fenômenos físicos envolvidos.

A aula finalizou com os Grupos 02 e 03 desenvolvendo suas garras utilizando peças de LEGO, mantendo os mesmos princípios de funcionamento da proposta original, como o uso do servo motor para abertura e fechamento da garra. Já o Grupo 01 seguiu o roteiro original da atividade, utilizando palitos de picolé para a construção da garra, com adaptações pontuais na base estrutural, como o uso de palitos de churrasco para reforço.

Durante a aula, os grupos realizaram todas as demais etapas de montagem básicas previstas no roteiro, como a fixação do servo motor à base, a construção dos dedos fixo e móvel da garra e a conexão da engrenagem ao sistema de acionamento. Os modelos em LEGO foram construídos com base na mesma lógica funcional, utilizando peças disponíveis para montar a estrutura e acoplar o servo motor de forma compatível. Ao final da aula, todos os grupos haviam concluído a construção de suas garras robóticas, deixando os protótipos prontos para a etapa seguinte, em que seriam conectados à luva com sensor flexível para a realização dos testes de controle de movimento.

5.2.10 Aula 10: aprendendo a lei de ohm na prática, da experimentação e teoria ao controle da garra robótica

A décima aula da sequência didática teve como propósito consolidar o aprendizado sobre a Lei de Ohm por meio da atividade prática centrada no controle da garra robótica utilizando a luva equipada com um resistor flexível. Nessa etapa do projeto, os alunos utilizaram os conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores para refletir e debater como a Lei de Ohm nos trouxe até aqui (Figura 29).

Figura 29 - Alunos em grupos debatendo sobre a Lei de Ohm



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Depois do debate, os alunos retomaram as atividades práticas programando um sistema para o Arduino, este seria capaz de interpretar os sinais provenientes do divisor de tensão conectado ao resistor flexível, e então controlar o movimento do servo motor responsável pela movimentação da garra.

No início da atividade, foi retomada a discussão do funcionamento do resistor flexível instalado na luva controladora, destacando-se que sua resistência varia conforme o movimento de abrir e fechar da mão, essa variação é transformada em uma alteração de tensão por meio de um divisor de tensão, cujo sinal é lido por uma entrada analógica do Arduino. Repetir esta discussão é estratégico para consolidar bem a ideia do controle da garra robótica pela luva, e também para fazer conexões fortes com os princípios físicos envolvidos.

Com a montagem do circuito já iniciada em aulas anteriores, os alunos passaram à conexão do servo motor à protoboard. Foram identificados os três fios do servo motor alimentação (VCC), aterramento (GND) e sinal e realizada a ligação correta de cada um à protoboard e ao pino digital 9 do Arduino, responsável por enviar os comandos de controle. Em seguida, os estudantes criaram o código para o controle do sistema, utilizando como base um sketch do Arduino IDE previamente trabalhado. O código permitia a leitura dos valores analógicos provenientes do resistor flexível e mapeava esses valores para um intervalo de ângulos entre 0 e 90 graus, que correspondiam ao movimento de abertura e fechamento da garra.

Após o carregamento do código, os alunos realizaram testes de funcionamento, observando a correspondência entre os movimentos realizados com a luva e a movimentação da garra conforme Figura 30:

Figura 30 - Testes de funcionamento da luva controladora com as garras robóticas



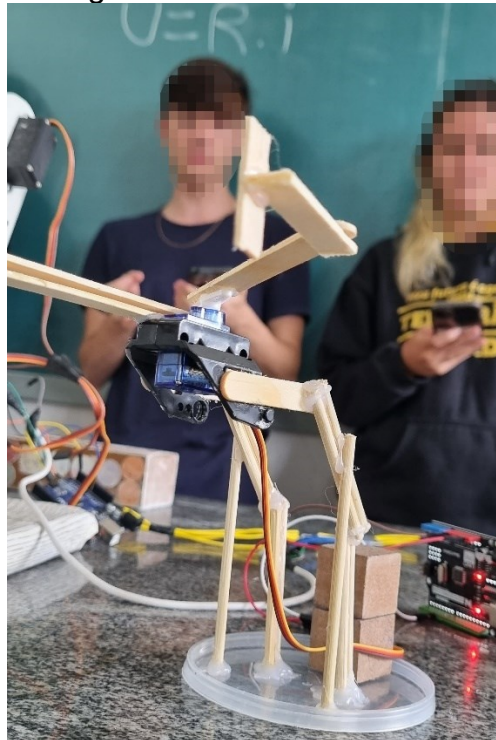
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Posteriormente, foram orientados a ajustar o mapeamento do ângulo de controle no código para limitar a abertura da garra a 50 graus, evitando a possibilidade de danificar sua estrutura durante o uso. Esse ajuste foi feito por meio da modificação da função `map()` no código, e novos testes foram realizados para verificar a segurança e precisão dos movimentos da garra.

Testes de abertura e fechamento da garra robótica, por meio da luva controladora desenvolvida, foram realizados pelos três grupos participantes. Essa etapa teve como objetivo não apenas verificar o funcionamento prático dos

equipamentos construídos, mas também promover uma discussão crítica acerca dos conceitos envolvidos, em especial a aplicação da Lei de Ohm no contexto do projeto. Durante os testes, os estudantes puderam observar diretamente como a variação de resistência provocada pela flexão do resistor flexível era interpretada pelo Arduino, resultando no acionamento do servo motor responsável pelo movimento da garra. Esse momento foi especialmente relevante para consolidar a aprendizagem, permitindo aos alunos relacionar teoria e prática ao explicarem e debaterem os princípios físicos que sustentam o funcionamento do sistema, conforme ilustrado na Figura 31.

Figura 31 - Testes da garra robótica com debate sobre a Lei de Ohm

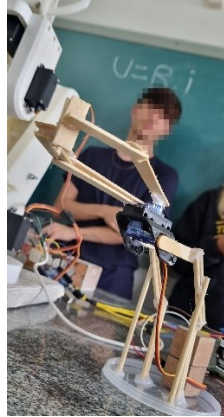


Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Na sequência, foram realizados cinco testes práticos com o sistema completo. No primeiro teste, os alunos utilizaram as diferentes garras para segurar objetos leves, como uma esponja. No segundo teste, as garras foram utilizadas para segurar um copo plástico vazio, seguido da tentativa de soltá-lo gradualmente. O terceiro teste consistiu em tentar capturar uma bola de papel arremessada no ar, exigindo reflexo e coordenação no uso da luva. No quarto teste, os alunos tentaram segurar objetos pequenos, como uma moeda (Figura 32a). Por fim, no quinto teste, as garras foram

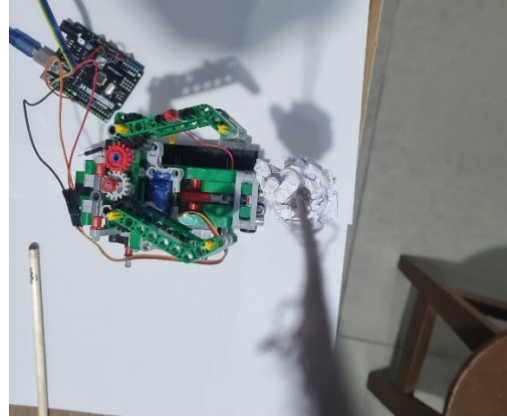
desafiadas a capturar um objeto oscilante, uma bola de papel pendurada em um fio e balançando como um pêndulo (Figura 32b).

Figura 32a - Segurando pequenos objetos com a garra de palitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Figura 32b - Capturando um objeto oscilante com a garra de Lego



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Após a realização dos testes, foi proposto um momento de discussão coletiva. Os alunos foram incentivados a relatar suas observações sobre o funcionamento da luva e da garra robótica, identificar dificuldades enfrentadas durante os testes e sugerir possíveis ajustes no sistema. A discussão também incluiu uma recapitulação dos principais componentes utilizados: resistor flexível, divisor de tensão, Arduino e servo motor. Foi reforçado o papel do resistor flexível como sensor, responsável por converter os movimentos da mão em sinais elétricos.

A parte final da aula foi dedicada ao aprofundamento e reforço dos conceitos de resistor ôhmico e da própria Lei de Ohm, a fim de consolidar o aprendizado construído ao longo do produto educacional. O professor retomou a explicação de que um resistor é considerado ôhmico quando apresenta uma relação linear entre a tensão (diferença de potencial) aplicada e a corrente elétrica que o atravessa, de acordo com a expressão matemática da Lei de Ohm ($V = R \cdot I$). Que essa linearidade implica que a resistência elétrica do componente permanece constante, independentemente da variação da corrente ou da tensão. A retomada teórica foi apoiada pelos testes que os alunos acabaram de fazer com a luva e as garras robóticas. A Figura 33 ilustra esse momento da aula, em que os conceitos fundamentais da Lei de Ohm foram retomados em diálogo com as experiências realizadas pelos estudantes.

Figura 33 - Discussão final sobre a Lei de Ohm com base na experiência da luva e garra



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Também foram mencionados exemplos de componentes que não obedecem à Lei de Ohm, como diodos e algumas lâmpadas incandescentes para enriquecer o debate.

Para concluir a aula e a sequência didática como um todo, os alunos foram convidados a refletir sobre sua experiência durante o projeto, respondendo a um questionário com questões objetivas e outro menor com questões dissertativas, servindo para os alunos como feedback. As perguntas buscavam investigar como a construção da luva e o controle da garra robótica contribuíram para a compreensão prática da Lei de Ohm na sua essência, de que forma a atividade modificou sua percepção sobre a relação entre teoria e prática, e como a abordagem adotada auxiliou no desenvolvimento de uma postura mais crítica e reflexiva sobre o processo de aprendizagem em Física.

5.3 ANÁLISE E RESULTADOS

A utilização de projetos com aulas práticas, embora reconhecida pela maioria dos professores como uma estratégia capaz de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais evidente, significativo e envolvente, apresenta desafios consideráveis no que diz respeito à mensuração de sua eficácia, especialmente diante

da diversidade e pluralidade dos contextos educacionais, como é o caso do ensino médio, onde foi aplicado o produto educacional.

Avaliar o processo de ensino-aprendizagem é uma tarefa complexa, especialmente considerando que estamos lidando com seres humanos plurais e diversos. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) enfatiza que "a avaliação deve estar a serviço da aprendizagem e da participação dos estudantes" (BRASIL, 2018, p. 37), e não se limita a medir o desempenho acadêmico, mas sim a compreender o desenvolvimento integral dos alunos. Diante da diversidade de experiências, habilidades e conhecimentos que cada estudante traz, o ato de avaliar precisa ser sensível e adaptativo.

Para enfrentar essa complexidade, a análise dos resultados foi estruturada em três principais momentos, que serão descritos a seguir. O primeiro momento consistiu em uma avaliação, de natureza qualitativa, baseada na percepção do próprio professor responsável pela aplicação do produto educacional. Essa análise buscou identificar aspectos relacionados à motivação, ao engajamento e à empolgação dos alunos durante as atividades práticas e teóricas. A observação direta do comportamento dos estudantes, tanto em sala de aula quanto em outros espaços educacionais, constituiu um elemento complementar fundamental para a interpretação dos dados coletados, permitindo uma compreensão mais ampla sobre o impacto do projeto no processo de ensino-aprendizagem.

Na sequência, a análise foi feita com base na coleta de dados direta, realizada por meio da aplicação de questionários pós-projeto. O primeiro questionário, elaborado com questões objetivas, teve uma análise mais estatística e quantitativa, sendo aplicados a dois grupos de estudantes do terceiro ano do ensino médio. O primeiro grupo foi composto por 10 alunos da turma 3º ano 01, denominada "Turma A", que participaram ativamente do projeto e se voluntariaram para responder ao questionário, sendo, portanto, o grupo experimental. O segundo grupo incluiu 10 alunos da turma 3º ano 02, denominada "Turma B", que não participaram do projeto, mas também aceitaram, de forma espontânea, contribuir com suas respostas, constituindo, então, o grupo controle. A participação facultativa nos questionários foi uma exigência da instituição de ensino, com o objetivo de preservar a isonomia no acesso aos conteúdos educacionais entre as duas turmas, garantindo que a aplicação do projeto não gerasse disparidades no processo de ensino-aprendizagem.

Por fim, foi aplicado um questionário discursivo às duas turmas (grupo experimental e grupo de controle), concebido como instrumento de coleta de dados composto por perguntas abertas. Esse procedimento possibilitou uma análise mista, abrangendo dimensões qualitativas, por meio da interpretação das respostas, e quantitativas, a partir da categorização e quantificação das informações obtidas.

Os questionários foram ferramentas essenciais para medir o impacto das atividades práticas propostas no produto educacional sobre o aprendizado dos alunos em relação à Lei de Ohm e suas concepções. O objetivo principal foi avaliar as mudanças nas percepções, conhecimentos e motivações dos alunos ao longo do projeto. Diante da complexidade envolvida no processo de avaliação, é fundamental salientar que a aprendizagem não se limita à aquisição de conhecimentos isolados, mas envolve uma teia de habilidades, atitudes e valores. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) define as aprendizagens essenciais como "conhecimentos, habilidades, atitudes, valores e a capacidade de os mobilizar, articular e integrar, expressando-se em competências" (BRASIL, 2018, p. 15). Avaliar, portanto, demanda uma abordagem que vá além da simples mensuração de resultados, exigindo uma compreensão holística do desenvolvimento dos estudantes. Essa perspectiva reforça a sutileza necessária na interpretação dos resultados desta pesquisa.

O processo de avaliação foi conduzido de forma contínua com as turmas denominadas A e B, em conformidade com os princípios estabelecidos pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Conforme o Art. 24, Inciso V da LDB, "a verificação do rendimento escolar observará os seguintes critérios: [...] avaliação contínua e cumulativa do desempenho do aluno, com prevalência dos aspectos qualitativos sobre os quantitativos" (BRASIL, 1996, p. 29). Sob essa perspectiva, a sequência de avaliações qualitativas e quantitativas, contribuirá para a análise dos resultados. A seguir, apresentam-se os resultados acompanhados de uma análise criteriosa.

5.3.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS RESULTADOS

Esta seção de resultados apresenta uma análise comparativa entre as turmas denominadas turma A e turma B, serão discutidos os resultados de caráter mais qualitativo, orientados pela percepção do professor aplicador, autor do produto educacional, observada em diferentes momentos e ambientes. Essa análise

considerou-se aspectos como as emoções manifestadas, as indagações levantadas, o nível de envolvimento, os debates gerados e o engajamento demonstrado pela turma participante das aulas do produto educacional em contrapartida a turma não participante.

Vale ressaltar que, diferente dos questionários, esta análise teve um alcance mais amplo, não se restringindo apenas aos alunos das turmas A e B, que responderam de forma facultativa aos questionários. A análise abrangeu todos os alunos das turmas do terceiro ano 01 que participaram do produto, inclusive aqueles que não responderam aos questionários.

Esta forma de análise revelou um impacto significativo na empolgação e engajamento dos alunos da Turma do terceiro ano 01, particularmente em relação à experiência prática com a garra robótica e a luva controladora. Destaca-se na avaliação um dos momentos mais marcantes do projeto, quando os alunos observaram a garra robótica em movimento pela primeira vez. Esse evento foi recebido com grande espanto e entusiasmo, refletindo a eficácia da abordagem prática adotada. A empolgação dos alunos atingiu um novo patamar quando o a garra robótica começou a imitar os movimentos da luva controladora. A integração entre o resistor flexível da luva e o sistema de controle do braço robótico permitiu que os alunos vissem uma demonstração concreta de como variáveis como resistência, tensão e corrente interagem em um sistema real.

Embora não tenhamos dados empíricos diretos sobre a empolgação dos alunos, a correlação entre entusiasmo e desempenho acadêmico é amplamente reconhecida. A empolgação observada durante o projeto pode ser vista como um indicativo de um aumento no engajamento e na motivação, que, por sua vez, pode ter contribuído para o melhor desempenho dos alunos nos questionários e na compreensão dos conceitos, pois reflete a eficácia das metodologias práticas. José Moran destaca que "a motivação é um fator chave no processo de aprendizagem, pois está diretamente relacionada ao engajamento do aluno e à sua disposição para o aprendizado" (MORAN, 2013, p. 25). Essa perspectiva enfatiza que a empolgação pode servir como um ponto de apoio na discussão dos resultados.

As discussões realizadas após as atividades práticas também foram analisadas qualitativamente pelo professor, permitindo compreender de que maneira os alunos integraram os conceitos da Lei de Ohm em suas reflexões e como perceberam seu próprio processo de aprendizagem. Durante a aplicação do projeto

didático, que envolveu a construção e experimentação com a luva controladora da garra robótica, constatou-se um aumento expressivo no engajamento espontâneo dos alunos da turma participante, tanto nas atividades em sala de aula quanto nos momentos dedicados à experimentação prática.

Muitos estudantes, que inicialmente demonstravam dificuldade ou apatia frente aos conteúdos de eletricidade, passaram a demonstrar um entusiasmo genuíno ao perceberem que os conceitos teóricos, como a Lei de Ohm, podiam ser aplicados na construção de dispositivos reais e funcionais. Vários relataram que "os olhos brilharam" ao verem, pela primeira vez, a garra robótica se mover em sincronia com o gesto da mão usando a luva. Esse momento foi descrito por alunos como "mágico e ao mesmo tempo assustador", palavras que expressam o entusiasmo dos alunos. O termo "assustador" está relacionado ao fato de os alunos expressarem comentários como "essas coisas vão dominar o mundo" e "que medo, se os robôs se revoltarem contra nós".

Além da resposta emocional positiva, houve também indícios de um impacto direto na qualidade das perguntas e respostas dos alunos, que passaram a conter mais detalhes técnicos, expressando compreensão mais aprofundada dos conceitos da Lei de Ohm. Os alunos passaram a fazer perguntas mais elaboradas ao professor, a seguir a seleção de algumas perguntas que se destacaram e foram anotadas pelo professor durante a aplicação do produto:

- d) O que aconteceria se trocássemos o resistor flexível por outro de outro valor?
- e) Como posso medir a tensão exata que está indo para o Arduino?
- f) Dá para controlar outras coisas, como uma porta, com esse princípio de funcionamento?

Essas perguntas demonstram curiosidade investigativa, sinal de que a aprendizagem deixou de ser meramente receptiva e passou a ser significativa e ativa. Além disso, foi possível notar que, mesmo fora do horário das aulas, nos corredores da escola, alunos buscavam pelo professor, queriam melhorar o circuito, sugeriam adaptações na garra e comentavam em grupo sobre suas descobertas. Este comportamento evidencia uma motivação intrínseca, conforme descrita por Ausubel (2003), que ocorre quando o estudante reconhece sentido no que está aprendendo, conectando o novo saber com sua realidade e interesses.

Por outro lado, comparando com a turma 3º ano 02, que teve apenas o ensino tradicional, sem a aplicação do produto educacional, os depoimentos indicam uma

percepção de Física ainda como disciplina abstrata e ligeiramente distante da realidade cotidiana, além de difícil. Muitos estudantes dessa turma relataram que a Lei de Ohm foi vista apenas como mais uma fórmula a decorar, e demonstraram dificuldades em compreender a ideia de linearidade entre tensão e corrente de forma conceitual, e, principalmente qual sua importância na prática, além de um gráfico com uma reta e resolução de exercícios.

Segundo Moreira (2011), a Aprendizagem Significativa Crítica envolve não apenas a conexão entre o novo e o conhecimento prévio, mas também o desenvolvimento de uma atitude crítica, criativa e reflexiva. Essa perspectiva foi vivenciada nas aulas do produto educacional, quando os alunos passaram a ressignificar o conteúdo de eletricidade como algo útil, aplicável e relevante. A emoção positiva associada à descoberta e ao sucesso na construção do projeto favoreceu a retenção da aprendizagem e o desenvolvimento de uma atitude mais aberta e positiva em relação à Física, em especial a Lei de Ohm.

De acordo com Freire (1996), a aprendizagem precisa dialogar com a realidade do aluno. Ao construir algo com as próprias mãos, que responde a comandos de seu corpo, o aluno rompe com a passividade e se torna sujeito de sua aprendizagem.

Concluiremos esta análise destacando os principais aspectos qualitativos observados na turma que participou do produto educacional em comparação com a turma que não participou, conforme a percepção do professor:

- a) Entusiasmo na experimentação com a luva e garra robótica;
- b) Brilho nos olhos ao verem a teoria ganhar vida em um dispositivo funcional;
- c) Maior participação nas aulas e busca autônoma por aprofundamento;
- d) Sentimento de autoria e protagonismo no processo de aprendizagem;
- e) Aumento do interesse pela essência das fórmulas físicas, como a Lei de Ohm.

5.3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS

Com o intuito de avaliar quantitativamente os impactos do produto educacional, foi realizada uma análise a partir da aplicação de questionários. O objetivo foi comparar o desempenho turma A (grupo experimental), que teve as aulas da sequência didática e respondeu aos questionários, com a turma B (grupo de

controle), que recebeu apenas aulas expositivas tradicionais sobre o mesmo conteúdo e também respondeu aos questionários.

Para garantir isonomia na comparação e evitar interpretações enviesadas em favor da turma que teve o projeto aplicado, foi adotado um recorte com dez estudantes voluntários de cada grupo, totalizando vinte respondentes. A análise dos dados obtidos foi conduzida com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI), metodologia amplamente utilizada na área educacional por permitir maior precisão na mensuração de habilidades, considerando a dificuldade e a discriminação de cada item do instrumento avaliativo.

Esta abordagem estatística foi escolhida justamente por oferecer maior robustez na comparação entre os grupos, evitando que fatores externos, como a análise do próprio aplicador do projeto, influenciem indevidamente os resultados e contribuindo para uma análise mais justa e objetiva dos efeitos do projeto sobre o aprendizado da Lei de Ohm.

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os resultados obtidos com base nos questionários aplicados, incluindo gráficos comparativos, tabelas descritivas e a interpretação dos dados à luz da TRI, destacando possíveis diferenças de desempenho e aprendizagem entre as duas turmas envolvidas.

5.3.2.1 O sistema de análise TRI

A Teoria da Resposta ao Item (TRI) é um modelo estatístico amplamente utilizado em avaliações educacionais de larga escala, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Diferentemente dos modelos tradicionais baseados apenas na contagem de acertos, a TRI busca estimar a proficiência do estudante com base em três parâmetros dos itens: discriminação, dificuldade e acerto ao acaso.

De acordo com Andrade, Tavares e Valle (2000), “a TRI é uma teoria psicométrica que estabelece uma relação probabilística entre a proficiência latente do respondente e a probabilidade de acerto em um item, considerando as características desse item.” Esse modelo permite diferenciar, por exemplo, dois estudantes que acertaram o mesmo número de questões, mas com níveis distintos de habilidade, ao observar quais itens específicos foram resolvidos corretamente.

No contexto do ENEM, essa abordagem é crucial para garantir equidade e comparabilidade dos resultados, sendo mais robusta do que a simples média de

acertos (INEP, 2013). A TRI evita distorções ao levar em conta que acertar uma questão fácil não tem o mesmo peso que acertar uma questão com alto poder de discriminação. Este foi o motivo principal pela escolha de uma análise baseada no sistema TRI.

Entretanto, a aplicação plena da TRI em turmas pequenas (menos de 30 alunos), a TRI pode perder precisão. Diante disso, propôs-se neste trabalho uma abordagem alternativa, inspirada nos princípios da TRI, que consistiu em uma análise simplificada, de caráter didático e quantitativo, mas orientada pelos mesmos objetivos da teoria original, ou seja, avaliar mais do que apenas o número de acertos, considerando níveis de compreensão conceitual, desempenho médio e dispersão dos dados, ou seja, desvio padrão entre os grupos.

5.3.2.2 *Questionário comparativo direcionado a Lei de Ohm*

A seguir, apresenta-se o questionário aplicado às turmas A (que participaram do projeto) e B, que tiveram as informações necessárias para o questionário apenas em aulas tradicionais, com o objetivo de avaliar o alcance do produto educacional no processo de aprendizagem da Lei de Ohm. Os questionários, aplicados nesta pesquisa, foram elaborados conforme os moldes da instituição onde o produto educacional foi aplicado. O instrumento inclui uma contextualização introdutória, a aplicação da Taxonomia de Bloom na formulação das questões (BLOOM, 1956), e, de forma complementar, a indicação do código da habilidade correspondente, conforme previsto na BNCC.

1. Se dobrarmos a tensão em um resistor ôhmico, o que acontece com a corrente?
 - a) A corrente permanece a mesma.
 - b) A corrente diminui pela metade.
 - c) A corrente dobra.
 - d) A corrente zera.
2. A relação entre tensão e corrente elétrica em um resistor ôhmico é mais parecida com:
 - a) A quantidade de água que sai de uma mangueira, com fluxo constante e medida que aplicamos força para abrimos a torneira.
 - b) Um carro que acelera mais quanto mais você pressiona o pedal do acelerador.
 - c) Uma lâmpada que acende por mágica, sem fios ou interruptor.

- d) Um ventilador que liga com força total, depois vai diminuindo a rotação ao girarmos o botão.
3. Um gráfico mostra a tensão (V) no eixo vertical e a corrente (I) no eixo horizontal de um resistor. O gráfico é uma linha reta que passa pela origem. O que isso indica sobre o resistor?
- a) A tensão aumenta proporcionalmente à corrente e o resistor varia com o tempo, conforme a Lei de Ohm.
 - b) É um resistor atípico, onde existe uma relação direta entre a tensão e a corrente
 - c) Ele é um resistor ôhmico, com resistência variável, a exemplo de um potenciômetro.
 - d) O gráfico está indicando que a corrente aumenta proporcionalmente a tensão aplicada aos terminais do resistor.
4. Considere um resistor com resistência constante de $5\ \Omega$. Se a tensão aplicada for de 10 V, qual será a corrente elétrica que passa por ele?
- a) 0,5 A
 - b) 2 A
 - c) 5 A
 - d) 50 A
5. Um aluno diz que, ao aumentar a tensão em um resistor ôhmico, a resistência também aumenta. Essa afirmação está:
- a) Correta, porque tensão e resistência sempre aumentam juntas.
 - b) Errada, porque a resistência não muda em um resistor ôhmico.
 - c) Correta, mas só em resistores não ôhmicos.
 - d) Errada, pois a corrente que muda é a tensão.
6. Você já notou que alguns fios de extensão são mais grossos do que outros? Como isso influencia a quantidade de aparelhos que podem ser conectados, de acordo com a Lei de Ohm?
- a) Fios mais grossos têm menor resistência, permitindo a passagem de mais corrente com segurança.
 - b) Fios mais grossos aumentam a tensão, permitindo ligar aparelhos mais potentes.
 - c) Fios mais grossos têm mais resistência, dificultando a passagem de corrente.
 - d) Fios mais grossos reduzem a potência dos aparelhos conectados.
7. Como a Lei de Ohm pode ajudar a entender o funcionamento de um resistor flexível em um circuito?
- a) Ela mostra que a resistência do resistor flexível sempre permanece constante, independentemente da flexão.

- b) Ela explica que a corrente elétrica aumenta proporcionalmente quando a resistência do resistor flexível aumenta durante a flexão.
 - c) Ela afirma que a tensão elétrica não se altera, mesmo quando a resistência do resistor flexível muda.
 - d) Prevendo a corrente elétrica, em determinadas tensões constantes aplicadas para diferentes flexões do componente.
- 8.** Qual das alternativas abaixo melhor descreve a diferença entre um material com comportamento ôhmico e um com comportamento não ôhmico?
- a) Materiais ôhmicos permitem a passagem de corrente elétrica apenas em altas temperaturas, enquanto os não ôhmicos funcionam em qualquer condição.
 - b) Materiais não ôhmicos mantêm a corrente elétrica variando, independentemente da tensão aplicada.
 - c) Materiais ôhmicos apresentam uma relação direta e constante entre tensão e corrente, enquanto os não ôhmicos não seguem essa proporcionalidade.
 - d) Materiais ôhmicos aumentam sua resistência com o tempo de forma linear e progressiva.
- 9.** Qual exemplo cotidiano representa corretamente a aplicação da Lei de Ohm em um componente com comportamento ôhmico?
- a) Um ferro de passar roupa, cuja resistência diminui com o aumento da temperatura.
 - b) Um resistor em um ventilador, no qual a corrente elétrica varia proporcionalmente com a tensão aplicada.
 - c) Um filamento de lâmpada incandescente, que aumenta sua resistência conforme aquece.
 - d) Um sensor de temperatura, cuja resistência varia conforme o ambiente.
- 10.** Em um circuito onde um potenciômetro é usado para controlar a tensão em um dos terminais, como as Leis de Ohm e de Kirchhoff explicam seu funcionamento?
- a) A Lei de Ohm calcula a resistência do potenciômetro, e as Leis de Kirchhoff explicam como ele armazena energia no circuito.
 - b) A Lei de Ohm mostra como a variação da resistência no potenciômetro afeta a corrente, enquanto a Lei das Malhas de Kirchhoff garante que a soma das tensões no circuito fechado seja igual a zero.
 - c) A Lei de Ohm determina a corrente constante no circuito, e a Lei dos Nós de Kirchhoff impede que o potenciômetro varie sua resistência.

d) A Lei de Ohm calcula a capacitância do potenciômetro, e as Leis de Kirchhoff distribuem a potência entre os resistores.

5.3.2.3 *Análise simplificada com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI)*

A seguir faremos a análise entre os questionários das turmas A e B, com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI), utilizando os seguintes itens como norteadores da análise:

- a) Dificuldade e discriminação dos itens;
- b) Desempenho médio por turma;
- c) Acertos por questão (dificuldade);
- d) Acertos totais por aluno (desempenho geral);
- e) Desvio padrão geral e por item entre as turmas.

5.3.2.4 *Tabela de desempenho: acertos e erros nas avaliações por turma*

A seguir, apresenta-se a tabela completa com os acertos e erros de cada um dos dez alunos das duas turmas A (Experimental) e B (Controle), para cada uma das dez questões da avaliação. Nesta tabela, o número 1 indica que o aluno acertou a questão, enquanto o número 0 indica erro.

Tabela 2 - Desempenho dos Alunos da Turma A (Experimental): Acertos e Erros por Questão

Aluno	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
A1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
A3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
A4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
A6	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
A7	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
A8	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
A9	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
A10	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Tabela 3 - Desempenho dos Alunos da Turma B (Controle): Acertos e Erros por Questão

Aluno	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
B1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
B2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B3	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
B4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
B5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
B7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B8	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
B9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
B10	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

As Figuras 34a e 34b apresentam trechos das avaliações dos alunos A1 e B5, pertencentes, respectivamente, às turmas A (Experimental) e B (Controle), onde pode-se observar os moldes previstos pela instituição:

Figura 34a- Trecho da Avaliação do Aluno A1 da Turma A

Sagrado - Rede de Educação
Educação Infantil Ensino Fundamental Ensino Médio Curso de Formação de Docentes - Magistério

Nome: Aluno A1 N.º: 15 Série: 3º

Componente Curricular: Física Educador: Mateus Elias Mateus Nota: _____

Data: ____/____/2025 Valor: 10 1º semestre

Indicadores de Aprendizagem:
O aluno deve ser capaz de:
• Interpretar e representar, com ou sem o uso de instrumentos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservação em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de momento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizam o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

Observações:
• Letra legível, uso de caneta azul ou preta;
• Questões objetivas com rasuras serão anuladas;
• Apresentar os cálculos completos nas questões que exigem;
• Não é permitido o uso de corretivo;
• Assinatura dos pais ou responsáveis.

A Lei de Ohm estabelece que a corrente elétrica que atravessa um condutor é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do material, expressa pela equação $V=RI$. Ela descreve o comportamento de materiais ôhmicos, cuja resistência é constante. É fundamental para a análise de circuitos elétricos.

01. (EN13CN191) – Se dobrarmos a tensão em um resistor ôhmico, DETERMINE o que acontece com a corrente: (1 ponto).
a) A corrente permanece a mesma.
b) A corrente diminui pela metade.
X) A corrente dobra.
d) A corrente zera.

02. (EN13CN191) – IDENTIFIQUE qual a relação entre tensão e corrente elétrica em um resistor ôhmico é mais parecida com: (1 ponto).
a) A quantidade de água que sai de uma mangueira, com fluxo constante e medida que aplicamos força para abri-la torneira.
X) Um carro que acelera mais quanto mais você pressiona o pedal do acelerador.
c) Uma lâmpada que acende por mágica, sem fios ou interruptor.
d) Um ventilador que liga com força total, depois vai diminuindo a rotação ao girarmos o botão.

03. (EN13CN191) – Um gráfico mostra a tensão (V) no eixo vertical e a corrente (I) no eixo horizontal de um resistor. O gráfico é uma linha reta que passa pela origem. IDENTIFIQUE o que isso indica sobre o resistor? (1 ponto).
a) A tensão aumenta proporcionalmente à corrente e o resistor varia com o tempo, conforme a Lei de Ohm.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Figura 34b- Trecho da Avaliação do Aluno B5 da Turma B

Sagrado - Rede de Educação
Educação Infantil Ensino Fundamental Ensino Médio Curso de Formação de Docentes - Magistério

Nome: Aluno B5 N.º: 15 Série: 3º

Componente Curricular: Física Educador: Mateus Elias Mateus Nota: _____

Data: ____/____/2025 Valor: 10 1º semestre

Indicadores de Aprendizagem:
O aluno deve ser capaz de:
• Interpretar e representar, com ou sem o uso de instrumentos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservação em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de momento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizam o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

Observações:
• Letra legível, uso de caneta azul ou preta;
• Questões objetivas com rasuras serão anuladas;
• Apresentar os cálculos completos nas questões que exigem;
• Não é permitido o uso de corretivo;
• Assinatura dos pais ou responsáveis.

A Lei de Ohm estabelece que a corrente elétrica que atravessa um condutor é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do material, expressa pela equação $V=RI$. Ela descreve o comportamento de materiais ôhmicos, cuja resistência é constante. É fundamental para a análise de circuitos elétricos.

04. (EN13CN191) – Considere um resistor com resistência constante de 5 Ω. Se a tensão aplicada for de 10 V. CALCULE qual será a corrente elétrica que passa por ele? (1 ponto).
a) 0,5 A
X) 2 A
c) 5 A
d) 50 A

05. (EN13CN191) – Um aluno diz que, ao aumentar a tensão em um resistor ôhmico, a resistência também aumenta. ANALISE se esta afirmação está: (1 ponto).
a) Correta, porque tensão e resistência sempre aumentam juntas.
X) Errada, porque a resistência não muda em um resistor ôhmico.
c) Correta, mas só em resistores não ôhmicos.
d) Errada, pois a corrente que muda é a tensão.

06. (EN13CN191) – Você já notou que alguns fios de extensão são mais grossos do que outros? ANALISE como isso influencia a quantidade de aparelhos que podem ser conectados, de acordo com a Lei de Ohm? (1 ponto).
a) Fios mais grossos têm menor resistência, permitindo a passagem de mais corrente com segurança.
X) Fios mais grossos aumentam a tensão, permitindo ligar aparelhos mais potentes.
c) Fios mais grossos têm mais resistência, dificultando a passagem de corrente.
d) Fios mais grossos reduzem a potência dos aparelhos conectados.

07. (EN13CN191) – INTERPRETE como a Lei de Ohm pode ajudar a entender o funcionamento de um resistor flexível em um circuito? (1 ponto).
X) Ele mostra que a resistência do resistor flexível sempre permanece constante, independentemente da flexão.
b) Ele explica que a corrente elétrica aumenta proporcionalmente quando a resistência do resistor flexível aumenta durante a flexão.
c) Ele afirma que a tensão elétrica não se altera, mesmo quando a resistência do resistor flexível muda.
d) Prevendo a corrente elétrica, em determinadas tensões constantes aplicadas para diferentes flexões do componente.

08. (EN13CN191) – DETERMINE qual das alternativas abaixo melhor descreve a diferença entre um material com comportamento ôhmico e um com comportamento não ôhmico: (1 ponto).

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

5.3.2.5 Índice de dificuldade das questões

Nesta seção, será apresentado o índice de dificuldade das questões aplicadas na avaliação. Esse índice é uma medida estatística que indica o grau de dificuldade de cada item com base no desempenho dos alunos. Como o questionário continha

apenas questões objetivas (com respostas valendo 1 para acerto e 0 para erro), o índice de dificuldade foi calculado pela razão entre o número de acertos e o número total de alunos.

O valor resultante varia entre 0 e 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, mais fácil é considerada a questão. Quanto mais próximo de 0, mais difícil é o item para os participantes. Para a análise, consideramos o nível de dificuldade das questões de acordo com os critérios:

- a) Fácil: Acima de 70% de acertos;
- b) Médio: Entre 51% e 70% de acertos;
- c) Difícil: Até 50% de acertos.

Tabela 4 - Índice de dificuldade das questões

Questão	Acertos alunos da Turma A	Acertos alunos da Turma B	Percentual de acertos	Nível	Compreensão necessária
1	10 alunos	8 alunos	90%	Fácil	Domínio do conceito direto da Lei de Ohm.
2	9 alunos	5 alunos	70%	Médio	Boa associação da analogia com a relação $U = R \cdot I$.
3	7 alunos	2 alunos	45%	Difícil	Reconhecimento do gráfico linear tensão vs corrente.
4	10 alunos	9 alunos	95%	Fácil	Aplicação correta de $U = R \cdot I$.
5	9 alunos	6 alunos	75%	Fácil	Entendimento claro de que resistência é constante no resistor ôhmico.
6	8 alunos	4 alunos	60%	Médio	Interpretação prática da resistência em fios.
7	7 alunos	2 alunos	45%	Difícil	Capacidade de prever variação de corrente com resistência.
8	9 alunos	4 alunos	65%	Médio	Distinguir comportamento ôhmico e não ôhmico.
9	10 alunos	4 alunos	70%	Médio	Reconhecimento de exemplo real de comportamento ôhmico.
10	6 alunos	2 alunos	40%	Difícil	Compreensão razoável da aplicação das duas leis.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

5.3.3 Análise comparativa entre as Turmas A (experimental) e B (controle)

Esta seção continua com o objetivo apresentar uma análise quantitativa comparativa entre os desempenhos das turmas A (Experimental) e B (Controle), com base nos dados obtidos a partir da aplicação do questionário. A comparação é fundamentada nos acertos e erros registrados pelos alunos em cada uma das dez questões, permitindo observar possíveis diferenças de desempenho entre os dois grupos.

É imprescindível destacar que o fato de os alunos da Turma A terem recebido dez aulas a mais sobre o tema relacionado à Lei de Ohm, constitui um fator decisivo nos resultados obtidos. Portanto, é necessário considerar que os impactos provenientes da aplicação do projeto com a construção da luva controladora também se devem aos efeitos do número adicional de aulas ministradas. Essa diferenciação é essencial para uma compreensão mais real e justa dos fatores que influenciaram os resultados observados.

Para aprofundar a análise, além do cálculo das médias de acertos, tanto geral quanto por questão. Serão considerados também o desvio padrão geral e por questão. Adicionalmente, será realizada uma análise do índice de dificuldade de cada item, bem como da sua capacidade de discriminação entre os grupos.

O desvio padrão mede a dispersão dos dados em relação à média, quanto maior, mais variado é o desempenho dos alunos. Efetuamos o cálculo do desvio padrão usando os dados da tabela de acertos (valores 1 para acerto e 0 para erro) para cada aluno nas 10 questões, utilizando a fórmula do Desvio Padrão Amostral:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

Onde: S = desvio padrão, n = número de alunos (10, neste caso), x_i = número de acertos em cada questão e $\bar{x}$ = média de acertos da turma (total de acertos dividido pelo número de questões).

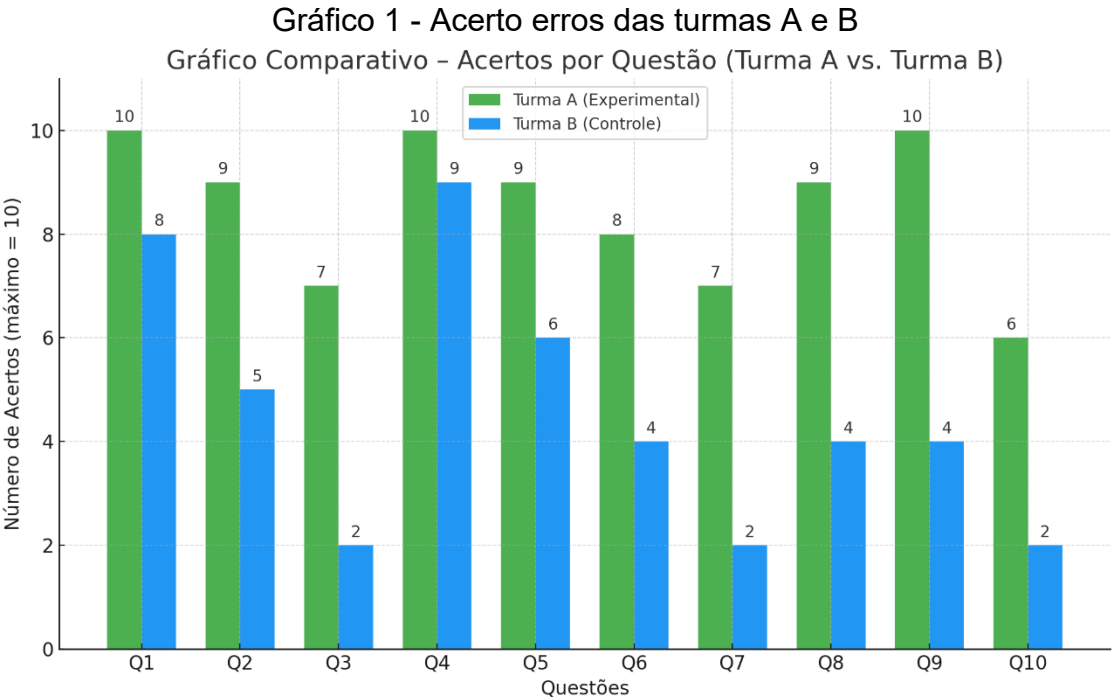
5.3.3.1 *Análise comparativa geral entre as turmas A e B*

A partir dos dados coletados, elaboraram-se a primeira tabela (Tabela 5) e o respectivo gráfico (Gráfico 1) comparativo entre as turmas, com o objetivo de evidenciar as diferenças quantitativas de desempenho entre os grupos analisados:

Tabela 5 - Média geral e desvio padrão geral das turmas

Turma	Média geral	Desvio padrão geral
Turma A (Experimental)	8,5	1,36
Turma B (Controle)	4,6	2,33

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

A análise comparativa geral evidenciou que a Turma A (Experimental) apresentou um domínio mais sólido dos conceitos avaliados, ao passo que a Turma B (Controle) obteve resultados abaixo da média, indicando um domínio parcial. Além de alcançar uma média de acertos superior, a Turma Experimental também apresentou um desvio padrão menor, o que revela um desempenho mais uniforme entre os alunos e sugere uma compreensão mais consolidada e homogênea dos conteúdos.

Em contraste, a Turma Controle não apenas obteve uma média de acertos inferior, como também apresentou um desvio padrão mais elevado. Esse resultado aponta para uma maior dispersão no desempenho dos estudantes, com alguns apresentando bons resultados e outros demonstrando significativa dificuldade, o que pode ser interpretado como um indício de compreensão fragmentada ou instável dos conceitos trabalhados.

Em termos de dados numéricos, a turma A, que participou da construção da luva controladora e da experimentação prática com o resistor flexível, obteve média geral de 8,5 acertos, enquanto a turma do B, que teve apenas aulas teóricas tradicionais, obteve média de geral de 4,6 acertos. Esse dado isolado já sugere um maior nível de compreensão conceitual por parte dos alunos que vivenciaram o produto. No entanto, ao aprofundarmos a análise pelo desvio padrão, outros aspectos também podem ser evidenciados.

5.3.3.2 *Análise do desvio padrão por questão em cada turma*

Com base nos dados obtidos, foi calculado o desvio padrão do número de acertos por turma em cada questão. Essa medida estatística permite uma análise mais detalhada sobre a dispersão dos resultados dentro de cada grupo, contribuindo para uma compreensão e análise mais precisa das variações individuais e da consistência do desempenho entre os alunos das turmas A (Experimental) e B (Controle).

Tabela 6 - Média geral e desvio padrão geral das turmas

Questão	Média da Turma A	Média da Turma B	Desvio padrão da Turma A	Desvio padrão da Turma B
1	1.00	0.80	0.000	0.422
2	0.90	0.50	0.316	0.527
3	0.70	0.20	0.483	0.422
4	1.00	0.90	0.000	0.316
5	0.90	0.60	0.316	0.516
6	0.80	0.40	0.422	0.516
7	0.70	0.20	0.483	0.422
8	0.90	0.40	0.316	0.516
9	1.00	0.40	0.000	0.516
10	0.60	0.20	0.516	0.422

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

A Turma Experimental mostrou desempenho significativamente superior, com menor desvio padrão em várias questões, o que sugere maior homogeneidade na compreensão. Os resultados obtidos com o questionário evidenciam que a aplicação do projeto com a luva controladora foi eficaz não apenas em elevar o desempenho médio dos alunos, mas principalmente em promover uma aprendizagem significativa crítica, com melhor compreensão do conceito central da Lei de Ohm.

A redução do desvio padrão sugere que a abordagem prática reduziu desigualdades de aprendizagem entre os estudantes. Portanto, o projeto motivou e engajou os alunos por meio da experimentação concreta e aplicação prática do conhecimento, o que é consistente com os princípios da abordagem construtivista crítica.

5.3.3.3 *Análise das dificuldades e discriminação entre as turmas A e B*

Em seguida foi elaborado uma análise e uma tabela com os índices de dificuldade e discriminação das questões aplicadas às turmas A e B. O índice de dificuldade permitiu avaliar o nível e quais questões foram mais ou menos acessíveis aos alunos de cada grupo. Já o índice de discriminação verifica em que medida cada questão foi capaz de distinguir os estudantes com maior desempenho daqueles com menor desempenho no questionário. A comparação desses indicadores entre as turmas possibilitou identificar padrões de aprendizagem e dar mais segurança ao avaliar a eficácia da intervenção didática aplicada à turma A. Na Tabela 4 temos os resultados da análise:

Tabela 7 – Dificuldade das turmas A e B e discriminação

Questão	Dificuldade da Turma A	Dificuldade da Turma B	Discriminação
1	0.00	0.20	0.20
2	0.10	0.50	0.40
3	0.30	0.80	0.50
4	0.00	0.10	0.10
5	0.10	0.40	0.30
6	0.20	0.60	0.40
7	0.30	0.80	0.50
8	0.10	0.60	0.50
9	0.00	0.60	0.60
10	0.40	0.80	0.40

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Observa-se que as questões que melhor discriminam os alunos (valores mais altos) são a Q3 e Q7, Q8 e Q9 com discriminação entre 0,50 e 0,60. Essas são excelentes questões para medir diferença de aprendizagem na turma que teve as aulas do produto educacional com a luva robótica em contraste com somente as aulas tradicionais.

Questões como a Q3, Q7, Q10 demonstraram ser mais difíceis no geral, especialmente para a turma controle. Analisando a discriminação também se percebe que as questões Q9, Q3, Q7 e Q8 apresentam alto poder de discriminar entre alunos com e sem compreensão, sendo ideais para uma avaliação mais criteriosa. Vimos que os itens com maior discriminação, Q9 e Q3, indicam que os alunos da turma experimental realmente entenderam a linearidade entre corrente e tensão, fundamental para a correta compreensão da Lei de Ohm, enquanto a turma controle teve mais dificuldade com esse conceito central.

Percebe-se também que as questões com dificuldade maiores ou igual 0,80 para a turma experimental indicam que a maioria dos alunos acertou, ou seja, eram fáceis para eles. Já para a turma controle, questões como Q7, Q9 e Q10 têm dificuldade mais elevadas, ou seja, muito difíceis para essa turma, reforçam que a abordagem prática favoreceu a aprendizagem significativa e permitiu que os alunos da Turma A resolvessem problemas com maior consistência e precisão.

5.3.3.4 *Análise comparativa das respostas em cada item do questionário*

A questão 1, cuja pergunta abordava o efeito de dobrar a tensão em um resistor ôhmico, apresentou média de 1,0 na Turma A e 0,8 na Turma B. O desvio padrão foi 0,0 na Turma A e 0,422 na Turma B. A análise mostra que todos da Turma A acertaram, demonstrando domínio completo do conceito, enquanto na Turma B, apesar de a maioria ter acertado, houve uma variação significativa, indicando que parte dos alunos ainda apresentava dúvida sobre a relação direta entre tensão e corrente.

A questão 2, que tratava da analogia entre tensão e corrente elétrica em resistores ôhmicos, teve média de 0,9 na Turma A e 0,5 na Turma B. O desvio padrão foi de 0,316 na Turma A e de 0,527 na Turma B. Nota-se que a Turma A manteve um bom desempenho, com apenas pequena dispersão, enquanto a Turma B mostrou

acentuada dificuldade, com acertos divididos quase igualmente entre os alunos, o que é refletido pelo desvio padrão elevado.

Na questão 3, que envolvia a interpretação de um gráfico tensão versus corrente de um resistor ôhmico, a média foi 0,7 para a Turma A e 0,2 para a Turma B. O desvio padrão foi 0,483 na Turma A e 0,422 na Turma B. A Turma A apresentou um desempenho razoável, mas com certa dispersão nas respostas, o que indica que ainda houve dificuldades entre parte dos alunos. Já a Turma B teve desempenho significativamente mais baixo, com a maioria dos alunos errando. Embora o desvio padrão da Turma B seja um pouco menor, essa diferença não é suficientemente relevante para concluir que os erros estiveram concentrados em uma mesma alternativa. Vale destacar que o desvio padrão expressa o grau de variação em torno da média, mas, quando as diferenças entre os valores são pequenas, sua interpretação deve ser feita com cautela, especialmente em amostras pequenas, como no caso analisado.

A questão 4, que solicitava o cálculo da corrente a partir da resistência e tensão (aplicação direta da Lei de Ohm), teve média de 1,0 na Turma A e 0,90 na Turma B. O desvio padrão foi 0,0 na Turma A e 0,316 na Turma B. A Turma A acertou completamente, e a Turma B, embora com uma média muito alta, apresentou um pequeno desvio, indicando que um ou outro aluno ainda apresentou erro, mas a maioria compreendeu bem.

A questão 5, relacionada à resistência em resistores ôhmicos ao variar a tensão, apresentou média de 0,9 na Turma A e 0,6 na Turma B. O desvio padrão foi de 0,316 na Turma A e de 0,516 na Turma B. A Turma A demonstrou boa compreensão, com pouca dispersão, enquanto a Turma B teve média mais baixa e maior dispersão, mostrando que o entendimento deste conceito foi mais inconsistente entre seus alunos.

Na questão 6, que tratava da relação entre a espessura de fios e a resistência elétrica, a Turma A obteve média de 0,8 e a Turma B, 0,4. O desvio padrão foi de 0,422 na Turma A e 0,516 na Turma B. A diferença de desempenho é nítida: enquanto a maioria da Turma A acertou, embora com dispersão, a Turma B apresentou baixo índice de acertos e alta dispersão, indicando desconhecimento mais generalizado do princípio físico abordado.

A questão 7, que explorava o entendimento sobre a variação da resistência em resistores flexíveis conforme a flexão, apresentou média de 0,7 para a Turma A e

0,2 para a Turma B. O desvio padrão foi 0,483 na Turma A e 0,422 na Turma B. Embora o desvio padrão seja uma medida tradicional de dispersão, nesse caso específico, sua interpretação exige cautela, já que as médias são muito distantes e próximas das extremidades da escala (0 ou 1). Isso dificulta uma comparação clara da variação nas respostas entre as turmas.

Neste contexto, na questão 7, a Turma A teve desempenho mediano com variação considerável entre os alunos, enquanto a Turma B teve novamente baixa média e um desvio padrão relativamente menor, mostrando que a maioria errou de maneira consistente. Destaca-se também o fato de que, como a Turma A apresentou uma média de 0,7 com desvio padrão de 0,483, enquanto a Turma B teve média de 0,2 com desvio padrão de 0,422, temos resultados indicam que a Turma A, em geral, respondeu corretamente à questão, mas com uma variação considerável entre os alunos, refletida pelo desvio padrão relativamente alto. Isso sugere que, apesar do desempenho positivo da maioria, houve diversidade no grau de entendimento, com alguns alunos cometendo erros. Já a Turma B apresentou média baixa, o que revela que a maior parte dos alunos errou a questão. O desvio padrão da Turma B, embora um pouco menor, deve ser interpretado com cautela, pois as pontuações próximas do extremo inferior (0) e a natureza binária da resposta limitam a sensibilidade dessa medida para capturar nuances na dispersão dos erros. Assim, o desvio padrão indica que, apesar da maioria dos alunos da Turma B ter errado, pode haver alguma variação no padrão dos erros cometidos.

A questão 8, envolvendo a diferença entre materiais ôhmicos e não ôhmicos, teve média de 0,9 na Turma A e 0,4 na Turma B. O desvio padrão foi de 0,316 na Turma A e de 0,516 na Turma B. A Turma A demonstrou forte domínio do conteúdo, enquanto a Turma B apresentou muitos erros, com uma grande dispersão entre as respostas, evidenciando dificuldade de interpretação conceitual.

A questão 9, que pedia a identificação de um exemplo cotidiano de comportamento ôhmico, obteve média de 1,0 na Turma A e 0,4 na Turma B. O desvio padrão foi 0,0 na Turma A e 0,516 na Turma B. A Turma A acertou completamente e sem variação, evidenciando compreensão plena, enquanto a Turma B teve uma concentração de erros, refletida no desvio elevado.

Por fim, a questão 10, que exigia a aplicação combinada das Leis de Ohm e de Kirchhoff para interpretar o funcionamento de um potenciômetro, apresentou média de 0,6 para a Turma A e 0,2 para a Turma B. O desvio padrão foi 0,516 na Turma A e

0,422 na Turma B. A Turma A apresentou desempenho razoável, mas com alta dispersão, indicando que muitos alunos ainda apresentaram dúvidas, enquanto na Turma B, o desvio padrão foi menor, não porque acertaram mais, mas sim porque a maioria dos alunos errou da mesma forma, evidenciando dificuldade coletiva no entendimento de conceitos mais complexos.

5.3.3.5 *Análise qualitativa para cada item do questionário*

Na questão 01, mesmo para a Turma B, que seguiu o ensino tradicional, a maioria cometeu poucos erros, mas a variação nas respostas (elevado desvio padrão) sugere que alguns ainda veem a Lei de Ohm como uma relação matemática puramente algébrica, sem entender profundamente a lei de Ohm. Para a Turma A, com as atividades interativas e as atividades práticas, percebe-se que a relação entre tensão e corrente foi assimilada de forma homogênea, mostrando que a aplicação do produto educacional facilitou a fixação do conceito de linearidade e proporcionalidade.

Sobre a questão 02, na Turma A, o ensino prático parece ter favorecido a compreensão mais intuitiva do conceito de proporcionalidade entre tensão e corrente, com uma média alta e desvio padrão mais baixo. Por outro lado, a Turma B, com ensino teórico, teve uma média mais baixa e maior dispersão, o que pode indicar que alguns alunos ainda têm dificuldade em visualizar a relação direta entre essas grandezas de forma clara, possivelmente devido à falta de exemplos concretos.

Questão 3, essa questão exigiu mais do que uma simples aplicação da Lei de Ohm; envolveu interpretação de gráfico, algo que pode ser mais difícil para alunos que só tiveram a teoria. A Turma A teve um desempenho melhor, mas o desvio padrão alto indica que nem todos dominaram completamente o conceito de gráfico linear, o que poderia ser devido à falta de uma maior exploração gráfica e sua representação visual nas aulas práticas. A Turma B, com uma média muito baixa e dispersão reduzida, revelou que, sem experiências práticas, ficou claro que muitos alunos tiveram dificuldades em associar as informações gráficas à teoria.

A questão 04 foi mais direta e envolvia um cálculo simples com a Lei de Ohm. A Turma A teve um desempenho muito alto, o que reflete que, ao aplicar o conceito de forma prática, o entendimento dos alunos foi robusto. Na Turma B, os alunos obtiveram um bom resultado, mas o desvio padrão mostra que, embora a maioria

tenha acertado, houve alguns erros que podem ter ocorrido devido a falhas na aplicação da fórmula de forma prática no dia a dia.

Na questão 05 a Turma A, com a experiência prática, conseguiu discernir melhor o fato de que a resistência de um resistor ôhmico não muda com a tensão. O desvio padrão relativamente baixo sugere que a maioria compreendeu esse conceito. A Turma B, por sua vez, teve uma média mais baixa, o que pode indicar que, sem uma aplicação concreta, houve confusão sobre a invariabilidade da resistência em resistores ôhmicos e não ôhmicos.

A questão 06 envolvia conceitos de resistência que são muito mais fáceis de entender quando se pode ver e manipular fios e componentes eletrônicos, como aconteceu com a Turma A. A média relativamente alta de 80% na Turma A reflete a compreensão prática adquirida, enquanto a Turma B, com uma média de 40%, mostrou que, sem o exemplo físico, o conceito de resistência de fios pode ser mais difícil de entender, mesmo que a explicação teórica aborde tais exemplos.

Na questão 07 a Turma A, que trabalhou diretamente com resistores flexíveis, teve um desempenho muito superior, embora o desvio padrão alto sugira que alguns alunos podem ter confundido a relação entre resistência e flexão. Para a Turma B, a dificuldade foi clara, já que o conceito de resistor flexível não foi abordado de forma prática, e nas aulas teóricas surge muito como plano de fundo, o que resultou em uma compreensão mais superficial da aplicação da Lei de Ohm nesse contexto.

Na questão 08 a Turma A, com a experiência prática, teve uma média alta, refletindo uma compreensão mais sólida da teoria sobre materiais ôhmicos e não ôhmicos, possivelmente facilitada pelas experiências em que eles viram isso na prática. Na Turma B, o resultado não foi tão bom, e o desvio padrão mais elevado indica que houve mais variação nas respostas, o que sugere que, sem uma aplicação prática como a do produto educacional, o conceito de materiais com comportamento não linear não ficou totalmente claro.

Na questão 09, a Turma A apresentou novamente um desempenho muito alto, demonstrando habilidade em identificar aplicações da Lei de Ohm. Esse resultado pode estar relacionado à abordagem adotada com essa turma, que incluiu exemplos concretos e atividades práticas, especialmente o uso da luva controladora, dispositivo construído com um resistor flexível capaz de transmitir os movimentos da mão para uma garra robótica. Essa experiência prática permitiu aos alunos visualizar, de forma significativa, como a variação da resistência elétrica afeta a corrente e a tensão no

circuito, facilitando a compreensão da Lei de Ohm no contexto de um sistema real. Por outro lado, a Turma B também teve acesso aos mesmos conteúdos conceituais, incluindo a Lei de Ohm e, de forma introdutória, as Leis de Kirchhoff. No entanto, o ensino foi realizado de modo tradicional, com foco em exposição teórica, resolução de exercícios e avaliações escritas, sem o apoio do produto educacional. Isso pode explicar o desempenho inferior nessa questão e o alto desvio padrão observado, já que, sem um vínculo prático com o conteúdo, muitos alunos não conseguiram identificar adequadamente como a Lei de Ohm se aplica em situações do cotidiano.

A questão 10, por sua vez, exigia a aplicação combinada da Lei de Ohm com as Leis de Kirchhoff, envolvendo conceitos de maior complexidade. A Turma A teve um desempenho razoável, o que sugere que, embora os conceitos exigissem maior elaboração, a experiência com o produto educacional contribuiu para uma melhor compreensão. O desvio padrão relativamente alto nessa turma indica, entretanto, que nem todos os alunos conseguiram aplicar corretamente os conceitos. Já na Turma B, a média foi baixa e o desvio padrão mais baixo sugere que a maioria dos alunos errou a questão. Dado o tratamento exclusivamente teórico recebido por essa turma, a dificuldade pode estar associada à ausência de experiências práticas que facilitassem a articulação entre as leis e a resolução de problemas mais complexos.

Embora a análise comparativa entre as turmas A e B revele diferenças significativas de desempenho, é fundamental destacar que ambas as turmas tiveram acesso aos mesmos conteúdos conceituais, incluindo a Lei de Ohm e, de maneira introdutória, as Leis de Kirchhoff. A principal distinção entre elas está na abordagem didática. A Turma A participou do desenvolvimento do produto educacional, que envolveu atividades práticas com uma luva controladora equipada com resistor flexível, permitindo controlar uma garra robótica com os movimentos da mão. Já a Turma B teve um tratamento pedagógico sem a aplicação do produto educacional, baseado em aulas expositivas, exercícios e avaliações escritas, sem o apoio de atividades práticas. Portanto, as diferenças nos resultados devem ser compreendidas à luz dessas abordagens distintas, não como ausência de ensino, mas como variações na metodologia aplicada.

Os resultados obtidos indicam, mais de uma vez, e de maneira consistente a eficácia de metodologias ativas e práticas no ensino de conceitos científicos, particularmente no que tange à Lei de Ohm e suas aplicações. A análise das médias revela que a Turma A obteve índices de acerto superiores em quase todas as

questões propostas, indicando melhor assimilação dos conceitos trabalhados. Além disso, a avaliação dos desvios padrão aponta que, na maioria das situações, a Turma A apresentou menor dispersão nos resultados, o que sugere uma compreensão mais homogênea do conteúdo. Em contrapartida, a Turma B exibiu, em diversas questões, tanto médias mais baixas quanto elevados desvios padrão, revelando dificuldades generalizadas e aprendizagem desigual.

Em questões que exigiam um raciocínio mais complexo, como a aplicação simultânea das Leis de Ohm e de Kirchhoff, embora ambas as turmas tenham apresentado desempenho inferior em comparação às questões mais diretas, a Turma A manteve um nível de acerto significativamente maior, reforçando a ideia de que a experiência prática potencializa não apenas a memorização, mas também a capacidade analítica dos alunos.

Assim, embora a evidência seja modesta e passível de questionamento, ela sustenta a hipótese de que metodologias fundamentadas na aprendizagem significativa crítica, empregadas na aplicação do produto educacional, desempenham um papel relevante. As metodologias buscaram envolver os estudantes de forma ativa na construção do conhecimento, e tendem a ser mais eficazes na promoção da compreensão profunda e duradoura dos conteúdos de Física. A prática experimental, ao estabelecer uma relação concreta entre teoria e realidade, mostrou-se um caminho promissor para o desenvolvimento de competências científicas no ensino da lei de Ohm para os alunos do ensino médio.

5.4 ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA POR MEIO DE QUESTIONÁRIO DISCURSIVO

Com o objetivo de avaliar o produto educacional de forma qualitativa e quantitativa, aplicou-se um segundo questionário, com questões dissertativas, aos mesmos dois grupos de alunos: Turma A (participantes do projeto) e Turma B (submetidos apenas às aulas tradicionais). O questionário foi cuidadosamente elaborado para explorar não apenas a compreensão conceitual da relação entre tensão, corrente e resistência elétrica, mas também a capacidade dos alunos de estabelecer conexões críticas e significativas, conforme os princípios da teoria da aprendizagem significativa crítica de Marco Antônio Moreira. As perguntas visaram avaliar se os estudantes conseguem reconhecer e aplicar a linearidade característica

da Lei de Ohm, discutir a validade dessa relação em diferentes materiais e condições, e refletir sobre a importância desses conceitos para o desenvolvimento tecnológico.

As respostas obtidas foram analisadas individualmente por duas abordagens: qualitativa, por meio da percepção e análise do professor, e quantitativa, mediante a categorização do desempenho dos alunos em três níveis: respostas aprofundadas e críticas, respostas superficiais e respostas incompletas ou incorretas. Essa categorização possibilitou não apenas a análise textual das respostas, mas também a organização dos dados em gráficos comparativos, evidenciando as diferenças de desempenho entre os dois grupos.

Nesta seção, apresentaremos a análise detalhada dos resultados deste último questionário, destacando as tendências observadas nas respostas dos estudantes e discutindo o impacto do projeto prático na construção de conhecimentos mais significativos e críticos sobre a Lei de Ohm.

5.4.1 Questões discursivas

A seguir, apresenta-se a estrutura do questionário utilizado, acompanhada de respostas sugeridas, de modo a auxiliar futuros aplicadores deste produto educacional na condução de suas análises. Ao final do questionário, a Figura 70 apresenta o questionário utilizado, elaborado conforme os moldes da instituição onde o produto educacional foi aplicado. O instrumento inclui uma contextualização introdutória, a aplicação da Taxonomia de Bloom na formulação das questões e a indicação do código da habilidade correspondente, conforme previsto na BNCC.

1. Explique, com suas palavras pra que serve a Lei de Ohm e como ela descreve a relação entre tensão, corrente e resistência:

Resposta esperada: A Lei de Ohm serve para descrever como a corrente elétrica depende da tensão aplicada e da resistência do material. Ela afirma que a corrente é diretamente proporcional à tensão e inversamente proporcional à resistência ($V = R \times I$).

2. Em um experimento, foram medidos diferentes valores de tensão e corrente em um resistor, obtendo os seguintes dados: (1V, 0,2A), (2V, 0,4A), (3V, 0,6A). Esses dados confirmam que o resistor obedece à Lei de Ohm? Por quê?

Resposta esperada: Sim, os dados confirmam, porque a relação entre tensão e corrente é constante (aumentando a tensão, a corrente também aumenta proporcionalmente), o que indica comportamento ôhmico.

3. A Lei de Ohm estabelece uma relação entre tensão, corrente e resistência. Essa relação é sempre válida para todos os materiais? Discuta, justificando sua resposta com base nos conceitos de materiais ôhmicos e não ôhmicos:

Resposta esperada: Não, nem todos os materiais seguem a Lei de Ohm. Materiais ôhmicos têm resistência constante, enquanto materiais não ôhmicos, como diodos e algumas lâmpadas incandescentes por exemplo, apresentam resistência variável dependendo da tensão, corrente ou temperatura.

4. Se um resistor fosse submetido a um aumento de temperatura muito grande, o comportamento previsto pela Lei de Ohm seria mantido? Justifique sua resposta relacionando o conceito de resistência elétrica com as condições do material:

Resposta esperada: Não necessariamente. O aumento da temperatura pode alterar a resistência do material, fazendo com que a relação linear entre tensão e corrente deixe de existir, especialmente em condutores metálicos.

5. A Lei de Ohm sugere uma proporcionalidade entre tensão e corrente. Por que essa ideia de proporcionalidade é importante para o desenvolvimento de tecnologias elétricas e eletrônicas?

Resposta esperada: Porque facilita o controle e a previsão do comportamento dos circuitos, permitindo criar dispositivos confiáveis, como sensores, motores e sistemas eletrônicos que dependem de respostas lineares e previsíveis, como os sensores utilizados em Arduino por exemplo.

5.4.1.1 Categorização das questões discursivas

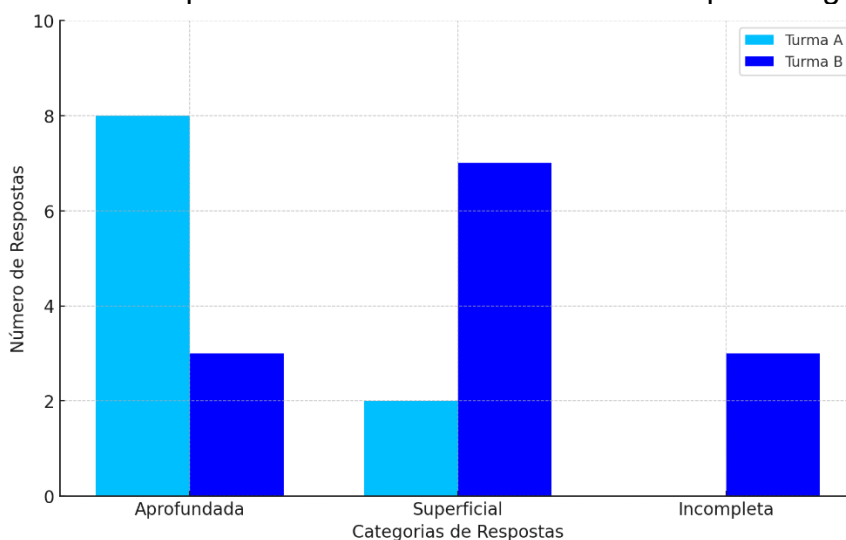
Com o intuito de realizar uma análise mais precisa e, dentro do possível, quantitativa, mesmo tratando-se de um questionário dissertativo, as respostas dos estudantes foram examinadas com base em categorias previamente definidas. Em seguida, foi verificada a frequência com que as respostas de cada grupo se enquadraram em cada uma dessas categorias. Abaixo, apresentam-se os critérios correspondentes a cada categoria:

- a) Respostas Aprofundadas e Críticas: Respostas que fazem conexões, explicam conceitos em detalhes, discutem as limitações da Lei de Ohm, etc;

- b) Respostas Superficiais: Respostas mais genéricas, que não apresentam muitos detalhes ou não refletem uma compreensão profunda;
- c) Respostas Incompletas ou Incorretas: Respostas que contêm erros significativos ou estão incompletas.

Após a categorização das respostas, foi elaborado um gráfico com o objetivo de facilitar a comparação entre as turmas A e B. A seguir, apresenta-se o gráfico acompanhado da respectiva análise:

Gráfico 2 - Respostas dos alunos das turmas A e B por categoria



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

O Gráfico 2 mostra como as respostas se distribuem nas categorias de "Aprofundada", "Superficial" e "Incompleta" para cada grupo. O grupo que teve a aplicação do produto educacional apresentou uma maior quantidade de respostas "Aprofundadas" (8 respostas), enquanto o grupo que não teve as aulas do produto educacional teve mais respostas "Superficiais" (7 respostas).

Além disso, o grupo sem projeto teve mais respostas "Incompletas" (3 respostas) em comparação com o grupo do projeto, que não teve nenhuma resposta classificada a esta categoria. Apesar das variáveis já mencionadas na introdução deste capítulo, como o maior número de aulas ministradas à turma que participou da aplicação do produto educacional, o gráfico evidencia de forma clara a vantagem apresentada por esses alunos, segundo os critérios previamente estabelecidos. Tal vantagem é especialmente notável no que se refere à profundidade das respostas e a quantidade nula de respostas erradas ou incompletas.

5.4.1.2 *Comparação entre os grupos em cada questão*

A análise das repostas obtidas na aplicação do questionário permitiu observar diferenças importantes no desempenho conceitual dos alunos que participaram da atividade prática da luva controladora em comparação àqueles que participaram apenas de aulas teóricas tradicionais sobre a Lei de Ohm.

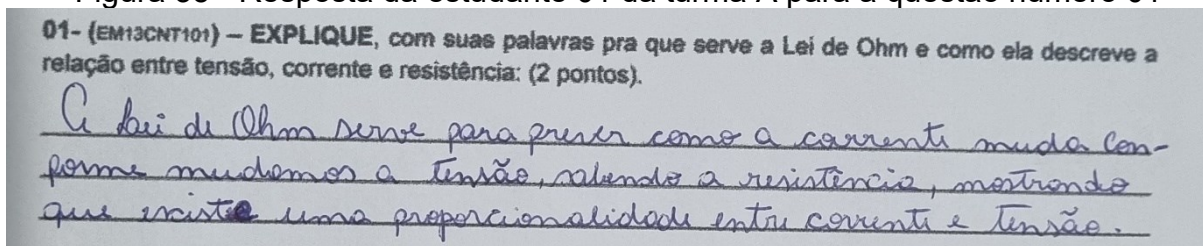
Assim, serão destacados aspectos como a maior capacidade de abstração, a articulação entre teoria e prática, e o desenvolvimento de uma postura mais reflexiva nos alunos que vivenciaram a proposta experimental, alinhando os achados empíricos com fundamentos teóricos da lei de Ohm.

Questão número 1

A Questão 1 avalia a compreensão geral da Lei de Ohm. Os alunos que participaram da aplicação do produto educacional apresentaram explicações mais elaboradas, utilizando termos como proporcionalidade, variação conjunta entre tensão e corrente, e a relação com a resistência, o que indica uma compreensão mais integrada e conceitual do tema. Por outro lado, os alunos da turma B tenderam a fornecer respostas mais superficiais ou mecanicistas, como 'ajuda a fazer cálculos' ou 'liga corrente e tensão', sem evidenciar um entendimento mais profundo da relação física envolvida.

Destaca-se a resposta do estudante 01 da turma A (Figura 35) que apresentou uma resposta aprofundada, relacionando claramente tensão, corrente e resistência: “A Lei de Ohm serve para prever como a corrente muda conforme mudamos a tensão, sabendo a resistência, mostrando que existe uma proporcionalidade entre corrente e tensão.”

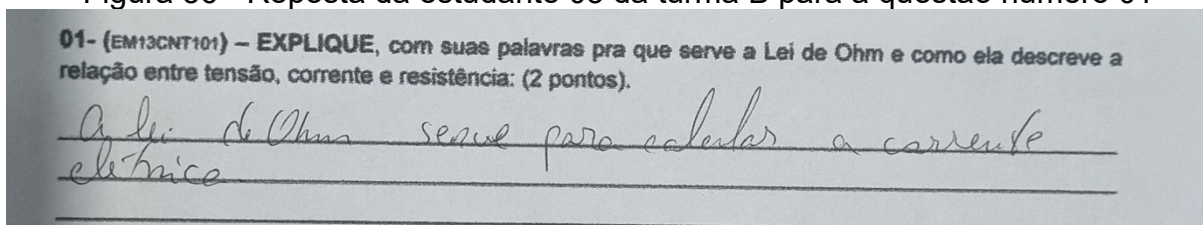
Figura 35 - Resposta da estudante 01 da turma A para a questão número 01



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Em contraste, o estudante 03 da turma B (Figura 36) limitou-se a uma definição genérica: “A Lei de Ohm serve para calcular a corrente elétrica.” A resposta não evidencia a compreensão da relação proporcional ou da interação entre as variáveis.

Figura 36 - Resposta da estudante 03 da turma B para a questão número 01



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Questão número 2

A Questão 2 requer a interpretação de dados experimentais. A maioria dos alunos que participaram da aplicação do produto educacional demonstrou reconhecer a relação de proporcionalidade direta entre tensão e corrente, mencionando explicitamente que o gráfico correspondente seria uma linha reta ou que a corrente dobraria com o aumento da tensão. Por sua vez, embora alguns alunos da turma sem o projeto também tenham sugerido que a relação parece proporcional ou tenham respondido simplesmente sim, essas afirmações, em sua maioria, não foram acompanhadas de justificativas consistentes, o que pode indicar uma leitura ou análise superficial da questão.

A resposta do estudante 05 da turma A (Figura 37) indica que ele reconheceu corretamente a relação linear entre tensão e corrente: “Sim, porque ao dobrar a tensão, a corrente também dobra, o que mostra que o resistor mantém a mesma resistência.”

Figura 37 – Reposta do estudante 05 da turma A para a questão número 02

02- (EM13CNT101) – Em um experimento, foram medidos diferentes valores de tensão e corrente em um resistor, obtendo os seguintes dados: (1V, 0,2A), (2V, 0,4A), (3V, 0,6A). **DESCREVA** se esses dados confirmam que o resistor obedece à Lei de Ohm? Por quê? (2 pontos).

SIM, POR QUE AO DOBRAR A TENSÃO, A CORRENTE TAMBÉM DOBRA, O QUE MOSTRA QUE O RESISTOR MANTÉM A MESMA RESISTÊNCIA.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Já o estudante 07 da turma B respondeu de forma vaga: “Acho que sim, porque os valores parecem aumentar.”, sem explicar adequadamente o critério da proporcionalidade constante (Figura 38).

Figura 38 - Reposta do estudante 07 da turma B para a questão número 02

02- (EM13CNT101) – Em um experimento, foram medidos diferentes valores de tensão e corrente em um resistor, obtendo os seguintes dados: (1V, 0,2A), (2V, 0,4A), (3V, 0,6A). **DESCREVA** se esses dados confirmam que o resistor obedece à Lei de Ohm? Por quê? (2 pontos).

Acho que sim, porque os valores parecem aumentar.

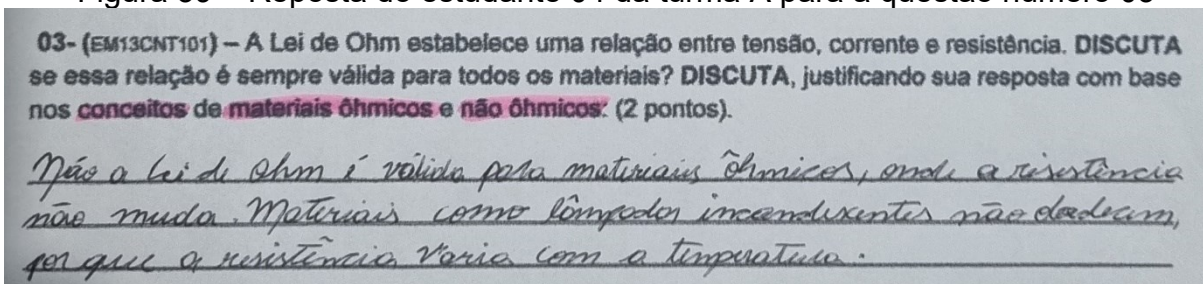
Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Questão número 3

A Questão 3 propõe uma aplicação específica da Lei de Ohm, abordando a distinção entre materiais ôhmicos e não ôhmicos. Nessa questão, a maioria dos alunos que participaram do produto educacional demonstrou compreender que nem todos os materiais obedecem à Lei de Ohm, além de apresentarem exemplos corretos, como diodos e lâmpadas. Em contrapartida, observou-se um número significativamente maior de erros entre os alunos da turma sem o projeto, muitos dos quais afirmaram que todos os materiais seguem a Lei de Ohm, evidenciando uma lacuna conceitual quanto à natureza dos materiais não ôhmicos e a própria Lei de Ohm.

Como exemplo, destaca-se o Estudante 04 da Turma A (Figura 39), cuja resposta evidencia um bom domínio conceitual: “Não. A Lei de Ohm é válida para materiais ôhmicos, onde a resistência não muda. Materiais como lâmpadas incandescentes não obedecem, porque a resistência varia com a temperatura.”

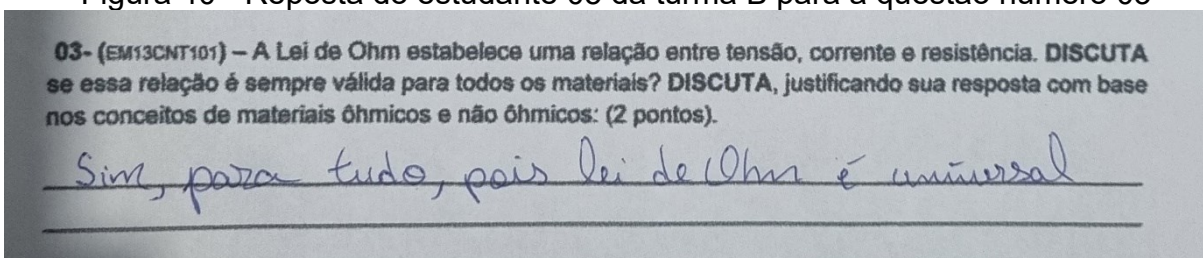
Figura 39 – Reposta do estudante 04 da turma A para a questão número 03



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Já o Estudante 05 da Turma B (Figura 40) apresentou uma resposta errada: “Sim, para tudo, pois lei de ohm é universal.” Tal resposta sugere uma má compreensão em relação a lei de Ohm, e, conseqüentemente às características dos materiais não ôhmicos.

Figura 40 - Reposta do estudante 05 da turma B para a questão número 03



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Questão número 4

A Questão 4 trata do efeito da temperatura sobre a resistência elétrica, um aspecto mais sutil e aprofundado da Lei de Ohm. Os alunos que participaram do produto educacional, em sua maioria, explicaram corretamente que o aumento da temperatura altera a resistência do material, comprometendo a linearidade entre tensão e corrente prevista pela Lei de Ohm. Por outro lado, os alunos da turma sem o projeto demonstraram incertezas e apresentaram respostas conceitualmente imprecisas, revelando dificuldade em compreender o impacto da temperatura sobre o comportamento dos materiais.

Destaca-se a resposta do Estudante 02 da Turma A (Figura 41), que apresentou uma argumentação crítica e bem fundamentada: “Não seria mantido, porque a temperatura alta aumenta a resistência do material, mudando a corrente, mesmo que a tensão permaneça igual.”

Figura 41 – Reposta do estudante 02 da turma A para a questão número 04

04- (EM13CNT101) – Se um resistor fosse submetido a um aumento de temperatura muito grande, **COMENTE** se o comportamento previsto pela Lei de Ohm seria mantido? **JUSTIFIQUE** sua resposta relacionando o conceito de resistência elétrica com as condições do material: (2 pontos).

Não seria mantido, porque a temperatura alta aumenta a resistência do material, mudando a corrente, mesmo que a tensão permaneça igual.

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Em contraste, o Estudante 09 da Turma B (Figura 42), ofereceu uma resposta incompleta: 'Talvez, depende do resistor.' Essa resposta não estabelece de forma clara a relação entre temperatura e variação da resistência, tampouco evidencia compreensão do vínculo com a Lei de Ohm.

Figura 42 - Reposta do estudante 09 da turma A para a questão número 04

04- (EM13CNT101) – Se um resistor fosse submetido a um aumento de temperatura muito grande, **COMENTE** se o comportamento previsto pela Lei de Ohm seria mantido? **JUSTIFIQUE** sua resposta relacionando o conceito de resistência elétrica com as condições do material: (2 pontos).

Talvez, ~~depende do resistor~~ depende do resistor.

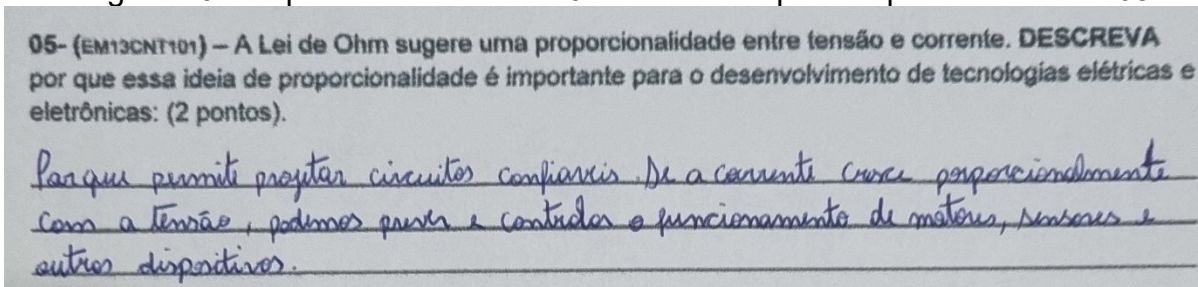
Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Questão número 5

A Questão 5 explora a importância da proporcionalidade estabelecida pela lei de Ohm para as tecnologias, como sua previsão poder ser utilizada. Alunos do produto educacional apresentam boa ligação entre a ideia de proporcionalidade com a previsibilidade e controle de circuitos, usando exemplos como a luva controladora e a garra robótica, citaram também o controle preciso e sistemas confiáveis. Os alunos sem o projeto deram respostas genéricas “para fazer circuitos”, “para ligar aparelhos”, sem conseguir relacionar de forma clara o conceito de proporcionalidade ao desenvolvimento tecnológico.

Foi feita análise da reposta do estudante 07 da Turma A (Figura 43), na qual demonstrou boa compreensão: “Porque permite projetar circuitos confiáveis. Se a corrente cresce proporcionalmente com a tensão, podemos prever e controlar o funcionamento de motores, sensores e outros dispositivos.”

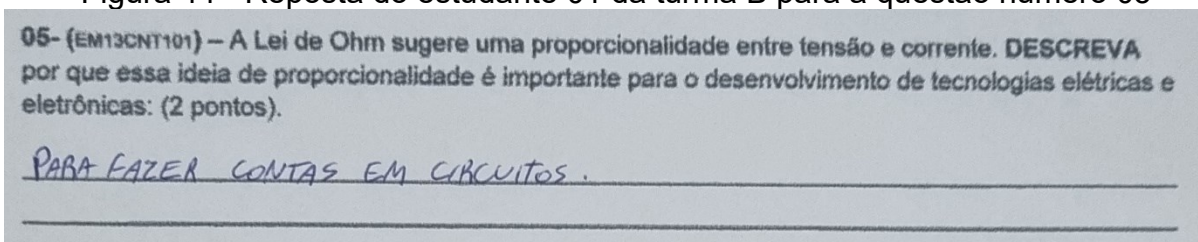
Figura 43 - Reposta do estudante 07 da turma A para a questão número 05



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

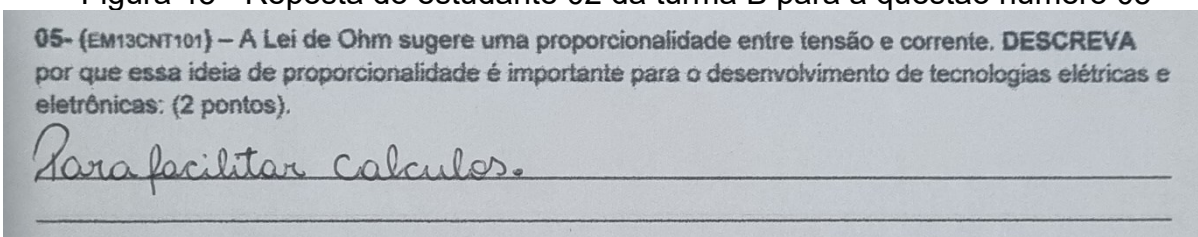
Já os estudantes 01 e 02 da Turma B (Figura 44 e Figura 45) trouxeram respostas parecidas e limitadas: “Para facilitar cálculos.” “Para fazer contas em circuitos”, sem estabelecer uma relação entre a proporcionalidade descrita pela Lei de Ohm e suas aplicações tecnológicas concretas.

Figura 44 - Reposta do estudante 01 da turma B para a questão número 05



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Figura 45 - Reposta do estudante 02 da turma B para a questão número 05



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

5.4.1.3 Análise final do questionário dissertativo

A análise das respostas dos alunos ao questionário aplicado indica diferenças substanciais na compreensão da Lei de Ohm entre os dois grupos de estudantes. A seguir, discute-se essas diferenças com base no desempenho dos alunos que participaram do projeto da luva controladora e dos alunos que participaram exclusivamente das aulas tradicionais de Lei de Ohm.

Grupo participante as aulas do produto educacional

Os alunos que participaram do projeto da luva controladora demonstraram uma compreensão mais profunda e integrada da Lei de Ohm. As respostas indicam que, para esse grupo, a Lei de Ohm não foi apenas uma fórmula a ser decorada, mas uma ferramenta cognitiva que conectou conceitos abstratos à aplicação prática. Esse comportamento está em linha com os princípios da aprendizagem significativa crítica de Marco Antônio Moreira, que enfatiza a importância de o aluno atribuir significado pessoal ao conhecimento, fazendo conexões entre o que é aprendido e o seu contexto de aplicação real.

O entendimento sobre a linearidade da relação entre tensão e corrente foi mais consistente e articulado, com a maioria dos alunos do produto demonstrando uma interpretação precisa de como as variações de tensão influenciam a corrente. Eles também se mostraram mais críticos ao discutirem a condição de validade da Lei de Ohm, reconhecendo que a proporcionalidade entre tensão e corrente não é universal, como no caso de materiais não ôhmicos. Essa habilidade de reflexão crítica, associada à compreensão das limitações da Lei de Ohm, indica que esses alunos não apenas internalizaram o conhecimento, mas também passaram a questionar sua aplicação em diferentes contextos.

Além disso, o impacto da temperatura na resistência foi interpretado de forma adequada, com muitos alunos reconhecendo a alteração da resistência com o aumento da temperatura, o que pode quebrar a linearidade da Lei de Ohm. A conexão entre a teoria e a prática foi ainda mais evidenciada pela maneira como os alunos associaram a proporcionalidade entre tensão e corrente ao desenvolvimento de tecnologias como a garra robótica, ilustrando a utilização funcional dos conceitos na construção de dispositivos tecnológicos.

Grupo não participante das aulas do produto educacional

Os alunos que participaram apenas das aulas tradicionais de Lei de Ohm, na unidade educacional, apresentaram respostas mais simplificadas. Embora esses alunos apresentassem conhecimento básico da Lei de Ohm, muitas de suas respostas indicaram uma compreensão superficial ou até mesmo descontextualizada. A relação entre tensão e corrente foi abordada de maneira geral, mas sem a aplicação prática ou reflexão crítica que os alunos do produto apresentaram.

Além disso, a maioria dos alunos desse grupo não reconheceu a variação da resistência com a temperatura, limitando-se a afirmações vagas, sem uma explicação mais detalhada do fenômeno. A explicação sobre materiais não ôhmicos também foi frequentemente imprecisa, com os alunos assumindo que todos os materiais seguem a Lei de Ohm, o que indica uma falta de compreensão crítica sobre os limites da lei e suas condições de validade.

As respostas também indicaram que os alunos não conseguiram estabelecer uma conexão entre a proporcionalidade de tensão e corrente e as aplicações tecnológicas, como foi feito pelos alunos participantes das aulas do produto. As explicações sobre a importância dessa proporcionalidade para o desenvolvimento de tecnologias foram frequentemente genéricas e sem um vínculo explícito com a prática tecnológica real.

5.4.1.4 *Implicações pedagógicas do questionário dissertativo*

Os resultados evidenciam, mesmo que muitas vezes de forma modesta, que a abordagem estabelecida pelo produto educacional, com a construção da luva controladora, teve um impacto positivo no processo de aprendizagem, promovendo um engajamento mais profundo dos alunos e facilitando a aplicação dos conceitos de maneira crítica e reflexiva. Quando os alunos têm a oportunidade de vivenciar e aplicar os conceitos em situações reais ou simuladas, como no caso do projeto, eles não apenas compreendem a teoria, mas constroem significado pessoal para ela, o que favorece a aprendizagem significativa.

Por outro lado, os alunos que receberam apenas o ensino tradicional, focado na transmissão de conhecimento de forma mais expositiva, apresentaram dificuldades em conectar a teoria com a prática e em questionar os limites e condições de validade dos conceitos aprendidos. Isso reflete a crítica de Moreira à aprendizagem tradicional, que muitas vezes resulta em um aprendizado mecânico e descontextualizado, sem a possibilidade de reflexão crítica sobre os conteúdos.

Portanto, a análise das respostas dos alunos sugere que o ensino da Lei de Ohm, mediado por uma abordagem baseada em projetos, promoveu um entendimento mais profundo e reflexivo dos conceitos envolvidos, especialmente no que diz respeito à linearidade da relação entre tensão e corrente, à aplicação prática desses conceitos e às limitações da Lei de Ohm. Este tipo de ensino está mais alinhado com os

princípios da aprendizagem significativa crítica, pois não só facilita a compreensão teórica, mas também permite que os alunos mobilizem esse conhecimento em contextos reais e questionem sua aplicabilidade.

5.5 ANÁLISE GERAL COM VIÉS PEDAGÓGICO E RELAÇÃO COM A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

Nesta seção traremos uma análise comparativa entre as turmas do terceiro ano do ensino médio: a Turma Terceiro 01, que participou do produto, e a Turma Terceiro 02, que seguiu exclusivamente o plano tradicional de aulas teóricas, conforme o planejamento escolar. Neste momento traremos fatos a considerar, utilizando uma análise pedagógica, considerando as três principais ferramentas utilizadas para a análise da eficácia, a percepção do professor, o questionário objetivo e o questionário dissertativo. O objetivo central é verificar se a proposta contribuiu para uma aprendizagem mais significativa da Lei de Ohm.

A aplicação de um questionário com dez questões objetivas revelou um desempenho médio significativamente mais alto na turma que vivenciou o projeto (média de 8,5 acertos) em comparação com a turma que teve apenas a abordagem tradicional (média de 4,6 acertos). Além da elevação da média, observou-se uma importante redução na dispersão dos resultados: o desvio padrão foi de 0,88 na Turma 01 e de 1,56 na Turma 02. Esse dado indica uma maior homogeneidade no desempenho dos estudantes da turma que vivenciou o projeto, sugerindo que a abordagem prática favoreceu a equidade na aprendizagem.

Sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, proposta por Marco Antonio Moreira (2006), os resultados apontam para a efetividade de uma mediação docente ativa e contextualizada, capaz de promover a construção de significados estáveis e funcionais. A aprendizagem significativa crítica, diferentemente da mera aprendizagem mecânica ou expositiva, implica na articulação entre conteúdos novos e os conhecimentos prévios dos alunos, de modo a atribuir sentido ao que está sendo aprendido em contextos relevantes.

Nesse sentido, o uso do resistor flexível como componente central da luva controladora constituiu-se como uma estratégia didática eficaz. Trata-se de um componente ôhmico que apresenta comportamento linear, dentro de seus limites. Sendo, portanto, ideal para evidenciar de forma empírica a aplicação da Lei de Ohm.

Ao manipular a luva e observar o funcionamento da garra robótica em função da flexão dos dedos, os estudantes puderam experienciar o conceito de divisor de tensão em uma situação concreta, compreendendo que o aumento da tensão gera aumento proporcional da corrente, tal como estabelece a relação $V=R \cdot I$.

Essa vivência prática facilitou a ancoragem dos novos conhecimentos a partir de estruturas cognitivas já existentes, como destaca Ausubel (2003), favorecendo a retenção significativa dos conteúdos. Além disso, o envolvimento dos estudantes em uma atividade, com forte apelo tecnológico e aplicabilidade direta no campo da automação, proporcionou maior engajamento e motivação para o aprendizado.

Portanto, os dados analisados indicam que o projeto contribuiu para uma compreensão mais significativa da Lei de Ohm por parte dos estudantes da Turma A, ao mesmo tempo em que favoreceu a participação e o engajamento de todos, independentemente do desempenho prévio. É importante reconhecer, no entanto, que essa turma também teve maior tempo dedicado ao tema, o que pode ter influenciado os resultados de forma complementar. Ainda assim, o uso de recursos experimentais simples e contextualizados, como a construção de resistores com grafite e papel, demonstrou-se uma estratégia viável e potente no ensino de conceitos fundamentais da Física, representando uma alternativa promissora ao modelo expositivo tradicional, sobretudo em contextos de aprendizagem ativa.

Para um controle mais preciso das variáveis envolvidas, uma alternativa metodológica poderia envolver a aplicação de reforços distintos para cada grupo, equilibrando o tempo total de ensino. Por exemplo, enquanto a Turma A participaria de atividades práticas, a Turma B poderia receber reforço teórico e resoluções de exercícios com duração equivalente. Dessa forma, seria possível isolar com mais clareza o impacto específico da abordagem prática, favorecendo uma comparação mais robusta entre as estratégias de ensino utilizadas.

Reforça-se que os resultados obtidos com a aplicação do questionário entre as duas turmas participantes do estudo demonstram não apenas uma diferença quantitativa no desempenho, mas refletem principalmente uma diferença qualitativa na forma como os alunos se apropriaram dos conceitos da Lei de Ohm. Essa diferença pode ser compreendida à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, proposta por Marco Antônio Moreira.

Segundo Moreira (2011), a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno consegue estabelecer relações substanciais entre o novo conhecimento e seus

conhecimentos prévios, de maneira não arbitrária e não literal. A abordagem crítica da teoria propõe ainda que essa aprendizagem seja contextualizada, reflexiva e voltada para a transformação da realidade do sujeito, envolvendo aspectos cognitivos, afetivos e sociais.

No caso da turma A, que participou ativamente do projeto com a luva controladora e respondeu aos questionários, observou-se uma maior internalização conceitual, especialmente no que diz respeito à essência da Lei de Ohm: a proporcionalidade linear entre tensão e corrente elétrica. A manipulação direta de variáveis elétricas em um contexto prático e funcional, como o controle de um sistema robótico, trouxe evidências de que os estudantes construíram significados mais sólidos e duradouros sobre os conceitos físicos envolvidos.

Além disso, o projeto proporcionou experiências ancoradas em situações reais e significativas, o que é um elemento central da aprendizagem significativa crítica. Ao utilizar o resistor flexível como sensor de entrada e observar seu comportamento no controle da garra, os estudantes tiveram a oportunidade de atribuir sentido ao conteúdo escolar, integrando-o a um contexto que extrapola o currículo tradicional e aponta para aplicações tecnológicas e sociais.

Já a turma B, que respondeu aos questionários, mas participou apenas das aulas teóricas tradicionais, apresentou um desempenho inferior em termos de acertos totais, e principalmente, em questões que exigiam compreensão relacional e transferência de conhecimento para novas situações. Essa diferença reforça o argumento de que o ensino centrado na exposição verbal, mesmo quando correto do ponto de vista conceitual, pode ser insuficiente para gerar aprendizagens significativas e críticas.

Como destaca Moreira (2006, p. 39), “ensinar para a aprendizagem significativa crítica é mais do que ajudar o aluno a atribuir significados; é levá-lo a construir sentidos que façam diferença na sua vida e na sua atuação no mundo”. Os dados desta pesquisa sugerem que o projeto da luva controladora conseguiu cumprir esse papel, ao integrar teoria e prática em um ambiente de aprendizagem problematizador, cooperativo e voltado para a aplicação concreta do conhecimento.

Assim, a análise reforça a importância de estratégias de ensino baseadas em projetos, como este produto educacional, que não apenas desenvolvem o conteúdo, mas o ressignificam de forma crítica e funcional. A utilização de tecnologias acessíveis, como o Arduino e sensores flexíveis, associada à mediação ativa do

professor, mostrou-se eficaz na promoção de uma aprendizagem mais profunda, crítica e transformadora.

A utilização de uma abordagem baseada na análise T.R.I. permitiu, neste estudo, evidenciar o impacto de uma proposta pedagógica diferenciada na compreensão da Lei de Ohm, sobretudo no que diz respeito à linearidade da relação entre tensão e corrente. Através da distribuição dos acertos, observou-se não apenas um aumento da média de desempenho na turma experimental, mas também uma redução na variabilidade das respostas, o que sugere um aprendizado mais consolidado e homogêneo entre os estudantes.

Essa forma de análise respeita os limites metodológicos do ensino básico, mas mantém um olhar atento à qualidade da aprendizagem, oferecendo aos uma ferramenta reflexiva para avaliar a eficácia de intervenções didáticas mais ativas e significativas.

Na Turma A, os alunos foram capazes de aplicar os conceitos da Lei de Ohm em um contexto real, o que facilitou uma compreensão mais profunda. Isso levou a uma assimilação mais eficaz dos conceitos, conforme evidenciado por respostas mais precisas e detalhadas no questionário final. Por outro lado, a Turma B, que teve apenas uma abordagem teórica, mostrou uma compreensão mais limitada. Embora os alunos tenham demonstrado conhecimento básico da Lei de Ohm, houve uma dificuldade em aplicar esses conceitos em questões que abordam situações práticas, o que pode ser atribuído à falta de experiência prática direta. Compreender e resolver questões teóricas do cotidiano é fundamental para a aplicação prática de conceitos científicos, como a Lei de Ohm. Segundo Gilberto P. Ramos (2017), "a habilidade de relacionar conceitos científicos com situações do dia a dia não só fortalece a compreensão teórica, mas também facilita a aplicação desses conceitos em problemas reais" (RAMOS, 2017, p. 89).

Os resultados gerais das análises refletem a diferença na compreensão dos conceitos entre as duas turmas, e indica claramente que a abordagem prática adotada com a turma participante, teve um impacto positivo significativo no aprendizado dos alunos. A capacidade de visualizar e manipular componentes físicos, como a luva controladora e a garra robótica, permitiu aos alunos uma melhor compreensão da Lei de Ohm, facilitando a absorção de conceitos teóricos e a aplicação prática desses conceitos.

Apesar de relativamente simples, um questionário pode ser uma ferramenta eficaz para avaliar se uma sequência didática contribuiu para a compreensão de um conteúdo teórico, pois permite medir qualitativa e quantitativamente. José Moran (2013) destaca que "a avaliação de aprendizagens pode ser enriquecida por instrumentos que capturam o impacto de metodologias ativas, como as aulas práticas, sobre a compreensão dos alunos" (MORAN, 2013, p. 45). Ao utilizar questionários, é possível obter dados quantitativos e qualitativos que revelam não apenas a retenção de conhecimentos, mas também a percepção dos alunos sobre a eficácia das atividades práticas. Esses dados são cruciais para entender se as abordagens pedagógicas adotadas facilitam a aprendizagem teórica.

Adriano D. A. Gomes (2015) afirma que "questionários são instrumentos valiosos na avaliação educacional, pois permitem a coleta de dados específicos que refletem a eficácia das estratégias de ensino e a compreensão dos conteúdos pelos alunos" (GOMES, 2015, p. 112). A aplicação de questionários após aulas práticas pode fornecer insights precisos sobre como essas atividades influenciam a assimilação teórica, possibilitando ajustes nas práticas pedagógicas para melhorar a eficácia do ensino.

Esta análise não se limita apenas ao ensino da Lei de Ohm, mas debater a forma que a análise de resultados deve ser utilizada na educação. Paulo Freire (2011) afirma que "a avaliação deve ser um instrumento que permita ao educador compreender o impacto das práticas pedagógicas sobre a aprendizagem dos alunos" (FREIRE, 2011, p. 78). Gostaríamos que este trabalho não se limitasse a apresentar dados, mas que também oferecesse aos leitores alternativas para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem e avaliação. Esperamos que as estratégias e insights discutidos proporcionem novas perspectivas e práticas inovadoras que possam ser aplicadas para aprimorar a qualidade da educação. Ao proporcionar um aprofundamento nas metodologias avaliadas, buscamos contribuir para o avanço contínuo das práticas pedagógicas e, assim, impactar positivamente o desenvolvimento educacional e social.

5.6 REFLEXÃO FINAL SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Uma reflexão crítica sobre os resultados obtidos revela importantes insights sobre o impacto do ensino experimental e do uso de tecnologias práticas no

aprendizado de conceitos complexos de física. A comparação entre as turmas participantes e não participantes mostrou claramente uma maior motivação e envolvimento dos alunos na turma que teve a experiência prática, corroborando a hipótese inicial de que uma abordagem prática pode melhorar a compreensão e a retenção de conceitos. A construção da luva controladora e da garra robótica permitiu que os alunos observassem, de forma concreta, a aplicação da Lei de Ohm e de outros princípios da física, dando vida aos conteúdos que, de outra forma, poderiam parecer abstratos.

Os alunos que participaram ativamente das atividades práticas não só demonstraram uma melhor compreensão dos conteúdos quando comparados aos que participaram apenas das aulas teóricas, como também desenvolveram habilidades adicionais, como trabalho em grupo, resolução de problemas e pensamento crítico. Essas habilidades são essenciais no contexto da educação moderna, alinhando-se com os objetivos de formar cidadãos críticos e preparados para enfrentar os desafios do século XXI.

Os desafios enfrentados durante o desenvolvimento do projeto, como a necessidade de ajustes na programação do Arduino e a adaptação da garra robótica, trouxeram à tona a importância do processo de tentativa e erro como parte do aprendizado. Isso destacou para os alunos o valor do fracasso como um componente natural do desenvolvimento científico e tecnológico, promovendo uma postura mais resiliente e proativa em relação a problemas.

Contudo, é importante também destacar algumas limitações observadas. A falta de materiais para todos os alunos, por exemplo, fez com que a experiência prática tivesse que ser dividida entre grupos maiores do que o ideal. Além disso, o tempo limitado para cada etapa do projeto pode ter restringido uma exploração mais aprofundada de alguns conceitos. Esses pontos indicam a necessidade de um planejamento ainda mais cuidadoso em futuras implementações, com a previsão de recursos suficientes e uma organização de tempo que permita um aprofundamento maior das atividades práticas.

De forma geral, os resultados obtidos indicam que o ensino baseado em projetos e práticas experimentais proporciona uma experiência educativa mais significativa, especialmente quando se trata de temas complexos e abstratos da física. A prática demonstrou ser um poderoso complemento à teoria, ajudando a consolidar

os conceitos e a desenvolver habilidades práticas e críticas que são essenciais para o aprendizado significativo e duradouro.

A reflexão crítica também deve levar em consideração o papel do professor na mediação desse processo de aprendizagem. O docente atuou não apenas como um transmissor de conhecimento, mas como um facilitador, encorajando os alunos a explorarem, questionarem e interagirem com os conceitos de forma mais profunda. Essa abordagem pedagógica, que favorece a autonomia e a participação ativa dos estudantes, é respaldada por autores como Paulo Freire, que defende que a educação deve ser um ato de criação e não de mera repetição (FREIRE, 1996).

Além disso, a experiência prática proporcionou um ambiente de aprendizagem colaborativa, onde os alunos puderam compartilhar ideias, resolver problemas em conjunto e aprender uns com os outros. Essa dinâmica não apenas fortaleceu os laços sociais entre os alunos, mas também contribuiu para a construção de um conhecimento mais sólido e contextualizado. A literatura educacional enfatiza a importância de ambientes colaborativos no aprendizado, destacando que a interação social é fundamental para a construção do conhecimento (VYGOTSKY, 1991).

A reflexão crítica sobre os resultados obtidos no projeto deve considerar a proposta da aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira, que enfatiza a importância de relacionar o conhecimento novo com experiências prévias e promover uma compreensão profunda dos conceitos (MOREIRA, 1999). A abordagem prática adotada ao longo do projeto, que incluiu a construção da luva controladora e a exploração da Lei de Ohm, permitiu que os alunos não apenas assimilassem conteúdos teóricos, mas também os aplicassem em situações concretas, favorecendo uma aprendizagem mais duradoura e relevante.

Esse modelo de aprendizagem, ao priorizar a construção ativa do conhecimento, promoveu a autonomia dos alunos, estimulando-os a questionar, investigar e refletir sobre o que aprenderam. Ao criar um ambiente de aprendizagem colaborativa, onde os alunos trabalharam em grupos e puderam compartilhar ideias, a prática se alinhou aos princípios da teoria crítica, que defende a educação como um processo transformador que visa a conscientização e o empoderamento dos estudantes (MOREIRA, 2006).

A análise qualitativa também indica que os alunos desenvolveram uma maior motivação e interesse pela física, o que reflete a ideia de que a aprendizagem significativa crítica não só promove o entendimento de conceitos, mas também instiga

a curiosidade e a busca por novos conhecimentos. Esse resultado está em consonância com a visão de Moreira de que a educação deve ser um espaço de construção de saberes, onde os alunos se sintam parte ativa do processo de ensino-aprendizagem (MOREIRA, 1999).

Por fim, apesar de todas variáveis e limitações, o estudo mostra que os alunos reconheceram a importância da prática e a conexão entre teoria e realidade, o que reforça a eficácia da metodologia aplicada. A continuidade desse tipo de abordagem em projetos futuros pode ampliar ainda mais os impactos positivos na formação dos estudantes, consolidando a aprendizagem significativa crítica como um caminho promissor na educação.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma proposta sobre o ensino da física e suas aplicações práticas, particularmente no contexto da Lei de Ohm, por meio da construção e programação de uma luva controladora e de uma garra robótica didática, utilizados como plataforma de ensino e aprendizagem. Ao longo da dissertação, foram abordadas teorias e epistemologias do conhecimento que norteavam o trabalho, tanto no âmbito de pesquisa, como na aplicação do produto educacional. Dando ênfase na utilização de metodologias ativas que favorecem o aprendizado significativo dos alunos.

O início investigativo, que teve como principal foco a busca por trabalhos semelhantes, no repositório da UFSC, no portal de periódicos da Capes, na plataforma SciELO, na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP e no Repositório Digital da UFRGS, serviu como motivação para a construção deste trabalho, pois salientou a necessidade de pesquisas que trabalhem a lei de Ohm de forma prática na educação. Comparado a busca pela Lei de Ohm a temas como mecânica ou óptica, ficou nítida a escassez de projetos e estudos voltados para a implementação de atividades práticas relacionadas a esta lei, principalmente focados na educação básica. Foi uma descoberta de certo modo esperada e, ao mesmo tempo, motivadora para a elaboração do trabalho. Assim, esta dissertação tem como objetivo contribuir para preencher essa lacuna, propondo projetos que utilizem a Lei de Ohm em contextos educacionais, visando enriquecer o aprendizado dos alunos e promover uma educação mais engajada e eficaz.

A busca realizada por trabalhos semelhantes, mostrou que a maioria das pesquisas compartilha um ponto comum: a valorização das atividades experimentais como ferramentas essenciais no ensino de física. Os autores reforçam que essas práticas têm um papel crucial na facilitação do entendimento dos conceitos físicos, permitindo que os alunos experimentem e construam conhecimento de forma ativa, envolvente e significativa. Essa abordagem metodológica não apenas promove a participação dos estudantes, mas também fomenta a autonomia e a aprendizagem significativa, alinhando-se aos princípios das metodologias ativas.

Outro aspecto importante identificado foi a escassez de estudos focados especificamente no ensino da Lei de Ohm, principalmente no ensino médio. Embora haja uma variedade de trabalhos que exploram a atividade prática em diversos temas

da física, poucos se dedicam diretamente a explorar a Lei de Ohm neste contexto. Além disso, a análise dos trabalhos revela que o uso de metodologias ativas no ensino de física é um fator predominante entre os estudos revisados. A ênfase na participação direta dos alunos, seja por meio de experimentação ou construção de dispositivos práticos, mostrou ser uma prática consistente para melhorar a compreensão dos conceitos físicos. Este alinhamento entre os métodos adotados e os resultados alcançados evidencia a eficácia das atividades práticas e das metodologias ativas na construção de um aprendizado mais profundo e engajador.

Em suma a revisão bibliográfica corroborou com a proposta de integrar teoria e prática, através de atividades experimentais e de programação, indicando ser uma abordagem eficaz para o ensino da física, o que na sequência foi evidenciado pelos resultados analisados na aplicação do produto educacional, tanto quantitativa como qualitativamente.

Os resultados mostraram que os alunos não apenas se envolveram ativamente nas aulas, mas também conseguiram fazer conexões entre os conceitos teóricos da eletricidade e suas aplicações práticas. Isso foi possível através da realização de atividades como a medição de resistência de diferentes materiais, a construção da garra robótica, e o desenvolvimento da luva controladora, que estimulou a curiosidade e o pensamento crítico

Além disso, os alunos puderam desenvolver habilidades práticas, mesmo que básicas, em robótica e programação. A interação entre os alunos durante as atividades práticas foi fundamental para a construção do conhecimento, reforçando a importância da colaboração e do trabalho em equipe no ambiente escolar. Em relação ao problema identificado no início da dissertação, que dizia respeito à dificuldade de aprendizado dos alunos em conceitos de eletricidade, pode-se afirmar que a metodologia aplicada trouxe melhorias significativas. As análises do projeto mostraram que os alunos se sentiram mais motivados e confiantes em relação ao conteúdo, o que é um indicativo positivo para futuras implementações de práticas pedagógicas semelhantes.

Para aqueles professores que pretendem utilizar os materiais, produto educacional e dissertação, recomenda-se a continuidade da aplicação de metodologias ativas em diferentes tópicos do currículo de física, bem como a inclusão de mais ferramentas tecnológicas, como simuladores e softwares educacionais. Além disso, seria interessante comparar mais a fundo os resultados de alunos que tiveram

experiências práticas com aqueles que seguiram abordagens mais tradicionais, um exemplo poderia ser analisar os resultados nos vestibulares tradicionais no Brasil, como o ENEM, por exemplo.

É fundamental ressaltar o propósito do conhecimento a ser produzido através deste trabalho. A integração de teoria e prática, aliada ao uso de novas tecnologias, não apenas tem o poder de enriquecer o aprendizado dos alunos, mas também contribuir para a formação de cidadãos mais críticos e preparados para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. Assim, espera-se que este trabalho inspire novas práticas educacionais que visem a melhoria contínua do ensino de ciências nas escolas.

O engajamento dos alunos ao longo do projeto foi uma demonstração clara do potencial que uma abordagem prática possui para transformar a sala de aula em um ambiente de aprendizado ativo e colaborativo. Durante a construção da garra robótica e da luva controladora, os alunos não apenas aplicaram conceitos da Lei de Ohm, mas também desenvolveram competências importantes, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de trabalhar em equipe. Estas habilidades são essenciais não apenas para a formação acadêmica dos estudantes, mas também para suas futuras carreiras, uma vez que o mercado de trabalho valoriza cada vez mais a capacidade de adaptação e inovação.

Outro ponto relevante a ser destacado é a importância da formação continuada dos professores. A utilização de tecnologias educacionais e metodologias ativas requer que os educadores estejam preparados e atualizados em relação às novas ferramentas disponíveis. Portanto, a implementação de programas de formação e capacitação para professores pode ser uma maneira efetiva de garantir que mais educadores possam utilizar essas metodologias em suas práticas pedagógicas. Investir na formação dos docentes não apenas beneficia o ensino, mas também enriquece a experiência de aprendizado dos alunos.

As discussões realizadas após as atividades práticas foram fundamentais para a consolidação do conhecimento. A troca de ideias e a reflexão sobre os resultados obtidos proporcionaram um ambiente de aprendizagem onde os alunos puderam questionar, debater e construir coletivamente o seu entendimento sobre os conceitos estudados. Isso não apenas fortalece a compreensão, mas também estimula a curiosidade e o desejo de aprofundar-se mais nos conteúdos.

Ademais, este trabalho abre espaço para a pesquisa sobre a integração de outras áreas do conhecimento com a física, como a matemática e a tecnologia da informação. A interdisciplinaridade pode ser uma estratégia poderosa para enriquecer o ensino, mostrando aos alunos que os conceitos científicos estão interligados e que suas aplicações podem ser encontradas em diversas áreas do conhecimento e da vida cotidiana.

Finalmente, espera-se que esta dissertação não apenas contribua para o campo da educação em Física, mas também inspire outros educadores a adotarem práticas inovadoras em suas salas de aula. A educação é um processo contínuo e dinâmico, e a busca por novas formas de engajar os alunos e facilitar o aprendizado deve ser uma prioridade constante. Almeja-se que este trabalho sirva como um ponto de referência para a implementação de metodologias que coloquem os alunos no centro do processo de aprendizagem, preparando-os para os desafios do século XXI.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria J.; ARAÚJO, Carlos F. **O ensino da Lei de Ohm: um olhar histórico e epistemológico**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 24-30, 2016.

ANDRADE, D. F.; TAVARES, H. R.; VALLE, R. C. **Teoria da resposta ao item: conceitos e aplicações**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 2000.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

AUTO NEWS TV. **Como é feito o VW up!** YouTube, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8pWpbOAXvO8&t=17s>. Acesso em: 05 set. 2024.

BLOOM, Benjamin S. **Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain**. New York: David McKay Company, 1956.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://www.basescurriculares.mec.gov.br>. Acesso em: 05 de mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. Altera as Leis nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União: seção 1, p. 1, 17 fev. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13415.htm. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União: seção 1, p. 27833, 23 dez. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 05 de mar. 2024

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

CAVALCANTE, Claudio Enrique. **Uso de TIC's em circuitos de corrente continua: proposta didática e evaluación**. Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, v. 2, n. 2, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscar.html?task=detalhes&source=&id=W2410689383>. Acesso em: 05 de mar. 2024

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Portal de periódicos da Capes**. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

COSTA, Luiz F.; OLIVEIRA, Renata M. **A construção histórica da Lei de Ohm: contribuições de cientistas contemporâneos. História e Ensino de Ciências**, Belo Horizonte, v. 15, n. 3, p. 85-95, 2017.

EINSTEIN, Albert. **Frase atribuída**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.].

FERREIRA, Miguel. **Lei de Ohm**. Revista de Ciência Elementar, v. 3, n. 2, 2015. Disponível em:

<https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscar.html?task=detalhes&source=&id=W2760339638>. Acesso em: 05 de mar. 2024

FEYERABEND, Paul. **Adeus à razão**. São Paulo: Loyola, 1987.

FEYERABEND, Paul. **Contra o método**. 3. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 54. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 50. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2011.

GOMES, Adriano D. A. **Avaliação Educacional: Teorias e Práticas**. São Paulo: Editora Educacional, 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

Halliday, David, 1916-2010 **Fundamentos de física, volume 3 : eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker ; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi**. - 10. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **A arte da eletrônica**. 3. ed. Traduzido por José Carlos de Oliveira. São Paulo: Cambridge University Press, 2015. 1032 p.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **A Teoria de Resposta ao Item (TRI) no ENEM**. Brasília: INEP, 2013.

LIBARDONI, Gláucio Carlos. **Oficina de robótica no ensino médio como metodologia de construção de conhecimentos de ciências exatas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/189041>. Acesso em: 05 set. 2024.

MACHADO, Juliana. **Modelização na formação inicial de professores de física**. 2009. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92467>. Acesso em: 13 set. 2024

MORAN, José. **A educação que desejamos: Novos desafios e como chegar lá**. 10. ed. São Paulo: Papirus, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio et al. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. [S. l.]: [s. n.], 1997. Disponível em:
<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa crítica**. Revista Currículum, n. 24, p. 2, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa crítica**. São Paulo: Editora Autores Associados, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa crítica: um conceito necessário? Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 10, n. 1, p. 1-22, 2010.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: um modelo pedagógico para a educação**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. **Educação: uma construção coletiva**. São Paulo: Editora Autores Associados, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **Ensinar e aprender: teoria e prática**. São Paulo: Editora Autores Associados, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. Teoria da Aprendizagem Significativa: um referencial para a melhoria do ensino. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: E.P.U., 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teoria da aprendizagem: contribuições para o ensino**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

NASCIMENTO, Rodrigo F.; ANDRADE, Lucas P. **A evolução da Lei de Ohm e suas conexões com a eletrostática e os campos**. Revista Brasileira de História da Física, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 100-120, 2021.

NUNES, William Pereira. **Ensino das leis de Ohm à luz da teoria da aprendizagem significativa: experiência didática no Colégio Estadual Dr. Oscar Tollens**. 2021. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/251982>. Acesso em: 05 de mar. 2024

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica: eletricidade**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. v. 3.

OHM, Georg Simon. **A corrente galvânica: tratada matematicamente**. Traduzido por Antonio Miguel. São Paulo: Edgard Blücher, 1994. 340 p.

OLIVEIRA, Filipa, PAIXÃO, José António. **Hands-on classroom experiments to study the characteristics of an electric generator (voltaic cell) and receiver (voltmeter) using simple, low-cost and easy-access materials**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 43, n. 2, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/dh7WnxtxBbN7CHgkGRXvYPb/?lang=pt>. Acesso em: 05 set. 2024.

OLIVEIRA, Vinícius Jessé Rodrigues de. **Aplicações da lei de Ohm para o ensino médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=&id=W2611813270>. Acesso em: 05 de mar. 2024

PEREIRA, Cláudio R.; SANTOS, Fernanda L. **A evolução da Lei de Ohm: da equação logarítmica à relação linear**. Revista de História da Ciência, Porto Alegre, v. 31, n. 4, p. 120-130, 2019.

RAMOS, Gilberto P. **Ensino e Aplicação da Física: Conceitos e Práticas no Cotidiano**. 2. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2017.

RIBEIRO, Álvaro. **Física: os fundamentos e as aplicações**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

RIBEIRO, Célia R. **Robô Carochinha: um estudo qualitativo sobre a robótica educativa no 1o ciclo do Ensino básico**. 2006. 191 f. Tese (Mestrado em Educação) – Universidade do Minho, Portugal, 2006.

RIBEIRO, Daniel Araki. **Georg Simon Ohm**. Revista de Ciência Elementar, 2014, v. 2, n. 3. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=&id=W2763937190>. Acesso em: 13 set. 2024.

SANTOS, José Carlos; DICKMAN, Adriana Gomes. **Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscaador.html?task=detalhes&source=&id=W2886518416>. Acesso em: 05 de mar. 2024.

SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE. **Plataforma SciELO**. Disponível em: <http://www.scielo.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. **Princípios de Física**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

SILVA, Ana Beatriz. **Uso do GeoGebra na Modelagem de Gráficos de Resistores Ôhmicos para Alunos de Ensino Médio**. Revista de Ensino de Física e Matemática, 2019, v. 4, n. 2. Disponível em:

<https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=&id=W4311881768>. Acesso em: 05 de mar. 2024

SILVA, Ana Paula; RIBEIRO, Fernando José. **Abordagem da Lei de Ohm para Estudantes com Deficiência Visual no Ensino Superior**. Revista Brasileira de Educação Especial, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=&id=W3174877733>. Acesso em: 05 de mar. 2024

SILVA, Denis Augusto Bopp da. **Utilizando equipamentos domésticos para compreender a associação de resistores e Efeito Joule**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/252155>. Acesso em: 05 set. 2024.

SILVA, João P.; FERREIRA, Ana L. **Repensando o ensino da Lei de Ohm: uma abordagem histórica e conceitual**. Ciências e Educação, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 40-50, 2018.

SILVA, Luiz Paes da. **Modelo construtivista para criação de conhecimento em física**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/82107>. Acesso em: 13 set. 2024.

SILVA, Rosimari Nazario da. **Ilhas de racionalidade: o ensino de ciências através de projetos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/105327>. Acesso em: 13 set. 2024.

SOARES, Antonio Augusto; GUERREIRO, Luis Gustavo Jayme. **Laboratório virtual para o ensino da 1ª Lei de Ohm e associação de resistores**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 13, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=&id=W3017194467>. Acesso em: 05 de mar. 2024

SOARES, Tiago do Amaral. **Desenvolvimento de uma metodologia para o ensino das leis de Kirchhoff e Ohm em aulas práticas de física**. 2021. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/279112>. Acesso em: 05 de mar. 2024

SOUZA, Marcelo P.; LIMA, Carla T. **A contribuição de Georg Simon Ohm para a eletricidade: uma análise histórica**. Revista de Física e Educação, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 50-60, 2020

SPILLERE, Janio Damiani. **Uma proposta de atividade experimental para o ensino da lei de Ohm**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/202012>. Acesso em: 28 set. 2024.

STEFFENS, Cezar Augusto. **A importância das medidas em física: um olhar sobre a prática pedagógica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)

– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14968>. Acesso em: 05 set. 2024.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Eletricidade e Magnetismo**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

TIPLER, Paul A. et al. **FÍSICA III: ELETRICIDADE E MAGNETISMO**. 5. ed. [S. l.]: LTC, 2006. 532 p. v. 2. ISBN 8521617119.

TOLEDO, Sílvia M.; RAMALHO, Fernando G.; NICOLAU, Carlos A. **Física: eletricidade e ondas**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2009. v. 3.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Biblioteca Digital de Teses e Dissertações**. Disponível em: <https://teses.usp.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Portal de periódicos da UFSC**. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/>. Acesso em: 13 set. 2024.

VYGOTSKY, Lev. **A Formação Social da Mente**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

Young, Hugh D. **Física III, Sears e Zemansky: eletromagnetismo/ Hugh D. Young, Roger A. Freedman ; colaborador A. Lewis Ford ; tradução Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moysés Luiz**. – 14. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Universo da física**. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016. v. 3.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

Neste apêndice, apresenta-se o produto educacional intitulado “Sequência Didática para o Ensino da Lei de Ohm: Controlando uma Garra Robótica com Resistor Flexível”, elaborado no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Essa sequência didática foi desenvolvida com o objetivo de promover a aprendizagem significativa dos conceitos relacionados à Lei de Ohm, por meio de uma abordagem prática e contextualizada.

O material aqui incluído corresponde à proposta que foi aplicada como parte da investigação desta dissertação, envolvendo atividades experimentais, simulações, discussões orientadas e a construção de um dispositivo interativo (luva com resistor flexível acoplado a uma garra robótica). A sequência busca articular teoria e prática, favorecendo a compreensão da Lei de Ohm, de maneira crítica e significativa.



MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL PARA O ENSINO DE FÍSICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE ARARANGUÁ

Mateus Elias Mateus

PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUENCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA LEI DE OHM:
CONTROLANDO UMA GARRA ROBÓTICA COM RESISTOR
FLEXÍVEL

Araranguá
2024

Mateus Elias Mateus

SEQUENCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA LEI DE OHM:
Controlando uma garra robótica com resistor flexível

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: A CORRENTE DO CONTROLE: Estudo da lei de ohm com uso de um braço robótico como plataforma de ensino-aprendizagem, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus de Araranguá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Evy Augusto Salcedo Torres

Araranguá
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), à Escola de Educação Básica São Domingos e aos alunos que participaram do projeto da luva controladora. Sem o envolvimento e o empenho de todos, este trabalho não teria sido possível.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	158
2. INTRODUÇÃO.....	160
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	163
3.1 TEORIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM.....	163
3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA: CONCEITOS E TEORIAS.....	168
4. ROTEIRO DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	176
4.1 PRIMEIRA AULA: DESCOBRINDO A LEI DE OHM: COMO A FÍSICA CONTROLA UMA GARRA ROBÓTICA.....	178
4.2 AULA 02: EXPERIMENTO DE VERIFICAÇÃO DA LEI DE OHM	187
4.3 TERCEIRA AULA: EXPLORANDO O EFEITO JOULE, DA TEORIA À PRÁTICA EXPERIMENTAL	193
4.4 QUARTA AULA: A INFLUÊNCIA DOS PARAMETROS DOS MATERIAIS NA RESISTÊNCIA ELÉTRICA	203
4.5 QUINTA AULA: EXPLORAÇÃO EXPERIMENTAL DAS ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO.....	215
4.6 SEXTA AULA: RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO, CONCEITOS E APLICAÇÕES DAS LEIS DE KIRCHHOFF	226
4.7 SÉTIMA AULA: ANÁLISE PRÁTICA DO COMPORTAMENTO DE DISPOSITIVOS COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL	241
4.8 OITAVA AULA: MONTAGEM DA LUVA CONTROLADORA COM RESISTOR FLEXÍVEL	255
4.9 NONA AULA: CONSTRUÇÃO DA GARRA ROBÓTICA DIDÁTICA	264
4.10 DÉCIMA AULA: APRENDENDO A LEI DE OHM NA PRÁTICA, DA EXPERIMENTAÇÃO E TEORIA AO CONTROLE DA GARRA ROBÓTICA.....	273
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	281
REFERÊNCIAS.....	283
APÊNDICE A – ROTEIRO PARA OS ALUNOS.....	285

1 APRESENTAÇÃO

No contexto do ensino de Física, é fundamental promover experiências educacionais que estimulem não apenas a compreensão teórica dos conceitos, mas também sua aplicação prática e a capacidade de resolução de problemas por parte dos alunos. Este trabalho, desenvolvido no âmbito de uma dissertação do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Polo Araranguá, vinculado ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), propõe um produto educacional voltado à introdução dos princípios básicos da Lei de Ohm de maneira prática e envolvente.

A escolha desta abordagem se justifica pela necessidade de oferecer aos alunos uma experiência educacional que vá além da mera transmissão de conhecimento, buscando-se, assim, estimular o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade de análise, além de promover uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados. A abordagem adotada neste trabalho visa não apenas fornecer aos alunos uma compreensão teórica da Lei de Ohm, mas também permitir que eles experimentem na prática seus princípios por meio da construção e programação de uma luva controladora, que utiliza um resistor flexível, a ser aplicada em uma garra robótica, também construída pelos alunos, com materiais de baixo custo e fácil acesso.

Ao utilizar resistores flexíveis para imitar os movimentos da mão de uma pessoa para um braço robótico didático, este produto educacional integra conceitos da física da eletricidade com tecnologia robótica, criando uma experiência *hands-on* que permite aos alunos construir novas relações com as tecnologias. Pretende-se, assim, proporcionar um ambiente de aprendizagem dinâmico e estimulante, onde os alunos possam não apenas assimilar os conceitos teóricos, mas também explorar sua aplicação prática e desenvolver habilidades essenciais para a resolução de problemas.

A abordagem *hands-on*, segundo Almeida e Valente (2011), favorece o aprender fazendo, permitindo que os alunos construam conhecimento por meio da manipulação concreta e da articulação com conceitos teóricos, portanto, é uma abordagem pedagógica que valoriza a experimentação prática e o

envolvimento ativo dos estudantes no processo de aprendizagem, conectando teoria e prática de maneira contextualizada e significativa. Nesse sentido, Moreira (2011) aponta que "a aprendizagem significativa ocorre quando o aluno é capaz de relacionar o novo conhecimento com conceitos prévios de forma não arbitrária e substantiva" (p. 23). Assim, a prática aliada a teoria favorece essas conexões ao promover situações em que o aluno vivencia e experimenta os conceitos diretamente.

Nesta perspectiva, este trabalho visa contribuir para o avanço do ensino de Física, oferecendo uma proposta educacional diferenciada e alinhada com as demandas da sociedade contemporânea. Ao promover uma integração entre teoria e prática, entre conhecimento científico e tecnológico, busca-se uma reflexão sobre os desafios e as possibilidades de se promover uma educação mais significativa e preparar os alunos para os desafios do mundo atual, capacitando-os não apenas como consumidores, mas também como produtores de conhecimento e agentes de transformação social.

2 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento deste produto educacional é fundamentado em uma abordagem que visa oferecer aos alunos uma experiência de aprendizagem significativa e envolvente. A escolha de empregar uma luva controladora para replicar os movimentos da mão em uma garra robótica, foi motivada pela necessidade de criar uma atividade prática que permitisse aos alunos explorar os princípios da Lei de Ohm de maneira tangível e interativa.

A Lei de Ohm, sendo um dos pilares da eletricidade, estabelece a relação entre a corrente elétrica, a tensão e a resistência em um circuito elétrico. Apesar de ser um conceito central no estudo da Física, sua compreensão nem sempre é simples para os alunos, muitas vezes devido à sua abstração e complexidade teórica. Portanto, a busca foi por desenvolver uma atividade que possibilitasse aos alunos visualizar e experimentar os conceitos relacionados à Lei de Ohm de maneira concreta e prática.

A construção da luva controladora envolve a utilização de resistores flexíveis, os quais variam sua resistência conforme a flexão. Esses resistores serão conectados a um circuito elétrico que controla os movimentos, de modo que a flexão dos dedos da luva resulte em movimentos correspondentes na garra robótica. Assim, os alunos podem observar diretamente como a variação da resistência afeta a corrente elétrica e, consequentemente, os movimentos da garra.

Além da montagem física da luva controladora e da garra, os alunos serão introduzidos aos conceitos por trás de cada uma das variáveis que expressam matematicamente a lei de Ohm, tendo diversas atividades experimentais que ajudarão na compreensão e construção dos conhecimentos. Além de conhecimentos básicos de programação, necessários para controlar o sistema robótico. Isso permite uma integração entre os conhecimentos de Física e Tecnologia, incentivando os alunos a explorar as interações entre essas duas áreas e a compreender como conceitos teóricos podem ser aplicados na prática.

Durante o desenvolvimento do produto educacional, são propostas atividades práticas e experimentais que permitam aos alunos investigar diferentes aspectos da Lei de Ohm, como a relação entre corrente elétrica,

tensão e resistência, bem como a influência de diferentes materiais e suas geometrias na resistência elétrica. Essas atividades serão acompanhadas por discussões em sala de aula e análises dos resultados obtidos, onde se pretende promover uma compreensão mais profunda dos conceitos abordados.

Ao término do projeto, os alunos serão incentivados a refletir sobre sua experiência e a compartilhar suas aprendizagens com os colegas. Essa reflexão crítica sobre o processo de aprendizagem é essencial para consolidar o conhecimento adquirido e para identificar possíveis melhorias e ajustes a serem feitos em futuras implementações do projeto, seja com a mesma turma ou com outras turmas.

Portanto, ao conectar a luva controladora ao sistema robótico didático, os alunos podem testemunhar como os princípios da Lei de Ohm se manifestam na prática. Os servomotores, que irão compor os movimentos do braço robótico, respondem às mudanças na resistência da luva controladora, traduzindo os movimentos da mão em movimentos correspondentes. Essa interação com a luva pretende criar a conexão direta entre os conceitos teóricos e sua aplicação prática, com capacidade de proporcionar uma experiência de aprendizado imersiva e envolvente. Além disso, a combinação da teoria com a luva controladora pode oferecer oportunidades para explorar uma variedade de conceitos relacionados à eletricidade e à robótica. Os alunos podem investigar como diferentes materiais afetam a resistência elétrica, experimentar interação com circuitos paralelos e em série e explorar os princípios de controle de movimento em robótica. Essa abordagem multidisciplinar almeja enriquecer ainda mais a experiência de aprendizado, permitindo que os alunos desenvolvam uma compreensão abrangente, significativa e prática dos conceitos científicos e tecnológicos envolvidos.

Desta forma, a construção e programação da luva controladora e da garra robótica podem oferecer oportunidades para desenvolver habilidades práticas e criativas. Os alunos serão desafiados a projetar, montar e programar dispositivos eletrônicos, promovendo o pensamento crítico, a resolução de problemas e a colaboração em equipe. Essas habilidades são essenciais no mundo moderno,

onde a tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante em todas as etapas e áreas da vida cotidiana.

No Capítulo 3, apresentaremos uma fundamentação teórica que servirá como alicerce para o desenvolvimento e a aplicação do produto educacional. Este capítulo incluirá os principais conceitos e fórmulas físicas necessárias para compreender as bases científicas do produto educacional, bem como a teoria de ensino e aprendizagem que fundamenta sua implementação. Essa abordagem teórica visa proporcionar uma compreensão sólida e aprofundada, que vai além da simples aplicação prática do produto, garantindo que o aplicador tenha segurança e clareza sobre os princípios pedagógicos e científicos envolvidos.

No Capítulo 4, será apresentado um roteiro completo e detalhado para a aplicação do produto educacional. Este roteiro incluirá um passo a passo prático, desde os preparativos iniciais até a condução das aulas e atividades planejadas. Esse capítulo será essencial para garantir que o produto possa ser aplicado de forma eficiente, atingindo os objetivos educacionais propostos.

Em suma, a utilização da construção de uma luva controladora em conjunto com uma garra robótica didática propõe uma abordagem inovadora e prática no ensino da Lei de Ohm para alunos do ensino médio. Ao proporcionar uma experiência dinâmica e interativa, esta abordagem visa promover uma compreensão mais profunda dos conceitos elétricos fundamentais, como a lei de Ohm, ao mesmo tempo em que desenvolve habilidades práticas e criativas essenciais para o sucesso futuro dos alunos, como agentes transformadores do meio em que vivem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Abordaremos uma fundamentação teórica essencial para a compreensão e aplicação do nosso produto educacional. Esta base teórica é fundamental para a contextualização dos conceitos físicos abordados, bem como para a compreensão da teoria de ensino e aprendizagem proposta, que são elementos cruciais para o desenvolvimento eficaz do material educativo. Um apoio teórico é imprescindível, uma vez que serve como alicerce e norte para a estruturação do conteúdo e a implementação de estratégias de ensino adequadas. Portanto, esta seção abordará os principais conceitos teóricos da física que serão explorados ao longo do produto educacional.

Além disso, é crucial considerar as teorias contemporâneas de ensino e aprendizagem ao desenvolver materiais educacionais. A compreensão das diferentes abordagens pedagógicas e modelos educacionais disponíveis é fundamental para a concepção de estratégias instrucionais que promovam a aprendizagem significativa e engajadora. Nesse sentido, exploraremos também a teoria de ensino e aprendizagem, que reforçará a base necessária para a concepção e implementação das atividades e recursos educacionais apresentados no produto.

3.1 TEORIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica, proposta por Marco Antonio Moreira, é um marco importante na área da educação, especialmente no contexto do ensino que mescla teoria, experimentação e prática. Esta seção explora os principais fundamentos e contribuições da teoria de Moreira para a compreensão e aprimoramento dos processos de ensino e aprendizagem, destacando seus conceitos-chave e sua aplicabilidade na prática educacional, como no exemplo deste projeto.

A teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica se baseia no construtivismo, que defende que o conhecimento é construído ativamente pelo aprendiz, em contraposição a ser transmitido passivamente por um professor. De acordo com Moreira (2012), a aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento é incorporado ao já existente na estrutura cognitiva do

estudante, estabelecendo relações relevantes e lógicas entre eles. O autor também enfatiza a importância dos conceitos de ancoragem e de conflito cognitivo. A ancoragem refere-se à ligação dos novos conteúdos com os já existentes na mente do estudante, tornando-os mais coerentes e integrados. Por outro lado, o conflito cognitivo surge quando há discrepâncias entre o conhecimento prévio do aluno e as novas informações, desencadeando um processo de reflexão e reestruturação cognitiva. Nas palavras de Moreira (2012,)

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Para que a aprendizagem significativa crítica ocorra, Moreira destaca que os conteúdos devem ser apresentados de forma relevante e contextualizada, conectando-se com a experiência de vida do aluno, tornando-os mais significativos. O professor deve agir de forma intencional ao selecionar os conteúdos e ao criar situações de ensino que estimulem a aprendizagem significativa. A teoria sempre valoriza a flexibilidade do processo de ensino, permitindo que o estudante construa seu próprio conhecimento de acordo com suas características individuais. Por fim, a aprendizagem deve ser contextualizada e aplicada a situações que envolvam o mundo real, possibilitando ao aluno perceber sua relevância e utilidade. “A essência do processo da aprendizagem significativa está, portanto, no relacionamento não-arbitrário e substantivo de ideias simbolicamente expressas a algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do sujeito” (MOREIRA et al, 1997).

As contribuições da teoria de ensino-aprendizagem significativa crítica de Marco Antonio Moreira são abrangentes e impactam diretamente a prática educacional, como por exemplo, podemos citar que a teoria favorece o uso de metodologias ativas de ensino, nas quais o estudante é colocado no centro do processo educacional, estimulando a participação ativa, a reflexão e o diálogo. A teoria também valoriza a diversidade de saberes e experiências dos

estudantes, tornando a educação mais inclusiva e respeitando suas individualidades.

Um conceito-chave na teoria de Marco Antonio Moreira é o de "subsunsor". O termo subsunsor é fundamental para entender como ocorre o processo de aprendizagem significativa, uma vez que está relacionado à organização da estrutura cognitiva do indivíduo e ao estabelecimento de relações entre os conceitos.

Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. (MOREIRA, 2012).

No contexto do ensino de Física, esses conceitos assumem uma relevância particular, o ensino muitas vezes pode ser desafiador, pois envolve conceitos abstratos e complexos. No entanto, a utilização dos subsunções pode ser uma estratégia eficaz para promover a compreensão significativa dos fenômenos físicos pelos alunos. Ao introduzir novos conceitos em Física, é fundamental relacioná-los aos subsunções dos alunos, isso facilita a assimilação do novo conhecimento, permitindo que os estudantes estabeleçam conexões relevantes com o que já sabem.

3.1.1 Abordagens críticas para a aprendizagem significativa

Para ensinar conceitos da eletricidade, podemos usar um subsunção baseado em uma analogia com um brinquedo aquático, comum em parques, um tobogã onde as pessoas escorregam de uma altura até caírem na piscina. Nesse contexto, a forma do tobogã é fundamental para definir seu papel como subsunção, pois ela determina como o movimento acontece e como a energia é dissipada.

A altura do tobogã corresponde à diferença de potencial elétrico (V), representando a energia disponível para mover algo de um ponto a outro, quanto

maior a altura, maior a energia que cada pessoa tem ao iniciar o deslize. O fluxo de pessoas que descem por unidade de tempo pode ser relacionado à corrente elétrica, um fluxo intenso de pessoas indica uma corrente elétrica elevada, ou seja, muitas cargas passando pelo condutor.

A resistência elétrica é ilustrada pela resistência ao movimento que ocorre ao longo de todo o percurso do tobogã. Se o tobogã for reto e liso, os usuários deslizam mais rapidamente, já um tobogã serpenteado, com muitas curvas e mudanças de direção, causa atrito e desaceleração constante durante o trajeto, dificultando o aumento da velocidade. Essa resistência contínua ao movimento ao longo do percurso é análoga à resistência elétrica que atua em todo o condutor, limitando a corrente.

Ao utilizar essa analogia é possível incentivar a reflexão crítica dos alunos, questionando-os sobre o que aconteceria se aumentássemos a altura do tobogã? Como isso afetaria a velocidade das pessoas? Como isso se relaciona com a tensão elétrica? Se o tobogã ficasse congestionado e menos pessoas conseguissem escorregar ao mesmo tempo, como isso se relacionaria com a corrente elétrica? Como a profundidade e a densidade da água influenciam a desaceleração dos corpos? Como isso se assemelha à resistência elétrica em um circuito?

Porém, antes de abordar a Lei de Ohm propriamente dita, deve ser feita uma introdução aos conceitos básicos necessários para o entendimento do tema. Os conceitos de tensão elétrica (V), corrente elétrica (I) e resistência elétrica (R) devem ser apresentados aos alunos de forma clara e acessível. Com os conceitos básicos estabelecidos, a relação dos subsunçores com a Lei de Ohm será introduzida quase que automaticamente. Explica-se como a Lei de Ohm descreve a relação entre a tensão, a corrente elétrica e a resistência em um circuito elétrico, e como isso se aplica aos objetos do cotidiano que possuem resistências elétricas. Estuda-se também como a variação da tensão elétrica afeta a corrente elétrica que passa pela resistência do dispositivo, proporcionando uma aplicação concreta e prática da Lei de Ohm.

Para consolidar o aprendizado, será realizado experimentos práticos com a resistência flexível, assim, os alunos terão a oportunidade de medir sua

resistência com a ajuda de um multímetro, conforme a flexão da luva. Através dessas experiências, pode-se observar, por exemplo, a relação entre a voltagem aplicada, a corrente elétrica e a resistência do dispositivo, podemos verificar diretamente a validade da Lei de Ohm, desta forma, o experimento não apenas ilustra a aplicabilidade da lei, mas também demonstra como essa ela se entrelaça com aplicações atuais, ao exemplo do controle da garra robótica, enriquecendo a compreensão das interações fundamentais entre eletricidade e as tecnologias. Ao analisar a lei de Ohm no contexto da luva controladora, torna-se evidente como esses três parâmetros estão intrinsecamente conectados. A voltagem selecionada afeta diretamente a corrente elétrica que percorre a resistência, dessa forma, a conhecida fórmula $V = R \times i$ transcende sua simplicidade matemática, tornando-se um guia prático para entender como a voltagem, a resistência e a corrente se entrelaçam para operar um dispositivo tão tecnológico e cada vez mais presente em nosso cotidiano.

O ensino da Lei de Ohm, a partir de subsunçores, como o citado anteriormente, e, utilizando a abordagem de aprendizagem significativa crítica, tem a possibilidade de tornar o ensino mais eficaz e envolvente para os alunos. Além disso, a contextualização dos subsunçores torna o aprendizado mais relevante, permitindo que os alunos relacionem os novos conceitos com o que já sabiam em sua vida cotidiana. Portanto, o uso de subsunçores possibilita uma compreensão mais profunda e aplicável dos princípios elétricos, como o exemplo da lei de Ohm em suas vidas diárias. “Progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável mais diferenciado, mais rico em significados, podendo cada vez mais facilitar novas aprendizagens.” (MOREIRA, 2012).

Não se almeja, utilizando esta teoria de ensino aprendizagem, que o aluno jamais esqueça o que aprendeu no projeto, mas sim que ele possa reter o máximo, através da significação do que aprendeu, podendo assim reconstruir o que aprendeu mais facilmente, assim que necessário em sua vida acadêmica ou profissional. “Portanto, aprendizagem significativa não é, como se possa pensar, aquela que o indivíduo nunca esquece. A assimilação obliteradora é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total. (MOREIRA, 2012).

Ao enfatizar a relevância e a conexão entre os conteúdos e a experiência dos estudantes, a teoria oferece um caminho promissor para a aplicação deste trabalho, colocando-os como agentes ativos da sua aprendizagem. A abordagem significativa pode promover o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico, criativo e reflexivo, preparando os alunos para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea, seja na sua vida acadêmica ou profissional, habilidades que poderá melhorar através das provocações e desafios que irá sofrer durante o desenvolvimento do projeto.

3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA: CONCEITOS E TEORIAS

Faremos agora uma análise, sob a perspectiva da física clássica, dos conceitos que fundamentam a lei de Ohm.

3.2.1 Fundamentos da eletrostática

Discutir sobre corrente elétrica conduzida ao longo de fios condutores nos leva necessariamente a discutir sobre conceitos de eletrostática, sendo assim, faremos aqui uma revisão rápida desses conceitos.

O fundamento da eletrostática reside na propriedade física de Carga elétrica, não existe uma definição muito mais elaborada que a operacional para esse conceito, isto é, carga, que denotamos por q ou Q , é a propriedade da matéria, tal que, quando um objeto com essa propriedade se aproxima de outro objeto com a mesma propriedade experimenta uma força, que chamaremos de elétrica, dada pela lei de Coulomb: $\underline{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qQ}{r^3} \underline{r}$. “O módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.” (Young et al, 2016. p. 9)

Nessa equação da lei de Coulomb, F representa a força experimentada pelos corpos carregados, ϵ é uma propriedade física do espaço no qual as cargas estão imersas, r é a separação entre as cargas, q e Q são as cargas dos objetos. Os resultados experimentais mostram que a carga pode ser de dois tipos e tem se convencionado chamar de carga positiva e negativa, o que independe de convenção é que cargas do mesmo tipo se repelem e cargas de tipos

diferentes se atraem. A unidade de carga depende do sistema básico de unidades escolhido, se se utiliza o sistema internacional de medidas (SI) a unidade de carga é o Coulomb, denotado por C.

A nossa definição operacional de carga pressupõe a existência de dois corpos carregados próximos, com tudo a experiência também mostra que existem situações nas quais aparentemente só existe um corpo e este experimenta uma força elétrica, este aparente impasse pode ser subsanado introduzindo um outro conceito, o de campo elétrico. Operacionalmente o campo elétrico é definido como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Ou, substituindo na lei de Coulomb

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^3} \vec{r} \quad (2)$$

De forma que uma o campo é uma alteração no espaço devido a presença de um corpo carregado com carga Q.

Podemos definir o campo elétrico em um ponto nas proximidades de um objeto carregado, como o ponto, da seguinte forma: Colocamos no ponto P uma pequena carga positiva q_0 , que chamamos de carga de prova porque será usada para provar (ou seja, sondar) o campo. (Usamos uma carga pequena para não perturbar a distribuição de carga do objeto.) Em seguida, medimos a força eletrostática que age sobre a carga q_0 e definimos o campo elétrico produzido pelo objeto pela equação $\underline{F} = q\underline{E}$ (Halliday, 2016, p.152).

A Física pode ser descrita a partir de duas perspectivas diferentes, em termos de forças ou em termos de energia, essas perspectivas, de fato, nunca são excludentes e é necessário estender a conservação da energia e incluir outras formas de energia além da mecânica, isto é:

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}U \quad (3)$$

Para o caso da força elétrica o potencial U do qual se deriva a força é dado por:

$$\Delta U = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \Delta \left(\frac{1}{r} \right) \quad (4)$$

Esta energia corresponde ao trabalho que tem que ser realizado sobre as cargas para trazer elas desde pontos infinitamente afastados até pontos onde a separação entre elas seja r . Da mesma forma que foi possível definir um campo vetorial associado à força elétrica somos capazes de definir um campo escalar associado à energia, esse campo se define como:

$$\Delta V = \frac{U}{q} \quad (5)$$

O qual recebe o nome de potencial elétrico, que para o caso de partículas puntiformes é dado por:

$$\Delta V = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \Delta \left(\frac{1}{r} \right) \quad (6)$$

A unidade do potencial elétrico é o volt, e pela definição de energia vemos que corresponde a trabalho por unidade de carga realizado para aproximar às cargas, de fato:

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{-W_{AB}}{q} \quad (7)$$

Nesta expressão, V_A e V_B correspondem aos potenciais associados ao ponto A e ao ponto B, enquanto que W é o trabalho realizado pela força. Devemos entender que definir os potenciais V_A e V_B implica na escolha

consciente de um referencial no qual o potencial elétrico (e por onde, a energia elétrica) é considerado nulo, dada a dependência com o inverso da distância a escolha óbvia é considerar o potencial como sendo nulo a uma distância infinitamente afastada da carga, sendo assim definimos a energia e o potencial elétrico num ponto como sendo:

$$U(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qQ}{r} \Rightarrow V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} \quad (8)$$

Antes de continuar devemos esclarecer que: como o potencial elétrico com origem eletrostático é associado a um campo conservativo, não teremos como extrair trabalho quando percorremos um circuito, uma vez que para campos conservativos se verifica:

$$\oint dU = 0 \quad (9)$$

Para extrair trabalho durante o percurso fechado o potencial elétrico deve ter outra origem, como por exemplo as pilhas elétricas, onde a energia tem origem química. Se esse é o caso poderíamos nos perguntar se as definições de campo elétrico e potencial elétrico deixam de ter valia quando tratamos com sistemas não conservativos, na realidade continuam sendo válidas, a ação do campo elétrico continua a gerar força sobre corpos carregados e a diferença de potencial elétrico continua a estar relacionada com a quantidade de trabalho realizada ao deslocar uma carga desde um ponto A até outro B.

3.2.2 Corrente elétrica: aspectos teóricos fundamentais

Olhando a matéria até uma certa escala podemos afirmar que esta é constituída por átomos, os quais por sua vez são formados por elétrons, prótons e nêutrons. Tanto os elétrons quanto os prótons possuem cargas de $-1,6 \times 10^{-19}$ C e $+1,6 \times 10^{-19}$ C, respectivamente, enquanto que os nêutrons não possuem

carga elétrica. “A unidade mais fundamental de carga elétrica é o módulo da carga de um próton ou de um elétron, que será designado por e . O valor mais preciso disponível quando este livro foi escrito é dado por $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ” (Young et al, 2016. p. 16)

Essas cargas elétricas desempenham um papel fundamental na eletricidade, pois a movimentação de elétrons em um material condutor é o que chamamos de corrente elétrica. Assim como a água pode escoar por um cano, os elétrons podem se deslocar em um circuito devido a uma diferença de potencial elétrico (V).

A corrente elétrica é um dos conceitos fundamentais da eletricidade e desempenha um papel essencial em inúmeros tipos de circuitos elétricos que fazem parte de aplicações tecnológicas, como o controlador e o próprio braço robótico utilizados neste projeto. Nesta seção, exploraremos os fundamentos e propriedades da corrente elétrica, a fim de compreender melhor seu comportamento e suas aplicações práticas. Iniciaremos abordando a definição básica da corrente elétrica.

“Uma corrente elétrica é qualquer movimento de cargas de uma região para outra” (Young et al, 2016. p.146). Quando analisamos em um condutor, corrente elétrica é a taxa de fluxo de carga elétrica através deste condutor. É medida em ampères (A) e representa o número de elétrons em movimento por unidade de tempo. A corrente elétrica é gerada quando há uma diferença de potencial (tensão) aplicada a um circuito elétrico. Tipler (2006, p. 145) relata que:

A corrente elétrica é definida como o fluxo de carga elétrica através da seção transversal de um condutor. No seguimento de um fio condutor por onde passa uma carga. Se ΔQ é a carga que flui através da área de seção transversal durante o intervalo de tempo Δt , a corrente será definida como $i = \Delta Q / \Delta t$. A unidade de corrente no sistema internacional de medidas (SI) é o ampere (A): $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

A direção da corrente elétrica é convencionalmente definida como o fluxo de carga positiva, oposta ao movimento real dos elétrons. Essa convenção, conhecida como "modelo de corrente convencional", foi estabelecida antes do conhecimento sobre a natureza dos elétrons. Assim, o sentido da corrente é

definido como do polo positivo para o polo negativo da fonte de tensão, ou seja, ao contrário do sentido real do movimento dos elétrons.

Por convenção, a orientação da corrente é considerada como sendo a do fluxo da carga positiva. Essa convenção foi estabelecida antes de se saber que os elétrons livres são partículas que na verdade se movem nos cabos metálicos carregados. Assim, os elétrons se movem no sentido oposto à orientação convencional para a corrente. Em um acelerador que produz um feixe de prótons, as orientações da corrente e do movimento dos prótons positivamente carregados são idênticas. (Tipler, 2006, p. 145)

Existem dois tipos principais de corrente elétrica: corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). A corrente contínua é caracterizada pelo fluxo constante de elétrons em uma direção, como exemplo das pilhas, baterias e fontes de alimentação de dispositivos eletrônicos. Já a corrente alternada é aquela em que a direção dos elétrons se inverte periodicamente ao longo do tempo, exemplos de dispositivos que utilizam corrente alternada incluem motores elétricos industriais e aparelhos de soldagem elétrica.

3.2.3 Resistência elétrica e lei de ohm

A resistência elétrica é um conceito fundamental na área da eletricidade e desempenha um papel crucial em inúmeras aplicações práticas. A Lei de Ohm, formulada por Georg Simon Ohm em 1827, estabelece uma relação fundamental entre a resistência elétrica, a corrente elétrica e a diferença de potencial em um circuito elétrico. A resistência elétrica é uma propriedade inerente aos materiais que se opõem ao fluxo de corrente elétrica. É representada pelo símbolo "R" e é medida em ohms (Ω). A resistência elétrica depende de vários fatores, como a geometria do condutor, a natureza do material e a temperatura.

A Essa relação, chamada de lei de Ohm, foi descoberta em 1826 pelo físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854). A palavra "lei" deveria, na verdade, estar entre aspas, porque a lei de Ohm, assim como a lei dos gases ideais e a lei de Hooke, fornece um modelo idealizado que descreve muito bem o comportamento de alguns materiais, porém não fornece uma descrição geral para todos os materiais. (Young et al, 2016. p. 151)

Neste contexto, A Lei de Ohm estabelece que a corrente elétrica que flui através de um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada e inversamente proporcional à resistência elétrica do condutor.

Matematicamente, essa relação pode ser expressa como: “A razão entre V e I para um dado condutor denomina-se resistência $R = \frac{V}{I}$.” (Young et al, 2016. p. 155)

Onde:

- V é a diferença de potencial (tensão) aplicada ao condutor, medida em volts (V).
- I é a corrente elétrica que flui através do condutor, medida em amperes (A).
- R é a resistência elétrica do condutor, medida em ohms (Ω).

A lei de Ohm é válida para condutores ôhmicos, ou seja, aqueles que mantêm uma relação linear entre tensão e corrente elétrica dentro de uma faixa de operação específica. No entanto, nem todos os materiais seguem esse comportamento; em semicondutores e dispositivos eletrônicos, por exemplo, a relação entre tensão e corrente pode ser não linear. Isso significa que a lei de Ohm não é uma regra universal para todos os materiais, mas sim uma propriedade característica de determinados condutores. Como ressaltam Young et al. (2016, p. 153): “Entretanto, é importante entender que o verdadeiro significado da lei de Ohm consiste na indicação de uma proporcionalidade direta (para alguns materiais) de V com I ou de J com E ”.

Após esta sucinta revisão teórica, vale destacar que a Lei de Ohm é amplamente utilizada em diversos campos da eletricidade e eletrônica. Algumas das aplicações mais comuns são cálculos de Circuitos Elétricos, onde é utilizada para determinar a corrente elétrica em um circuito, conhecendo a tensão aplicada e a resistência elétrica dos componentes envolvidos. Essa relação é essencial para o projeto e análise de circuitos elétricos. Em dimensionamento de Componentes Eletrônicos: Ao projetar um circuito eletrônico, é necessário dimensionar os componentes adequadamente para garantir que a corrente elétrica e a tensão estejam dentro de limites seguros. Generalizações à lei de OHM também são aplicadas para além da seleção de resistores, podendo ser utilizada para o caso de outros elementos como capacitores e indutores.

A compreensão da Lei de Ohm pode ganhar um aspecto tangível e envolvente quando explorada através de um controlador de braço robótico

equipado com um resistor flexível. Nesse cenário, os princípios abstratos da eletricidade se transformam em uma experiência prática e palpável. O resistor flexível, sensível à curvatura, age como o elemento de resistência, onde a curvatura do resistor está diretamente relacionada à sua resistência elétrica. Ao ajustar a voltagem aplicada ao circuito e observar as mudanças correspondentes na corrente elétrica, enquanto manipula a curvatura do resistor flexível, os aprendizes podem testemunhar a aplicação direta da Lei de Ohm. Conforme a curvatura varia, a resistência muda e, conseqüentemente, a corrente elétrica é modificada, seguindo a relação $V = R \times i$. Essa abordagem prática oferece uma oportunidade única de relacionar conceitos abstratos com ações concretas, capacitando os estudantes a internalizar a interconexão entre voltagem, resistência e corrente elétrica de maneira significativa. Portanto, o controlador de braço robótico, atuando como um meio de aprendizado interativo, busca oferecer uma maneira estimulante e eficaz de compreender os fundamentos da Lei de Ohm e sua aplicação em sistemas reais.

4 ROTEIRO DE APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Na contemporaneidade, a interseção entre a física a eletrônica e a robótica desenharam um horizonte de inovações que permeiam nosso cotidiano de maneira cada vez mais intensa. Nesse contexto, a compreensão profunda da Lei de Ohm torna-se não apenas um fundamento teórico, mas uma ferramenta essencial para aqueles que buscam explorar o vasto campo da física dentro da automação. Associando teoria à prática, este roteiro de aplicação busca integrar os princípios da lei de Ohm com a construção de um intrigante projeto: o controle de uma garra robótica, cujo movimento é proporcionado por uso de um resistor flexível, conectado a uma luva controladora.

Ao longo das aulas, embarcaremos em uma jornada que não apenas desvendará os mistérios da Lei de Ohm, mas também nos conduzirá pela física prática, culminando na construção de um dispositivo que busca transcender os limites do aprendizado convencional. Cada etapa do percurso foi desenhada considerando não apenas os aspectos técnicos, mas também os princípios teóricos, práticos e pedagógicos, almejando uma construção sólida de conhecimentos significativos para os educandos.

Ao adentrarmos nesta aplicação, abraçamos a abordagem da Aprendizagem Significativa Crítica, concebida por Moreira. Esta metodologia não apenas visa a assimilação de conceitos, mas propõe uma compreensão crítica e reflexiva do conhecimento. A aprendizagem significativa, segundo Moreira, ultrapassa a memorização superficial, ela demanda a internalização e a conexão dos novos saberes com experiências prévias, promovendo uma construção ativa do conhecimento.

Nos apêndices estão disponíveis os roteiros de cada aula direcionado aos alunos, estes devem ser entregues aos participantes da sequência didática deste produto educacional, contendo as instruções para realização dos experimentos e simulações, tabelas e gráficos a serem preenchidos e desenvolvidos, questionários para responder, enfim, um passo a passo de como proceder nas aulas.

Ao final desta sequência, esperamos não apenas que os alunos compreendam os princípios da lei de Ohm e suas aplicações, mas que se tornem

protagonistas ativos na materialização de conhecimentos em projetos concretos. A conjugação da teoria e prática, tão característica da contemporaneidade, poderá ser aqui explorada de maneira envolvente e desafiadora, proporcionando uma base de conhecimentos sólida para os participantes do projeto.

4.1 PRIMEIRA AULA: DESCOBRINDO A LEI DE OHM: COMO A FÍSICA CONTROLA UMA GARRA ROBÓTICA

Daremos início a aplicação da sequência didática junto aos alunos, esta aula introdutória tem um papel crucial em desenvolver a curiosidade e instigar os alunos para os aprendizados sobre a Lei de Ohm que terão durante o projeto.

Nesta primeira aula, daremos início a uma jornada em que a Física vai muito além dos livros e fórmulas, conectando-se com o mundo real por meio da tecnologia e da inovação. Vamos explorar a Lei de Ohm, um dos conceitos mais importantes da eletricidade, que explica como a corrente, tensão e resistência elétrica se relacionam em circuitos elétricos.

Para tornar esse aprendizado mais dinâmico e concreto, os envolvidos irão participar de um desafio prático: controlar o movimento de uma garra robótica usando uma luva especial, equipada com um resistor flexível. Com essa luva, o movimento de abrir e fechar a mão será interpretado pelo circuito, através das relações entre tensão corrente e resistência, e assim vai transformar a variação da flexão da resistência em controle direto sobre a garra, que, por meio da Lei de Ohm, poderá ser prevista, compreendida e aplicada.

Mas, antes de colocarmos a "mão na massa", precisamos entender como a corrente elétrica funciona, o que são resistores, e como a Lei de Ohm nos ajuda a prever o comportamento dos circuitos. Nesta aula, vamos discutir essas ideias de forma simples e teórica, preparando o caminho para que possamos realizar experimentos, testar e comprovar hipóteses, unir a teoria e a prática, de forma que consolide o aprendizado, até podermos construir e controlar, com as próprias mãos, um sistema robótico real.

Ao final da aula, teremos uma base teórica necessária pra a sequência de experimentos, práticas, montagens e aprendizados.

4.1.1 Objetivos

Nesta aula inaugural iremos introduzir o projeto de aprender lei de Ohm através da luva controladora com resistor flexível e explicar seu funcionamento geral. Compreender o conceito básico da corrente elétrica, tensão e resistência.

Apresentar a Lei de Ohm e discutir sua importância para o funcionamento de circuitos elétricos.

Despertar o interesse dos alunos pela relação entre Física, eletrônica e robótica aplicada.

Incentivar o pensamento crítico sobre como a variação da resistência (no resistor flexível) pode ser usada para controlar um sistema eletrônico. Preparar os alunos para identificar, nas próximas aulas, como medir e interpretar grandezas elétricas em um circuito.

4.1.2 Recursos e materiais necessários:

- Quadro branco e canetão ou quadro e giz
- Projetor ou quadro interativo para apresentação de slides
- Luva controladora semelhante a que será confeccionada pelos alunos
- Garra robótica didática (pode ser de palitos, semelhante a que os alunos irão desenvolver, ou feita em impressora 3D, disponível no apêndice 01)
- Microcontrolador Arduino
- Fiação e conexões necessárias (material completo nos apêndices)
- Material para anotações e registros das aulas (caderno, caneta, lápis, borracha)

4.1.3 Procedimentos

- Abertura: Inicie com uma saudação e boas-vindas. (apresentação rápida do professor e dos alunos).
- Fomente uma discussão dirigida acerca da relevância da eletricidade na sociedade contemporânea e sua projeção para o futuro. Nesse contexto, os alunos devem ser convidados a compartilhar suas experiências pessoais relacionadas a utilização de aparelhos com resistências em seu cotidiano, auxilie os que tiverem dificuldades, lembrando dos chuveiros elétricos, chaleiras elétricas, secadores de cabelos. Vá além do óbvio instigando a refletirem sobre o aquecimento de aparelhos eletrônicos, como os carregadores de celular.

- Explique aos alunos sobre o projeto, cujo objetivo é estudar a lei de Ohm durante o desenvolvimento de uma luva, com resistor flexível, com capacidade de reproduzir os movimentos da mão humana para uma garra robótica.
 - Assista com os alunos o vídeo sobre a utilização de braço robóticos na indústria, mais necessariamente na construção do carro Volkswagen UP. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8pWpbOAXvO8&t=123s>. Após a apresentação do vídeo, direcione uma discussão rápida acerca do conteúdo visualizado e da importância da Física, tanto nas profissões contemporâneas quanto nas que estão emergindo.

4.1.3.1 Demonstração da luva controladora

- Após a conversa sobre o vídeo, vamos degustar uma prévia do que está por vir. Comece com perguntas instigantes: Você já pensou em controlar um robô com a sua mão, só com o movimento dos seus dedos? Como será que o movimento da nossa mão poderia fazer um robô se mexer? E como a Física e a Eletricidade podem estar por trás disso?
- Ligue os dispositivos eletrônicos necessários (Arduino, luva controladora e garra robótica), vista a luva controladora, em seguida abra e feche a mão e demonstre os movimentos se repetindo na garra robótica. Não explique o funcionamento ainda! Apenas deixe que vejam acontecer (Figura 1).

Figura 1 – Demonstração da luva Controladora



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Peça para que os alunos descrevam o que viram e tentem explicar oralmente como funciona.
- Instigue com as perguntas: O que vocês acham que tem na luva para fazer o robô se mexer? O que acontece com o movimento da mão? Como o robô sabe que a mão fechou?
- Mostre um resistor flexível fora da luva, passe para os alunos verem de perto (Figura 2).

Figura 2 – Resistor flexível para demonstração



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Explique: este é um resistor que muda de valor quando é dobrado ou esticado. Quando a mão fecha, ele dobra, a resistência muda, e o robô recebe essa informação.

4.1.3.2 *Relacionando com a física: introdução a lei de Ohm*

- Após a demonstração, puxe a conexão para o conteúdo com a pergunta: E o que a Física tem a ver com isso? Como o Arduino entende a mensagem da luva?
- Explique que para a corrente passar, depende da resistência, e que a Lei de Ohm relaciona corrente, tensão e resistência.
- Escreva no quadro a fórmula da Lei de Ohm: $V = R \times I$, onde: V é a tensão (em volts), R é a resistência (em ohms, Ω), I é a corrente (em amperes, A).
- Explique e escreva as definições de cada grandeza: Tensão (V), a tensão é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito. A tensão elétrica indica quanta energia por carga está disponível para colocar os elétrons em movimento, sendo o campo elétrico o responsável direto por exercer essa força. A tensão é medida em volts (V). Corrente (I): A corrente é o fluxo de elétrons que se movem no circuito. Quanto maior a corrente, mais elétrons passam por um ponto por unidade de tempo. A corrente é medida em amperes (A). A resistência é a dificuldade que os elétrons encontram para se mover dentro do material. Cada material tem uma resistividade característica, que influencia sua resistência elétrica. A resistência é medida em ohms (Ω).

4.1.3.3 *Relação linear estabelecida pela lei de Ohm*

- Explique que a equação $V=R \cdot I$ mostra uma relação proporcional entre tensão, corrente e resistência. Em circuitos com fonte de tensão constante, a tensão cria um campo elétrico que faz os elétrons se moverem. Fisicamente, a corrente elétrica é resultado da aplicação de uma tensão, ou seja, de um campo elétrico. Quando temos uma fonte de tensão constante, como uma pilha, o valor da corrente depende da resistência do circuito. Isso significa que, ao aumentarmos a resistência, a corrente diminui, e vice-versa.
- Reforce a percepção de linearidade na lei de Ohm: a relação entre a tensão e a corrente é linear: se aumentarmos a tensão, a corrente também

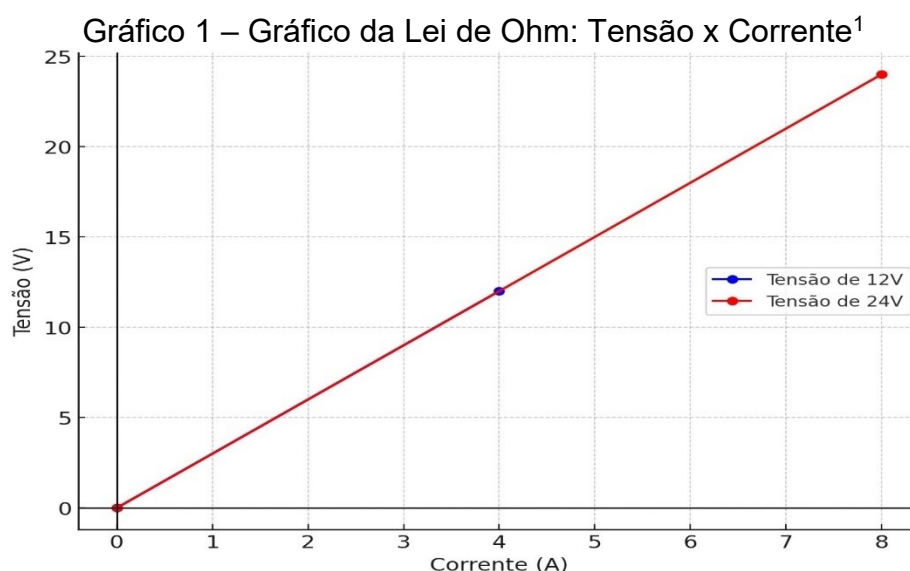
aumentará proporcionalmente, desde que a resistência seja constante, isso é a lei de Ohm em sua essência.

- Faça um experimento mental com os alunos, para assimilação da variação da resistência: Vamos pensar em dois circuitos com a mesma tensão ($V = 9V$). Em um circuito, a resistência é pequena, e no outro, é grande. Qual dos dois vai ter maior corrente? Perceba que, de acordo com a lei de Ohm, quanto maior a resistência (R), menor será a corrente (I), para a mesma tensão. Por isso, podemos imaginar que a resistência age como um 'gargalo' no circuito, limitando a quantidade de corrente que pode passar.
- Explore um exemplo numérico simples para a compreensão da essência da lei de Ohm: Diga que em um circuito, a tensão é de 12V e a resistência é de 3Ω .
- Pergunte aos alunos: Qual a corrente que passa pelo circuito?
- Escreva a fórmula, coloque os dados e resolva com os alunos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{3} = 4 \text{ A} \quad (10)$$

- Explique, que a corrente será 4 amperes de acordo com a relação da lei de Ohm, a tensão de 12V faz com uma corrente de 4A através de uma resistência de 3Ω . Para que fique ainda mais claro o fundamento da lei, explique que se for aumentada a tensão para 24V e o resistor não sofrer alterações em suas propriedades, ou seja, se manterá em 3Ω para esta nova configuração, a nova corrente será de 8 amperes, eis, portanto, a lei de Ohm.
- Para demonstrar em forma de coordenadas, desenhe um gráfico, como o modelo do gráfico 01 a seguir no quadro com corrente (I) no eixo horizontal e tensão (V) no eixo vertical. Faça uma linha reta, indicando que tensão aumenta linearmente com a corrente (isso ocorre quando a resistência é constante, lei de OHM). Se a resistência é constante, a curva será sempre uma reta, pois a relação entre a corrente e a tensão é linear.

Explique também que, quanto maior a resistência, mais inclinada será a reta.

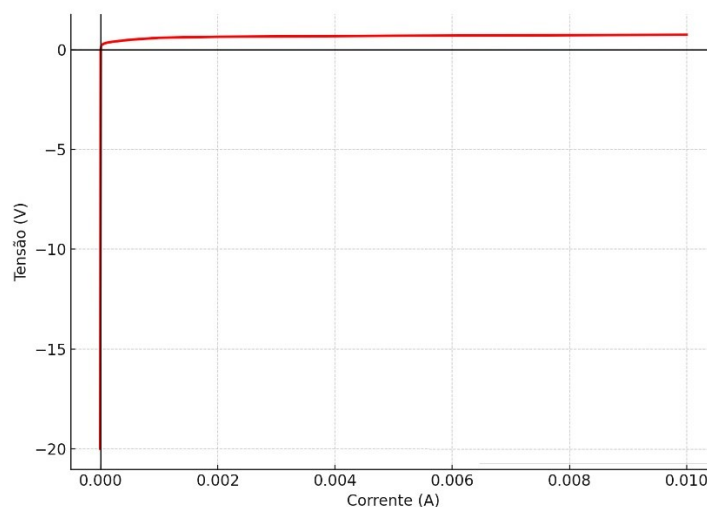


Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Para sedimentar mais a análise, explique que a equação $V=R \cdot I$ é equivalente à equação de uma reta: $y=m \cdot x$. Onde o coeficiente angular (m) da reta é equivalente a resistência elétrica (R). A inclinação (ou coeficiente angular) de uma reta é dada pela razão entre a variação da tensão e a variação da corrente, isso significa que, para cada aumento da corrente, a tensão aumenta proporcionalmente, e essa proporção é o valor da resistência. No gráfico, a tangente do ângulo que a reta forma com o eixo da corrente (I) é a resistência: $R=\tan(\theta)$. Se o gráfico for uma linha reta passando pela origem (Gráfico 1), o material é ôhmico, ou seja, segue a Lei de Ohm. Se o gráfico não for uma reta constante (Gráfico 2), o material é não ôhmico, e a resistência varia com a corrente e a tensão.

¹ Embora a formulação mais conhecida da Lei de Ohm seja $V=R \cdot I$, na representação gráfica é usual posicionar a variável independente no eixo horizontal (corrente elétrica, I) e a variável dependente no eixo vertical (tensão elétrica, V). Desse modo, a equação $I=V/R$ se adequaria melhor à convenção gráfica. Contudo, opta-se por manter a forma tradicional da equação, amplamente consolidada no ensino da física.

Gráfico 2 – Gráfico de um diodo, comportamento não ôhmico



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.1.3.4 Conclusão e conexão com o projeto

- Feche a aula relacionando a Lei de Ohm ao projeto da luva controladora: Agora que entendemos a relação entre tensão, corrente e resistência, como isso pode ser útil no nosso projeto da luva controladora?
- Explique a conexão: na luva, quando o resistor flexível é estendido, a resistência muda conforme o movimento da mão e veremos como isso afeta o controle da garra robótica. Saliente que nas próximas aulas iremos fundamentar ainda mais nosso entendimento sobre a lei de Ohm, resistores, resistências e as relações estabelecidas, até podermos compreender e prever os movimentos necessários para o controle da garra robótica através da luva com resistor flexível.
- Aplique o questionário a seguir para fechamento da primeira aula do projeto:

Tabela 1 – Questionário de Introdução

QUESTIONÁRIO DE INTRODUÇÃO AO PROJETO:

01- Como a variação da resistência no resistor flexível, quando você dobra a mão usando a luva, pode ser usada abrir ou fechar a garra robótica?

Resposta:

02- Você consegue pensar em algum objeto ou tecnologia do seu dia a dia que também funcione controlando o movimento ou a força com base na variação de sinais elétricos, como a luva faz ao controlar a garra robótica?

Resposta:

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.2 AULA 02: EXPERIMENTO DE VERIFICAÇÃO DA LEI DE OHM

Em diversas atividades do nosso dia a dia, somos expostos a fenômenos relacionados à eletricidade. Por exemplo, em um dia de tempestade, sabemos que um raio é uma forma de eletricidade descontrolada; em nossas casas, por outro lado, a eletricidade é controlada e podemos acessá-la por meio das tomadas elétricas ou utilizando pilhas que armazenam eletricidade. Nesses dois últimos casos, sabemos que a eletricidade é medida em volts; assim, dizemos que as tomadas têm 220 volts e as pilhas, em geral, são de 1,5 volts. Mas isso é realmente eletricidade? O que é esse tal de volt?

Brevemente, podemos dizer que a eletricidade é uma forma de energia relacionada a uma propriedade da matéria denominada carga elétrica. Sendo uma forma de energia, pode ser utilizada em processos nos quais se realiza trabalho. Por exemplo, se quisermos separar ou aproximar dois corpos carregados, será necessário realizar trabalho (medido em joules), seja contra ou a favor do campo elétrico existente, dependendo da configuração das cargas e da direção do movimento, algo semelhante ao que ocorre com os ímãs. Sob essa perspectiva, a energia elétrica é uma forma de energia potencial, pois depende da proximidade ou afastamento dos corpos carregados. O volt, por outro lado, é a quantidade de energia elétrica dividida pela quantidade de carga, ou seja, é uma medida indireta dessa energia. Assim, uma fonte de 220 V pode potencialmente realizar mais trabalho do que uma de 1,5 V.

Um paralelo interessante é uma montanha-russa: uma fonte com 220 V é como uma montanha-russa com 220 metros de altura, enquanto uma fonte com 1,5 V é como uma montanha-russa com 1,5 metro de altura. Dessa forma, é óbvio que o carrinho na montanha-russa de 220 metros ganhará mais velocidade (energia cinética) do que aquele em uma de 1,5 metro. Continuando com o paralelo, os fios elétricos de nossos aparelhos são como os trilhos da montanha-russa, e o carrinho representa os elétrons dentro dos fios. Assim, quando ligamos o aparelho à tomada, os elétrons sentem a ação das forças elétrica e a energia potencial (220 V vezes a carga do elétron) é convertida em energia cinética se movem. Infelizmente, semelhante ao que acontece com o carrinho na montanha-russa, onde o movimento é freado pelo atrito, nos fios elétricos os elétrons

perdem sua energia devido às interações elétricas com os átomos presentes no material, reduzindo sua velocidade.

Uma coisa interessante sobre os elétrons em movimento devido à aplicação de uma tensão é que essa transferência de energia elétrica para os átomos do material provoca o aquecimento do fio (Calor é a energia transferida entre corpos ou regiões de um mesmo corpo devido a uma diferença de temperatura. Quando um corpo recebe calor, sua temperatura pode aumentar, a menos que essa energia seja usada para mudar seu estado físico). Mais interessante ainda é que tudo isso pode ser resumido de forma extremamente elegante por meio de uma relação matemática descoberta experimentalmente por George Simon Ohm, conhecida hoje como a Lei de Ohm: $V=R \times I$. Nessa equação, V representa a tensão aplicada ao material, I é o número de elétrons por unidade de tempo que passa por um determinado ponto, o que chamamos de corrente elétrica, e R é uma medida dessa perda de energia devido às interações com os prótons do material, denominada resistência elétrica (em alusão à resistência ao movimento dos elétrons).

4.2.1 Objetivos

Nesta experiência, iremos verificar a Lei de Ohm de forma inusitada, não utilizando fios elétricos, mas sim grafite, ou seja, lápis. Acontece que o grafite com que os lápis são feitos é um condutor elétrico, ou seja, um material que apresenta uma resistência relativamente baixa se comparado com outros, como o plástico, que apresenta uma resistência quase infinita. Aplicaremos uma tensão sobre uma folha de papel onde foi desenhada uma faixa com lápis e verificaremos, com isso, a Lei de Ohm.

4.2.2 Recursos e materiais necessários:

- Folhas de papel A4
- Lápis 8B
- Régua de 15 cm ou mais
- 2 multímetros, um deles capaz de medir em micro ampere
- 4 cabos com garras de jacaré

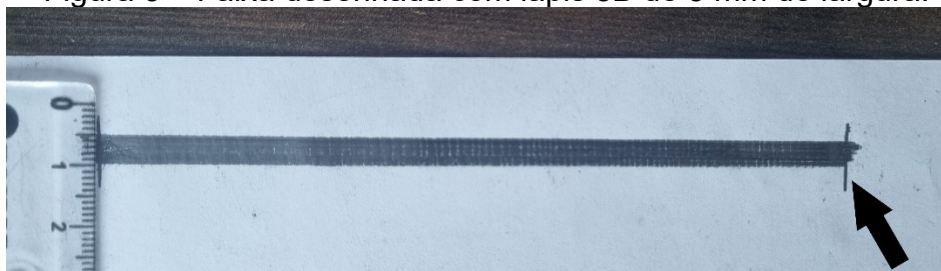
- Fonte variável de tensão contínua e baixa potência (máximo 2W) ou com limitador de corrente (máximo 100 mA)

4.2.3 Procedimento experimental

Desenhando a resistência

- Utilizando a régua como guia, trace uma reta em uma das folhas A4, de forma firme (que fique bem marcada) sem rasgar a folha.
- Paralela a essa reta, trace outra reta similar de forma que o resultado seja uma reta com o dobro de largura.
- Continue desenhando restas paralelas até obter uma faixa escura com 5 mm de largura aproximadamente, o que se obtém após 6 retas, conforme mostrado na figura abaixo. Em cada traço o lápis foi passado 3 vezes para garantir a consistência de material depositado no papel. Foi desenhando também retas perpendiculares em cada extremo (seta), indicando a posição correta para fazer as medições sempre no mesmo local (Figura 3).

Figura 3 – Faixa desenhada com lápis 8B de 5 mm de largura.



Fonte: Elaborada pelo autor

Verificando a Lei de Ohm

- Coloque os cabos do multímetro/amperímetro na posição para medir corrente em microampères e configure ele para essa função, conforme Figura 4a.

Figura 4a – multímetro configurado para medição de corrente em μA



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

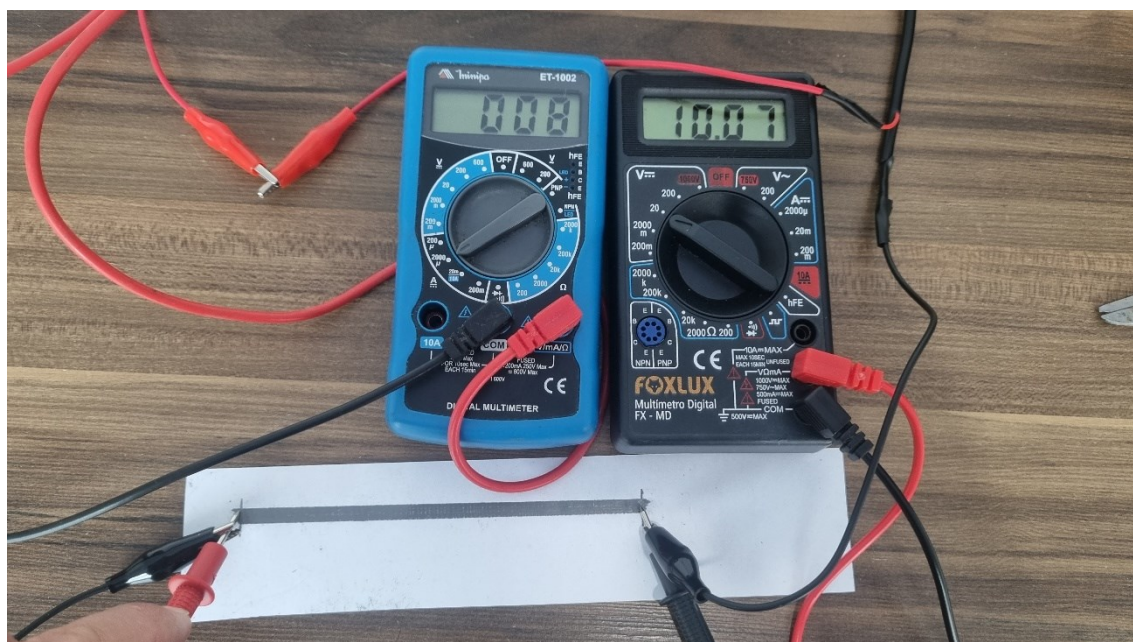
Figura 4b – multímetro na posição de medir tensão em volts.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

- Coloque os cabos do outro multímetro/amperímetro na posição para medir tensão direta (figura 4b)
- Ligue o terminal positivo da fonte de tensão ao fio preto do amperímetro (negativo), nesse mesmo ponto ligue o cabo vermelho do voltímetro (positivo)
- Ligue um dos cabos com jacaré ao terminal negativo da fonte de tensão junto do cabo preto do voltímetro (negativo)
- Ligue outro jacaré ao fio vermelho do amperímetro (positivo)
- Inicie a fonte de tensão configure ela para o menor valor possível
- Coloque as ponteiros preta e vermelho, do multímetro configurado para tensão, em cada extremo da faixa pintada com lápis 8B (Figura 5).

Figura 5 – Medindo corrente e tensão elétrica na faixa desenhada com lápis 8B



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- Registre na Tabela 2 o valor de tensão e corrente medido no amperímetro

Tabela 2 – Experimento da lei de Ohm

Tensão (V)	Corrente(uA)

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Altere o valor de tensão para a próxima medida e anote o resultado na Tabela 2.
- Repita o procedimento com tanto valores como forem possíveis de serem alterados na fonte de tensão, em nosso caso medimos em 2 volts, 4 volts, 6 volts, 8 volts e 10 volts.

Analise dos resultados

- Construa um gráfico de corrente como função da tensão aplicada.
- Trace a reta que passa mais próxima de todos os pontos e determine a equação sua inclinação.
- Determine o valor da resistência da faixa de grafite 8B a partir do gráfico
- Coloque um dos multímetros na escala de medição de resistência e meça o valor da resistência da faixa de grafite colocando cada terminal do multímetro em cada um dos extremos da faixa de grafite
- Finalize a aula aplicando o questionário, incentivando os alunos a atribuírem sentido ao que aprenderam. Auxilie-os na formulação das respostas, sempre que necessário.

Questionário

1. Qual o valor da resistência medida a partir do gráfico?
2. Qual o valor da resistência medida a partir do multímetro? os valores foram semelhantes ou muito diferentes?
3. Que informação interessante podemos obter a partir da forma do gráfico da corrente em função da tensão. Por exemplo, se a tensão aplicada for V_1 a corrente obtida seria I_1 , se duplicamos a tensão aplicada que valor de corrente esperamos obter, e se V_1 for triplicada, qual seria a corrente?
4. Compare os valores obtidos por você com os valores obtidos com seu colega(s), analise o resultado(s) dele(s) em comparação com o seu por exemplo, a faixa de grafite dele(s) é mais escura ou mais clara que a sua e como isso afeta o valor de resistência obtida?
5. A partir do resultado anterior, será que se utilizamos lápis de outra numeração alteraria o resultado, por exemplo 6B que é mais claro?
6. Se fosse colocado grafite em pó (vendido em serralherias) a uma determinada tinta o que vocês esperariam como resultado dessa adição?
7. Vocês conseguem registrar alguma semelhança entre o experimento realizado e o resistor flexível utilizado na demonstração da primeira aula?

4.3 TERCEIRA AULA: EXPLORANDO O EFEITO JOULE, DA TEORIA À PRÁTICA EXPERIMENTAL

A compreensão de fenômenos físicos relacionados à eletricidade é fundamental para o entendimento mais profundo sobre a lei de Ohm, dentre esses fenômenos, o Efeito Joule destaca-se como um fenômeno crucial, no qual a energia elétrica é parcialmente convertida em energia térmica quando uma corrente percorre um condutor. Embora, em muitos dispositivos, o aquecimento seja desejado, como nos casos de chuveiros elétricos, ferros de passar roupa e aquecedores, em outros contextos, o Efeito Joule pode representar um risco ao funcionamento e à integridade dos componentes do circuito, sobretudo quando há excesso de corrente ou dimensionamento inadequado dos fios e resistores.

No contexto deste trabalho, que propõe o ensino da Lei de Ohm por meio da construção de uma luva controladora dotada de um resistor flexível para operar uma garra robótica, o estudo do Efeito Joule torna-se relevante, ainda que o foco prático do projeto não esteja centrado nesse fenômeno. Isso porque, ao compreender o Efeito Joule, os estudantes podem analisar e prever os limites de funcionamento seguro do sistema, além de relacionar a dissipação de energia com as variáveis elétricas e compreender situações cotidianas envolvendo a eletricidade.

Dessa forma, a presente aula foi estruturada com o objetivo de apresentar o Efeito Joule aos estudantes a partir de uma abordagem conceitual e observando como é possível prever estes efeitos junto a Lei de Ohm. Valendo-se da substituição algébrica da tensão elétrica ($U = R \cdot I$) na equação da potência elétrica ($P = I \cdot U$), a fim de evidenciar como a “dissipação de energia” em forma de calor depende do valor da corrente e da resistência do material. Por meio dessa abordagem, busca-se não apenas a compreensão do fenômeno em si, mas também a conexão com situações concretas, como o próprio projeto desenvolvido neste produto, incentivando a análise crítica sobre segurança e eficiência energética na montagem de circuitos.

4.3.1 Objetivos

Explicar o Efeito Joule como a transformação de energia elétrica em energia térmica em condutores percorridos por corrente elétrica. Apresentar e discutir a equação da potência elétrica ($P = I \cdot U$) e sua relação com a lei de Ohm, por meio da substituição algébrica da tensão ($U = R \cdot I$), evidenciando a forma $P = I^2 \cdot R$, que quantifica o calor gerado em função da corrente e da resistência do material. Refletir sobre as implicações práticas do Efeito Joule em dispositivos eletrônicos e circuitos elétricos. Promover o desenvolvimento do raciocínio crítico dos estudantes, incentivando-os a pensar sobre como o Efeito Joule pode impactar o funcionamento de dispositivos reais, inclusive aqueles que eles mesmos estão construindo no projeto. Observar, passo a passo, como o aumento da tensão aplicada provoca o aquecimento do grafite, levando-o a incandescer e, eventualmente, a inflamar a madeira do lápis evidenciando visualmente o efeito Joule. Reforçar conceitos fundamentais como resistência elétrica, potência dissipada e transformação de energia.

4.3.2 Recursos e materiais necessários:

- Quadro branco e canetão ou quadro e giz
- Datashow (apresentação de imagens como chuveiro, secadores, etc.)
- Material para anotações e registros das aulas (caderno, caneta, lápis, borracha)
- Fonte de alimentação de 12V (mínimo 5A para melhor efeito)
- Lápis comum de madeira (preferencialmente HB ou 2B)
- 2 Cabos com garras tipo jacaré
- 1 Suporte de madeira ou material não condutor
- 1 Lixa ou estilete (para remover a madeira do lápis)

Equipamentos de segurança:

- Óculos de proteção
- Luvas térmicas ou isolantes
- Local bem ventilado

- Máscara para evitar inalação de fumaça do grafite (caso seja ambiente fechado)

4.3.3 Procedimentos

- Inicie levantando o questionamento: Vocês conhecem algum fio ou aparelho que esquenta quando está ligado? Por que isso acontece?
- Espere as respostas, e, se necessário conduza a discussão mencionando sobre chuveiro, ferro de passar, lâmpadas incandescentes, carregadores de celular.
- Explique que quando a corrente elétrica passa por um fio, parte da energia elétrica se transforma em calor. Esse fenômeno é o Efeito Joule
- Questione novamente: Vocês acham que o calor que aparece é um problema ou pode ser usado de forma útil? Espera-se que os alunos citem exemplos como chuveiro, ferro de passar, mas também fios que queimam por sobrecarga.
- No quadro, desenhe um fio com elétrons que pareçam estar se movendo. Explique que os elétrons “colidem” com o material do fio, e essa colisão gera calor. Faça uma metáfora visual: Imaginem muitas pessoas andando por um corredor estreito, esbarrando umas nas outras — quanto mais gente (corrente), mais batidas (choques), e isso aquece o ambiente (fio).
- Escreva a fórmula da potência elétrica como: $P=I \times U$. Explique que essa equação representa a quantidade de energia elétrica consumida por segundo por um aparelho. No entanto, é importante destacar que essa energia pode ser convertida em diferentes formas, dependendo do tipo de dispositivo. Por exemplo, em um liquidificador, parte da energia elétrica é transformada em energia de movimento (rotação) e parte em calor. Já em um aparelho puramente resistivo, como um ferro elétrico ou aquecedor, praticamente toda a potência elétrica é convertida em calor. Mas e se quisermos saber quanta energia vira calor? Se lembrarmos que a tensão U é igual a $R \times I$ pela Lei de Ohm, podemos substituir na fórmula de potência. Substituindo em $P=I \times U$ temos $P=I \times (R \times I)$, com resultado: $P=I^2 \times R$

- Continue explicando que se a corrente for muito alta, o calor gerado será ainda maior, pois a corrente está ao quadrado.
- Antes de finalizar as explicações e passar para a parte experimental, mostre no datashow imagens de algumas resistências no cotidiano, que utilizam o efeito Joule para seu funcionamento, a seguir uma sequência destas imagens:

Figura 6 – Interruptor, exemplo de resistência quase desprezível



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

- Iniciando pelo interruptor (Figura 6), é importante destacar que, nesse caso, o material condutor utilizado em sua fabricação deve possuir resistência elétrica mínima. Isso se faz necessário para evitar o aquecimento excessivo durante a passagem de corrente elétrica, prevenindo, assim, riscos associados a esse aquecimento, como danos à instalação elétrica e possíveis incêndios nas residências.

Figura 7 – Resistência do cotidiano, chuveiro elétrico



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

- A resistência de um chuveiro elétrico (Figura 7) utiliza o efeito Joule para aquecer a água, promovendo uma intensa conversão de energia elétrica em energia térmica. No entanto, é comum observar, no cotidiano, que pessoas leigas ou mesmo técnicos despreparados, ao instalarem o chuveiro ou realizarem a troca da resistência, não permitem que o reservatório do chuveiro se encha completamente de água antes de ligá-lo. Essa prática inadequada leva à queima imediata da resistência, pois o componente necessita transferir, por condução, a energia gerada no fluxo de água. Sem a presença da água para absorver e distribuir o calor, a resistência superaquece, atingindo temperaturas próximas ou superiores ao seu ponto de fusão, o que compromete seu desempenho e causa sua danificação.

Figura 8 – Lâmpada incandescente



Fonte: Revista Haus (2017). Disponível em: <https://revistahaus.gazetadopovo.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- Ao abordar a lâmpada incandescente (Figura 8), é importante ressaltar que esse dispositivo, embora tenha sido amplamente utilizado ao longo do século XX, apresenta uma eficiência energética bastante limitada. Isso ocorre porque a maior parte da energia elétrica “consumida” pela lâmpada incandescente é convertida em calor, e não em luz. Segundo Cunha (2013), apenas cerca de 5% a 10% da energia elétrica é transformada em luz visível, enquanto 90% a 95% é dissipada na forma de calor. Em razão dessa ineficiência, a substituição de lâmpadas incandescentes por modelos mais eficientes, como as lâmpadas fluorescentes compactas e, especialmente, as lâmpadas de LED, tem sido fortemente incentivada por políticas públicas de eficiência energética, visando à redução do consumo de energia elétrica e ao menor impacto ambiental. Dessa forma, compreender o funcionamento e as limitações das lâmpadas incandescentes contribui para a reflexão crítica sobre o uso consciente da energia elétrica em ambientes residenciais e comerciais.

Figura 9 – Resistência do cotidiano, secador de cabelos



Fonte: Magazine Luiza (2025). Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- Ao analisar o funcionamento do secador de cabelo (Figura 9), observa-se que esse dispositivo converte energia elétrica em energia térmica, de modo semelhante ao chuveiro elétrico. No interior do secador, uma resistência elétrica, geralmente feita de uma liga de níquel-cromo, aquece o ar que é impulsionado por um ventilador elétrico. Assim, ocorre uma dupla conversão de energia: a energia elétrica é transformada, simultaneamente, em calor, por meio do efeito Joule. Além disso, o secador demonstra um importante princípio de segurança elétrica: se o motor do ventilador falha e o ar para de circular, a resistência pode superaquecer e causar danos, por isso muitos modelos modernos possuem sistemas automáticos de desligamento em caso de superaquecimento.

4.3.4 Procedimento experimental

No presente experimento, utilizaremos um lápis comum, cujo grafite atua como um resistor, conectado a uma fonte de alimentação ajustável. O grafite, sendo uma forma de carbono, possui resistência elétrica relativamente baixa, especialmente em lápis mais macios, como os do tipo 4B, o que permite a passagem de corrente suficiente para provocar seu aquecimento, tornando-o um

excelente material para demonstrar como a energia elétrica pode ser convertida em calor.

Preparação do Lápis

- Pegue um lápis comum e remova cuidadosamente parte da madeira, nos dois lados, utilize um estilete ou lixa, expondo o grafite conforme Figura 10.

Figura 10 – Preparando o lápis pra demonstração do Efeito Joule



Fonte: Elaborada pelo o autor (2024).

Montagem do circuito

- Conecte os cabos com garras jacaré a cada extremidade do grafite exposto
- Ligue uma ponta ao terminal positivo (+) da fonte de 12V e a outra ao terminal negativo (-) de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – Montagem experimental Efeito Joule



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Execução do experimento

- Coloque o lápis sobre uma base não condutora (madeira, cerâmica ou vidro).
- Ligue a fonte de alimentação e, gradualmente, aumente a voltagem, observando:
 - A partir de 2V-3V: a corrente começa a circular, mas não há mudanças visíveis.
 - De 4V a 6V: o grafite começa a esquentar levemente, peça aos alunos que observem com cuidado a dissipação de calor.
 - De 7V a 9V: o grafite incandesce, emitindo uma luz avermelhada — destaque que já está convertendo bastante energia elétrica em calor.
 - De 10V a 12V: o calor intenso provoca a combustão da madeira ao redor, e o grafite pode começar a soltar faíscas e fumaça, desligue imediatamente após esta etapa.
- Caso o lápis continue queimando, use um pano úmido ou areia para conter as chamas, não utilize água diretamente, devido ao risco elétrico.

Deixe o material resfriar antes de tocar.

- Explique que o fenômeno observado é uma demonstração clara do efeito Joule, o aquecimento acontece toda vez que uma corrente elétrica passa por um material com resistência mais significativa. Relacione com exemplos do cotidiano, como o funcionamento das figuras observadas anteriormente, os chuveiros, secadores de cabelo e lâmpadas incandescentes, reforçando que esses dispositivos dependem dessa transformação de energia elétrica em calor. E que no caso do interruptor, este feito não é desejado devido aos riscos de incêndios.
- Oriente os alunos a pensar e debater:
 - 1- Quais os riscos de o efeito Joule acontecer de forma descontrolada, como em curtos-circuitos?
 - 2- Por que é importante que os fios das casas sejam dimensionados corretamente para não esquentarem?
 - 3- Como o que vimos hoje ajuda a entender por que dispositivos como chuveiros e secadores precisam dissipar o calor gerado?
- Finalize explicando que os conceitos físicos explorados e o experimento demonstraram, de forma prática, como a energia elétrica pode se transformar em calor e que, no dia a dia, esse mesmo efeito, quando bem controlado, permite o funcionamento de muitos aparelhos. No entanto, quando não controlado, pode causar acidentes. Incentive os alunos a olharem com mais atenção para os dispositivos elétricos ao seu redor e pensarem sobre a física das resistências que há por trás de seu funcionamento.

4.4 QUARTA AULA: A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DOS MATERIAIS NA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Nesta aula, vamos explorar como as propriedades físicas dos materiais, como comprimento, largura e resistividade, influenciam diretamente na resistência elétrica de um condutor. Com base na Lei de Ohm ($V = R \cdot I$), vamos entender como a resistência de um fio ou material pode ser determinada e como ela afeta o fluxo de corrente em um circuito. Durante a explicação teórica, discutiremos a relação entre comprimento e área da seção transversal com a resistência, além de destacar a importância da resistividade do material em questão, que pode variar de acordo com o tipo de material utilizado.

Para uma compreensão mais significativa e prática desses conceitos, vamos realizar um experimento, na qual mediremos a resistência de lápis de diferentes tipos, como o 2B e o 6B. Essa experiência permitirá observar como materiais de composições e dimensões diferentes influenciam a resistência elétrica. Com a utilização de um multímetro, vamos comparar as medições de resistência desses lápis e analisar como a variação da composição do material (no caso, a quantidade de grafite) impacta o comportamento elétrico do condutor.

Desde uma perspectiva teórica se espera que em condutores ôhmicos (lineares)

estes sigam uma regra muito importante que chamamos de Lei de Ohm. Essa lei diz que, se aumentarmos a tensão (energia que empurra os elétrons, ou seja, a voltagem), a corrente elétrica (quantidade de carga passando por segundo) também vai aumentar de forma proporcional. Ou seja, se você dobra a voltagem, a corrente também dobra, e assim por diante.

Agora, de onde vem isso? Dentro dos fios, existem elétrons livres, que são os portadores de carga. Eles pertencem ao material e não mudam de quantidade só porque ligamos uma pilha, fonte ou aumentamos a voltagem. Eles já estão lá. O que acontece quando ligamos o circuito é que esses elétrons começam a se mover, formando a corrente elétrica.

Utilizando alguns argumentos teóricos que estão fora do escopo deste experimento pode ser mostrado teoricamente que a tensão se relaciona com a corrente via:

$$V = \left(\rho \frac{L}{A} \right) \cdot I \quad (11)$$

Ou, de forma mais conhecida:

$$V = R \cdot I \quad (12)$$

Onde R é a resistência elétrica do fio, que depende do material (ρ), do comprimento (L) e da área (A).

Em suma, a característica principal dos materiais que verificam a lei de Ohm é que sua resistividade não se veja afetada (de forma significativa) pela tensão aplicada, ou seja, que se mantenha constante para uma faixa de valores de V e I.

4.4.1 OBJETIVOS

Compreender como as propriedades físicas dos materiais, como comprimento, largura e quantidade de grafite depositada, influenciam na resistência elétrica, através da Lei de Ohm, e aplicar esse conhecimento de forma prática na medição da resistência de lápis de diferentes tipos. Fomentar a reflexão crítica sobre a importância das propriedades materiais na eletrônica, destacando como diferentes materiais e suas características influenciam o comportamento dos circuitos elétricos em situações reais.

4.4.2 RECURSOS E MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Quadro branco e canetão ou quadro e giz
- Projetor ou quadro interativo para apresentação de imagens
- Multímetro para medir a resistência elétrica dos lápis.
- Lápis de diferentes tipos, em nosso caso utilizamos o 2B e o 6B.
- 2 Garras de jacaré (preferencialmente com revestimento isolante nas pontas). Para facilitar o suporte dos lápis.

- Arame galvanizado ou arame recozido (espessura média, fácil de moldar, mas firme). Aproximadamente 50 cm.
- Base de madeira, plástico ou MDF (pode ser um pedaço de 10 cm x 10 cm)
- Parafusos e porcas pequenas (ou pregos pequenos) para fixação do arame na base.
- Chave de fenda ou alicate de pressão (para apertar parafusos).
- Alicate de bico para dobrar o arame (opcional).
- Material para anotações – Para registrar os resultados das medições e as observações durante o experimento.
- Régua, para medir o comprimento dos lápis
- Tesoura ou cortador, para cortar as pontas dos lápis
- Paquímetro para medir o diâmetro do grafite do lápis.
- Fita isolante (opcional, para reforço e isolamento).

4.4.3 PROCEDIMENTOS

- Explique que a resistência elétrica (R) de um condutor não depende apenas da tensão e da corrente, mas também das características físicas do material. A resistência pode ser determinada pela equação:

$$V = \left(\rho \frac{L}{A} \right) \cdot I \quad (13)$$

- Reforce que ρ (rho) é a resistividade elétrica do material, L é o comprimento do condutor, e A é a área da seção transversal (largura e espessura).
- Explique a relação entre resistência e comprimento (L): Mostre que quanto maior o comprimento do fio, maior será sua resistência, pois os elétrons percorrem uma distância maior e encontram mais ‘colisões’ ao longo do caminho.

- Se mantivermos a tensão (V) constante, aumentar o comprimento reduz a corrente (I), pois a resistência aumenta.
- Se mantivermos a corrente constante, aumentar o comprimento exige aumento da tensão (V) para compensar o aumento da resistência.
- Relate o efeito da largura (área A) na resistência: Destaque que, se a área transversal do fio for maior (ou seja, fios mais grossos), a resistência diminui, pois há mais espaço para os elétrons fluírem.
- Se a resistência diminui e a tensão for mantida constante, a corrente aumenta.
- Se quisermos manter a corrente constante, fios mais grossos demandam menos tensão (V).
- Analise agora a influência da resistividade (ρ) na resistência: Explique que a resistividade depende do material do condutor e define a dificuldade com que os elétrons se movem.
- Materiais como cobre e prata possuem baixa resistividade e são bons condutores.
- Materiais como ferro e níquel possuem alta resistividade e oferecem mais resistência ao fluxo de corrente.
- Para um mesmo comprimento e espessura, um material com maior resistividade apresentará maior resistência e exigirá maior tensão para manter a mesma corrente.
- Finalize fazendo analogias para facilitar a compreensão: Compare a corrente elétrica ao fluxo de água em um cano, onde fios mais curtos são como tubos menores, nos quais a água encontra menos resistência. Fios mais largos são como tubos mais grossos, permitindo um fluxo mais fácil. Materiais com alta resistividade são como canos entupidos, que dificultam o fluxo da água.

4.4.4 Procedimentos experimentais

Preparação do suporte para lápis

Embora seja possível realizar medições sem o suporte, sua preparação garantirá maior segurança e precisão durante as medições, especialmente quando realizadas pelos alunos, considerando sua inexperiência no manuseio do multímetro. Pode-se optar pelo uso de garras de jacaré fixadas em um suporte.

- Corte dois pedaços de arame com aproximadamente 25 cm cada.
- Dobre cada pedaço em formato de "L", onde uma parte (uns 5 cm) servirá de apoio e fixação na base, e o restante ficará erguido para segurar a garra de jacaré (Figura 12).

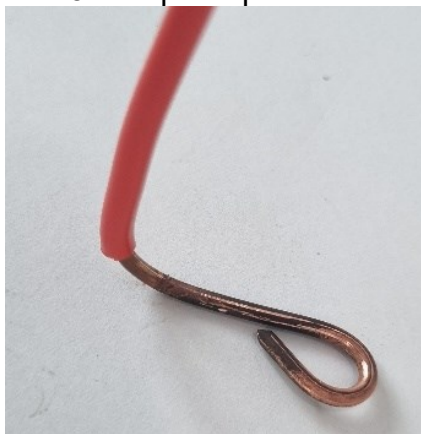
Figura 12 – Hastes para o suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Utilize um alicate de bico para dobrar a ponta da peça da base em aproximadamente 140 graus, formando uma curvatura semicircular. Essa forma ajudará a fixá-la com mais firmeza na base de madeira (ver Figura 13).

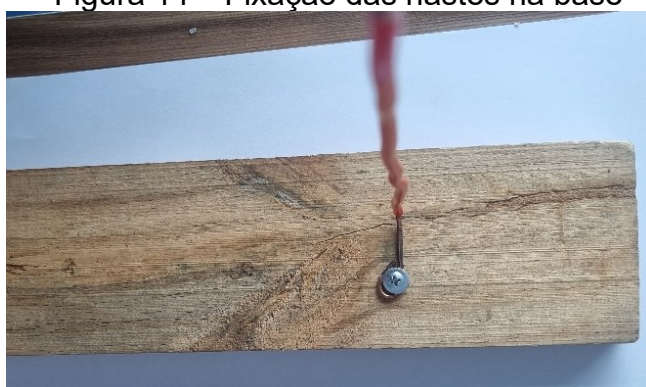
Figura 13 – Suporte para fixar na base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione a parte dobrada menor na base, com a parte maior (vertical) apontando para cima (Figura 14).

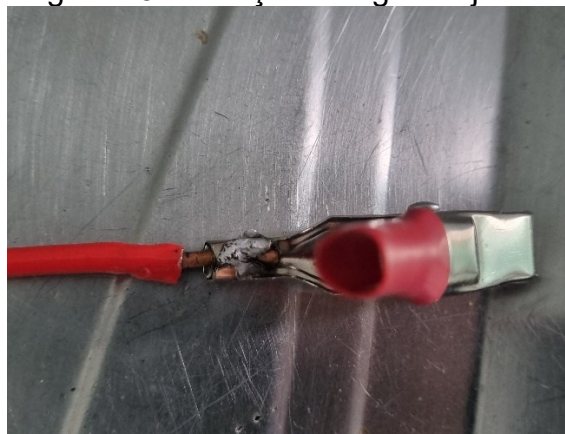
Figura 14 – Fixação das hastes na base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Use parafusos (ou pregos) para prender o arame firmemente à base. Repita o procedimento para a outra parte de arame, deixando as hastes com cerca de 8 cm de espaçamento.
- Coloque uma garra de jacaré na extremidade superior do arame, e fixe firmemente com solda ou fita isolante, conforme Figura 15. Repita o procedimento para a outra haste de arame.

Figura 15 – Fixação das garras jacarés



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Certifique-se de que as garras fiquem bem fixadas, mas com a abertura livre para conectar os materiais a serem testados.
- Ajuste as duas hastes pra que fiquem alinhadas e separadas corretamente para as medições (Figura 16).

Figura 16 – Montagem final do suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da resistência dos lápis

- Separe um suporte, um lápis 2B e um 6B, um multímetro e as tabelas 7 e 8, para iniciarmos as aferições. Em nosso caso foi utilizado apenas um grupo destes matérias, onde os alunos se revezaram na utilização.

- Durante o início da medição discuta brevemente com os alunos sobre os diferentes materiais e usos dos lápis, incentivando a curiosidade sobre as características que podem afetar a resistência elétrica.
- Coloque o lápis 2B no suporte e fixe firmemente.
- Descasque as duas extremidades dos lápis, a fim de que sobre para fora da madeira uma parte do grafite com sua espessura intacta. Se for utilizado apontador, esta parte ficará bem próxima a madeira. (Figura 17).

Figura 17 – Lápis com extremidades descascadas corretamente



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

- Utilize a régua para medir o comprimento do lápis, utilize como referência a exata posição onde serão colocadas as pontas de prova do multímetro (que deve ser onde a espessura do lápis está intacta), os valores na coluna Comprimento.
- Utilize o paquímetro para medir a espessura do grafite, exatamente na parte onde sua espessura está intacta (Figura 18), bem próximo a parte de madeira, e anote na Tabela 3, na coluna Diâmetro.

Figura 18 – Medição correta do diâmetro com paquímetro



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Ohm
- Posicione e pressione firmemente, sem encostar com a mão na parte condutora, as ponteiros do multímetro nas extremidades do lápis, exatamente onde foi feito a medição do comprimento, onde o grafite possui sua dimensão intacta (Figura 19). Anote o valor na coluna Medida 01 (Ohms).

Figura 19 – Medição correta como multímetro em escala de Ohms



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Quilo-Ohm, repita o procedimento de medida e anote o resultado na coluna Medida 02 (Quilo-Ohms).

- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Mega-Ohm. Repita o procedimento, agora com o multímetro na escala de Mega-Ohm e anote o resultado na coluna Medida 03 (Mega-Ohms).
- Repita, com bastante cuidado, todo procedimento utilizando o lápis 6B, anotando os resultados na Tabela 3, na linha referente a este lápis.

Tabela 3 – Atividade Medição de resistência de lápis

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (QuiloOhms)	Medida 03 (MegaOhms)
Lápis 2B					
Lápis 6B					

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Calculo da resistividade ρ (rho) dos lápis

Vimos que a relação entre a resistência elétrica (R), a resistividade do material (ρ), o comprimento (L) e a área da seção transversal (A) de um material pode ser expressa pela equação:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (14)$$

Isolando a resistividade (ρ), temos:

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (15)$$

- Utilize esta relação para calcular a resistividade dos lápis 2B e 6B:
- Antes de realizar os cálculos, converta todas as unidades para o SI e anote na Tabela 4 conforme instruções a seguir:

Tabela 4 – Medição da resistividade do lápis em Sistema Internacional (SI)

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Área (m ²)	Comprimento (m)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (Ohms)	Medida 03 (Ohms)
Lápis 2B					
Lápis 6B					
Resistividade ρ (rho) do lápis 2B ($\Omega \cdot m$)					
Resistividade ρ (rho) do lápis 6B ($\Omega \cdot m$)					

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Transforme o comprimento do grafite de centímetros (cm) para metros (m). Utilize a relação: 1cm=0,01m e anote na Tabela 4.
- Repita o processo para o diâmetro, também convertendo de centímetros (cm) para metros (m), não anote na tabela ainda.
- Converta a medida do diâmetro anteriormente convertida em metros (m) para área de seção transversal em metros quadrados (m²), considerando que o grafite possui forma cilíndrica, utilize a fórmula da área do círculo, em seguida anote na Tabela 4.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (16)$$

- Caso a medida mais precisa tenha sido na escala de Quilo-Ohm ou de Mega-Ohm, converta a medida da resistência para Ohms. Utilize a relação: 1k Ω =10³ Ω e 1 M Ω = 10⁶ Ω .
- Com os valores da resistência, comprimento e área convertidos, calcule a resistividade para o lápis 2B em seguida para o 6B, onde valor encontrado para ρ será a resistividade elétrica, em $\Omega \cdot m$ (Sistema Internacional).
- Para finalizar a atividade experimental, compare o valor da resistividade dos dois lápis e responda o questionário:

1- Qual tipo de lápis apresenta a menor resistividade? Justifique sua resposta com base na composição do material.

2- O que um lápis e a resistência de um chuveiro elétrico têm em comum?

3- Sabemos que o grafite do lápis conduz eletricidade, mas por que o cobre e o

alumínio são preferidos na fabricação de fios elétricos? Como a resistividade influencia essa escolha?

4- Como o estudo da resistência e resistividade dos lápis pode nos ajudar a entender o funcionamento do resistor flexível que muda de resistência ao ser dobrado na luva?

5- Sugira melhorias no experimento para aumentar a precisão no cálculo da resistividade:

4.5 QUINTA AULA: EXPLORAÇÃO EXPERIMENTAL DAS ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO

Nesta aula, vamos realizar um experimento prático para entender como as resistências se comportam em diferentes configurações de circuitos elétricos: em série e em paralelo. O objetivo é observar e medir os efeitos dessas associações no circuito e nas resistências totais, antes de aprofundar-se na teoria que explica os fenômenos que ocorreram. Vamos trabalhar com resistores de papel, que os alunos mesmos irão construir, utilizando grafite de lápis. A ideia é que, ao medir as resistências desses resistores e conectá-los de diferentes maneiras, possam perceber como a resistência total do circuito muda dependendo de como os resistores são dispostos, e consequentemente, a tensão e corrente em diferentes pontos do circuito.

Durante o experimento, além de construir, vamos medir a resistência de cada resistor individualmente e a resistência total das associações em série e paralelo. Essas medições permitirão uma compreensão empírica do que acontece com a resistência total em cada caso. Para que na próxima aula, possamos discutir a teoria por trás desses comportamentos, relacionando as fórmulas e os conceitos que explicam as observações feitas aqui. O que veremos será a base para uma compreensão mais profunda, ajudando a conectar a teoria à prática de maneira concreta e significativa.

4.5.1 Objetivo

Compreender, de forma prática, as associações de resistores em série e em paralelo, por meio da construção de resistores de papel com grafite de lápis e da realização de medições de resistência, corrente e tensão. Observar como a resistência total do circuito varia de acordo com a configuração adotada. Desenvolver habilidades de medição e análise de circuitos elétricos, utilizando o multímetro para determinar a resistência individual de cada resistor, bem como a resistência total, as tensões e as correntes correspondentes em cada tipo de associação.

4.5.2 Recursos e materiais necessários

- Folhas de papel sulfite
- Lápis grafite 8B ou similar
- Régua
- Multímetros
- Garras jacaré
- Fonte de tensão DC ajustável
- Roteiro de aplicação desta aula (disponível nos apêndices)

4.5.3 Procedimentos experimentais

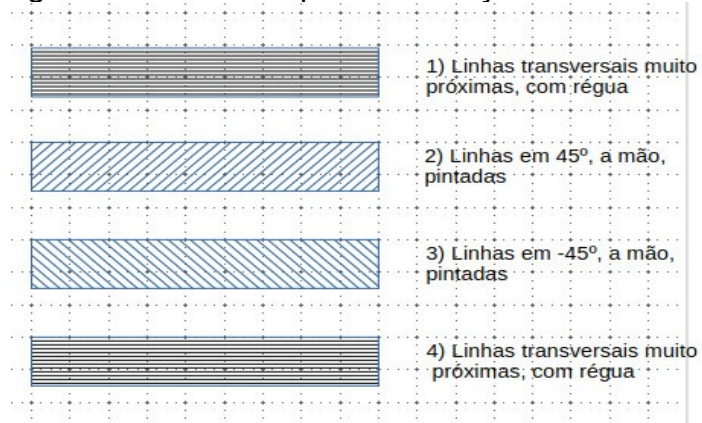
- Inicie fazendo algumas perguntas para ativar o conhecimento prévio e nortear as práticas que irão acontecer:
 - 1 - Como você acha que a resistência de um circuito muda quando adicionamos mais resistores? Ela aumenta ou diminui?
 - 2- O que você acha que acontece com a resistência total quando você coloca vários resistores, um ao lado do outro, em um circuito?
 - 3- E se você colocar os resistores um atrás do outro, o que você acha que vai acontecer com a resistência total?
 - 4- Se você adicionar mais resistores ao circuito, a corrente elétrica vai passar mais fácil ou mais difícil?
 - 5- Você consegue pensar em algum motivo para usar mais de um resistor em um circuito?
- Saliente que, um dos objetivos da experimentação que faremos, será responder estes questionamentos de forma prática, ou seja, veremos como a natureza realmente se comporta, pra depois analisarmos a teoria, que explica e prevê tais fenômenos.

Construção dos resistores

- Use a régua para desenhar cinco faixas retangulares de 5 cm de comprimento e 1 cm de largura.
- Pinte completamente os retângulos com o lápis, aplicando pressão uniforme para manter um padrão consistente. Utilize os padrões

disponível na Figura 20:

Figura 20 – Padrões para construção dos resistores



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o processo pra todos os demais resistores, primeiro com uma régua são traçadas as linhas longitudinais, depois em diagonal para um lado, depois em diagonal para o outro e por fim novamente as longitudinais (Figura 21).

Figura 21 – Construção do resistor utilizando os padrões



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Recorte o resistor com cuidado, mantendo as medidas iniciais totalmente pintadas, sem rasurar as partes pintadas ou cortar com sobras não pintadas

Medição inicial da resistência

- Configure o multímetro para a escala de Ohms, comece em 200 k Ω .

- Utilize no multímetro ponteiros com garras de jacaré para melhor resultado nas medições.
- Conecte as garras das ponteiros do multímetro nas extremidades do resistor criado, cerca de 0,5 centímetros distantes de cada extremidade, deixando um distanciamento de 4 cm entre elas, de forma que fique um vão de 4 cm para eletricidade, proveniente do multímetro percorrer no resistor (Figura 22).

Figura 22 – Posição correta para medição da resistência



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Se a resistência estiver muito acima de 58 k Ω , reforce a pintura com o lápis. Se estiver muito abaixo de 52 k Ω , apague um pouco ou refaça o resistor.
- Anote o valor da resistência medida na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistores e associação de resistores em série

RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE		
	Valor da resistência em kΩ	
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		
Associação de Resistores em Série		
	Valor da resistência da associação em kΩ	
Cinco resistores em série		
Quatro resistores em série		
Três resistores em série		
Dois resistores em série		
Medição de tensão e corrente nos resistores		
	Tensão (volts)	Corrente (mA)
Circuito completo		
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		

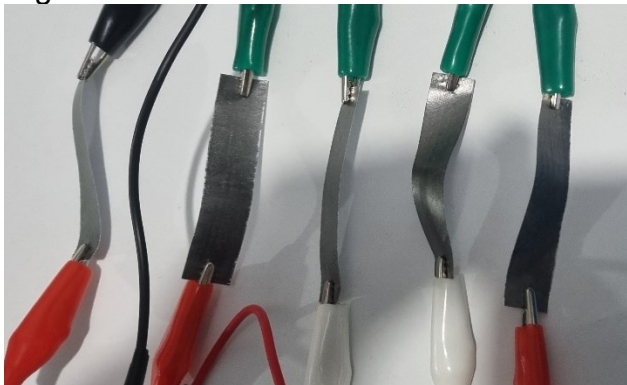
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o procedimento para os outros 4 resistores, desde a construção até as medidas e anotações. Certifique de deixá-los com resistências bem próximas, o ideal é que fique entre 52 e 58 $k\Omega$.

Montagem e Medição dos Resistores em Série

- Agora que os resistores de papel foram construídos, iremos conectá-los em uma configuração que se denomina 'em série', em seguida medir as resistências equivalentes na associação, as quedas de tensão e a corrente.
- Use garras jacaré para ligar um resistor ao outro, conectando a extremidade de um à extremidade do próximo, lembrando de ajustar a garra, adentrando meio centímetro da extremidade, para que a distância das garras no interior do resistor seja de 4 cm (Figura 23).

Figura 23 – Conexão dos resistores em série



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Meça a resistência total do circuito, colocando as ponteiros do multímetro nos dois terminais extremos do circuito em série, nas extremidades do primeiro e último resistor da associação, ou seja, na parte que não se conecta com nenhum resistor (Figura 24).

Figura 24 – Medida dos cinco resistores em série



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Anote o valor da resistência total medida, na Tabela 5.
- Repita o procedimento, agora deixando um dos últimos resistores de fora da medida, posicionando a ponteira do multímetro na extremidade de fora do quarto resistor (mede-se agora quatro resistores em série). Anote o resultado na Tabela 5.
- Repita o processo para configuração com 3 e 2 resistores em série.

Medição da Queda de Tensão em Cada Resistor:

- Ajuste a fonte de tensão para 10V e conecte os terminais livres do

primeiro e do último resistor à fonte de tensão.

- Ajuste o multímetro para medição de tensão DC e selecione uma escala um pouco maior que a da fonte (ex: 20V).
- Posicione a ponteira vermelha do multímetro firmemente na extremidade positiva da fonte que está conectada a um dos lados da associação. Posicione a ponteira preta firmemente na extremidade negativa da fonte, conectada ao outro lado da associação. Anote a tensão total na Tabela 5.
- Agora vamos medir a tensão em cada resistor individualmente: Posicione a ponteira vermelha em um dos lados do resistor e a preta no outro, de preferência na parte condutora da garra de jacaré. Anote a tensão medida na Tabela 5.
- Repita o processo para cada resistor na série, medindo a tensão em cada um deles de forma individual.
- Incentive os alunos a somar todas as tensões individuais e comparar com a tensão total da fonte.
- Explique que a soma das quedas de tensão nos resistores deve ser aproximadamente igual à tensão total aplicada.

Medição da corrente nos diferentes pontos do circuito:

- Configure o multímetro para medição de corrente. Ajuste para a escala de mA (miliamperes).
- Mude a ponteira vermelha para a entrada correspondente à medição de corrente.
- Conecte as ponteiros do multímetro entre a fonte e o primeiro resistor e anote o resultado na Tabela 5.
- Desconecte a garra jacaré entre a fonte e o primeiro resistor.
- Conecte a ponteira vermelha no terminal da fonte.
- Conecte a ponteira preta no terminal interno do primeiro resistor e anote o valor da corrente medida na Tabela 5.
- Repita o processo entre o primeiro e o segundo resistor, depois entre o segundo e o terceiro, e assim por diante.
- Compare os valores obtidos e perceba que a corrente elétrica permanece

constante em todos os pontos do circuito, o que confirma uma das principais características de um circuito em série: a mesma corrente percorre todos os seus componentes.

Montagem e Medição dos Resistores em Paralelo

- Instrua os alunos a refazer a montagem, conectando os resistores numa sequência denominada associação em paralelo.
- Utilize a Tabela 6 para fazer as anotações e análises dos procedimentos experimentais
- Organize os resistores um do lado do outro sem que entrem em contato nas suas extremidades laterais.
- Conecte todas as extremidades esquerdas dos resistores através das extensões de jacarés.
- Repita o processo e conecte todas as extremidades direitas dos resistores através das extensões de jacarés (Figura 25).

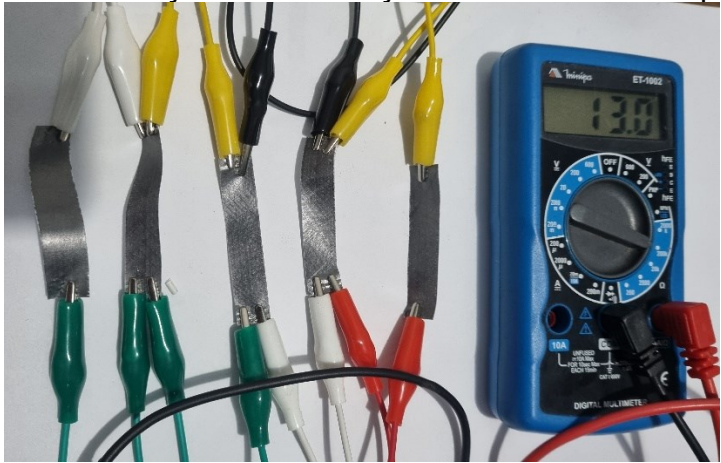
Figura 25 – Resistores posicionados para ligação em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Com o multímetro configurado para resistência, conecte as ponteiros do multímetro nas laterais direita e esquerda da associação, afim de calcular a resistência equivalente no circuito (Figura 26).

Figura 26 – Medição da associação dos resistores em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Anote os resultados na Tabela 6.

Tabela 6 – Associação de resistores em paralelo

Associação de Resistores em Paralelo		
Valor da resistência da associação em $k\Omega$		
Medição de tensão e corrente nos resistores		
	Tensão (volts)	Corrente (mA)
Circuito completo		
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da tensão no circuito em paralelo

- Ligue a fonte de tensão e confira se está na tensão de 10 volts.
- configure o multímetro novamente para medição de tensão (V).
- Conecte o lado direito da associação ao positivo da fonte. Posicione a ponteira vermelha no terminal positivo de um resistor neste lado. Já o outro lado da associação, conecte ao terminal negativo da fonte e a ponteira preta no terminal negativo do mesmo lado da associação
- Anote a tensão na Tabela 6.
- Repita o procedimento para os outros resistores, um a um e anote seus

resultados na Tabela 06.

- Observe que a tensão é a mesma para todos os resistores da associação.

Medição da corrente em cada resistor do circuito em paralelo

- Ajuste o multímetro novamente para medição de corrente (mA).
- Desconecte um dos terminais da fonte e insira o multímetro em série com o circuito, a ponteira vermelha do multímetro no terminal da fonte e a ponteira preta conectada a todas as garras de jacaré vindas dos resistores.
- Anote o valor da corrente total medida na Tabela 6.
- Na sequência vamos medir a corrente em cada resistor, para isso, reconecte as garras, vindo dos resistores, diretamente na fonte novamente.
- Interrompa o circuito de cada resistor individualmente e conecte o multímetro em série, a garra vermelha do multímetro no resistor e a garra preta do multímetro na garra que segue para fonte.
- Repita este processo para cada um dos 5 resistores e anote os resultados na Tabela 6.
- Para finalizar esta etapa, some os valores de todas as correntes individuais e compare com a corrente total da associação.
- Faça as seguintes indagações aos alunos:
 - 1- Quais foram as principais diferenças observadas na tensão no circuito em série e no circuito em paralelo?
 - 2- Quais foram as principais diferenças observadas na corrente elétrica no circuito em série e no circuito em paralelo?
 - 3- Como se comporta a resistência equivalente em cada caso?
 - 4- Após medir a resistência individual de cada um dos cinco resistores confeccionados, e também a resistência total quando eles foram associados em série, compare os valores obtidos. A resistência total se aproxima da soma das resistências individuais? Mostre os cálculos realizados e explique o que isso demonstra sobre a associação em série.
 - 5- Agora, com os mesmos cinco resistores, observe a resistência total medida

quando todos foram associados em paralelo. Calcule a soma dos inversos das resistências individuais e compare o valor obtido com a resistência total medida no experimento. Os valores são compatíveis? Justifique com base nos cálculos.

4.6 SEXTA AULA: RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO, CONCEITOS E APLICAÇÕES DAS LEIS DE KIRCHHOFF

Percebemos até aqui que o estudo da eletricidade é fundamental para a compreensão dos circuitos elétricos, que estão presentes em diversas aplicações tecnológicas do cotidiano. Entre estes conceitos essenciais para essa compreensão, destacam-se as associações de resistores e as Leis de Kirchhoff, que fornecem ferramentas matemáticas para a análise de circuitos elétricos mais complexos. A correta aplicação dessas leis permite prever o comportamento da corrente e da tensão em diferentes pontos do circuito.

Além de aprofundar a compreensão teórica sobre as associações de resistores, esta aula tem como objetivo validar os resultados obtidos experimentalmente na atividade prática anterior, na qual os alunos construíram resistores utilizando trilhas de grafite sobre papel e analisaram seu comportamento ao serem conectados em série e em paralelo. Agora, por meio da aplicação das Leis de Ohm e de Kirchhoff e da compreensão entre os valores medidos e os previstos teoricamente, busca-se consolidar a relação entre os conceitos estudados e os fenômenos observados, promovendo uma aprendizagem significativa e baseada na experimentação.

Finalizaremos esta aula explorando o uso de um simulador, montando circuitos em série e paralelo, manuseando e vendo como o simulador utiliza, tanto a lei de Ohm como as leis de Kirchhoff, resolvendo o sistema de equações e permitindo explicar circuitos mais complexos, abordando assim, de forma rápida, tópicos que seriam demorados de compreender e resolver.

4.6.1 Objetivo

Compreender o comportamento da corrente e da tensão em circuitos elétricos por meio das associações de resistores. Aplicar as Leis de Kirchhoff e a Lei de Ohm na análise teórica de circuitos. Relacionar a teoria com a experimentação, validando os resultados da atividade prática anterior. Utilizar simuladores para visualizar e resolver circuitos elétricos, consolidando a aprendizagem de forma interativa.

4.6.2 Recursos e materiais necessários

- Quadro branco e canetão ou quadro e giz
- Quadro e giz/canetão
- Datashow ou TV para exibição de vídeo
- Internet para acesso a simulações interativas
- Roteiro da atividade experimental da aula 6 (disponível nos apêndices)
- Folhas de papel e canetas para anotações e resoluções

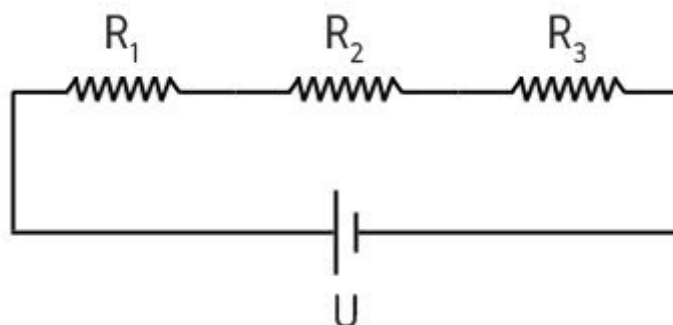
4.6.3 Procedimentos

- Inicie fazendo perguntas para ativar o conhecimento prévio e conectar a aula anterior:
 - 1 - Porque o grafite usado na atividade anterior se comportou como um resistor?
 - 2- O que mudou na resistência quando conectamos os resistores de grafite em série e em paralelo?
 - 3- Quais desafios ou imprevistos vocês encontraram ao medir a resistência dos resistores de papel?
- Explique de forma breve que: o grafite conduziu eletricidade, funcionando como um resistor, a resistência total do circuito variou conforme a forma como os resistores foram conectados no circuito e que o comportamento observado, pode ser explicado usando a Lei de Ohm e as Leis de Kirchhoff.

Resistores ligados em série

- Pergunte: Se conectarmos duas lâmpadas em fila no mesmo fio, o que acontece se uma delas queimar?
- Explique que no circuito em série, como o exemplo das lâmpadas, a corrente precisa passar por todos os resistores, se um falhar, a corrente para de circular e todas apagam.
- Desenhe um circuito com dois resistores em série (Figura 26):

Figura 26 – Desenho de resistores em série



Fonte: Toda Matéria (2024). Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/resistores-em-serie>

- Explique que a corrente (I) é a mesma para todos os resistores (pois há um único caminho para a corrente elétrica). A tensão total (V) se divide entre os resistores.
- Explique que se tivermos uma fonte e soubermos o valor de cada resistor, podemos encontrar a corrente através das Leis de Kirchhoff, mais necessariamente a Lei das Malhas.
- A Lei das Malhas diz que a soma algébrica das tensões em um circuito fechado deve ser zero.

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (17)$$

- Aplicando a associação em série temos que $V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$
- Como $V = I \cdot R$ para cada resistor: $V - (I \cdot R_1) - (I \cdot R_2) - (I \cdot R_3) = 0$.
- Relembre que, de acordo com a Lei de Ohm: ($V = R \cdot I$), neste caso onde a corrente é a mesma em todos os resistores, podemos expressar a tensão total como:

$$V_{\text{total}} = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I \quad (18)$$

- Portanto temos que a resistência equivalente (R_{eq}) é a soma das

resistências individuais:

$$R_{eq}=R_1+R_2+R_3+\dots \quad (19)$$

- Reorganizando temos:

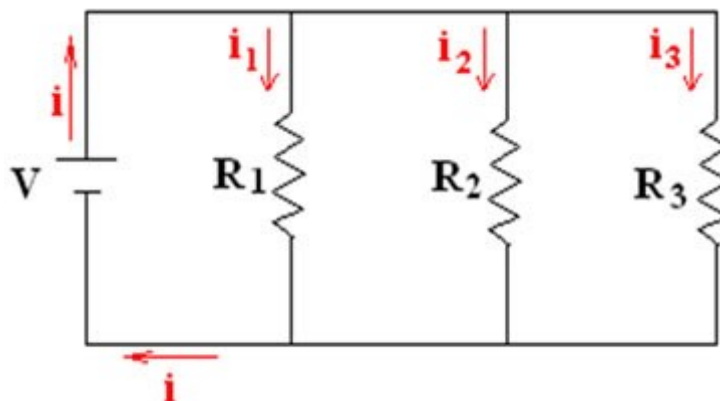
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (20)$$

- Reforce que essa equação permite calcular a corrente no circuito em série, e sabendo a corrente do circuito, podemos calcular a queda de tensão em cada resistor valendo-se da Lei de Ohm e considerando que para um determinado tempo t , eles possuem comportamento ôhmico.
- Isso mostra que, quanto mais resistores adicionamos, maior será a resistência equivalente e menor será a corrente elétrica.

Resistores ligados em paralelo

- Pergunte: Por que as lâmpadas das casas continuam acesas, mesmo se uma queimar?
- Explique que no circuito em paralelo, cada resistor (lâmpada) tem seu próprio caminho para a corrente elétrica.
- Desenhe no quadro um circuito com três resistores em paralelo (Figura 27).

Figura 27 – Desenho de resistores em paralelo



Fonte: Noções de eletricidade. (2014). Disponível em:
<https://eletricidadejaborandi.blogspot.com/2014/05/associacao-de-resistores-em-paralelo.html>.
 Acesso em: 15 jul. 2024.

- Explique que a corrente total (I) se divide entre os resistores, a tensão em cada resistor é a mesma e igual à tensão da fonte e a resistência equivalente é menor que qualquer resistência individual.
- Como a tensão é a mesma para todos os resistores, aplicando a Lei de Ohm temos que:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, I_3 = \frac{V}{R_3}, \quad (21)$$

- E a corrente total é: $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$
- A Lei dos Nós afirma que a soma das correntes que entram em um nó deve ser igual à soma das correntes que saem:

$$\sum I_{\text{entrada}} = \sum I_{\text{saída}} \quad (22)$$

- De acordo com a corrente total vista acima, usando a lei de Ohm para cada resistor, temos:

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad (23)$$

- Dividindo ambos os lados por V, temos como calcular o valor do resistor equivalente na associação em paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (24)$$

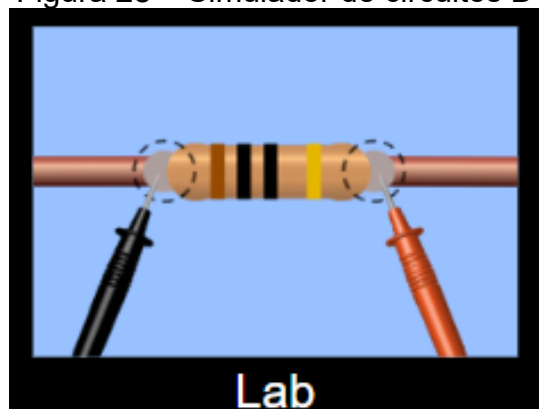
- Em suma temos que de acordo com as Leis de Kirchhoff, a Lei das Malhas mostra que as quedas de tensão se somam, resultando na equação que torna possível o cálculo de resistores em série. E de acordo com a Lei dos Nós as correntes se somam, levando a equação que torna possível o cálculo de resistores em paralelo. Essa abordagem mostra que as fórmulas de associação de resistores não são regras isoladas, mas sim consequências diretas das Leis de Kirchhoff.

4.6.4 Procedimentos em simulador virtual

Montando e mensurando circuito em série

- No computador, notebook, tablet ou celular, inicie o navegador de sua preferência e acesse o link https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/circuit-construction-kit-dc
- Dentro do site, clique no botão com ícone de play (Iniciar Simulação).
- Escolha a opção lab (laboratório), para criar circuitos livremente. (Figura 28)

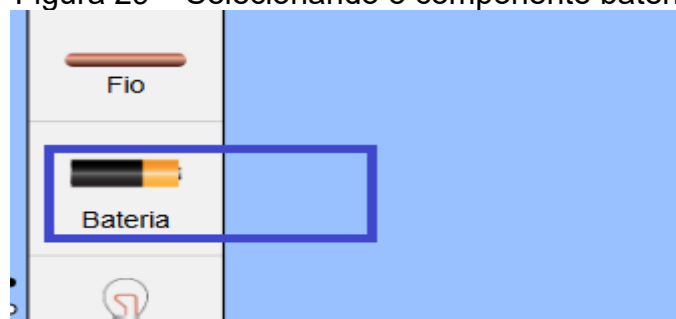
Figura 28 – Simulador de circuitos DC



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Na tela do simulador, você verá diferentes componentes elétricos na parte esquerda.
- Arraste uma bateria para a área central, segure o botão do mouse e mova para cima (Figura 29).

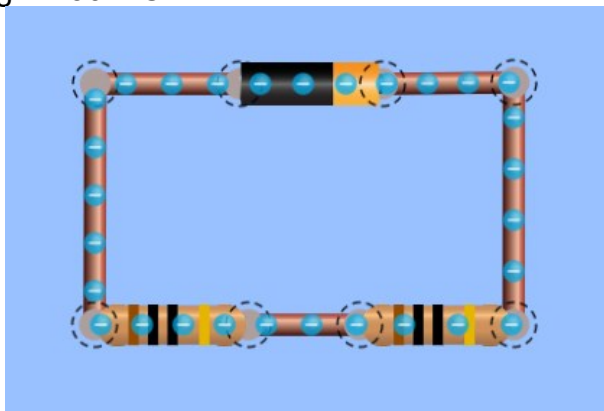
Figura 29 – Selecionando o componente bateria



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Arraste dois resistores para a área de montagem e posicione-os em sequência. Em seguida, conecte a extremidade de um à extremidade do outro utilizando um fio, formando uma associação em série.
- Use os fios para ligar a bateria aos resistores e fechar o circuito (Figura 30). É importante que não fique espaços sem conexão, todos os elementos devem estar interligados. Assim que todos estiverem conectados corretamente, uma ilustração de elétrons se movimento irá iniciar.

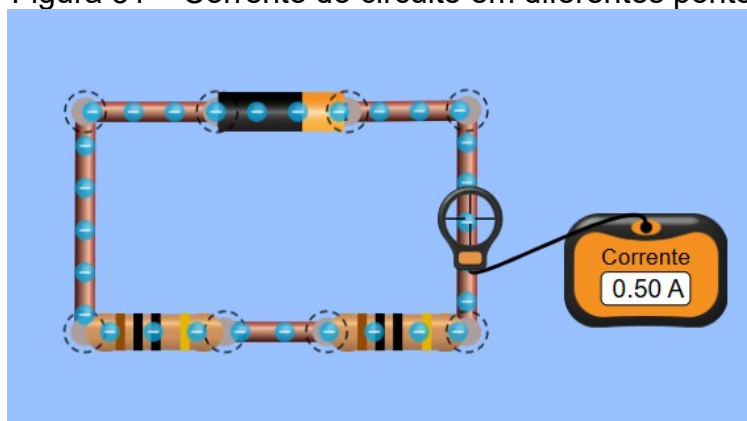
Figura 30 – Circuito com dois resistores em série



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Clique na bateria e na parte inferior ajuste para 10 volts, clique em cada resistor e certifique-se de que cada um tem valor de 10 ohms, se necessário ajuste-os.
- Pegue o amperímetro de campo (Alicate amperímetro) e arraste-o até a tela principal, em seguida posicione seu leitor para diferentes pontos do circuito (Figura 31).

Figura 31 – Corrente do circuito em diferentes pontos

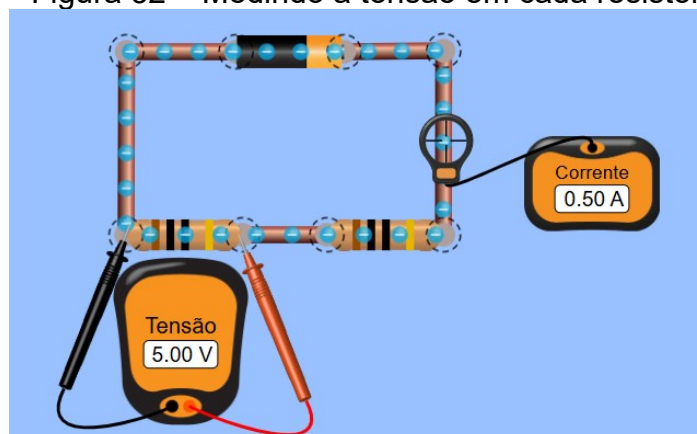


Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Verifique que a corrente em um circuito em série é a mesma em qualquer ponto, anote o valor da corrente em uma folha para cálculos.

- Pegue o voltímetro e meça a tensão, coloque as pontas do voltímetro em cada resistor separadamente e registre os valores medidos em uma folha de cálculos. (Figura 32).

Figura 32 – Medindo a tensão em cada resistor



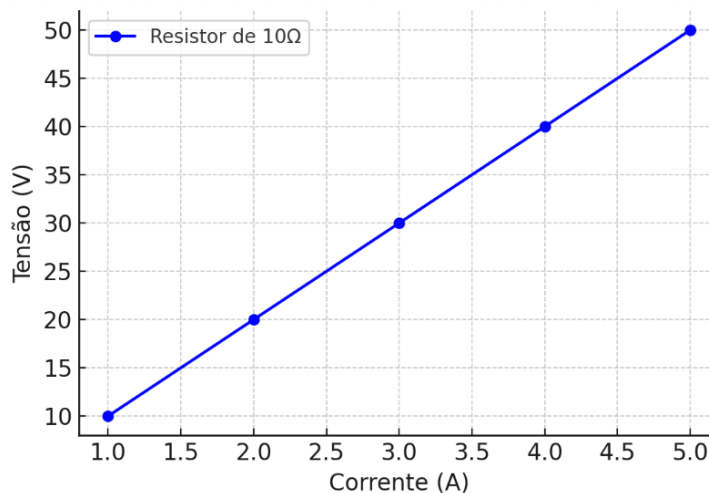
Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Se o valor medido pelo voltímetro apresentar número negativo, você pode clicar na bateria e inverter seus polos.

Aplicando a Lei de Ohm no resistor

- Agora que temos os valores de tensão (V) e corrente (I), podemos calcular a resistência de cada resistor utilizando a fórmula: $V = R \cdot I$. Substitua os valores na fórmula e anote os resultados dos cálculos. (10 Ohms).
- Aumente o valor da tensão da bateria para 20 volts, e, utilizando este valor e o novo valor da corrente marcado pelo amperímetro, recalcule o valor do resistor, repita o processo para 30, 40 e 50 volts.
- Perceba que não importa o valor da tensão, a corrente sobe de maneira que o valor da resistência é constante, o que caracteriza um resistor ôhmico, ou seja, que obedece a lei de Ohm.
- Desenhe um gráfico com os valores de V no eixo vertical e de I no eixo horizontal para cada medida efetuada. (Gráfico 3)

Gráfico 3 – Gráfico da Lei de Ohm para o experimento no simulador
Gráfico Característico de um Resistor Ôhmico (10Ω)



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montando e mensurando circuito em paralelo

- Clique no botão no canto direito inferior de reiniciar (limpar) a simulação.
- Arraste uma bateria para a tela do simulador, regule a mesma para 20 volts.
- Arraste dois resistores e posicione-os um abaixo do outro. Configure o resistor de cima para 5 ohms e o de baixo para 10 ohms.
- Conecte as extremidades de cada resistor, depois conecte as extremidades dos resistores diretamente aos polos da bateria. Os resistores devem ter os dois lados conectados aos mesmos pontos de tensão. Use fios para fazer as conexões no circuito. (Figura 33).

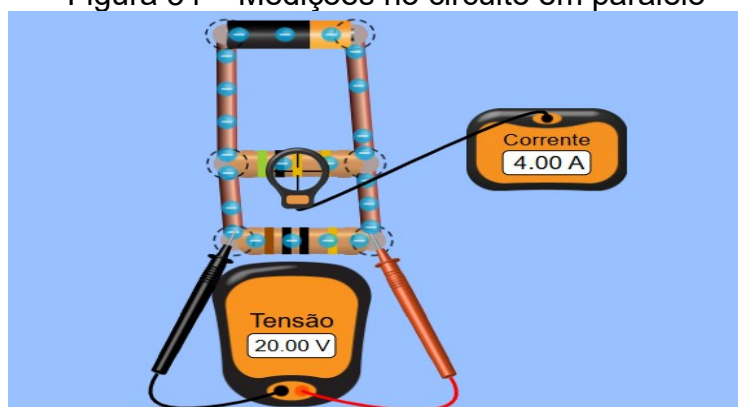
Figura 33 – Montagem de circuito em paralelo



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- O circuito terá suas ligações corretas se as representações de elétrons fluírem pelos dois resistores, caso contrário ajustes as conexões.
- Pegue o voltímetro e meça a tensão em cada um dos resistores e anote o valor na folha de cálculos. Espera-se que a tensão em cada resistor seja igual à da bateria.
- Deixe o voltímetro conectado em algum ponto do circuito, em seguida pegue o amperímetro e meça a corrente total que sai da bateria e a corrente em cada resistor do circuito e anote os resultados. (Figura 34).

Figura 34 – Medições no circuito em paralelo



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

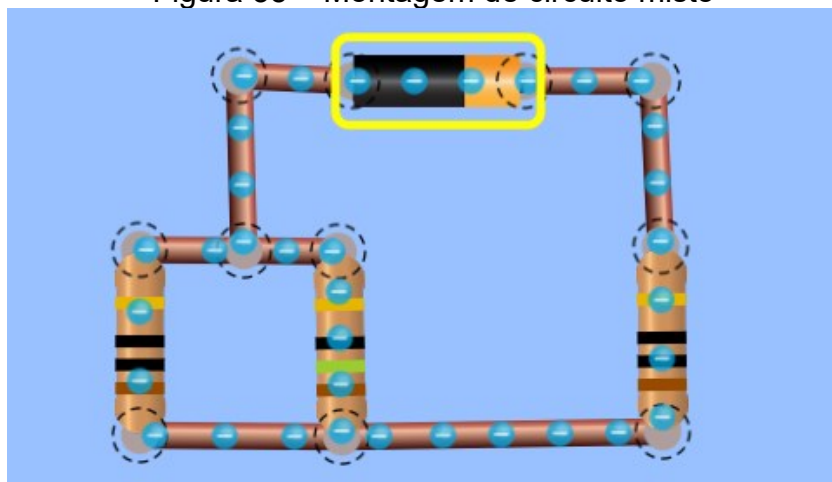
Aplicando a Lei de Ohm no em cada resistor

- Agora que temos os valores de tensão (V) e corrente (I) em cada resistor, repita os processos de cálculos, utilizando a Lei de Ohm, para calcular a resistência de cada resistor utilizando a fórmula: $V=R.I$. Substitua os valores na fórmula e anote os resultados dos cálculos para análise.
- Perceba que no resistor de cima a corrente é de 4 amperes, já no resistor de baixo a corrente é de 2 amperes. Portanto mantendo a tensão constante, a corrente flui em maior intensidade pelo resistor de menor resistência. Esta análise serve para consolidar o entendimento de resistência elétrica, quanto mais resistência, mais dificuldade pra corrente elétrica percorrer o componente.

Montando um circuito misto e analisando com as leis de Kirchhoff

- Após reiniciar a simulação, arraste uma bateria para a tela do simulador e configure para 24 volts.
- Crie um caminho pelo lado direito com um resistor de 10 ohms em série.
- Adicione um segundo caminho pela esquerda com dois resistores em paralelo, um de 10 ohms e o outro de 15 ohms.
- Feche o circuito conectando tudo corretamente com fios, conforme a Figura 35:

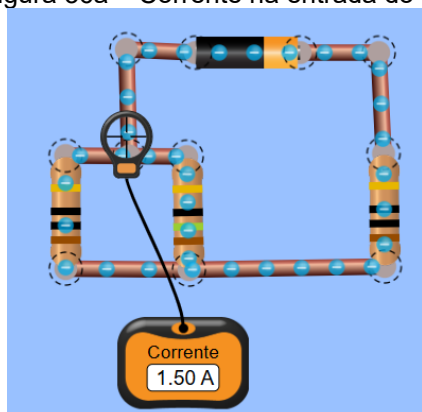
Figura 35 – Montagem de circuito misto



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

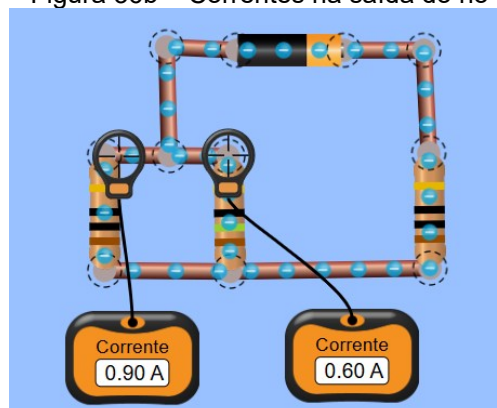
- Use o amperímetro para medir a corrente antes e depois de um nó, ponto de ramificação do circuito (Figuras 36a e 36b).

Figura 36a – Corrente na entrada do nó



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR.
 Acesso em 13 mar. 2025

Figura 36b – Correntes na saída do nó

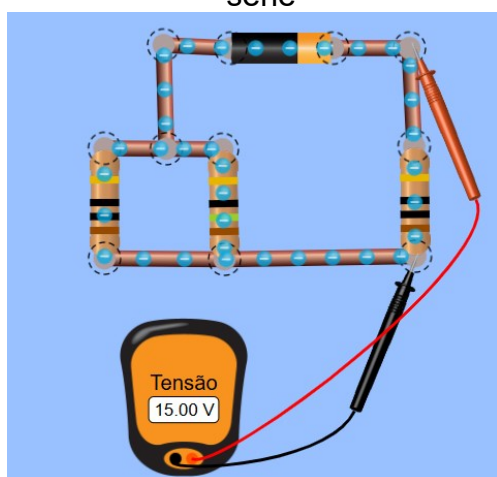


Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Compare os valores e veja que a soma das correntes que entram em um nó é igual à soma das que saem, que corresponde a Lei dos Nós. No experimento no simulador no nó entram 1,5 volts e saem 0,9 e 0,6 volts, correspondendo a Lei dos Nós, configurando conservação de cargas.
- Pergunte aos alunos: Se adicionarmos mais resistores em paralelo, a corrente total vai aumentar ou diminuir?

- Na sequência, vamos medir a tensão nas malhas para verificarmos a Lei das Malhas, de acordo com as Leis de Kirchhoff.
- Use o voltímetro para medir a tensão na malha que possui o resistor em série com o circuito (Figura 37a), anote o valor para posterior análise.
- Use o voltímetro para medir a tensão na malha que possui os resistores em paralelo (Figura 37b), anote o valor para posterior análise.

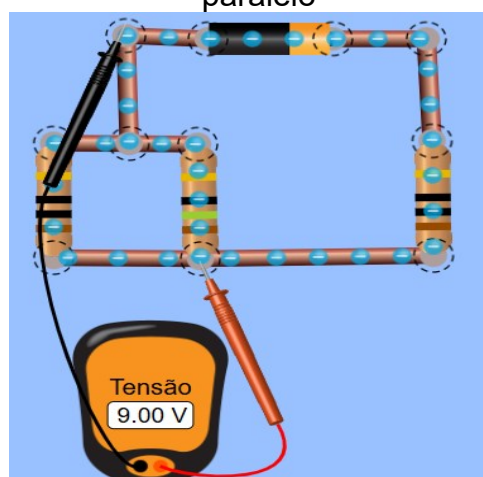
Figura 37a – Tensão no ramo em série



Disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR.
Acesso em 13 mar. 2025

Figura 37b – Tensão na malha em paralelo



Disponível em:

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR.
Acesso em 13 mar. 2025

- Verifique-se que a soma das diferenças de potencial em qualquer malha fechada do circuito é sempre zero. No caso do experimento no simulador, a Tensão da fonte menos a tensão da malha em paralelo, menos a tensão da malha em série, que configura um circuito fechado, dá como resultado zero. Isso ocorre porque a energia fornecida pela bateria é totalmente distribuída pelos elementos do circuito, o que demonstra a Lei das Malhas e a conservação de energia.
 - Finalize a aula com o questionário a seguir:
- 1- Qual é a principal diferença entre circuitos em série e em paralelo em relação ao comportamento da corrente e da tensão?

2- Como as Leis de Kirchhoff nos ajudam a analisar circuitos mais complexos que não podem ser resolvidos apenas com a Lei de Ohm?

3- Na sua opinião, qual foi a principal contribuição do simulador para a sua aprendizagem? Ele ajudou mais na visualização dos circuitos ou na realização dos cálculos?

4.7 SÉTIMA AULA: ANÁLISE PRÁTICA DO COMPORTAMENTO DE DISPOSITIVOS COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL

Nesta aula, exploraremos experimentalmente o comportamento de dispositivos com resistência variável, com foco em potenciômetros e resistores flexíveis. Esses componentes desempenham um papel essencial em circuitos eletrônicos, pois permitem o controle da tensão e da corrente elétrica sem a necessidade de alterar fisicamente o circuito. O potenciômetro, por exemplo, é amplamente utilizado para ajustar níveis de sinal, como em controles de volume de áudio, enquanto os resistores flexíveis são empregados como sensores capazes de detectar deformações mecânicas, tornando-se fundamentais em aplicações de controle e automação.

Para compreender melhor o funcionamento desses dispositivos, realizaremos medições utilizando multímetros, verificando como a resistência varia em resposta a diferentes estímulos. No caso do potenciômetro, analisaremos como a rotação de seu eixo altera a resistência entre seus terminais e, conseqüentemente, a divisão de tensão no circuito. Já no resistor flexível, observaremos como a resistência muda em resposta à flexão, permitindo converter um movimento mecânico em uma variação elétrica.

Assim, ao investigarmos o funcionamento dos potenciômetros e resistores flexíveis por meio de medições diretas e experimentação prática, buscamos favorecer uma aprendizagem que não seja apenas mecânica, mas sim significativa e crítica. O objetivo é que os alunos compreendam não apenas como esses componentes funcionam, mas também por que e para que são utilizados, estabelecendo conexões entre os conceitos teóricos da eletricidade e suas aplicações tecnológicas. Dessa forma, essa aula não apenas reforça a Lei de Ohm e os princípios da resistência elétrica, mas também estimula a reflexão sobre o papel da Física em dispositivos interativos e sistemas automatizados.

4.7.1 Objetivos

Compreender detalhadamente o funcionamento de dispositivos com resistência variável, como potenciômetros e resistores flexíveis, por meio de

medições práticas em circuitos elétricos. Observar como esses componentes se comportam e influenciam a corrente e a tensão no circuito. Relacionar os conceitos teóricos com situações reais, reconhecendo suas aplicações na tecnologia e na automação. Desenvolver uma aprendizagem significativa e crítica, entendendo não apenas o funcionamento dos dispositivos, mas também sua utilidade prática no cotidiano e na inovação tecnológica.

4.7.2 Recursos e materiais necessários

- Quadro branco e canetão ou quadro e giz
- Potenciômetros (preferencialmente de 10k Ω)
- Resistor flexível (sensor de flexão de 13 k Ω ou similar)
- Resistor fixo de 10 k Ω
- Multímetros digitais (para medições de resistência, tensão e corrente)
- Roteiro da atividade experimental da aula 7 (disponível nos apêndices)
- Folhas de papel e canetas para anotações e resoluções
- Fonte de tensão DC ajustável
- Protoboard
- Fios jumper de conexão

4.7.3 Procedimentos experimentais

- Explique brevemente o objetivo da aula, que é investigar experimentalmente o funcionamento de dispositivos com resistências variáveis, onde abordaremos o potenciômetro e em seguida o resistor flexível, para compreender suas aplicações como divisores de tensão.

4.7.3.1 Análise e medição do potenciômetro

- Apresente o componente: o potenciômetro é um pequeno componente que pode ser girado, ou deslizado, dependendo do modelo. Este é um potenciômetro rotativo, na parte de cima, temos um eixo que podemos girar. Quando giramos esse eixo, a resistência dentro dele muda gradualmente. O corpo do potenciômetro pode ser de diferentes tamanhos e formatos, mas todos funcionam de maneira semelhante.

Nesta aula vamos ver como utiliza-lo e como podemos medir essa mudança de resistência que acontece quando giramos o eixo.

- Identifique com os alunos os três terminais do potenciômetro, destaque que o terminal do meio (B) é o cursor, que se move conforme o eixo gira, os terminais laterais (A, C) são os pontos fixos de resistência total, no caso deste potenciômetro utilizado $10k\Omega$ (Figura 38).

Figura 38 – Potenciômetro rotativo



Fonte: UsinaInfo (adaptado, 2025). Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- Instrua os alunos a medir a resistência total do potenciômetro, que deve ser feito entre os dois terminais laterais com o multímetro na escala de resistência ($20k\Omega$).
- Posicione a ponteira vermelha do multímetro no terminal A e a ponteira preta do multímetro no terminal C.
- Em seguida Posicione a ponteira Preta do multímetro no terminal A e a ponteira Vermelha do multímetro no terminal C.
- Observe que se inverter as ponteiros não teremos problema porque a resistência elétrica não depende da polaridade, ou seja, a leitura no multímetro será a mesma independentemente da posição das ponteiros.
- Registre o valor na Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela para registros e análise no potenciômetro

Medições da resistência e tensão no potenciômetro			
Resistencia fixa do potenciômetro entre os terminais A e C (kΩ)			
Tensão de entrada no potenciômetro entre os terminais A e C (V)			
Medições em diferentes posições de giro no sentido horário			
Giro Horário	Resistencia entre B e A (kΩ)	Resistencia entre B e C (kΩ)	Tensão entre B e C (V)
0%			
10%			
30%			
50%			
80%			
100%			

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da Resistência do Cursor em Diferentes Posições

- Gire o eixo do potenciômetro totalmente em sentido anti-horário, até sentir que chegou ao seu limite.
- Conecte uma ponta do multímetro no terminal central (B) e a outra no terminal esquerdo (A), pressione bem a fim de não ter oscilações na medida (Figura 39). Espere estabilizar a indicação do multímetro e anote os resultados na Tabela 07.

Figura 39 – Medição da resistência variável do potenciômetro



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o procedimento agora colocando a ponteira que estava no terminal esquerdo (A) no terminal direito (C) e anote o resultado.

- Gire o potenciômetro em sentido horário, conforme indicações a seguir, meça a resistência em cada uma delas, com uma das ponteiros sempre no terminal central (B) e a outra ponteira, primeiro no terminal esquerdo (A) e depois no terminal direito (C), para cada giro do eixo, em seguida faça as anotações na Tabela 7:
 - Giro de 10% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 30% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 50% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 80% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 100% → Meça e registre a resistência.
- Para finalizar esta etapa, peça que os alunos comparem os valores obtidos e analisando a tabela respondam:
 - 1- O que acontece com a resistência conforme o giro aumenta?
 - 2- Em que ponto a resistência é aproximadamente a metade da resistência total?

Montagem do circuito com o potenciômetro como divisor de tensão

- Utilize novamente a Tabela 7, para fazer as anotações e posteriores análises.
- Ligue a fonte de tensão e regule a tensão para 10V.
- Utilize ponteiros com garras de jacaré, melhorando assim as medições.
- Gire o eixo do potenciômetro totalmente em sentido anti-horário, até sentir que chegou ao seu limite, se houver obstruções devido a fixação, ajuste a garra de jacaré para garantir que o eixo gire livremente.
- Conecte firmemente o cabo positivo (vermelho) da fonte no terminal lateral esquerdo (A) do potenciômetro.
- Do mesmo modo, conecte o cabo negativo (preto) da fonte no terminal lateral direito (C) do potenciômetro (Figura 40).

Figura 40 – Potenciômetro como divisor de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- O terminal central (B) será o ponto onde a tensão será medida, entre o terminal central (B) e o terminal lateral direito (C).
- Selecione a escala de tensão contínua (DC) no multímetro. Escolha uma faixa de medição adequada, como a fonte foi regulada para 10V, a faixa mais próxima que fará a medida corretamente será a de 20V.
- Coloque a ponteira vermelha do multímetro no terminal central(B) do potenciômetro, onde a tensão será medida.
- Coloque a ponteira preta do multímetro no terminal direito (C), ou seja, na conexão com o terminal negativo da fonte.
- Espere estabilizar a indicação do multímetro e anote o resultado na Tabela 08.
- Gire o potenciômetro em sentido horário, conforme indicações a seguir, meça a tensão no terminal central em cada uma delas, em seguida anote na Tabela 7, conforme o giro indicado.
 - Giro de 10% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 30% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 50% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 80% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 100% → Meça e registre a tensão.

- Na sequência explique que o potenciômetro pode ser entendido como dois resistores em série, dividindo a tensão de entrada. Com o terminal central (B) atuando como o ponto de divisão entre eles. Conforme o eixo do potenciômetro é ajustado, a posição do cursor muda a proporção dos resistores em cada lado.
- Mostre a equação do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (25)$$

- Onde V_{out} é a tensão no cursor, V_{in} é a tensão da fonte, e R_1 e R_2 são as resistências do potenciômetro conforme sua posição.
- A Lei das Tensões de Kirchhoff afirma que a soma das tensões ao longo de um circuito fechado é zero. No caso do potenciômetro, temos uma tensão de entrada fornecida pela fonte, que se distribui entre os dois resistores em série (os dois lados do potenciômetro). Quando medimos a tensão no terminal central, estamos observando a tensão dividida de acordo com a posição do cursor, ou seja, a tensão na parte esquerda do potenciômetro.
- Divisão de Tensão: como o potenciômetro é composto por dois resistores em série, a tensão total fornecida pela fonte se divide proporcionalmente entre os dois resistores. A fórmula da divisão de tensão para este caso é dada por:

$$V_{central} = V_{in} \times \frac{R_{lado}}{R_{total}} \quad (26)$$

- Onde: $V_{central}$ é a tensão medida no terminal central (B), V_{in} é a tensão de entrada, R_{lado} é o valor do resistor correspondente a um dos lados do potenciômetro (dependente da posição do cursor), R_{total} é a resistência total do potenciômetro (Entre A e C).
- A posição do cursor altera R_{lado} , o que muda a proporção da tensão que aparece no terminal central (B).

- Em suma, conforme vocês ajustam o potenciômetro, percebam que a tensão medida no terminal central varia. Isso ocorre porque a posição do cursor altera a resistência de um dos lados, dividindo a tensão de entrada de forma diferente, como prevê a Lei das Tensões de Kirchhoff.
- Para finalizar esta etapa, peça que os alunos analisem a tabela, comparem os valores medidos com a fração da tensão total e respondam:
 - 1- Em 50% do giro, a tensão no cursor é metade da tensão da fonte?
 - 2- Como a tensão varia em relação à posição do eixo?
 - 3- Como você acha que a tensão varia em função da resistência para cada posição de giro do eixo?
 - 4- Em que situações seria mais vantajoso usar um potenciômetro em vez de resistores fixos?
 - 5- Como o potenciômetro pode ser usado na construção da luva controladora que vamos desenvolver para controlar a garra robótica?

4.7.3.2 ANÁLISE E MEDIÇÃO DO RESISTOR FLEXÍVEL

- Inicie esta etapa mostrando fisicamente o resistor flexível (Figura 41).

Figura 41 – Resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

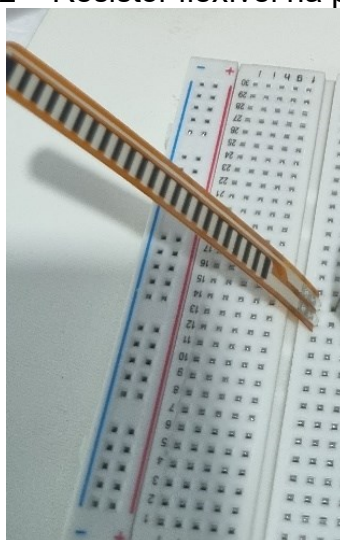
- Em seguida explique que o resistor flexível é um componente eletrônico com uma característica bastante interessante, ele é flexível e pode ser curvado, alterando a sua resistência, sem perder suas propriedades de resistência linear (ôhmica), assim como no giro do potenciômetro,

analisando anteriormente. Esse tipo de resistor é especialmente útil em aplicações que exigem flexibilidade, como no caso da construção da luva controladora que iremos desenvolver.

Medição da resistência do resistor flexível

- Conecte os terminais do resistor flexível a uma placa protoboard, a fim de facilitar as medições que serão realizadas a seguir (Figura 42).

Figura 42 – Resistor flexível na protoboard



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Conecte fios jumper na mesma linha de conexão da protoboard, em cada pino do sensor e conecte nas ponteiros pretas e vermelhas do multímetro (utilizar ponteiros com terminais de garras jacaré).
- Ajuste o multímetro para a medição de resistência (Ω), como o resistor flexível utilizado tem resistência média de 13 k Ω , ajuste o multímetro para a escala de 20k Ω .
- Primeira medição, sem flexão (Posição Natural): observe a resistência do resistor flexível sem qualquer flexão. Observe o valor no multímetro após sua estabilização e anote na Tabela 8:

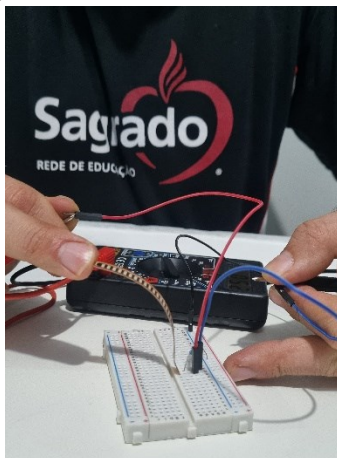
Tabela 8 – Tabela para registros e análise no resistor flexível

Medições da resistência e tensão e cálculos no resistor flexível			
Resistencia fixa do potenciômetro entre os terminais A e C (kΩ)			
Tensão de entrada no potenciômetro entre os terminais A e C (V)			
Medições em diferentes posições de flexão			
Flexão do resistor	Resistencia entre os terminais (somente resistor flexível) (kΩ)	Tensão entre os terminais B e C do divisor (V)	Cálculo da tensão de saída do divisor (V)
Posição Natural			
Leve flexão			
Flexão moderada			
Flexão máxima			

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Para as medições subsequentes, registre cuidadosamente as posições utilizadas em cada sequência, pois será necessário reproduzi-las de forma idêntica em medições posteriores.
- Segunda medição, leve flexão: flexione o resistor levemente e observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Terceira medição – flexão moderada (curvatura média): flexione o resistor mais intensamente, mas ainda sem chegar à curvatura máxima que terá na luva (Figura 43). Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.

Figura 43 – Curvatura moderada do resistor flexível



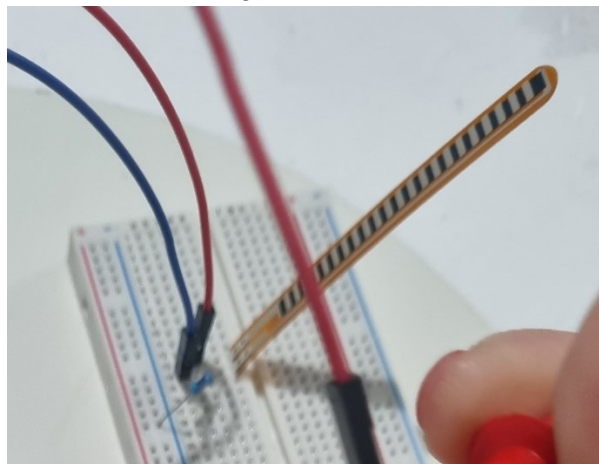
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Quarta medição, flexão máxima (curvatura máxima na luva): flexione o resistor até o ponto máximo. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Finalize esta etapa com os questionamentos:
 - 1- O que aconteceu com a resistência à medida que o resistor foi sendo flexionado?
 - 2- Como o experimento observado se relaciona com o potenciômetro analisado anteriormente?

Montagem do circuito com o resistor flexível como divisor de tensão

- Conecte o resistor flexível em série com um resistor fixo de 10 k Ω , formando um divisor de tensão (Figura 44).

Figura 44 – Resistor de 10 k Ω em série com o resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Ligue a fonte de tensão e regule a tensão para 5 V.
- Conecte o terminal A do resistor flexível ao terminal positivo (+5 V) da fonte.
- Observe na Figura 46, que o terminal B do resistor flexível está ligado a um dos terminais do resistor fixo.
- Conecte a outra extremidade do resistor fixo (denominada Terminal C) ao terminal negativo da fonte.
- Perceba que o circuito agora forma um divisor de tensão, semelhante ao do potenciômetro. No caso do potenciômetro a soma sempre foi R_{total} , aqui a soma sempre aumenta sem alterar o resistor lateral, por tanto o divisor na expressão sempre muda, onde a tensão medida no Terminal B (a junção entre o resistor flexível e o resistor fixo) dependerá da resistência variável do resistor flexível.
- Ajuste o multímetro para a escala de tensão contínua (DC), garantindo que a faixa seja compatível com 5 V (no caso do multímetro utilizado será a escala de 20 V).
- Conecte a ponteira vermelha (positiva) do multímetro no ponto de junção do resistor flexível com o resistor fixo (Terminal B).
- Conecte a ponteira preta (negativa) do multímetro ao ponto que denominamos terminal C (parte do resistor fixo conectado ao negativo da fonte).

- Primeira medição, sem flexão (Posição Natural): com o resistor flexível em sua posição natural, registre o valor observado no multímetro, após sua estabilização, e anote na Tabela 8, em seu respectivo local.
- Para as próximas medições, deve-se ter o cuidado para que cada posição seja mais fiel possível as posições aplicadas na medição da resistência, para que a análise final não tenha muitas distorções, entre o observado e os cálculos.
- Segunda medição, leve flexão: flexione o resistor levemente e observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Terceira medição – flexão moderada (curvatura média): flexione o resistor mais intensamente, mas ainda sem chegar à curvatura máxima. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Quarta medição, flexão máxima (curvatura máxima): flexione o resistor até o ponto máximo. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.

Cálculo da Tensão Esperada

- Explique que, ao variar a resistência do resistor flexível, a corrente no circuito também varia, e isso influencia a tensão medida no ponto de saída. Conforme previsto pela Lei de Ohm, considerando que o resistor flexível e o resistor fixo tenham comportamentos Ôhmicos, podemos aplicar a relação estabelecida pela lei de Ohm e as leis de Kirchhof, para prever o comportamento da tensão que conforme a flexão do resistor flexível.
- Use a resistência medida para calcular a tensão esperada em diferentes condições de flexão utilizando a fórmula do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_{flexível}}{R_{flexível} + R_{fixo}} \quad (27)$$

- Onde V_{out} é a tensão medida no resistor flexível, V_{in} é a tensão fornecida pela fonte, $R_{flexível}$ é a resistência do resistor flexível e R_{fixo} é a resistência do resistor fixo.
- Calcule a tensão para cada flexão da luva e anote na Tabela 8.
- Compare os valores calculados com as medições reais da tensão para verificar a precisão da Lei de Ohm em diferentes condições de flexão.
- Para finalizar e refletir, lance o questionamento:
1- Como poderemos utilizar o resistor flexível para fazer os movimentos de abrir e fechar da mão de uma pessoa, serem transmitidos para movimentos similares de abrir e fechar em uma garra robótica?

4.8 OITAVA AULA: MONTAGEM DA LUVA CONTROLADORA COM RESISTOR FLEXÍVEL

Nesta aula iremos desenvolver a luva controladora, capaz de transmitir o movimento de abrir e fechar a mão de uma pessoa para movimentos semelhantes em uma garra robótica. A luva será equipada com um resistor flexível, projetado para identificar os movimentos de abertura e fechamento dos dedos. Esse controlador, por sua vez, realizará a leitura do sensor integrado à luva e transmitirá os dados resultantes para os servos motores da garra robótica, possibilitando assim a reprodução dos movimentos da mão do operador.

Em seguida criaremos dois códigos, o primeiro testará a leitura feita pela porta do Arduino quando a mão estiver totalmente aberta e totalmente fechada. O segundo irá converter estes valores para valores que serão enviados para o servo motor da garra robótica, que será desenvolvida na próxima etapa.

A construção e a utilização da luva controladora proporcionarão uma abordagem prática e experimental dos conceitos explorados até o momento, especialmente a Lei de Ohm. Esses princípios possibilitam não apenas a compreensão teórica, mas também a prática durante a programação da luva, permitindo a previsão dos movimentos com base na variação da resistência elétrica, que ocorre ao flexionar o resistor flexível durante os gestos de abrir e fechar a mão.

Caso necessário, utilize o Manual de programação básica para Arduino disponível nos anexos, assim como, um manual sobre a história, características e utilização do Arduino.

4.8.1 Objetivos

Integrar teoria e prática através da combinação dos conceitos de física (Lei de Ohm) e robótica (controle de servo motor), proporcionando uma experiência de aprendizagem significativa e crítica. Compreender de forma tangível o funcionamento do resistor flexível. Aplicar o conceito de divisor de tensão. Estimular o raciocínio lógico e a resolução de problemas durante a montagem, programação e testes.

4.8.2 Recursos e materiais necessários

- Luva (igual a utilizada no projeto ou semelhante)
- Resistor Flexível
- Fita isolante
- Fios sólidos (para fixação do resistor flexível)
- Arduino (Uno, Nano ou similar) – Placa controladora para o projeto
- Protoboard – Para montagem dos circuitos eletrônicos.
- Fios Jumpers (Para interligar os componentes na protoboard e no Arduino)
- Resistor de 10k Ω
- Roteiro da atividade experimental da aula 8 (disponível nos apêndices)

4.8.3 Procedimentos práticos

- Explique que iniciaremos a fase central de nosso projeto educacional, que busca dar significado a aprendizagem da Lei de Ohm, durante o desenvolvimento da luva controladora equipada com um resistor flexível.

Montagem do resistor flexível na luva

- Utilizaremos uma luva de tecido e borracha, que proporciona durabilidade à luva controladora desenvolvida e ao mesmo tempo boa mobilidade para a execução dos movimentos (Figura 45).

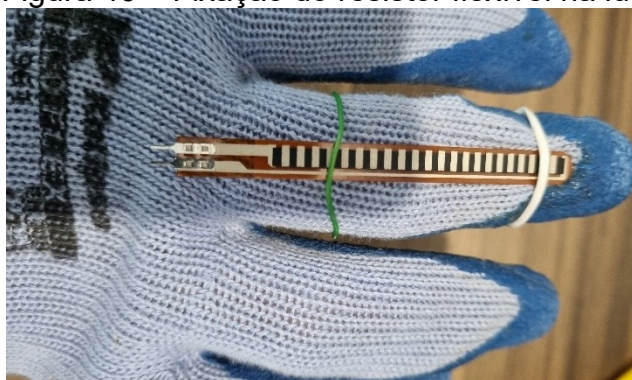
Figura 45 – Luva utilizada no projeto



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione o resistor flexível sobre a parte superior do dedo médio da luva, garantindo que ele fique bem alinhado para captar corretamente os movimentos de abrir e fechar a mão.
- Utilize o fio sólido para amarrar e fixar firmemente o resistor no dedo médio (Figura 46). Garanta que ele se flexione corretamente com o movimento da mão. Evite deixar o resistor muito apertado ou frouxo, pois isso pode interferir na captação do movimento.

Figura 46 – Fixação do resistor flexível na luva



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Vista a luva e teste a fixação movendo os dedos (abrindo e fechando a mão), para assegurar que o resistor flexível não se solte e que responde corretamente à movimentação da mão.
- Garanta que os pontos de conexão do resistor fiquem acessíveis para soldagem dos fios.
- Corte dois fios de aproximadamente 50 cm para a conexão entre a luva e a placa protoboard, que se conectará ao Arduino, garantindo uma

extensão com comprimento suficiente para movimentação confortável da mão durante a manipulação da garra robótica.

- Desencape aproximadamente 5 mm das extremidades dos fios para facilitar a soldagem.
- Corte um cabo jumper ao meio e conecte nos terminais do resistor garantindo um contato firme e seguro (Figura 49).

Figura 47 – Conexão com o resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Solde o lado cortado do cabo jumper nas extremidades do fio extensor.
- Utilize fita isolante para cobrir as conexões soldadas, prevenindo curto-circuito e protegendo contra desgaste durante os movimentos.
- Enrole fita isolante a cada 10 cm ao longo dos fios para mantê-los organizados, garantindo um acabamento visual mais limpo e permitindo maior fluidez nos movimentos da luva controladora (Figura 48).

Figura 48 – Organização da extensão de fios com fita isolante



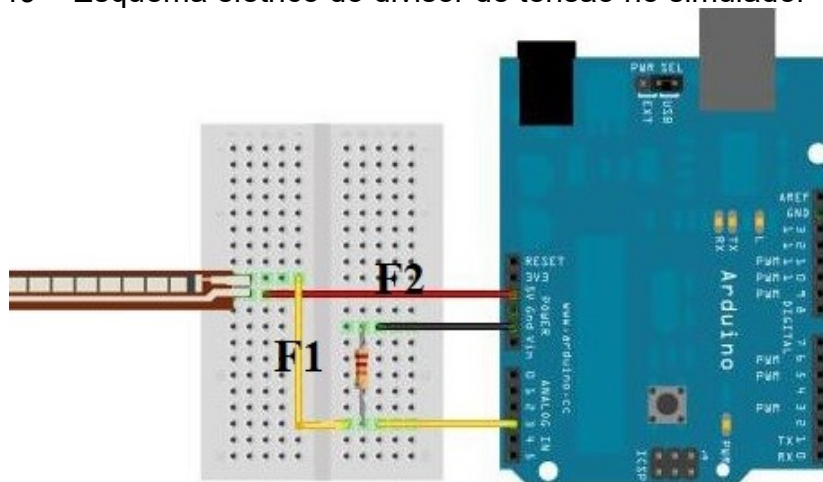
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Corte outro cabo jumper ao meio e solde cada parte nas extremidades dos fios provenientes da luva (resistor flexível). Isso permitirá uma conexão mais prática e segura à protoboard

Montagem do divisor de tensão na protoboard

- Escolha uma linha da protoboard para ser a linha de 5V e outra para GND.
- O primeiro fio do resistor flexível (vindo da luva), que denominaremos F1, deve ser conectado a uma linha livre da protoboard (Figura 49).

Figura 49 – Esquema elétrico do divisor de tensão no simulador Tinkercad.



Fonte: Adaptado de AUTODESK (2025).

- O segundo fio do resistor flexível (vindo da luva), que denominaremos F2, deve ser conectado à linha de 5V da protoboard (Figura 49).
- Conforme a Figura 49, adicione o resistor fixo (10kΩ), conecte um dos terminais do resistor na mesma fileira onde está o primeiro fio do resistor flexível (F1).
- O outro terminal do resistor fixo deve ser conectado à linha de GND da protoboard.
- No ponto onde o resistor flexível e o resistor fixo se encontram (junção dos dois na protoboard), conecte um jumper e ligue-o ao pino A3 do Arduino (Figura 49).
- Ligue a linha 5V da protoboard ao pino 5V do Arduino.
- Ligue a linha GND da protoboard ao pino GND do Arduino.

Funcionamento do circuito conforme a Lei de Ohm e leis de Kirchhoff

- Relembre que o resistor flexível altera sua resistência conforme a mão se abre e fecha. Para que o Arduino possa verificar essas variações, precisamos converter essa resistência variável em uma variação de voltagem. Isso é feito com um divisor de tensão, conforme estudado em aulas anteriores, que foi feito com o resistor fixo e o resistor flexível.
- A tensão de saída (V_{out}) que seguirá para a porta analógica do Arduino será determinada pela fórmula do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{cc} \times \frac{R_{flex}}{R_{flex} + R_{fixo}} \quad (28)$$

- Reforce a compreensão identificando que Vcc é a tensão de alimentação do Arduino (5V), Rflex é o resistor flexível, cuja resistência muda conforme a mão abre e fecha a luva, Rfixo é o resistor de 10kΩ adicionado ao circuito e Vout será a tensão enviada para o pino analógico A3 do Arduino.

Testando a luva controladora e as respostas do Arduino ao abrir e fechar a mão

Antes de criar um código que transforme o movimento de abrir e fechar da mão na luva para um movimento similar na garra robótica (servo motor), vamos testar a leitura diretamente no monitor serial do programa do Arduino (Arduino IDE). Isso ajuda a determinar os valores máximos e mínimos que o divisor de tensão vai gerar e ser interpretado pela porta do Arduino, assim poderemos ajustar adequadamente os limites de abrir e fechar da mão para os movimentos do servo motor da garra robótica.

- Conecte o Arduino ao computador ou notebook utilizando o cabo USB.
- Abra o Arduino IDE em seu computador.
- Abra um novo sketch no Arduino IDE e cole o seguinte código:

```
int pinoResistor = A3; // Pino analógico onde o divisor de tensão está conectado
int valorLido;        // Variável para armazenar o valor lido do divisor de tensão
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa o monitor serial a 9600 bps
}
```

```
void loop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor); // Lê o valor analógico do divisor de
```

tensão

```
Serial.println(valorLido);      // Exibe o valor no monitor serial
delay(200);                    // Aguarda 200ms antes de ler novamente
}
```

- Selecione a porta serial correta em Ferramentas (Porta no Arduino IDE).
- Clique em Upload para carregar o código no Arduino.
- Abra o Monitor Serial em Ferramentas (Monitor Serial ou pressionando Ctrl + Shift + M).
- Com o monitor serial aberto, abra e feche a mão na luva controladora.
- Observe os valores que são exibidos no monitor serial. Eles vão variar de acordo com a flexão do dedo, refletindo a mudança na tensão do divisor de tensão.
- Com base nos valores exibidos no monitor serial, você pode ver qual é o valor mínimo e o máximo que o Arduino está lendo quando o resistor flexível está em sua posição mais aberta e mais fechada.
 - Valor mínimo: O valor do divisor de tensão quando a mão está aberta (resistência baixa).
 - Valor máximo: O valor do divisor de tensão quando a mão está fechada ao máximo (resistência alta).
- Anote o valor lido quando a mão estiver totalmente aberta e o valor quando a mão estiver totalmente fechada.

Criando o código que converterá o movimento da mão no movimento da garra

- Com os valores de leitura mínima e máxima em mãos, vamos criar um código que converterá os movimentos de abrir e fechar da mão para ângulos de giro do servo motor, que, na garra robótica replicará os movimentos de abrir e fechar.
- Nos testes encontramos os valores de leitura mínimo 200 e o máximo de 800, então colocamos estes valores no mapeamento.
- Abra um novo sketch no Arduino IDE e cole o seguinte código:

```
int pinoResistor = A3;      // Pino analógico onde o divisor de tensão está
```

```

conectado
intvalorLido;          // Variável para armazenar o valor lido do divisor de tensão
intangulo;            // Variável para armazenar o ângulo do servo motor

voidsetup() {
  Serial.begin(9600);    // Inicializa o monitor serial a 9600 bps
}

voidloop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor);    // Lê o valor analógico do divisor de
  tensão
  angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 180); // Mapeia o valor lido para um
  intervalo de 0 a 180 (valores que encontramos anteriormente).
  angulo = constrain(angulo, 0, 180);      // Garante que o ângulo está dentro
  dos limites de 0 a 180
  Serial.println(angulo);                  // Exibe o ângulo no monitor serial
  delay(200);                             // Aguarda 200ms antes de ler novamente
}

```

- Carregue o código no Arduino como feito anteriormente.
- Abra o Monitor Serial em Ferramentas (Monitor Serial ou pressionando Ctrl + Shift + M).
- Com o monitor serial aberto, movimente a mão na luva controladora.
- Observe os valores que são exibidos no monitor serial. Eles vão variar de acordo com o movimento de abrir e fechar a mão, refletindo a mudança na tensão do divisor de tensão.
- Se necessário, ajuste novamente os valores de 200 e 800 para garantir que quando forem convertidos para movimentos da garra robótica, ocorram de forma correta.

4.9 NONA AULA: CONSTRUÇÃO DA GARRA ROBÓTICA DIDÁTICA

Nesta aula, iremos construir a garra robótica didática que será controlada pela luva desenvolvida na aula anterior do projeto. Essa atividade permite a aplicação prática dos conceitos estudados, reforçando a compreensão da Lei de Ohm e da relação entre resistência, tensão e corrente. Ao integrar teoria e prática, a proposta favorece a construção ativa do conhecimento, permitindo que os alunos estabeleçam conexões entre os princípios físicos e suas aplicações tecnológicas. Além disso, essa abordagem incentiva a reflexão crítica sobre os conceitos envolvidos, estimulando a autonomia intelectual e a compreensão significativa dos fenômenos estudados.

A garra será acionada por um servo motor, cuja movimentação dependerá da variação de resistência no sensor flexível da luva. Quando a mão do usuário se fecha ou se abre, o sensor flexível sofre uma deformação mecânica que altera sua resistência elétrica. Essa variação é interpretada e utilizada para ajustar o ângulo do servo motor, permitindo que a garra reproduza o movimento da mão de forma sincronizada. Esse processo evidencia a conversão entre grandezas físicas, demonstrando como um sinal elétrico gerado por uma variação mecânica pode ser utilizado para controlar um sistema mecânico. Além disso, permite explorar conceitos como a relação entre tensão, corrente e resistência elétrica na prática.

Para escolas que possuem acesso a uma impressora 3D e aos materiais necessários, existe a opção de construir uma versão mais robusta da garra robótica. Em vez de utilizar palitos na montagem, os alunos podem optar por imprimir um braço robótico em 3D, proporcionando uma estrutura mais realista. Para utilizar essa opção, os professores devem baixar os arquivos necessários no site Thingiverse, pelo link <https://www.thingiverse.com/thing:1838120> e seguir as instruções fornecidas para a montagem do braço robótico. No entanto, é importante avaliar a viabilidade dessa abordagem de acordo com os recursos disponíveis na escola, pois, além da impressora 3D, são necessários filamentos adequados e tempo para a impressão das peças.

4.9.1 Objetivos

Aplicar, na prática, a Lei de Ohm, observando como a variação da resistência elétrica pode ser utilizada para controlar um sistema mecânico. Construir uma garra robótica didática para compreender, de forma experimental, o funcionamento da Lei de Ohm em circuitos elétricos, sensores e acionamento de motores, relacionando teoria e prática. Desenvolver o raciocínio crítico e a criatividade, explorando o uso de tecnologias presentes na luva controladora e na garra robótica.

4.9.2 Recursos e materiais necessários

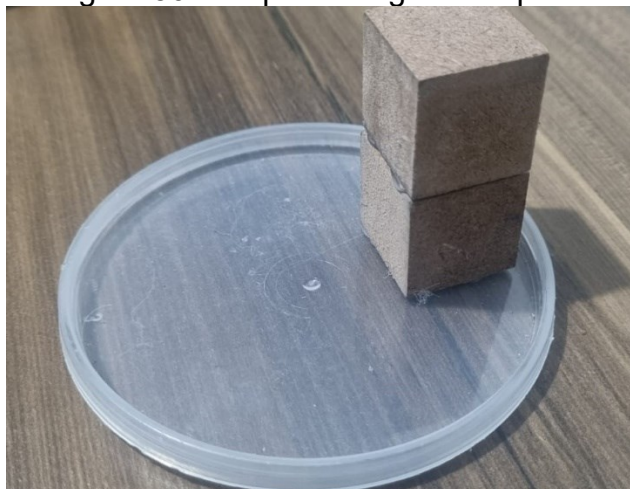
- Palitos de madeira (tipo picolé)
- Cubos de madeira ou outro material maciço (contrapeso para a base)
- Tampa de lata de plástico (Nescau ou semelhante)
- Cola quente ou supercola
- Servo motor (SG90 ou similar)
- Engrenagens para conexão ao servo motor (acompanha o kit do servo motor)
- Suporte para o servo motor Pan Tilt (pode ser comprado junto ao kit do servo motor ou separadamente)
- Roteiro da atividade experimental da aula 9 (disponível nos apêndices)
- Alicates de corte (pode ser substituído por estilete)

4.9.3 Procedimentos práticos

Montagem da base para a garra robótica

- Posicione a tampa de plástico com a borda sobressaliente para cima e fixe dois blocos de madeira um sobre o outro, utilizando cola quente, posicionando-os próximos a uma das extremidades da tampa de plástico (Figura 50)

Figura 50 – Suporte da garra de palitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Aplique cola quente na base do servo motor e fixe-o firmemente no suporte Pan Tilt, garantindo que fique bem alinhado e estável (Figura 51a e Figura 51b)

Figura 51^a – Fixação do servo motor no suporte Pan Tilt



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 51b – Vista inferior do servo motor no suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Fixe o suporte Pan Tilt no bloco de madeira previamente colado à base, certifique-se de posicioná-lo de modo que as saídas dos fios do servo motor estejam orientadas para a extremidade mais próxima, facilitando a organização e conexão dos cabos (Figura 52).

Figura 52 – Fixação do suporte com servo motor na estrutura da base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montagem do dedo fixo da garra robótica

- Corte dois palitos de picolé, com 10 cm de comprimento cada.
- Corte um palito de picolé com 5 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.
- Posicione um dos palitos de 10 cm sobre a mesa, deixando a extremidade arredondada voltada para cima. Em seguida, fixe o palito de 5 cm sobre essa extremidade, inclinando-o em um ângulo de aproximadamente 40 graus em relação ao lado superior esquerdo. Utilize cola quente (Figura 53).

Figura 53 – Montagem do dedo fixo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione o outro palito de 10 cm, também com a parte arredondada volta para cima, exatamente sobreposto ao palito de 5 cm e paralelo ao palito de 10 cm (Figura 54) que servirá de reforço pra o dedo fixo.

Figura 54 – Reforço do dedo fixo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Cole o dedo fixo no suporte pan tilt, alinhando sua extremidade reta com o lado direito do suporte. Utilize cola quente certificando-se de que o posicionamento esteja correto conforme ilustrado na Figura 55^a e Figura 55b.

Figura 55^a – Fixação do dedo fixo ao suporte do servo motor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 55b – Detalhe da fixação do dedo fixo

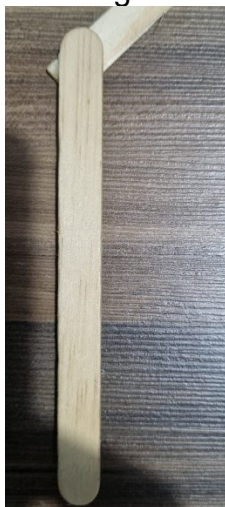


Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montagem do dedo móvel da garra robótica

- Corte um palito de picolé com 5 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.
- Corte outro palito de picolé com 3 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.
- Posicione um palito de picolé original (com as duas pontas arredondadas) de 11 cm sobre a mesa. Em seguida, fixe o palito de 5 cm, sobre essa extremidade, inclinando-o em um ângulo de aproximadamente 40 graus em relação ao lado superior direito utilizando cola quente. (Figura 56).

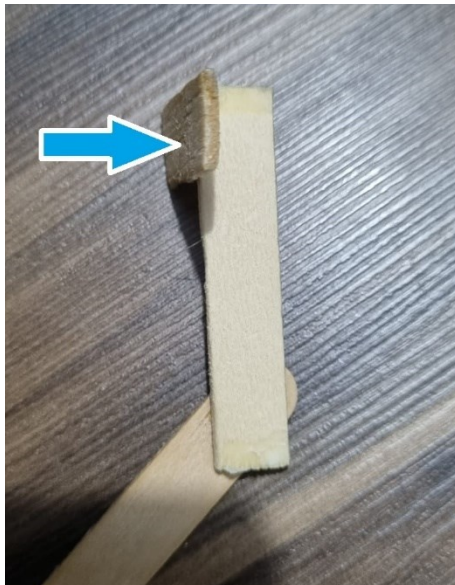
Figura 56 – Montagem do dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Cole o palito de 3 cm na extremidade do dedo móvel, posicionando-o perpendicularmente ao palito de 5 cm. Utilize cola quente e certifique-se de que o alinhamento esteja correto, conforme ilustrado na Figura 57.

Figura 57 – Extremidade do dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Fixe a engrenagem que será conectada ao servo motor (inclusa no kit do servo motor 9g) na parte inferior do dedo móvel, garantindo que fique paralela a ele (Figura 58).

Figura 58 – Fixação da engrenagem no dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Fixação do dedo móvel no servo motor

Agora procederemos com a conexão do dedo móvel à engrenagem do servo motor. Antes de fixá-lo, é essencial garantir que o servo motor esteja posicionado em seu limite máximo no sentido horário seguindo as instruções:

- Utilize uma das engrenagens auxiliares fornecidas no kit do servo motor e acople-a ao eixo para girá-lo cuidadosamente no sentido horário até encontrar resistência, indicando que o motor atingiu seu limite máximo. É fundamental realizar esse procedimento com delicadeza para evitar danos às engrenagens internas do motor.
- Com o servo nessa posição, encaixe o dedo móvel na engrenagem do servo motor, que está fixada ao suporte, utilizando a engrenagem previamente colada ao dedo como ponto de conexão. Tome cuidado para que o dedo móvel não tenha seu movimento comprometido devido a colisão com o dedo fixo no ponto de rotação. O encaixe deve formar uma estrutura semelhante a uma pinça (alicate) junto ao dedo fixo, possibilitando a abertura e o fechamento da garra de maneira eficiente (Figura 59).

Figura 59 – Encaixe do dedo móvel no servo motor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Com a finalização da montagem da garra robótica de palitos, na próxima aula os alunos poderão visualizar de forma prática como a variação da resistência elétrica no sensor flexível da luva controladora pode ser convertida em um movimento mecânico. Ao acionar o servo motor, a mudança na resistência altera o ângulo da garra, permitindo que ela abra e feche em sincronia com a mão do usuário. Essa experiência reforça a compreensão da Lei de Ohm ao demonstrar, na prática, a relação entre tensão, corrente e resistência elétrica em um circuito aplicado a um sistema automatizado.

Essa abordagem permite que os alunos relacionem o novo conhecimento com conceitos previamente estudados, atribuindo significado ao que estão construindo. Ao integrar teoria e prática, a atividade favorece não apenas a assimilação conceitual, mas também o desenvolvimento do pensamento crítico sobre Lei de Ohm, estimulando os alunos a refletirem sobre as aplicações tecnológicas dos princípios físicos envolvidos na construção da garra robótica.

4.10 DÉCIMA AULA: APRENDENDO A LEI DE OHM NA PRÁTICA, DA EXPERIMENTAÇÃO E TEORIA AO CONTROLE DA GARRA ROBÓTICA

Nesta aula, os alunos criarão o código responsável por converter os movimentos da luva controladora em movimentos similares na garra robótica. Utilizando os conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores, os estudantes programarão o Arduino para interpretar os valores lidos pelo divisor de tensão instalado na protoboard e transferi-los ao servo motor, que movimentará a garra robótica.

A décima aula vem para finalizar e consolidar o aprendizado sobre a Lei de Ohm por meio da utilização do resistor flexível, do divisor de tensão e da manipulação de servomotores, proporcionando uma experiência prática e imersiva que reforça os conceitos físicos estudados

4.10.1 Objetivos

Os objetivos desta aula são de implementar o código de controle que transforma os movimentos da luva controladora nos movimentos da garra robótica. Relacionar os conceitos de variação de resistência elétrica e controle de movimento em sistemas robóticos. Ajustar a resposta da garra com base nos testes de leitura dos valores de tensão. Explorar aplicações reais dos conceitos físicos explorados, principalmente a Lei de Ohm. Finalizar a sequência didática com discussão e exemplos reais de sua aplicação.

4.10.2 Recursos e materiais necessários

- Luva controladora equipada com resistor flexível.
- Arduino (Uno ou similar).
- Protoboard.
- Resistor de $10k\Omega$ (para o divisor de tensão).
- Garra robótica de palitos (com servo motor instalado)
- Fios jumpers.
- Fonte de alimentação USB ou bateria 9V com regulador.

- Objeto leve para testes (ex: uma esponja, um copo plástico vazio ou uma bola de isopor).
- Roteiro da atividade experimental da aula 10 (disponível nos apêndices)

4.10.3 Procedimentos práticos

- Relembre com os alunos que o resistor flexível instalado na luva altera sua resistência conforme a mão se abre e fecha. O divisor de tensão transforma essa variação de resistência em uma variação de tensão, que é lida pelo Arduino na entrada analógica e esses valores serão mapeados para controlar o movimento do servo motor da garra robótica.

Conexão do Servo Motor na Protoboard

Agora que já configuramos o divisor de tensão na protoboard (Aula 8) é hora de integrar o servo motor ao circuito para que ele possa reproduzir os movimentos controlados pela luva.

- Identifique os Pinos do Servo Motor: O servo motor possui três fios principais:
 - VCC (vermelho): Este fio é responsável pela alimentação de 5V.
 - GND (preto ou marrom): Este fio é responsável pelo aterramento (GND).
 - Sinal (amarelo ou laranja): Este fio é utilizado para enviar o sinal de controle (o ângulo) para o servo motor, que será enviado pelo pino de controle do Arduino.
- Conecte o fio VCC (vermelho) do servo motor à linha de 5V da protoboard.
- Conecte o fio GND (preto ou marrom) do servo motor à linha de GND da protoboard.
- Conecte o fio Sinal (amarelo ou laranja) do servo motor ao pino de controle do Arduino, usaremos pino digital 9. Para isso, use um cabo jumper para fazer essa conexão entre o pino digital do Arduino e o fio amarelo ou laranja do servo motor

Criação do código para controle da garra

- Abra o Arduino IDE e crie um novo sketch
- Utilize o código base da Aula 8 para leitura do resistor flexível.
- Agora, integre o controle do servo motor, conforme o exemplo abaixo:

```
#include <Servo.h>

int pinoResistor = A3; // Pino analógico do divisor de tensão
int valorLido;        // Variável para armazenar o valor lido
int angulo;           // Variável para armazenar o ângulo do servo motor
Servo garra;          // Objeto servo motor

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  garra.attach(9); // Pino do servo motor
}

void loop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor); // Lê o valor do resistor flexível
  angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 90); // Mapeia o valor para o servo motor
  angulo = constrain(angulo, 0, 90); // Garante que o ângulo está entre 0 e 90
  garra.write(angulo); // Move o servo motor
  Serial.println(angulo); // Exibe o ângulo no monitor serial
  delay(200);
}
```

- Carregue o código no Arduino e verifique a comunicação entre a luva e o servo motor.
- Teste abrindo e fechando a mão para observar se o servo motor acompanha o movimento corretamente.

Ajuste do Controle do Servo Motor (Limitação de Ângulo)

Antes de avançar para os testes práticos, é importante ajustar o controle do servo motor para garantir que a garra de palitos não seja danificada durante os movimentos. O servo motor possui uma faixa de movimento de 0 a 180 graus, mas, para garantir a segurança do projeto, vamos limitar a abertura da garra a cerca de 50 graus no máximo.

- Identifique os Limites: No código criado anteriormente, o valor do ângulo é mapeado entre 200 e 800. Para limitar a abertura da garra a 50 graus, é necessário ajustar os valores de mapeamento no código.
- Modifique o mapeamento do código para que o valor de leitura do resistor flexível (quando a mão estiver totalmente aberta) não ultrapasse o valor que corresponderia ao ângulo máximo de 50 graus. Para isso, altere a linha onde o valor do ângulo é mapeado. O mapeamento pode ser ajustado da seguinte forma:
`angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 50); // Limita a abertura da garra a 50 graus`
- Teste agora os movimentos para verificar se a posição da garra aberta é segura para a estrutura (Figura 60).

Figura 60 – Teste da abertura da garra



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Nos testes seguintes, se necessário, ajuste novamente, conforme as instruções, para obter o melhor desempenho da luva controladora e da garra robótica

Testes práticos com a luva controladora e a garra robótica

Teste 1: segurando objetos simples

- Pegue um objeto leve (ex: esponja) e tente segurá-lo fechando e abrindo a mão na luva.

Teste 2: teste de força da garra

- Segure um copo plástico vazio até amassá-lo e depois tente soltá-lo gradualmente.

Teste 3: teste de reflexo com a garra

- Coloque a garra em uma posição inicial aberta (50 graus).
- Solte uma bola de papel amassado (de preferência grande) e tente pegar o objeto caindo usando o movimento de abertura e fechamento da garra.

Teste 4: teste com objetos pequenos

- Coloque a garra em sua posição inicial aberta (50 graus).
- Coloque uma moeda próxima a garra e tente segurá-la com os movimentos controlados pela luva.

Teste 5: teste com objetos oscilantes

- Coloque uma bolinha de papel presa em um fio ou corda
- Comece a balançar o objeto de forma suave, na frente da garra, criando um movimento oscilante e imprevisível (como um pêndulo).
- Com a luva controladora, movimente os dedos para tentar pegar o objeto enquanto ele balança de um lado para o outro.
- para finalizar peça que os alunos discutam suas observações e dificuldades durante os testes, identificando possíveis ajustes para otimizar o funcionamento.

4.10.4 Discussão final sobre a lei de Ohm no projeto da luva controladora

Recapitulação da Experiência

- Pergunte aos alunos sobre suas impressões ao usar a luva e a garra robótica.

- Relembre os componentes principais: resistor flexível, divisor de tensão, Arduino e servo motor.
- Destaque que o resistor flexível foi o principal sensor para transmitir o movimento da mão para a garra robótica.

O que é um resistor ôhmico?

- Relembre que para um resistor ser considerado ôhmico, ele deve obedecer à Lei de Ohm, que afirma que a corrente elétrica (I) que passa por um resistor é diretamente proporcional à tensão (V) aplicada a ele, mantendo a resistência (R) constante. A equação fundamental da Lei de Ohm é: $V=R \cdot I$
- Reforce que isso significa que, se aumentarmos a tensão aplicada ao resistor, a corrente também aumentará proporcionalmente. Por exemplo: Se aplicamos 2V e medimos 0,5A, então a resistência é $R=2V/0,5A=4\Omega$. Se dobrarmos a tensão para 4V, um resistor ôhmico deve permitir que a corrente dobre para 1A, mantendo a resistência constante.
- Destaque que quando se mede a resistência, por exemplo, com um multímetro, estamos supondo que existe uma relação linear entre a corrente e tensão. Para um resistor ôhmico, o gráfico será uma linha reta passando pela origem. Se o gráfico não for linear (por exemplo, se a resistência mudar com a tensão), o componente não é ôhmico.
- Lembre que isso pode ser testado com o resistor flexível usado na luva, verificando se sua relação
- Saliente como outros resistores (como resistores de carbono ou fio) podem se comportar de forma diferente do resistor flexível. E que existem outros componentes que não seguem a Lei de Ohm, como diodos por exemplo.

Conclusão e Reflexão

- Reforce a importância da Lei de Ohm na eletrônica, na robótica e na indústria da automação em geral. E que podemos usar esse conhecimento para criar e melhorar projetos futuros.
- Cite alguns exemplos tecnológicos que vem se destacando, no qual os conhecimentos da Lei de Ohm auxiliam na compreensão do seu desenvolvimento e funcionamento:
 - Sensores Resistivos em Dispositivos Vestíveis
 - Fones de ouvido e alto-falantes
 - Eletrônica em Veículos Elétricos
 - Circuitos em Computadores e Smartphones
 - Dispositivos Biomédicos

4.10.5 Finalização e feed back dos alunos

Chegamos à última etapa do nosso projeto, e é hora de refletirmos sobre todo o percurso que percorremos até aqui. Desde a introdução aos conceitos básicos da Lei de Ohm até a montagem final da garra robótica controlada pela luva, cada passo foi cuidadosamente planejado para proporcionar uma experiência de aprendizado significativa e prática. O objetivo central sempre foi ensinar a Lei de Ohm de forma tangível e interativa, utilizando a construção de uma luva controladora equipada com um resistor flexível, que transmite os movimentos de abrir e fechar da mão para a garra robótica com servo motor.

Ao longo do projeto, vimos como os conceitos da lei de Ohm embasam o entendimento acerca de resistência, tensão e corrente elétrica, ancorando, juntamente com as leis de Kirchhoff, a compreensão de circuitos mais complexos, como os divisores de tensão. Tudo isso no contexto de uma experiência prática, tornando a teoria não apenas compreensível, mas também relevante para o cotidiano.

Para encerrar, proporcionaremos um momento para que os alunos expressem suas impressões sobre o projeto, destacando suas percepções sobre o aprendizado da Lei de Ohm. Esse espaço permitirá que relatem desafios enfrentados, descobertas feitas e a aplicação dos conceitos estudados. Finalizamos, portanto, com o feedback dos alunos respondendo ao questionário

a seguir, refletindo sobre a experiência e consolidando os conhecimentos adquiridos.

Feedback final:

1- Como a experiência de construir a luva controladora e trabalhar com o resistor flexível ajudou você a entender de forma mais clara a Lei de Ohm na prática?

2- De que maneira o processo de aplicar a Lei de Ohm no controle da garra robótica modificou sua percepção sobre a relação entre teoria e prática na física? Você conseguiu identificar pontos de conexão entre o conteúdo aprendido e o mundo real?

3- Em que medida o trabalho com o divisor de tensão e os testes realizados com o servo motor e a garra robótica permitiram que você visse a Lei de Ohm como mais do que uma equação matemática?

4- Como a abordagem prática do projeto, que envolveu a construção da luva controladora e da garra robótica, contribuiu para a construção de um entendimento mais profundo da Lei de Ohm em comparação com o estudo teórico tradicional?

5- Como o projeto permitiu que você não apenas aprendesse a Lei de Ohm, mas também desenvolvesse uma postura crítica e reflexiva sobre o processo de aprendizagem em si?

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir este produto educacional, é crucial destacar o potencial transformador que a integração entre teoria e prática pode ter no processo de aprendizagem dos alunos. Através da construção da luva controladora e da garra robótica, ambos com materiais de baixo custo e fácil acesso, os estudantes podem ser imersos em um ambiente de aprendizagem prático e interativo, onde buscam aplicar os conceitos teóricos da Lei de Ohm de maneira tangível e significativa.

A utilização de um resistor flexível para simular os movimentos da mão do controlador para uma garra robótica oferece uma oportunidade, no mínimo diferenciada, para os alunos explorarem os princípios da eletricidade de forma concreta. Além disso, a escolha entre a montagem de uma garra simples feita de palitos ou um braço robótico didático impresso em 3D proporciona aos professores a liberdade de personalizar sua experiência de aprendizagem de acordo com os recursos disponíveis na sua unidade educacional. É importante ressaltar que este produto educacional não se limita apenas ao ensino da Lei de Ohm, mas também promove o desenvolvimento de habilidades práticas, como a montagem de circuitos elétricos e robóticos e o manuseio de ferramentas e materiais necessários para a experimentação em sala de aula.

Para os professores interessados em utilizar as atividades e recursos propostos neste produto em suas próprias aulas, e não como projeto, é fundamental destacar a flexibilidade e adaptabilidade das atividades. Elas podem ser facilmente integradas ao currículo existente, tanto como uma introdução aos conceitos básicos de eletricidade quanto como uma atividade prática complementar para consolidar o aprendizado.

É fundamental também ressaltar o propósito do conhecimento a ser produzido através deste trabalho. A integração de teoria e prática, aliada ao uso de novas tecnologias, não apenas tem o poder de enriquecer o aprendizado dos alunos, mas também contribuir para a formação de cidadãos mais críticos e preparados para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. Assim,

espera-se que este trabalho inspire novas práticas educacionais que visem a melhoria contínua do ensino de Física nas escolas.

Ademais, este trabalho abre espaço para a pesquisa sobre a integração de outras áreas do conhecimento junto a física, como a matemática e a tecnologia da informação. A interdisciplinaridade pode ser uma estratégia poderosa para enriquecer o ensino, mostrando aos alunos que os conceitos científicos estão interligados e que suas aplicações podem ser encontradas em diversas áreas do conhecimento e da vida cotidiana.

Em suma, este projeto não apenas visa fornecer aos alunos uma compreensão sólida da Lei de Ohm, mas também pretende inspirá-los a explorar o fascinante mundo da eletricidade de maneira criativa e envolvente. Ao capacitá-los com habilidades práticas e conhecimentos teóricos, esperamos que este projeto estimule o interesse dos alunos pela física e pela tecnologia, preparando-os para os desafios do mundo moderno. Por fim, reforçamos a importância de uma abordagem hands-on e contextualizada no ensino de física, e esperamos que este produto educacional sirva como um recurso valioso para educadores comprometidos com a promoção de uma educação de qualidade, significativa e acessível a todos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria Elizabeth Bianconcini de; VALENTE, José Armando. Ambientes de aprendizagem com computadores. In: MORAN, José Manuel; MASETTO, Marcos Tarcísio; BEHRENS, Marilda Aparecida (orgs.). **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 15. ed. Campinas: Papirus, 2011. p. 69-108.

CUNHA, Antônio Gomes da. **Instalações elétricas prediais**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: volume 3 – eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi.

JABORANDI, Francisco. **Associação de resistores: série e paralelo. Blog Física Simples, 2022.** Disponível em: <https://fisicasimples.blogspot.com/associacao-resistores.html>. Acesso em: 15 jul. 2024.

MAGAZINE LUIZA. **Resistência secador cabelo BSC2900 RED 220V Philco Britânia**. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teoria da aprendizagem significativa: Implikace Pedagogiczne**. São Paulo: Editora Centauro, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teoria da aprendizagem significativa: um referencial para a construção da ponte entre a teoria e a prática na educação**. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, Brasília, v. 93, n. 234, p. 7–18, jan./abr. 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é, afinal, aprendizagem significativa?** p. 1–27, 23 abr. 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

MOREIRA, Marco Antonio et al. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. p. 2, 23 abr. 1997. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

REVISTA HAUS. **Lâmpadas incandescentes**, 2017. Disponível em: <https://revistahaus.gazetadopovo.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

TIPLER, Paul A. et al. **Física III: eletricidade e magnetismo**. 5. ed. [S. l.]: LTC, 2006. v. 2. 532 p. ISBN 8521617119.

TODA MATÉRIA. **Resistores em série.** Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/resistores-em-serie/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

USINAINFO. **Potenciômetro linear 10k com eixo estriado.** Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/1020401-potenciometro-linear-10k-com-eixo-estriado>. Acesso em: 15 jul. 2025.

YOUNG, Hugh D. et al. **Física 3: eletromagnetismo.** 12. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; FORD, A. Lewis. **Física III: Sears e Zemansky – eletromagnetismo.** 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. Tradução: Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira. Revisão técnica: Adir Moysés Luiz.

APÊNDICE A – Roteiro para os alunos

Para otimizar o andamento das aulas e favorecer a participação ativa dos alunos, imprima e distribua os roteiros antes do início de cada aula do produto educacional. Os estudantes deverão seguir as instruções passo a passo, acompanhar as explicações do professor, preencher tabelas e gráficos, registrar observações e resultados, responder aos questionários e realizar as atividades práticas e virtuais conforme orientado. O roteiro deve ser utilizado como guia individual durante toda a aula, servindo também como material de apoio para revisões e avaliações posteriores.

PRIMEIRA AULA: DESCOBRINDO A LEI DE OHM: COMO A FÍSICA CONTROLA UMA GARRA ROBÓTICA

Daremos início a uma jornada em que a Física vai muito além dos livros e fórmulas, conectando-se com o mundo real por meio da tecnologia e da inovação. Vamos explorar a Lei de Ohm, um dos conceitos mais importantes da eletricidade, que explica como a corrente, tensão e resistência elétrica se relacionam em circuitos elétricos.

Para tornar esse aprendizado mais dinâmico e concreto, vocês irão participar de um desafio prático: controlar o movimento de uma garra robótica usando uma luva especial, equipada com um resistor flexível. Com essa luva, o movimento de abrir e fechar a mão será interpretado pelo circuito, através das relações entre tensão corrente e resistência, e assim vai transformar a variação da flexão da resistência em controle direto sobre a garra, que, por meio da Lei de Ohm, poderá ser prevista, compreendida e aplicada.

Mas, antes de colocarmos a "mão na massa", precisamos entender como a corrente elétrica funciona, o que são resistores, e como a Lei de Ohm nos ajuda a prever o comportamento dos circuitos. Nesta aula, vamos discutir essas ideias de forma simples e teórica, preparando o caminho para que possamos realizar experimentos, testar e comprovar hipóteses, unir a teoria e a prática, de forma que consolide o aprendizado, até podermos construir e controlar, com as próprias mãos, um sistema robótico real.

OBJETIVOS

Nesta aula inaugural iremos iniciar o projeto, buscando aprender sobre a Lei de Ohm através da luva controladora com resistor flexível e explicar seu funcionamento geral. Compreender o conceito básico da corrente elétrica, tensão e resistência. Apresentar a Lei de Ohm e discutir sua importância para o funcionamento de circuitos elétricos. Aguçar nosso interesse pela relação entre Física, eletrônica e robótica aplicada.

Incentivar o pensamento crítico sobre como a variação da resistência (no resistor flexível) pode ser usada para controlar um sistema eletrônico. Identificar, nas próximas aulas, como medir e interpretar grandezas elétricas em um circuito.

PROCEDIMENTOS

- Faça uma discussão dirigida, com seus colegas e professor, acerca da relevância da eletricidade na sociedade contemporânea e sua projeção para o futuro. Nesse contexto,

compartilhe suas experiências pessoais relacionadas a utilização de aparelhos com resistências em seu cotidiano,

- Assista o vídeo sobre a utilização de braço robóticos na indústria, mais necessariamente na construção do carro Volkswagen UP. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8pWpbOAXvO8&t=123s>.
- Faça uma discussão rápida acerca do conteúdo visualizado e da importância da Física, tanto nas profissões contemporâneas quanto nas que estão emergindo.

A LUVA CONTROLADORA

- Você já pensou em controlar um robô com a sua mão, só com o movimento dos seus dedos? Como será que o movimento da nossa mão poderia fazer um robô se mexer? E como a Física e a Eletricidade podem estar por trás disso?
- Assista à demonstração que o professor fará da luva controladora e da garra robótica didática.
- Descreva verbalmente o que viram e tentem explicar como funciona.
- O que vocês acham que tem na luva para fazer o robô se mexer? O que acontece com o movimento da mão? Como o robô sabe que a mão fechou?
- Verifique o resistor flexível, fora da luva, que o professor irá apresentar.

RELACIONANDO COM A FÍSICA: INTRODUÇÃO A LEI DE OHM

- Reflita sobre o que a Física tem a ver com isso, Como o Arduino entende a mensagem da luva?
- Assista atentamente à explicação do(a) professor(a) sobre a fórmula da Lei de Ohm ($V = R \times I$) e o significado de cada grandeza envolvida: tensão (V), corrente (I) e resistência (R).

RELAÇÃO LINEAR ESTABELECIDADA PELA LEI DE OHM

- Acompanhe a explicação sobre a equação da Lei de Ohm: Observe o(a) professor(a) apresentar a fórmula: $V = R \times I$
- Atente sobre como a tensão, a corrente e a resistência estão relacionadas. Entenda que, com uma fonte de tensão constante, a corrente depende da resistência.
- Anote a ideia principal: quanto maior a resistência, menor será a corrente elétrica.

-
-
-
- Reflita sobre a relação linear da Lei de Ohm: a relação entre tensão e corrente é proporcional (linear), quando a resistência é constante. Pense no que significa dobrar a tensão e ver a corrente também dobrar (se a resistência for a mesma).
 - Anote: “Se a resistência é constante, tensão e corrente crescem juntas (linearidade).”
-
-
-

- Participe do experimento mental sobre variação da resistência: Imagine dois circuitos com a mesma tensão (9V), como proposto pelo(a) professor(a). Um circuito tem resistência pequena; o outro, resistência grande.
 - Responda à pergunta: “Qual circuito terá maior corrente?”
-
-
-

- Anote: “Maior resistência igual a menor corrente (para mesma tensão).”
-
-

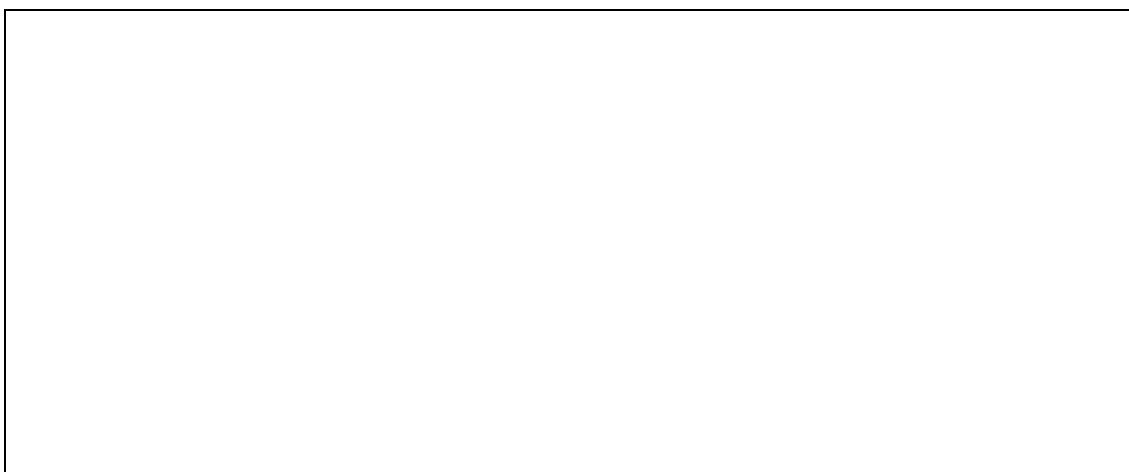
- Resolva o exemplo numérico apresentado:
Copie o exemplo: Tensão = 12V, Resistência = 3Ω , use a fórmula $V = R \times I$ para encontrar a corrente.
- Calcule junto com o(a) professor(a) e anote a resposta:

- Observe o novo exemplo: Tensão aumentada para 24V, resistência continua 3Ω .
Calcule a nova corrente com a turma:

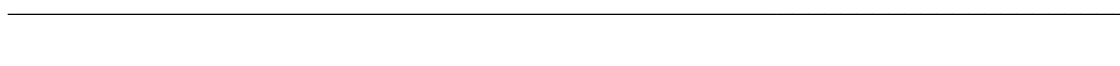


- Perceba como o aumento da tensão dobra a corrente quando a resistência não muda.
- Observe e interprete o gráfico feito pelo professor no quadro:
- Veja o gráfico com: Corrente (I) no eixo horizontal (x), Tensão (V) no eixo vertical (y). Repare que a linha é reta, isso representa a linearidade da Lei de Ohm.
- Entenda que: Quanto maior a resistência, mais inclinada é a reta. A reta mostra que tensão e corrente aumentam juntas, se a resistência for constante.
- Desenhe o gráfico e escreva abaixo: “Reta = resistência constante isso representa a Lei de Ohm.”

Desenho do gráfico da Lei de Ohm: Tensão x Corrente



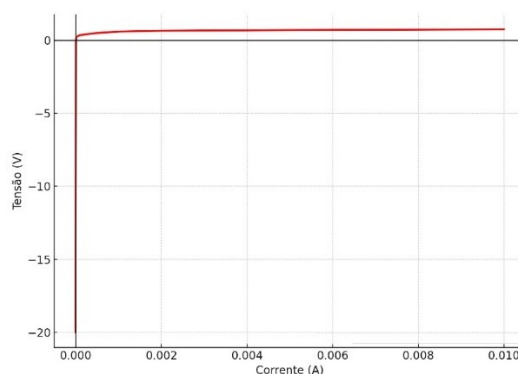
- Relacione a Lei de Ohm com o gráfico de uma reta:
- Observe no gráfico que: A inclinação da reta (coeficiente angular) indica o valor da resistência. Essa inclinação é a razão entre a variação da tensão (ΔV) e a variação da corrente (ΔI). A fórmula usada é: $R = \tan(\theta)$ (onde θ é o ângulo entre a reta e o eixo da corrente I)
- Anote: “Se o gráfico for uma reta que passa pela origem então o material é ôhmico (segue a Lei de Ohm).”



- Compare materiais ôhmicos e não ôhmicos: Observe o Gráfico 01: uma linha reta, que tem comportamento ôhmico.

- Observe o Gráfico 02: uma curva (ex: diodo), comportamento não ôhmico.

Gráfico 1 – Gráfico de um diodo, comportamento não ôhmico



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Anote a diferença entre os dois:

- Participe da conversa final sobre como a Lei de Ohm se relaciona com o projeto da luva e reflita com a turma:
- Responda ao questionário para encerrar esta aula.

Questionário de Introdução

QUESTIONÁRIO DE INTRODUÇÃO AO PROJETO:
01- Como a variação da resistência no resistor flexível, quando você dobra a mão usando a luva, pode ser usada abrir ou fechar a garra robótica?
Resposta:
02- Você consegue pensar em algum objeto ou tecnologia do seu dia a dia que também funcione controlando o movimento ou a força com base na variação de sinais elétricos, como a luva faz ao controlar a garra robótica?
Resposta:

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

SEGUNDA AULA: EXPERIMENTO DE VERIFICAÇÃO DA LEI DE OHM

Em diversas atividades do nosso dia a dia, somos expostos a fenômenos relacionados à eletricidade. Por exemplo, em um dia de tempestade, sabemos que um raio é uma forma de eletricidade descontrolada; em nossas casas, por outro lado, a eletricidade é controlada e podemos acessá-la por meio das tomadas elétricas ou utilizando pilhas que armazenam eletricidade. Nesses dois últimos casos, sabemos que a eletricidade é medida em volts; assim, dizemos que as tomadas têm 220 volts e as pilhas, em geral, são de 1,5 volts. Mas isso é realmente eletricidade? O que é esse tal de volt?

Brevemente, podemos dizer que a eletricidade é uma forma de energia relacionada a uma propriedade da matéria denominada carga elétrica. Sendo uma forma de energia, pode ser utilizada em processos nos quais se realiza trabalho. Por exemplo, se quisermos separar ou aproximar dois corpos carregados, será necessário realizar trabalho (medido em joules), seja contra ou a favor do campo elétrico existente, dependendo da configuração das cargas e da direção do movimento, algo semelhante ao que ocorre com os ímãs. Sob essa perspectiva, a energia elétrica é uma forma de energia potencial, pois depende da proximidade ou afastamento dos corpos carregados. O volt, por outro lado, é a quantidade de energia elétrica dividida pela quantidade de carga, ou seja, é uma medida indireta dessa energia. Assim, uma fonte de 220 V pode potencialmente realizar mais trabalho do que uma de 1,5 V.

Um paralelo interessante é uma montanha-russa: uma fonte com 220 V é como uma montanha-russa com 220 metros de altura, enquanto uma fonte com 1,5 V é como uma montanha-russa com 1,5 metro de altura. Dessa forma, é óbvio que o carrinho na montanha-russa de 220 metros ganhará mais velocidade (energia cinética) do que aquele em uma de 1,5 metro. Continuando com o paralelo, os fios elétricos de nossos aparelhos são como os trilhos da montanha-russa, e o carrinho representa os elétrons dentro dos fios. Assim, quando ligamos o aparelho à tomada, os elétrons sentem a ação das forças elétrica e a energia potencial (220 V vezes a carga do elétron) é convertida em energia cinética se movem. Infelizmente, semelhante ao que acontece com o carrinho na montanha-russa, onde o movimento é freado pelo atrito, nos fios elétricos os elétrons perdem sua energia devido às interações elétricas com os átomos presentes no material, reduzindo sua velocidade.

Algo interessante sobre os elétrons em movimento, devido à aplicação de uma tensão, é que essa transferência de energia elétrica para os átomos do material provoca o aquecimento do fio (Calor é a energia transferida entre corpos ou regiões de um mesmo corpo devido a uma diferença de temperatura. Quando um corpo recebe calor, sua temperatura pode aumentar, a

menos que essa energia seja usada para mudar seu estado físico). Mais interessante ainda é que tudo isso pode ser resumido de forma extremamente elegante por meio de uma relação matemática descoberta experimentalmente por George Simon Ohm, conhecida hoje como a Lei de Ohm: $V=R \times I$. Nessa equação, V representa a tensão aplicada ao material, I é o número de elétrons por unidade de tempo que passa por um determinado ponto, o que chamamos de corrente elétrica, e R é uma medida dessa perda de energia devido às interações com os prótons do material, denominada resistência elétrica (em alusão à resistência ao movimento dos elétrons).

OBJETIVOS

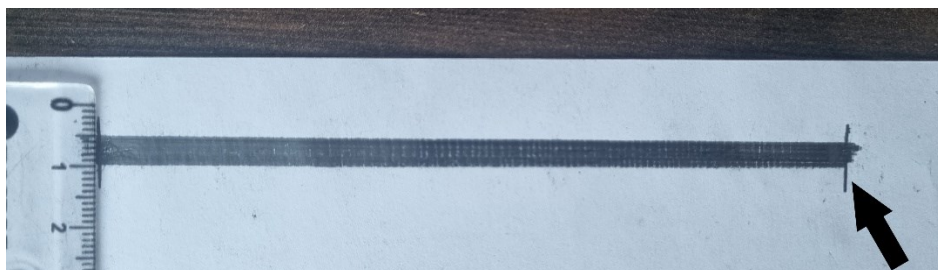
Nesta experiência, iremos verificar a Lei de Ohm de forma inusitada, não utilizando fios elétricos, mas sim grafite, ou seja, lápis. Acontece que o grafite com que os lápis são feitos é um condutor elétrico, ou seja, um material que apresenta uma resistência relativamente baixa se comparado com outros, como o plástico, que apresenta uma resistência quase infinita. Aplicaremos uma tensão sobre uma folha de papel onde foi desenhada uma faixa com lápis e verificaremos, com isso, a Lei de Ohm.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Desenhando a resistência

- Utilizando a régua como guia, trace uma reta em uma das folhas A4, de forma firme (que fique bem marcada) sem rasgar a folha.
- Paralela a essa reta, trace outra reta similar de forma que o resultado seja uma reta com o dobro de largura.
- Continue desenhando restas paralelas até obter uma faixa escura com 5 mm de largura aproximadamente, o que se obtêm após 6 retas, conforme mostrado na figura abaixo. Em cada traço o lápis foi passado 3 vezes para garantir a consistência de material depositado no papel. Foi desenhando também retas perpendiculares em cada extremo (seta), indicando a posição correta para fazer as medições sempre no mesmo local.

Figura 1 – Exemplo de faixa desenhada com lápis 8B de 5 mm de largura.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Verificando a Lei de Ohm

- Coloque os cabos do multímetro/amperímetro na posição para medir corrente em microampères e configure ele para essa função, conforme Figura 2a.

Figura 2a – multímetro configurado para medição de corrente em μA



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

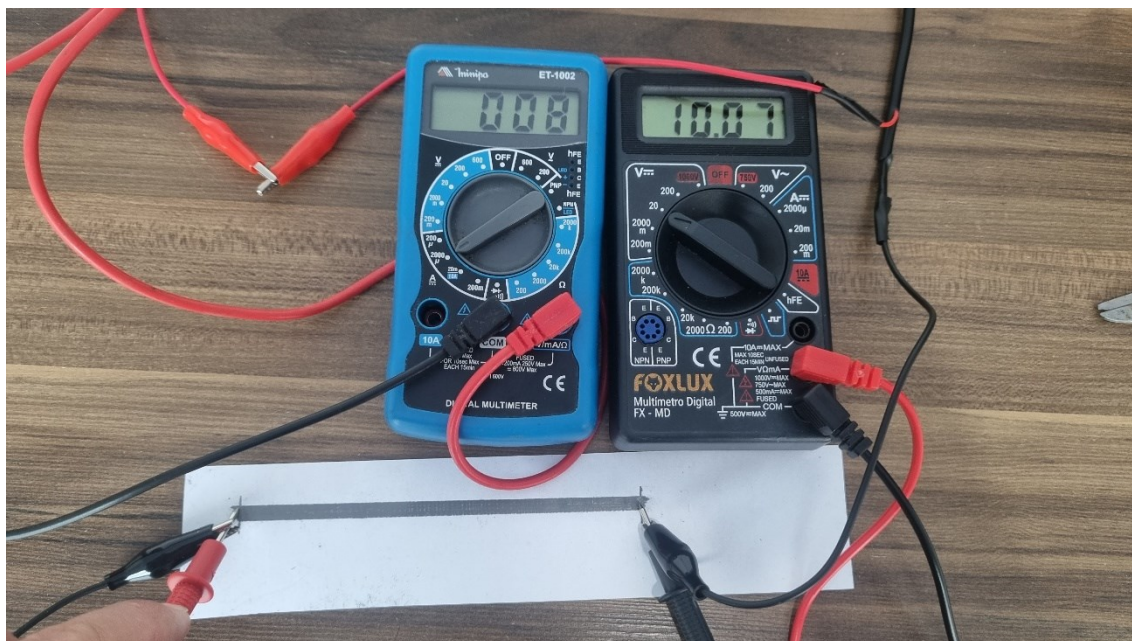
Figura 2b – multímetro na posição de medir tensão em volts.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

- Coloque os cabos do outro multímetro/amperímetro na posição para medir tensão direta (Figura 2b)
- Ligue o terminal positivo da fonte de tensão ao fio preto do amperímetro (negativo), nesse mesmo ponto ligue o cabo vermelho do voltímetro (positivo)
- Ligue um dos cabos com jacaré ao terminal negativo da fonte de tensão junto do cabo preto do voltímetro (negativo)
- Ligue outro jacaré ao fio vermelho do amperímetro (positivo)
- Inicie a fonte de tensão configure ela para o menor valor possível
- Coloque as ponteiras preta e vermelho, do multímetro configurado para tensão, em cada extremo da faixa pintada com lápis 8B (Figura 3).

Figura 3 – Medindo corrente e tensão elétrica na faixa desenhada com lápis 8B



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Registre na Tabela 1 o valor de tensão e corrente medido no amperímetro

Tabela 1 – Experimento de lei de Ohm

Tensão (V)	Corrente(uA)

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Altere o valor de tensão para a próxima medida e anote o resultado na tabela 1
- Repita o procedimento com tanto valores como forem possíveis de serem alterados na fonte de tensão, em nosso caso mediremos em 2 volts, 4 volts, 6 volts, 8 volts e 10 volts.

Análise dos resultados

- Construa um gráfico de corrente como função da tensão aplicada.
- Trace a reta que passa mais próxima de todos os pontos e determine a equação sua inclinação.
- Determine o valor da resistência da faixa de grafite 8B a partir do gráfico
- Coloque um dos multímetros na escala de medição de resistência conforme a figura 6.

- Meça o valor da resistência da faixa de grafite colocando cada terminal do multímetro em cada um dos extremos da faixa de grafite
- Agora, responda ao questionário refletindo sobre o que aprendeu na aula; procure escrever suas respostas de forma clara, relacionando com os exemplos discutidos e, se tiver dúvidas, peça ajuda ao professor para compreender melhor, aproveitando este momento para revisar e dar significado ao conhecimento construído.

Responda ao questionário

1. Qual o valor da resistência medida a partir do gráfico?

2. Qual o valor da resistência medida a partir do multímetro? os valores foram semelhantes ou muito diferentes?

3. Que informação interessante podemos obter a partir da forma do gráfico da corrente em função da tensão. Por exemplo, se a tensão aplicada for V_1 a corrente obtida seria I_1 , se duplicamos a tensão aplicada que valor de corrente esperamos obter, e se V_1 for triplicada, qual seria a corrente?

4. Compare os valores obtidos por você com os valores obtidos com seu colega(s), analise o resultado(s) dele(s) em comparação com o seu por exemplo, a faixa de grafite dele(s) é mais escura ou mais clara que a sua e como isso afeta o valor de resistência obtida?

5. A partir do resultado anterior, será que se utilizamos lápis de outra numeração alteraria o resultado, por exemplo 6B que é mais claro?

6. Se fosse colocado grafite em pó (vendido em serralherias) a uma determinada tinta o que vocês esperariam como resultado dessa adição?

7. Vocês conseguem registrar alguma semelhança entre o experimento realizado e o resistor flexível utilizado na demonstração da primeira aula?

TERCEIRA AULA: EXPLORANDO O EFEITO JOULE, DA TEORIA À PRÁTICA EXPERIMENTAL

A compreensão de fenômenos físicos relacionados à eletricidade é fundamental para o entendimento mais profundo sobre a lei de Ohm, dentre esses fenômenos, o Efeito Joule destaca-se como um fenômeno crucial, no qual a energia elétrica é parcialmente convertida em energia térmica quando uma corrente percorre um condutor. Embora, em muitos dispositivos, o aquecimento seja desejado, como nos casos de chuveiros elétricos, ferros de passar roupa e aquecedores, em outros contextos, o Efeito Joule pode representar um risco ao funcionamento e à integridade dos componentes do circuito, sobretudo quando há excesso de corrente ou dimensionamento inadequado dos fios e resistores.

No contexto deste estudo, o Efeito Joule torna-se relevante, ainda que o foco prático do projeto não esteja centrado nesse fenômeno. Isso porque, ao compreender o Efeito Joule, podemos analisar e prever os limites de funcionamento seguro do sistema, além de relacionar a dissipação de energia com as variáveis elétricas e compreender situações cotidianas envolvendo a eletricidade.

OBJETIVOS

Explicar o Efeito Joule como a transformação de energia elétrica em energia térmica em condutores percorridos por corrente elétrica. Apresentar e discutir a equação da potência elétrica ($P = I \cdot U$) e sua relação com a lei de Ohm, por meio da substituição algébrica da tensão ($U = R \cdot I$), evidenciando a forma $P = I^2 \cdot R$, que quantifica o calor gerado em função da corrente e da resistência do material. Refletir sobre as implicações práticas do Efeito Joule em dispositivos eletrônicos e circuitos elétricos. Promover o desenvolvimento do raciocínio crítico dos estudantes, incentivando-os a pensar sobre como o Efeito Joule pode impactar o funcionamento de dispositivos reais, inclusive aqueles que eles mesmos estão construindo no projeto. Observar, passo a passo, como o aumento da tensão aplicada provoca o aquecimento do grafite, levando-o a incandescer e, eventualmente, a inflamar a madeira do lápis evidenciando visualmente o efeito Joule. Reforçar conceitos fundamentais como resistência elétrica, potência dissipada e transformação de energia.

PROCEDIMENTOS

- Reflita: Você conhece algum fio ou aparelho que esquenta quando está ligado? Por que isso acontece?

- Você acha que o calor que aparece é um problema ou pode ser usado de forma útil?
- Atente a explicação do professor sobre o tema exposto.
- Assistas as imagens que o professor irá passar no projetor e, em seguida, observe as figuras na sequência:

Figura 4 – Interruptor, exemplo de resistência quase desprezível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Iniciando pelo interruptor (Figura 4), é importante destacar que, nesse caso, o material condutor utilizado em sua fabricação deve possuir resistência elétrica mínima. Isso se faz necessário para evitar o aquecimento excessivo durante a passagem de corrente elétrica, prevenindo, assim, riscos associados a esse aquecimento, como danos à instalação elétrica e possíveis incêndios nas residências.

Figura 5 – Resistência do cotidiano, chuveiro elétrico



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- A resistência de um chuveiro elétrico (Figura 5) utiliza o efeito Joule para aquecer a água, promovendo uma intensa conversão de energia elétrica em energia térmica. No entanto, é comum observar, no cotidiano, que pessoas leigas ou mesmo técnicos despreparados, ao instalarem o chuveiro ou realizarem a troca da resistência, não permitem que o reservatório do chuveiro se encha completamente de água antes de ligá-lo. Essa prática inadequada leva à queima imediata da resistência, pois o componente necessita transferir, por condução, a energia gerada no fluxo de água. Sem a presença da água para absorver e distribuir o calor, a resistência superaquece, atingindo temperaturas próximas ou superiores ao seu ponto de fusão, o que compromete seu desempenho e causa sua danificação

Figura 6 – Lâmpada incandescente



Fonte: Revista Haus (2017). Disponível em: <https://revistahaus.gazetadopovo.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- Ao abordar a lâmpada incandescente (Figura 6), é importante ressaltar que esse dispositivo, embora tenha sido amplamente utilizado ao longo do século XX, apresenta uma eficiência energética bastante limitada. Isso ocorre porque a maior parte da energia

elétrica “consumida” pela lâmpada incandescente é convertida em calor, e não em luz. Segundo Cunha (2013), apenas cerca de 5% a 10% da energia elétrica é transformada em luz visível, enquanto 90% a 95% é dissipada na forma de calor. Em razão dessa ineficiência, a substituição de lâmpadas incandescentes por modelos mais eficientes, como as lâmpadas fluorescentes compactas e, especialmente, as lâmpadas de LED, tem sido fortemente incentivada por políticas públicas de eficiência energética, visando à redução do consumo de energia elétrica e ao menor impacto ambiental. Dessa forma, compreender o funcionamento e as limitações das lâmpadas incandescentes contribui para a reflexão crítica sobre o uso consciente da energia elétrica em ambientes residenciais e comerciais

Figura 7 – Resistência do cotidiano, secador de cabelos



Fonte: Magazine Luiza (2025). Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- Ao analisar o funcionamento do secador de cabelo (Figura 7), observa-se que esse dispositivo converte energia elétrica em energia térmica, de modo semelhante ao chuveiro elétrico. No interior do secador, uma resistência elétrica, geralmente feita de uma liga de níquel-cromo, aquece o ar que é impulsionado por um ventilador elétrico. Assim, ocorre uma dupla conversão de energia: a energia elétrica é transformada, simultaneamente, em calor, por meio do efeito Joule. Além disso, o secador demonstra um importante princípio de segurança elétrica: se o motor do ventilador falha e o ar para de circular, a resistência pode superaquecer e causar danos, por isso muitos modelos modernos possuem sistemas automáticos de desligamento em caso de superaquecimento.

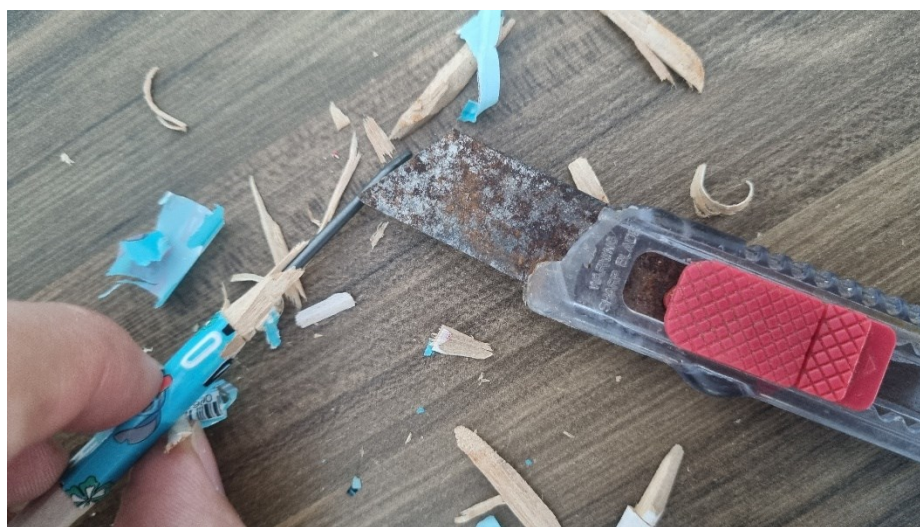
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No presente experimento, utilizaremos um lápis comum, cujo grafite atua como um resistor, conectado a uma fonte de alimentação ajustável. O grafite, sendo uma forma de carbono, possui resistência elétrica relativamente baixa, especialmente em lápis mais macios, como os do tipo 4B, o que permite a passagem de corrente suficiente para provocar seu aquecimento, tornando-o um excelente material para demonstrar como a energia elétrica pode ser convertida em calor.

Preparação do Lápis

- Pegue um lápis comum e remova cuidadosamente parte da madeira, nos dois lados, utilize um estilete ou lixa, expondo o grafite conforme Figura 8.

Figura 8 – Preparando o lápis pra demonstração do Efeito Joule



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montagem do circuito

- Conecte os cabos com garras jacaré a cada extremidade do grafite exposto
- Ligue uma ponta ao terminal positivo (+) da fonte de 12V e a outra ao terminal negativo (-) de acordo com a Figura 9.

Figura 9 – Montagem experimental Efeito Joule



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Execução do experimento

- Coloque o lápis sobre uma base não condutora (madeira, cerâmica ou vidro).
- Ligue a fonte de alimentação e, gradualmente, aumente a voltagem, observando:
 - A partir de 2V-3V: a corrente começa a circular, mas não há mudanças visíveis.
 - De 4V a 6V: o grafite começa a esquentar levemente, peça aos alunos que observem com cuidado a dissipação de calor.
 - De 7V a 9V: o grafite incandesce, emitindo uma luz avermelhada — destaque que já está convertendo bastante energia elétrica em calor.
 - De 10V a 12V: o calor intenso provoca a combustão da madeira ao redor, e o grafite pode começar a soltar faíscas e fumaça, desligue imediatamente após esta etapa.
- Caso o lápis continue queimando, use um pano úmido ou areia para conter as chamas, não utilize água diretamente, devido ao risco elétrico. Deixe o material resfriar antes de tocar.
- O fenômeno observado é uma demonstração clara do efeito Joule, o aquecimento acontece toda vez que uma corrente elétrica passa por um material com resistência mais significativa. Relacione com exemplos do cotidiano, como o funcionamento das figuras observadas anteriormente, os chuveiros, secadores de cabelo e lâmpadas

incandescentes, reforçando que esses dispositivos dependem dessa transformação de energia elétrica em calor. E que no caso do interruptor, este feito não é desejado devido aos riscos de incêndios.

- Pense e debata com os colegas da turma:
 - 1- Quais os riscos de o efeito Joule acontecer de forma descontrolada, como em curtos-circuitos?
 - 2- Por que é importante que os fios das casas sejam dimensionados corretamente para não esquentarem?
 - 3- Como o que vimos hoje ajuda a entender por que dispositivos como chuveiros e secadores precisam dissipar o calor gerado?

QUARTA AULA: A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DOS MATERIAIS NA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Nesta aula, vamos explorar como as propriedades físicas dos materiais, como comprimento, largura e resistividade, influenciam diretamente na resistência elétrica de um condutor. Com base na Lei de Ohm ($V = R \cdot I$), vamos entender como a resistência de um fio ou material pode ser determinada e como ela afeta o fluxo de corrente em um circuito. Durante a explicação teórica, discutiremos a relação entre comprimento e área da seção transversal com a resistência, além de destacar a importância da resistividade do material em questão, que pode variar de acordo com o tipo de material utilizado.

Para uma compreensão mais significativa e prática desses conceitos, vamos realizar um experimento, na qual mediremos a resistência de lápis de diferentes tipos, como o 2B e o 6B. Essa experiência permitirá observar como materiais de composições e dimensões diferentes influenciam a resistência elétrica. Com a utilização de um multímetro, vamos comparar as medições de resistência desses lápis e analisar como a variação da composição do material (no caso, a quantidade de grafite) impacta o comportamento elétrico do condutor.

Desde uma perspectiva teórica se espera que em condutores ôhmicos (lineares) estes sigam uma regra muito importante que chamamos de Lei de Ohm. Essa lei diz que, se aumentarmos a tensão (energia que empurra os elétrons, ou seja, a voltagem), a corrente elétrica (quantidade de carga passando por segundo) também vai aumentar de forma proporcional. Ou seja, se você dobra a voltagem, a corrente também dobra, e assim por diante.

Agora, de onde vem isso? Dentro dos fios, existem elétrons livres, que são os portadores de carga. Eles pertencem ao material e não mudam de quantidade só porque ligamos uma pilha, fonte ou aumentamos a voltagem. Eles já estão lá. O que acontece quando ligamos o circuito é que esses elétrons começam a se mover, formando a corrente elétrica.

Utilizando alguns argumentos teóricos que estão fora do escopo deste experimento pode ser mostrado teoricamente que a tensão se relaciona com a corrente via:

$$V = \left(\rho \frac{L}{A} \right) \cdot I$$

Ou, de forma mais conhecida:

$$V = R \cdot I$$

Onde R é a resistência elétrica do fio, que depende do material (ρ), do comprimento (L) e da área (A).

Em suma, a característica principal dos materiais que verificam a lei de Ohm é que sua resistividade não se veja afetada (de forma significativa) pela tensão aplicada, ou seja, que se mantenha constante para uma faixa de valores de V e I .

OBJETIVOS

Compreender como as propriedades físicas dos materiais, como comprimento, largura e quantidade de grafite depositada, influenciam na resistência elétrica, através da Lei de Ohm, e aplicar esse conhecimento de forma prática na medição da resistência de lápis de diferentes tipos. Fomentar a reflexão crítica sobre a importância das propriedades materiais na eletrônica, destacando como diferentes materiais e suas características influenciam o comportamento dos circuitos elétricos em situações reais.

PROCEDIMENTOS

- Entenda que a resistência elétrica (R) de um condutor não depende apenas da tensão e da corrente, mas também das características físicas do material. A resistência pode ser determinada pela equação:

$$V = \left(\rho \frac{L}{A} \right) \cdot I$$

- Veja que ρ (rho) é a resistividade elétrica do material, L é o comprimento do condutor, e A é a área da seção transversal (largura e espessura).
- A relação entre resistência e comprimento (L): Mostra que quanto maior o comprimento do fio, maior será sua resistência, pois os elétrons percorrem uma distância maior e encontram mais ‘colisões’ ao longo do caminho.
 - Se mantivermos a tensão (V) constante, aumentar o comprimento reduz a corrente (I), pois a resistência aumenta.
 - Se mantivermos a corrente constante, aumentar o comprimento exige aumento da tensão (V) para compensar o aumento da resistência.
- Veja o efeito da largura (área A) na resistência: Observe que, se a área transversal do fio for maior (ou seja, fios mais grossos), a resistência diminui, pois há mais espaço para os elétrons fluírem.

- Se a resistência diminui e a tensão for mantida constante, a corrente aumenta.
- Se quisermos manter a corrente constante, fios mais grossos demandam menos tensão (V).
- Analise agora a influência da resistividade (ρ) na resistência: Explique que a resistividade depende do material do condutor e define a dificuldade com que os elétrons se movem.
 - Materiais como cobre e prata possuem baixa resistividade e são bons condutores.
 - Materiais como ferro e níquel possuem alta resistividade e oferecem mais resistência ao fluxo de corrente.
 - Para um mesmo comprimento e espessura, um material com maior resistividade apresentará maior resistência e exigirá maior tensão para manter a mesma corrente.
- Compare a corrente elétrica ao fluxo de água em um cano, onde fios mais curtos são como tubos menores, nos quais a água encontra menos resistência. Fios mais largos são como tubos mais grossos, permitindo um fluxo mais fácil. Materiais com alta resistividade são como canos entupidos, que dificultam o fluxo da água.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Preparação do suporte para lápis

Embora seja possível realizar medições sem o suporte, sua preparação garantirá maior segurança e precisão durante as medições, pode-se optar pelo uso de garras de jacaré fixadas em um suporte.

- Corte dois pedaços de arame com aproximadamente 25 cm cada.
- Dobre cada pedaço em formato de "L", onde uma parte (uns 5 cm) servirá de apoio e fixação na base, e o restante ficará erguido para segurar a garra de jacaré (Figura 10).

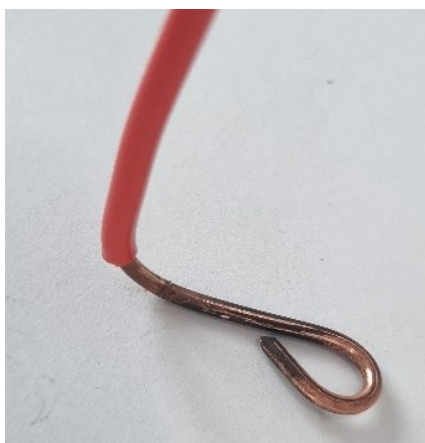
Figura 10 – Hastes para o suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Utilize um alicate de bico para dobrar a ponta da peça da base em aproximadamente 140 graus, formando uma curvatura semicircular. Essa forma ajudará a fixá-la com mais firmeza na base de madeira (Figura 11).

Figura 11 – Suporte para fixar na base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione a parte dobrada menor na base, com a parte maior (vertical) apontando para cima (Figura 12).

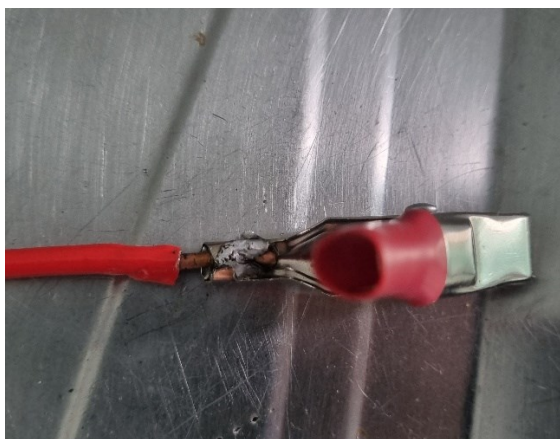
Figura 12 – Fixação das hastes na base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Use parafusos (ou pregos) para prender o arame firmemente à base. Repita o procedimento para a outra parte de arame, deixando as hastes com cerca de 8 cm de espaçamento.
- Coloque uma garra de jacaré na extremidade superior do arame, e fixe firmemente com solda ou fita isolante, conforme Figura 13. Repita o procedimento para a outra haste de arame.

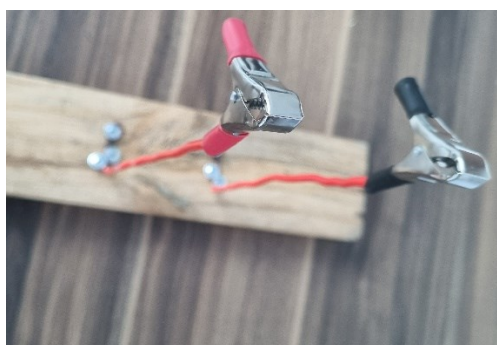
Figura 13 – Fixação das garras jacarés



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Certifique-se de que as garras fiquem bem fixadas, mas com a abertura livre para conectar os materiais a serem testados.
- Ajuste as duas hastes pra que fiquem alinhadas e separadas corretamente para as medições (Figura 14).

Figura 14 – Montagem final do suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da resistência dos lápis

- Separe um suporte, um lápis 2B e um 6B, um multímetro e as tabelas 2 e 3, para iniciarmos as aferições.
- Coloque o lápis 2B no suporte e fixe firmemente.

- Descasque as duas extremidades dos lápis, a fim de que sobre para fora da madeira uma parte do grafite com sua espessura intacta. Se for utilizado apontador, esta parte ficará bem próxima a madeira. (figura 15).

Figura 15 – Lápis com extremidades descascadas corretamente



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Utilize a régua para medir o comprimento do lápis, utilize como referência a exata posição onde serão colocadas as pontas de prova do multímetro (que deve ser onde a espessura do lápis está intacta), os valores na coluna Comprimento.
- Utilize o paquímetro para medir a espessura do grafite, exatamente na parte onde sua espessura está intacta (Figura 16), bem próximo a parte de madeira, e anote na Tabela 2, na coluna Diâmetro.

Figura 16 – Medição correta do diâmetro com paquímetro



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Ohm
- Posicione e pressione firmemente, sem encostar com a mão na parte condutora, as pontas do multímetro nas extremidades do lápis, exatamente onde foi feita a medição

do comprimento, onde o grafite possui sua dimensão intacta (Figura 17). Anote o valor na coluna Medida 01 (Ohms).

Figura 17 – Medição correta como multímetro em escala de Ohms



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Quilo-Ohm, repita o procedimento de medida e anote o resultado na coluna Medida 02 (Quilo-Ohms).
- Configure o multímetro para a posição de medição de resistência em Mega-Ohm. Repita o procedimento, agora com o multímetro na escala de Mega-Ohm e anote o resultado na coluna Medida 03 (Mega-Ohms).
- Repita, com bastante cuidado, todo procedimento utilizando o lápis 6B, anotando os resultados na Tabela 2, na linha referente a este lápis.

Tabela 2 – Atividade Medição de resistência de lápis

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (QuiloOhms)	Medida 03 (MegaOhms)
Lápis 2B					
Lápis 6B					

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Calculo da resistividade ρ (rho) dos lápis

Vimos que a relação entre a resistência elétrica (R), a resistividade do material (ρ), o comprimento (L) e a área da seção transversal (A) de um material pode ser expressa pela equação:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Isolando a resistividade (ρ), temos:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

- Utilize esta relação para calcular a resistividade dos lápis 2B e 6B:
- Antes de realizar os cálculos, converta todas as unidades para o SI e anote na Tabela 3 conforme instruções a seguir:

Tabela 3 – Medição da resistividade do lápis em Sistema Internacional (SI)

ATIVIDADE MEDIÇÃO DE RESISTORES					
Lápis	Área (m ²)	Comprimento (m)	Medida 01 (Ohms)	Medida 02 (Ohms)	Medida 03 (Ohms)
Lápis 2B					
Lápis 6B					
Resistividade ρ (rho) do lápis 2B ($\Omega \cdot m$)					
Resistividade ρ (rho) do lápis 6B ($\Omega \cdot m$)					

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Transforme o comprimento do grafite de centímetros (cm) para metros (m). Utilize a relação: 1cm=0,01m e anote na tabela.
- Repita o processo para o diâmetro, também convertendo de centímetros (cm) para metros (m), não anote na tabela ainda.
- Converta a medida do diâmetro anteriormente convertida em metros (m) para área de seção transversal em metros quadrados (m²), considerando que o grafite possui forma cilíndrica, utilize a fórmula da área do círculo, em seguida anote na tabela.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

- Caso a medida mais precisa tenha sido na escala de Quilo-Ohm ou de Mega-Ohm, converta a medida da resistência para Ohms. Utilize a relação: 1k Ω = 10³ Ω e 1 M Ω = 10⁶ Ω .
- Com os valores da resistência, comprimento e área convertidos, calcule a resistividade para o lápis 2B em seguida para o 6B, onde valor encontrado para ρ será a resistividade elétrica, em $\Omega \cdot m$ (Sistema Internacional).
- Para finalizar a atividade experimental, compare o valor da resistividade dos dois lápis e responda o questionário:

1- Qual tipo de lápis apresenta a menor resistividade? Justifique sua resposta com base na

composição do material.

2- O que um lápis e a resistência de um chuveiro elétrico têm em comum?

3- Sabemos que o grafite do lápis conduz eletricidade, mas por que o cobre e o alumínio são preferidos na fabricação de fios elétricos? Como a resistividade influencia essa escolha?

4- Como o estudo da resistência e resistividade dos lápis pode nos ajudar a entender o funcionamento do resistor flexível que muda de resistência ao ser dobrado na luva?

5- Sugira melhorias no experimento para aumentar a precisão no cálculo da resistividade:

QUINTA AULA: EXPLORAÇÃO EXPERIMENTAL DAS ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO

Nesta aula, vamos realizar um experimento prático para entender como as resistências se comportam em diferentes configurações de circuitos elétricos: em série e em paralelo. O objetivo é observar e medir os efeitos dessas associações no circuito e nas resistências totais, antes de aprofundar-se na teoria que explica os fenômenos que ocorreram. Vamos trabalhar com resistores de papel, que os alunos mesmos irão construir, utilizando grafite de lápis. A ideia é que, ao medir as resistências desses resistores e conectá-los de diferentes maneiras, possam perceber como a resistência total do circuito muda dependendo de como os resistores são dispostos, e consequentemente, a tensão e corrente em diferentes pontos do circuito.

Durante o experimento, além de construir, vamos medir a resistência de cada resistor individualmente e a resistência total das associações em série e paralelo. Essas medições permitirão uma compreensão empírica do que acontece com a resistência total em cada caso. Para que na próxima aula, possamos discutir a teoria por trás desses comportamentos, relacionando as fórmulas e os conceitos que explicam as observações feitas aqui. O que veremos será a base para uma compreensão mais profunda, ajudando a conectar a teoria à prática de maneira concreta e significativa.

OBJETIVO

Compreender, de forma prática, as associações de resistores em série e em paralelo, por meio da construção de resistores de papel com grafite de lápis e da realização de medições de resistência, corrente e tensão. Observar como a resistência total do circuito varia de acordo com a configuração adotada. Desenvolver habilidades de medição e análise de circuitos elétricos, utilizando o multímetro para determinar a resistência individual de cada resistor, bem como a resistência total, as tensões e as correntes correspondentes em cada tipo de associação.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

- Reflita sobre as seguintes perguntas:
 - 1 - Como você acha que a resistência de um circuito muda quando adicionamos mais resistores? Ela aumenta ou diminui?
 - 2- O que você acha que acontece com a resistência total quando você coloca vários resistores, um ao lado do outro, em um circuito?
 - 3- E se você colocar os resistores um seguido do outro, o que você acha que vai acontecer com

a resistência total?

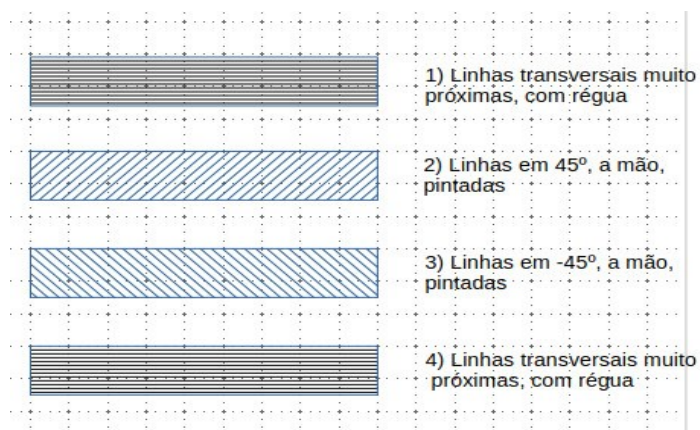
4- Se você adicionar mais resistores ao circuito, a corrente elétrica vai passar mais fácil ou mais difícil?

5- Você consegue pensar em algum motivo para usar mais de um resistor em um circuito?

Construção dos resistores

- Use a régua para desenhar cinco faixas retangulares de 5 cm de comprimento e 1 cm de largura.
- Pinte completamente os retângulos com o lápis, aplicando pressão uniforme para manter um padrão consistente. Utilize os padrões disponível na figura 18:

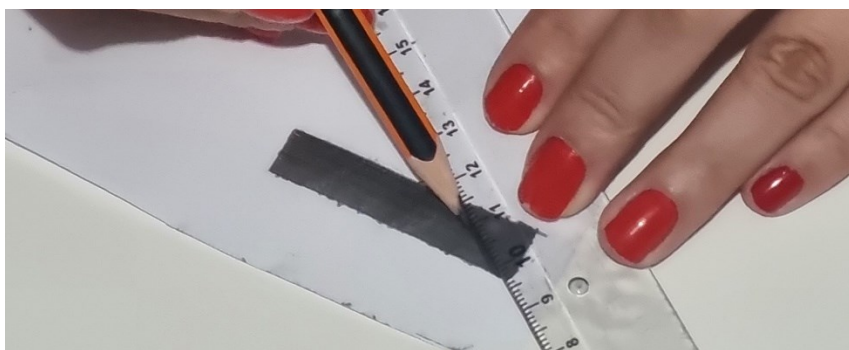
Figura 18 – Padrões para construção dos resistores



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o processo pra todos os demais resistores, primeiro com uma régua são traçadas as linhas longitudinais, depois em diagonal para um lado, depois em diagonal para o outro e por fim novamente as longitudinais (Figura 19).

Figura 19 – Construção do resistor utilizando os padrões



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Recorte o resistor com cuidado, mantendo as medidas iniciais totalmente pintadas, sem rasurar as partes pintadas ou cortar com sobras não pintadas

Medição inicial da resistência

- Configure o multímetro para a escala de Ohms, comece em 200 k Ω .
- Utilize no multímetro ponteiros com garras de jacaré para melhor resultado nas medições.
- Conecte as garras das ponteiros do multímetro nas extremidades do resistor criado, cerca de 0,5 centímetros distantes de cada extremidade, deixando um distanciamento de 4 cm entre elas, de forma que fique um vão de 4 cm para eletricidade, proveniente do multímetro percorrer no resistor (Figura 20).

Figura 20 – Posição correta para medição da resistência



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Se a resistência estiver muito acima de 58 k Ω , reforce a pintura com o lápis. Se estiver muito abaixo de 52 k Ω , apague um pouco ou refaça o resistor.
- Anote o valor da resistência medida na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistores e associação de resistores em série

RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE		
	Valor da resistência em kΩ	
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		
Associação de Resistores em Série		
	Valor da resistência da associação em kΩ	
Cinco resistores em série		
Quatro resistores em série		
Três resistores em série		
Dois resistores em série		
Medição de tensão e corrente nos resistores		
	Tensão (volts)	Corrente (mA)
Circuito completo		
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		

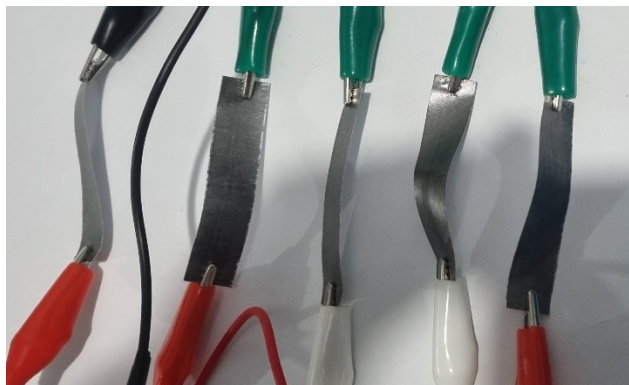
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o procedimento para os outros 4 resistores, desde a construção até as medidas e anotações. Certifique de deixá-los com resistências bem próximas, o ideal é que fique entre 52 e 58 $k\Omega$.

Montagem e Medição dos Resistores em Série

- Agora que os resistores de papel foram construídos, iremos conectá-los em uma configuração que se denomina ‘em série’, em seguida medir as resistências equivalentes na associação, as quedas de tensão e a corrente.
- Use garras jacaré para ligar um resistor ao outro, conectando a extremidade de um à extremidade do próximo, lembrando de ajustar a garra, adentrando meio centímetro da extremidade, para que a distância das garras no interior do resistor seja de 4 cm (Figura 21).

Figura 21 – Conexão dos resistores em série



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Meça a resistência total do circuito, colocando as pontes do multímetro nos dois terminais extremos do circuito em série, nas extremidades do primeiro e último resistor da associação, ou seja, na parte que não se conecta com nenhum resistor (Figura 22).

Figura 22 – Medida dos cinco resistores em série



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Anote o valor da resistência total medida, na Tabela 4.
- Repita o procedimento, agora deixando um dos últimos resistores de fora da medida, posicionando a ponte do multímetro na extremidade de fora do quarto resistor (mede-se agora quatro resistores em série). Anote o resultado na Tabela 4.
- Repita o processo para configuração com 3 e 2 resistores em série.

Medição da Queda de Tensão em Cada Resistor:

- Ajuste a fonte de tensão para 10V e conecte os terminais livres do primeiro e do último resistor à fonte de tensão.
- Ajuste o multímetro para medição de tensão DC e selecione uma escala um pouco maior que a da fonte (ex: 20V).

- Posicione a ponteira vermelha do multímetro firmemente na extremidade positiva da fonte que está conectada a um dos lados da associação. Posicione a ponteira preta firmemente na extremidade negativa da fonte, conectada ao outro lado da associação. Anote a tensão total na Tabela 4.
- Agora vamos medir a tensão em cada resistor individualmente: Posicione a ponteira vermelha em um dos lados do resistor e a preta no outro, de preferência na parte condutora da garra de jacaré. Anote a tensão medida na Tabela 4.
- Repita o processo para cada resistor na série, medindo a tensão em cada um deles de forma individual.
- Some todas as tensões individuais e compare com a tensão total da fonte.
- Perceba que a soma das quedas de tensão nos resistores deve ser aproximadamente igual à tensão total aplicada.

Medição da corrente nos diferentes pontos do circuito:

- Configure o multímetro para medição de corrente. Ajuste para a escala de mA (miliampères).
- Mude a ponteira vermelha para a entrada correspondente à medição de corrente.
- Conecte as ponteiros do multímetro entre a fonte e o primeiro resistor e anote o resultado na Tabela 4.
- Desconecte a garra jacaré entre a fonte e o primeiro resistor.
- Conecte a ponteira vermelha no terminal da fonte.
- Conecte a ponteira preta no terminal interno do primeiro resistor e anote o valor da corrente medida na Tabela 4.
- Repita o processo entre o primeiro e o segundo resistor, depois entre o segundo e o terceiro, e assim por diante.
- Compare os valores obtidos e perceba que a corrente elétrica permanece constante em todos os pontos do circuito, o que confirma uma das principais características de um circuito em série: a mesma corrente percorre todos os seus componentes.

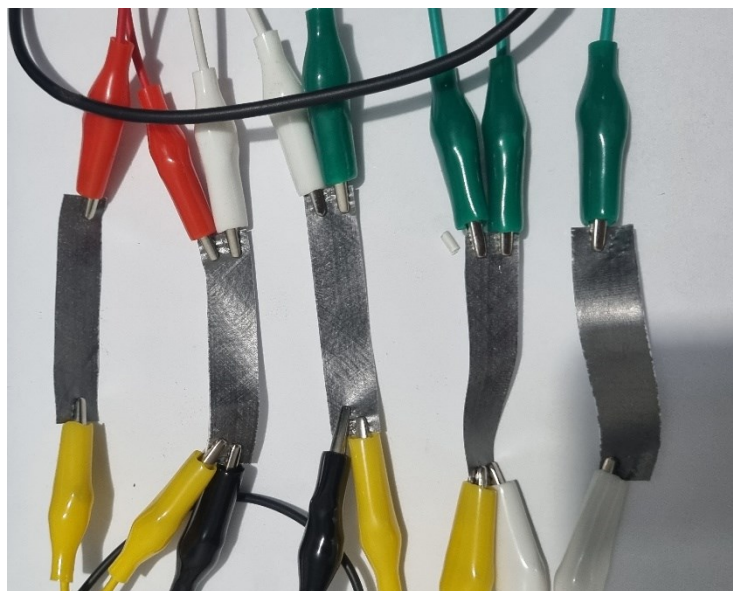
Montagem e Medição dos Resistores em Paralelo

- Organize os resistores um do lado do outro sem que entrem em contato nas suas extremidades laterais.
- Conecte todas as extremidades esquerdas dos resistores através das extensões de

jacarés.

- Repita o processo e conecte todas as extremidades direitas dos resistores através das extensões de jacarés (Figura 23).

Figura 23 – Resistores posicionados para ligação em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Com o multímetro configurado para resistência, conecte as pontes do multímetro nas laterais direita e esquerda da associação, afim de calcular a resistência equivalente no circuito (Figura 24).

Figura 24 – Medição da associação dos resistores em paralelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Anote os resultados na Tabela 5.

Tabela 5 – Associação de resistores em paralelo

Associação de Resistores em Paralelo		
Valor da resistência da associação em $k\Omega$		
Medição de tensão e corrente nos resistores		
	Tensão (volts)	Corrente (mA)
Circuito completo		
Resistor 01		
Resistor 02		
Resistor 03		
Resistor 04		
Resistor 05		

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da tensão no circuito em paralelo

- Ligue a fonte de tensão e confira se está na tensão de 10 volts.
- configure o multímetro novamente para medição de tensão (V).
- Conecte o lado direito da associação ao positivo da fonte. Posicione a ponteira vermelha no terminal positivo de um resistor neste lado. Já o outro lado da associação, conecte ao terminal negativo da fonte e a ponteira preta no terminal negativo do mesmo lado da associação
- Anote a tensão na Tabela 5.
- Repita o procedimento para os outros resistores, um a um e anote seus resultados na Tabela 5.
- Observe que a tensão é a mesma para todos os resistores da associação.

Medição da corrente em cada resistor do circuito em paralelo

- Ajuste o multímetro novamente para medição de corrente (mA).
- Desconecte um dos terminais da fonte e insira o multímetro em série com o circuito, a ponteira vermelha do multímetro no terminal da fonte e a ponteira preta conectada a todas as garras de jacaré vindas dos resistores.
- Anote o valor da corrente total medida na Tabela 5.
- Na sequência vamos medir a corrente em cada resistor, para isso, reconecte as garras, vindo dos resistores, diretamente na fonte novamente.
- Interrompa o circuito de cada resistor individualmente e conecte o multímetro em série, a garra vermelha do multímetro no resistor e a garra preta do multímetro na garra que segue para fonte.

- Repita este processo para cada um dos 5 resistores e anote os resultados na Tabela 5.
- Para finalizar esta etapa, some os valores de todas as correntes individuais e compare com a corrente total da associação.
- Responda as seguintes perguntas:

1- Quais foram as principais diferenças observadas na tensão no circuito em série e no circuito em paralelo?

2- Quais foram as principais diferenças observadas na corrente elétrica no circuito em série e no circuito em paralelo?

3- Como se comporta a resistência equivalente em cada caso?

4- Após medir a resistência individual de cada um dos cinco resistores confeccionados, e também a resistência total quando eles foram associados em série, compare os valores obtidos. A resistência total se aproxima da soma das resistências individuais? Mostre os cálculos realizados e explique o que isso demonstra sobre a associação em série.

5- Agora, com os mesmos cinco resistores, observe a resistência total medida quando todos foram associados em paralelo. Calcule a soma dos inversos das resistências individuais e compare o valor obtido com a resistência total medida no experimento. Os valores são

compatíveis? Justifique com base nos cálculos.

SEXTA AULA: RESISTORES EM SÉRIE E PARALELO, CONCEITOS E APLICAÇÕES DAS LEIS DE KIRCHHOFF

Percebemos até aqui que o estudo da eletricidade é fundamental para a compreensão dos circuitos elétricos, que estão presentes em diversas aplicações tecnológicas do cotidiano. Entre estes conceitos essenciais para essa compreensão, destacam-se as associações de resistores e as Leis de Kirchhoff, que fornecem ferramentas matemáticas para a análise de circuitos elétricos mais complexos. A correta aplicação dessas leis permite prever o comportamento da corrente e da tensão em diferentes pontos do circuito.

Além de aprofundar a compreensão teórica sobre as associações de resistores, esta aula tem como objetivo validar os resultados obtidos experimentalmente na atividade prática anterior, na qual construímos resistores utilizando trilhas de grafite sobre papel e analisamos seu comportamento ao serem conectados em série e em paralelo. Agora, por meio da aplicação das Leis de Ohm e de Kirchhoff e da compreensão entre os valores medidos e os previstos teoricamente, busca-se consolidar a relação entre os conceitos estudados e os fenômenos observados, promovendo uma aprendizagem significativa e baseada na experimentação.

Finalizaremos esta aula explorando o uso de um simulador, montando circuitos em série e paralelo, manuseando e vendo como o simulador utiliza, tanto a lei de Ohm como as leis de Kirchhoff, resolvendo o sistema de equações e permitindo explicar circuitos mais complexos, abordando assim, de forma rápida, tópicos que seriam demorados de compreender e resolver.

OBJETIVO

Compreender o comportamento da corrente e da tensão em circuitos elétricos por meio das associações de resistores. Aplicar as Leis de Kirchhoff e a Lei de Ohm na análise teórica de circuitos. Relacionar a teoria com a experimentação, validando os resultados da atividade prática anterior. Utilizar simuladores para visualizar e resolver circuitos elétricos, consolidando a aprendizagem de forma interativa.

PROCEDIMENTOS

- Reflita sobre as seguintes observações:
 - 1 - Porque o grafite usado na atividade anterior se comportou como um resistor?
 - 2- O que mudou na resistência quando conectamos os resistores de grafite em série e em paralelo?
 - 3- Quais desafios ou imprevistos vocês encontraram ao medir a resistência dos resistores de

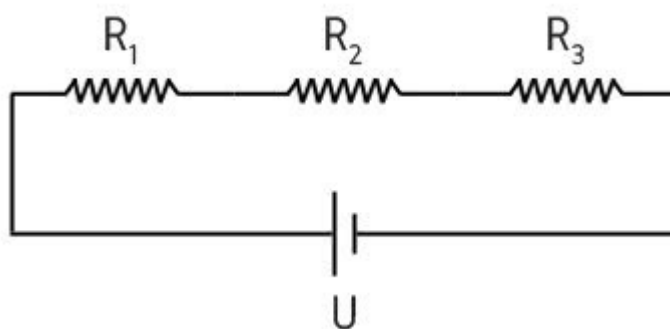
papel?

- O grafite conduziu eletricidade, funcionando como um resistor, a resistência total do circuito variou conforme a forma como os resistores foram conectados no circuito e o comportamento observado, pode ser explicado usando a Lei de Ohm e as Leis de Kirchhoff.

Resistores ligados em série

- Pense sobre o que ocorre se conectarmos duas lâmpadas em fila no mesmo fio, e o que acontece se uma delas queimar?
- Desenhe um circuito com dois resistores em série (Figura 25):

Figura 25 – Desenho de resistores em série



Fonte: Toda Matéria (2024). Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/resistores-em-serie>

- A corrente (I) é a mesma para todos os resistores (pois há um único caminho para a corrente elétrica). A tensão total (V) se divide entre os resistores.
- Se tivermos uma fonte e soubermos o valor de cada resistor, podemos encontrar a corrente através das Leis de Kirchhoff, mais necessariamente a Lei das Malhas.
- A Lei das Malhas diz que a soma algébrica das tensões em um circuito fechado deve ser zero.

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0$$

- Aplicando a associação em série temos que $V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$
- Como $V = I \cdot R$ para cada resistor: $V - (I \cdot R_1) - (I \cdot R_2) - (I \cdot R_3) = 0$.
- Relembre que, de acordo com a Lei de Ohm: ($V = R \cdot I$), neste caso onde a corrente é a mesma em todos os resistores, podemos expressar a tensão total como:

$$V_{\text{total}} = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$$

- Portanto temos que a resistência equivalente (R_{eq}) é a soma das resistências individuais:

$$R_{eq}=R_1+R_2+R_3+\dots$$

- Reorganizando temos:

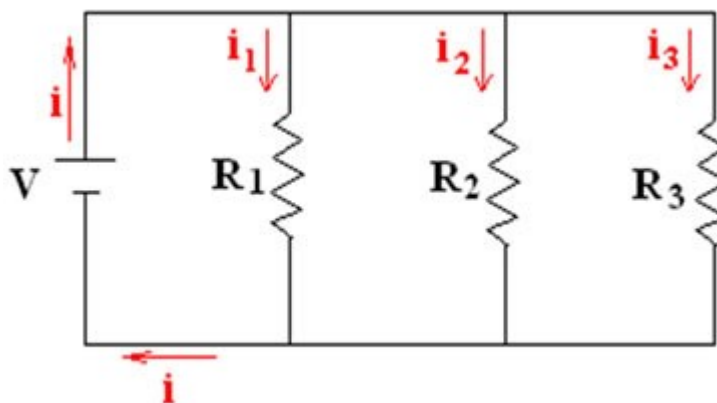
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

- Saiba que essa equação permite calcular a corrente no circuito em série, e sabendo a corrente do circuito, podemos calcular a queda de tensão em cada resistor valendo-se da Lei de Ohm e considerando que para um determinado tempo t , eles possuem comportamento ôhmico.
- Isso mostra que, quanto mais resistores adicionamos, maior será a resistência equivalente e menor será a corrente elétrica.

Resistores ligados em paralelo

- Reflita por que as lâmpadas das casas continuam acesas, mesmo se uma queimar?
- No circuito em paralelo, cada resistor (lâmpada) tem seu próprio caminho para a corrente elétrica.
- Observe o desenho no quadro de um circuito com três resistores em paralelo (Figura 26).

Figura 26 – Desenho de resistores em paralelo



Fonte: Noções de eletricidade. (2014). Disponível em:

<https://eletricidadejaborandi.blogspot.com/2014/05/associacao-de-resistores-em-paralelo.html>. Acesso em: 15 jul. 2024.

- A corrente total (I) se divide entre os resistores, a tensão em cada resistor é a mesma e igual à tensão da fonte e a resistência equivalente é menor que qualquer resistência individual.

- Como a tensão é a mesma para todos os resistores, aplicando a Lei de Ohm temos que:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, I_3 = \frac{V}{R_3}$$

- E a corrente total é: $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + I_3$
- A Lei dos Nós afirma que a soma das correntes que entram em um nó deve ser igual à soma das correntes que saem:

$$\sum I_{\text{entrada}} = \sum I_{\text{saída}}$$

- De acordo com a corrente total vista acima, usando a lei de Ohm para cada resistor, temos:

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

- Dividindo ambos os lados por V, temos como calcular o valor do resistor equivalente na associação em paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

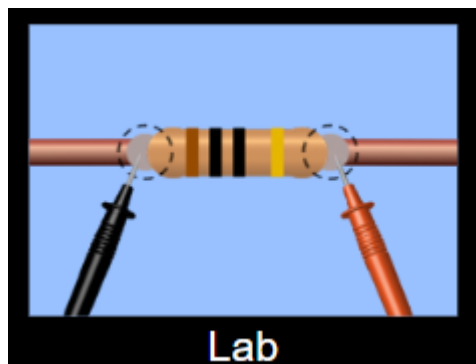
- Em suma temos que de acordo com as Leis de Kirchhoff, a Lei das Malhas mostra que as quedas de tensão se somam, resultando na equação que torna possível o cálculo de resistores em série. E de acordo com a Lei dos Nós as correntes se somam, levando a equação que torna possível o cálculo de resistores em paralelo. Essa abordagem mostra que as fórmulas de associação de resistores não são regras isoladas, mas sim consequências diretas das Leis de Kirchhoff.

PROCEDIMENTOS EM SIMULADOR VIRTUAL

Montando e mensurando circuito em série

- No computador, notebook, tablet ou celular, inicie o navegador de sua preferência e acesse o link https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/circuit-construction-kit-dc
- Dentro do site, clique no botão com ícone de play (Iniciar Simulação).
- Escolha a opção lab (laboratório), para criar circuitos livremente. (Figura 27)

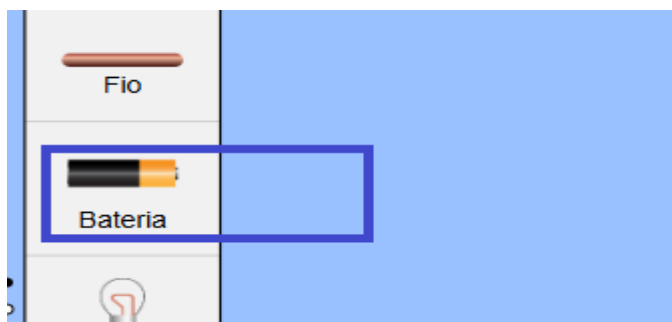
Figura 27 – Simulador de circuitos DC



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Na tela do simulador, você verá diferentes componentes elétricos na parte esquerda.
- Arraste uma bateria para a área central, segure o botão do mouse e mova para cima (Figura 28).

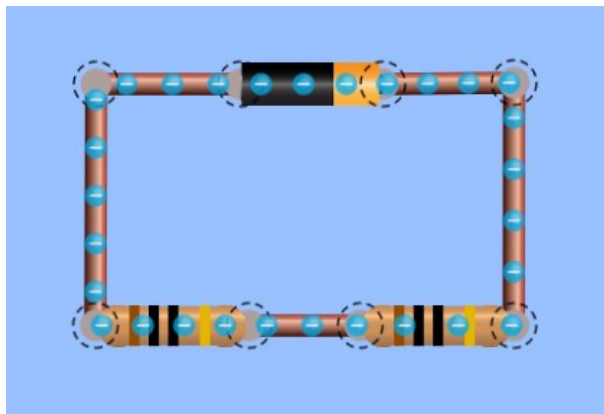
Figura 28 – Selecionando o componente bateria



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Arraste dois resistores para a área de montagem e posicione-os em sequência. Em seguida, conecte a extremidade de um à extremidade do outro utilizando um fio, formando uma associação em série.
- Use os fios para ligar a bateria aos resistores e fechar o circuito (figura 29). É importante que não fique espaços sem conexão, todos os elementos devem estar interligados. Assim que todos estiverem conectados corretamente, uma ilustração de elétrons se movimento irá iniciar.

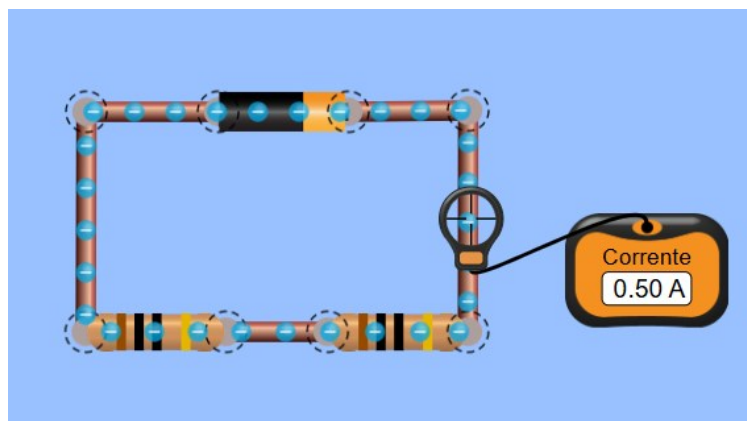
Figura 29 – Circuito com dois resistores em série



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Clique na bateria e na parte inferior ajuste para 10 volts, clique em cada resistor e certifique-se de que cada um tem valor de 10 ohms, se necessário ajuste-os.
- Pegue o amperímetro de campo (Alicate amperímetro) e arraste-o até a tela principal, em seguida posicione seu leitor para diferentes pontos do circuito (Figura 30).

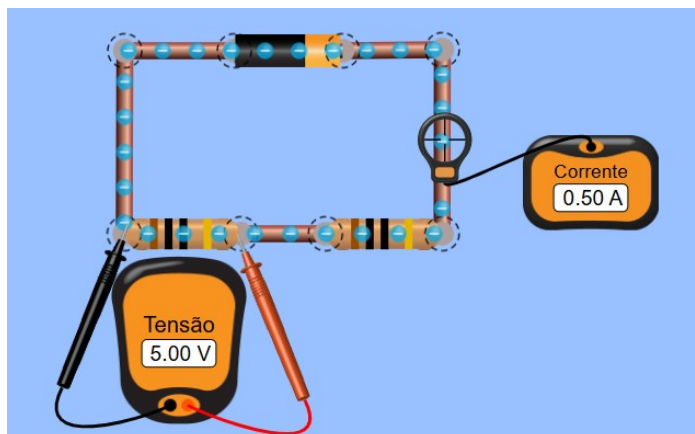
Figura 30 – Corrente do circuito em diferentes pontos



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Verifique que a corrente em um circuito em série é a mesma em qualquer ponto, anote o valor da corrente em uma folha para cálculos.
- Pegue o voltímetro e meça a tensão, coloque as pontas do voltímetro em cada resistor separadamente e registre os valores medidos em uma folha de cálculos. (Figura 31).

.Figura 31 – Medindo a tensão em cada resistor



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Se o valor medido pelo voltímetro apresentar número negativo, você pode clicar na bateria e inverter seus polos.

Aplicando a Lei de Ohm no resistor

- Agora que temos os valores de tensão (V) e corrente (I), podemos calcular a resistência de cada resistor utilizando a fórmula: $V=R.I$. Substitua os valores na fórmula e anote os resultados dos cálculos. (10 Ohms).
- Aumente o valor da tensão da bateria para 20 volts, e, utilizando este valor e o novo valor da corrente marcado pelo amperímetro, recalcule o valor do resistor, repita o processo para 30, 40 e 50 volts.
- Perceba que não importa o valor da tensão, a corrente sobe de maneira que o valor da resistência é constante, o que caracteriza um resistor ôhmico, ou seja, que obedece a lei de Ohm.
- Desenhe um gráfico com os valores de V no eixo vertical e de I no eixo horizontal para cada medida efetuada.



Montando e mensurando circuito em paralelo

- Clique no botão no canto direito inferior de reiniciar (limpar) a simulação.
- Arraste uma bateria para a tela do simulador, regule a mesma para 20 volts.
- Arraste dois resistores e posicione-os um abaixo do outro. Configure o resistor de cima para 5 ohms e o de baixo para 10 ohms.
- Conecte as extremidades de cada resistor, depois conecte as extremidades dos resistores diretamente aos polos da bateria. Os resistores devem ter os dois lados conectados aos mesmos pontos de tensão. Use fios para fazer as conexões no circuito. (Figura 32).

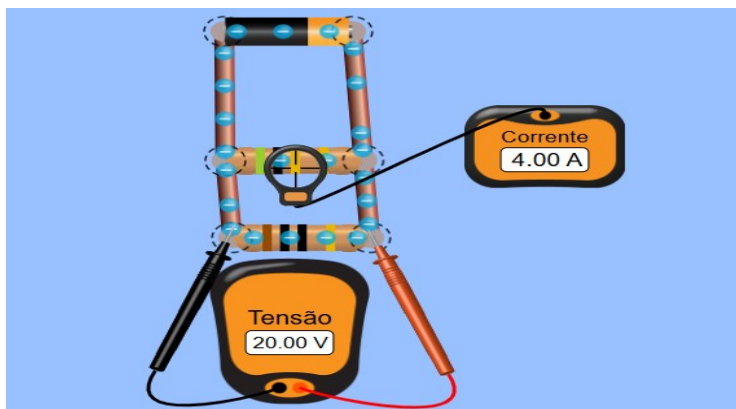
Figura 32 – Montagem de circuito em paralelo



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- O circuito terá suas ligações corretas se as representações de elétrons fluírem pelos dois resistores, caso contrário ajuste as conexões.
- Pegue o voltímetro e meça a tensão em cada um dos resistores e anote o valor na folha de cálculos. Espera-se que a tensão em cada resistor seja igual à da bateria.
- Deixe o voltímetro conectado em algum ponto do circuito, em seguida pegue o amperímetro e meça a corrente total que sai da bateria e a corrente em cada resistor do circuito e anote os resultados. (Figura 33).

Figura 33 – Medições no circuito em paralelo



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

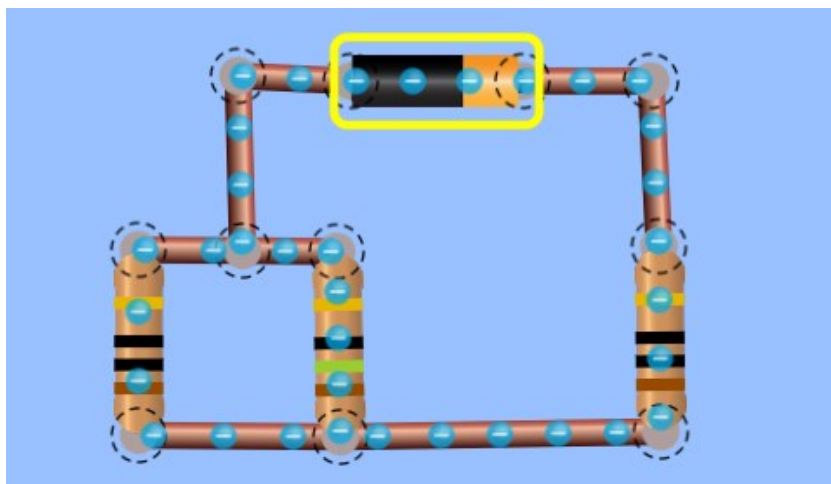
Aplicando a Lei de Ohm no em cada resistor

- Agora que temos os valores de tensão (V) e corrente (I) em cada resistor, repita os processos de cálculos, utilizando a Lei de Ohm, para calcular a resistência de cada resistor utilizando a fórmula: $V=R.I$. Substitua os valores na fórmula e anote os resultados dos cálculos para análise.
- Perceba que no resistor de baixo a corrente é de 4 amperes, já no resistor que o de cima a corrente foi de 2 amperes. Portanto mantendo a tensão constante, a corrente flui em maior intensidade pelo resistor de menor resistência. Esta análise serve para consolidar o entendimento de resistência elétrica, quanto mais resistência, mais dificuldade pra corrente elétrica percorrer o componente.

Montando um circuito misto e analisando com as leis de Kirchhoff

- Após reiniciar a simulação, arraste uma bateria para a tela do simulador e configure para 24 volts.
- Crie um caminho pelo lado direito com um resistor de 10 ohms em série.
- Adicione um segundo caminho pela esquerda com dois resistores em paralelo, um de 10 ohms e o outro de 15 ohms.
- Feche o circuito conectando tudo corretamente com fios, conforme a figura 31:

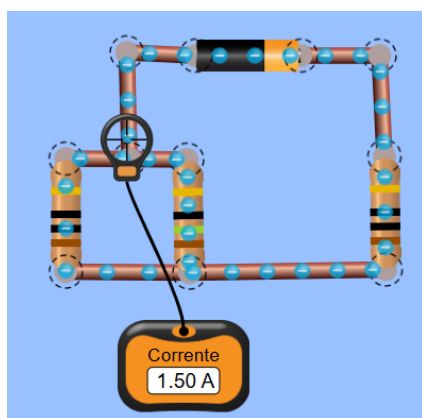
Figura 34 – Montagem de circuito misto



Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

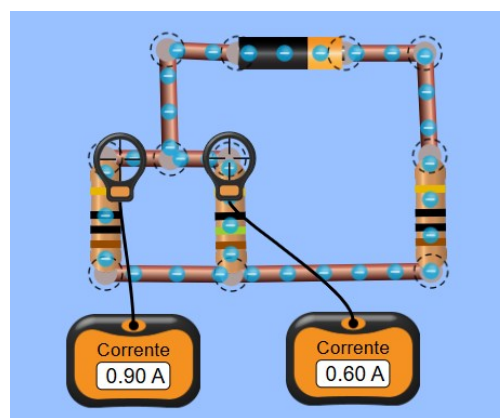
- Use o amperímetro para medir a corrente antes e depois de um nó, ponto de ramificação do circuito (Figuras 35a e 35b).

Figura 35a – Corrente na entrada do nó



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

Figura 35b – Correntes na saída do nó



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Compare os valores e veja que a soma das correntes que entram em um nó é igual à soma das que saem, que corresponde a Lei dos Nós. No experimento no simulador no nó entram 1,5 volts e saem 0,9 e 0,6 volts, correspondendo a Lei dos Nós, configurando conservação de cargas.
- Reflita sobre o que acontece se adicionarmos mais resistores em paralelo, a corrente total vai aumentar ou diminuir?

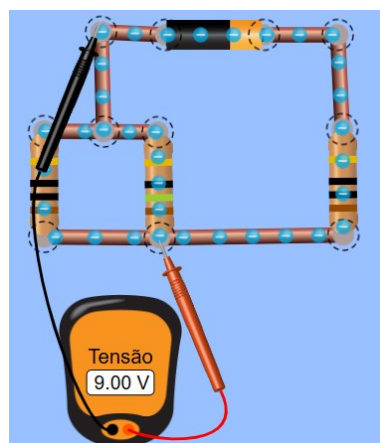
- Na sequência, vamos medir a tensão nas malhas para verificarmos a Lei das Malhas, de acordo com as Leis de Kirchhoff.
- Use o voltímetro para medir a tensão na malha que possui o resistor em série com o circuito (Figura 36a), anote o valor para posterior análise.
- Use o voltímetro para medir a tensão na malha que possui os resistores em paralelo (Figura 36b), anote o valor para posterior análise.

Figura 36a – Tensão no ramo em série



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

Figura 36b – Tensão na malha em paralelo



Disponível em:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_all.html?locale=pt_BR. Acesso em 13 mar. 2025

- Verifique-se que a soma das diferenças de potencial em qualquer malha fechada do circuito é sempre zero. No caso do experimento no simulador, a Tensão da fonte menos a tensão da malha em paralelo, menos a tensão da malha em série, que configura um circuito fechado, dá como resultado zero. Isso ocorre porque a energia fornecida pela bateria é totalmente distribuída pelos elementos do circuito, o que demonstra a Lei das Malhas e a conservação de energia.
- Responda o questionário a seguir:
 1- Qual é a principal diferença entre circuitos em série e em paralelo em relação ao comportamento da corrente e da tensão?

2- Como as Leis de Kirchhoff nos ajudam a analisar circuitos mais complexos que não podem ser resolvidos apenas com a Lei de Ohm?

3- Na sua opinião, qual foi a principal contribuição do simulador para a sua aprendizagem? Ele ajudou mais na visualização dos circuitos ou na realização dos cálculos?

SÉTIMA AULA: ANÁLISE PRÁTICA DO COMPORTAMENTO DE DISPOSITIVOS COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL

Nesta aula, exploraremos experimentalmente o comportamento de dispositivos com resistência variável, com foco em potenciômetros e resistores flexíveis. Esses componentes desempenham um papel essencial em circuitos eletrônicos, pois permitem o controle da tensão e da corrente elétrica sem a necessidade de alterar fisicamente o circuito. O potenciômetro, por exemplo, é amplamente utilizado para ajustar níveis de sinal, como em controles de volume de áudio, enquanto os resistores flexíveis são empregados como sensores capazes de detectar deformações mecânicas, tornando-se fundamentais em aplicações de controle e automação.

Para compreender melhor o funcionamento desses dispositivos, realizaremos medições utilizando multímetros, verificando como a resistência varia em resposta a diferentes estímulos. No caso do potenciômetro, analisaremos como a rotação de seu eixo altera a resistência entre seus terminais e, consequentemente, a divisão de tensão no circuito. Já no resistor flexível, observaremos como a resistência muda em resposta à flexão, permitindo converter um movimento mecânico em uma variação elétrica.

Assim, ao investigarmos o funcionamento dos potenciômetros e resistores flexíveis por meio de medições diretas e experimentação prática, buscamos favorecer uma aprendizagem que não seja apenas mecânica, mas sim significativa e crítica. O objetivo é compreendermos, não apenas como esses componentes funcionam, mas também por que e para que são utilizados, estabelecendo conexões entre os conceitos teóricos da eletricidade e suas aplicações tecnológicas. Dessa forma, essa aula não apenas reforça a Lei de Ohm e os princípios da resistência elétrica, mas também estimula a reflexão sobre o papel da Física em dispositivos interativos e sistemas automatizados.

OBJETIVOS

Compreender detalhadamente o funcionamento de dispositivos com resistência variável, como potenciômetros e resistores flexíveis, por meio de medições práticas em circuitos elétricos. Observar como esses componentes se comportam e influenciam a corrente e a tensão no circuito. Relacionar os conceitos teóricos com situações reais, reconhecendo suas aplicações na tecnologia e na automação. Desenvolver uma aprendizagem significativa e crítica, entendendo não apenas o funcionamento dos dispositivos, mas também sua utilidade prática no cotidiano e na inovação tecnológica.

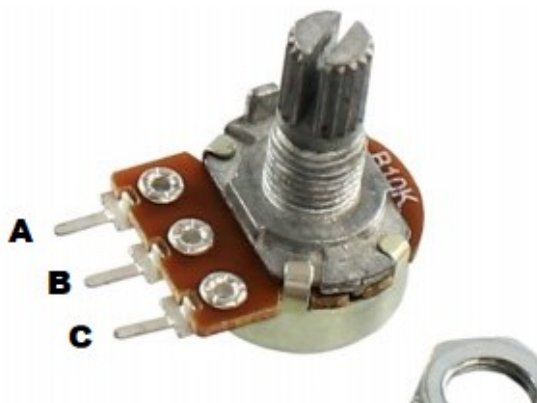
PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nosso objetivo é investigar experimentalmente o funcionamento de dispositivos com resistências variáveis, onde abordaremos o potenciômetro e em seguida o resistor flexível, para compreender suas aplicações como divisores de tensão.

ANÁLISE E MEDIÇÃO DO POTENCIÔMETRO

- Observe que o potenciômetro é um pequeno componente que pode ser girado, ou deslizado, dependendo do modelo. Este é um potenciômetro rotativo, na parte de cima, temos um eixo que podemos girar. Quando giramos esse eixo, a resistência dentro dele muda gradualmente. O corpo do potenciômetro pode ser de diferentes tamanhos e formatos, mas todos funcionam de maneira semelhante. Nesta aula vamos ver como utiliza-lo e como podemos medir essa mudança de resistência que acontece quando giramos o eixo.
- Identifique os três terminais do potenciômetro, o terminal do meio (B) é o cursor, que se move conforme o eixo gira, os terminais laterais (A, C) são os pontos fixos de resistência total, no caso deste potenciômetro utilizado $10k\Omega$ (Figura 37).

Figura 37 – Potenciômetro rotativo



Fonte: UsinaInfo (adaptado, 2025). Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2025.

- Vamos medir a resistência total do potenciômetro, este procedimento deve ser feito entre os dois terminais laterais com o multímetro na escala de resistência ($20k\Omega$).
- Posicione a ponteira vermelha do multímetro no terminal A e a ponteira preta do multímetro no terminal C.

- Em seguida Posicione a ponteira Preta do multímetro no terminal A e a ponteira Vermelha do multímetro no terminal C.
- Observe que se inverter as ponteiros não teremos problema porque a resistência elétrica não depende da polaridade, ou seja, a leitura no multímetro será a mesma independentemente da posição das ponteiros.
- Registre o valor na Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela para registros e análise no potenciômetro

Medições da resistência e tensão no potenciômetro			
Resistencia fixa do potenciômetro entre os terminais A e C ($k\Omega$)			
Tensão de entrada no potenciômetro entre os terminais A e C (V)			
Medições em diferentes posições de giro no sentido horário			
Giro Horário	Resistencia entre B e A ($k\Omega$)	Resistencia entre B e C ($k\Omega$)	Tensão entre B e C (V)
0%			
10%			
30%			
50%			
80%			
100%			

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Medição da Resistência do Cursor em Diferentes Posições

- Gire o eixo do potenciômetro totalmente em sentido anti-horário, até sentir que chegou ao seu limite.
- Conecte uma ponta do multímetro no terminal central (B) e a outra no terminal esquerdo (A), pressione bem a fim de não ter oscilações na medida (Figura 38). Espere estabilizar a indicação do multímetro e anote os resultados na Tabela 07.

Figura 38 – Medição da resistência variável do potenciômetro



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Repita o procedimento agora colocando a ponteira que estava no terminal esquerdo (A) no terminal direito (C) e anote o resultado.
- Gire o potenciômetro em sentido horário, conforme indicações a seguir, meça a resistência em cada uma delas, com uma das ponteiras sempre no terminal central (B) e a outra ponteira, primeiro no terminal esquerdo (A) e depois no terminal direito (C), para cada giro do eixo, em seguida faça as anotações na Tabela 07:
 - Giro de 10% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 30% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 50% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 80% → Meça e registre a resistência.
 - Giro de 100% → Meça e registre a resistência.
- Para finalizar esta etapa, analise a tabela e responda:

1- O que acontece com a resistência conforme o giro aumenta?

2- Em que ponto a resistência é aproximadamente a metade da resistência total?

Montagem do circuito com o potenciômetro como divisor de tensão

- Utilize novamente a Tabela 6, para fazer as anotações e posteriores análises.
- Ligue a fonte de tensão e regule a tensão para 10V.
- Utilize ponteiras com garras de jacaré, melhorando assim as medições.
- Gire o eixo do potenciômetro totalmente em sentido anti-horário, até sentir que chegou ao seu limite, se houver obstruções devido a fixação, ajuste a garra de jacaré para garantir que o eixo gire livremente.
- Conecte firmemente o cabo positivo (vermelho) da fonte no terminal lateral esquerdo (A) do potenciômetro.
- Do mesmo modo, conecte o cabo negativo (preto) da fonte no terminal lateral direito (C) do potenciômetro (Figura 39).

Figura 39 – Potenciômetro como divisor de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- O terminal central (B) será o ponto onde a tensão será medida, entre o terminal central (B) e o terminal lateral direito (C).
- Selecione a escala de tensão contínua (DC) no multímetro. Escolha uma faixa de medição adequada, como a fonte foi regulada para 10V, a faixa mais próxima que fará a medida corretamente será a de 20V.
- Coloque a garra vermelha do multímetro no terminal central(B) do potenciômetro, onde a tensão será medida.
- Coloque a garra preta do multímetro no terminal direito (C), ou seja, na conexão com o terminal negativo da fonte.
- Espere estabilizar a indicação do multímetro e anote o resultado na Tabela 08.
- Gire o potenciômetro em sentido horário, conforme indicações a seguir, meça a tensão no terminal central em cada uma delas, em seguida anote na Tabela 07, conforme o giro indicado.
 - Giro de 10% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 30% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 50% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 80% → Meça e registre a tensão.
 - Giro de 100% → Meça e registre a tensão.
- Perceba que o potenciômetro pode ser entendido como dois resistores em série, dividindo a tensão de entrada. Com o terminal central (B) atuando como o ponto de

divisão entre eles. Conforme o eixo do potenciômetro é ajustado, a posição do cursor muda a proporção dos resistores em cada lado.

- Identifique a equação do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

- Onde V_{out} é a tensão no cursor, V_{in} é a tensão da fonte, e R_1 e R_2 são as resistências do potenciômetro conforme sua posição.
- A Lei das Tensões de Kirchhoff afirma que a soma das tensões ao longo de um circuito fechado é zero. No caso do potenciômetro, temos uma tensão de entrada fornecida pela fonte, que se distribui entre os dois resistores em série (os dois lados do potenciômetro). Quando medimos a tensão no terminal central, estamos observando a tensão dividida de acordo com a posição do cursor, ou seja, a tensão na parte esquerda do potenciômetro.
- Divisão de Tensão: como o potenciômetro é composto por dois resistores em série, a tensão total fornecida pela fonte se divide proporcionalmente entre os dois resistores. A fórmula da divisão de tensão para este caso é dada por:

$$V_{central} = V_{in} \times \frac{R_{lado}}{R_{total}}$$

- Onde: $V_{central}$ é a tensão medida no terminal central (B), V_{in} é a tensão de entrada, R_{lado} é o valor do resistor correspondente a um dos lados do potenciômetro (dependente da posição do cursor), R_{total} é a resistência total do potenciômetro (Entre A e C).
- A posição do cursor altera R_{lado} , o que muda a proporção da tensão que aparece no terminal central (B).
- Em suma, conforme se ajusta o potenciômetro, perceba que a tensão medida no terminal central varia. Isso ocorre porque a posição do cursor altera a resistência de um dos lados, dividindo a tensão de entrada de forma diferente, como prevê a Lei das Tensões de Kirchhoff.
- Analise a tabela, compare os valores medidos com a fração da tensão total e responda:
1- Em 50% do giro, a tensão no cursor é metade da tensão da fonte?

2- Como a tensão varia em relação à posição do eixo?

3- Como você acha que a tensão varia em função da resistência para cada posição de giro do eixo?

4- Em que situações seria mais vantajoso usar um potenciômetro em vez de resistores fixos?

5- Como o potenciômetro pode ser usado na construção da luva controladora que vamos desenvolver para controlar a garra robótica?

ANÁLISE E MEDIÇÃO DO RESISTOR FLEXÍVEL

- Analise o resistor flexível apresentado pelo professor. Exemplo na Figura 40.

Figura 40 – Resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

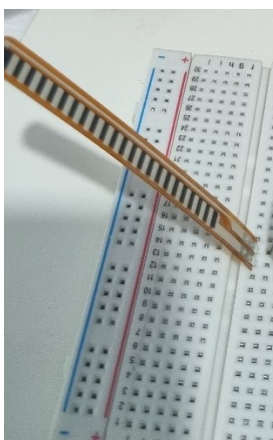
- Perceba que o resistor flexível é um componente eletrônico com uma característica bastante interessante, ele é flexível e pode ser curvado, alterando a sua resistência, sem perder suas propriedades de resistência linear (ôhmica), assim como no giro do

potenciômetro, analisando anteriormente. Esse tipo de resistor é especialmente útil em aplicações que exigem flexibilidade, como no caso da construção da luva controladora que iremos desenvolver.

Medição da resistência do resistor flexível

- Conecte os terminais do resistor flexível a uma placa protoboard, a fim de facilitar as medições que serão realizadas a seguir (Figura 41).

Figura 41 – Resistor flexível na protoboard



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Conecte fios jumper na mesma linha de conexão da protoboard, em cada pino do sensor e conecte nas ponteiros pretas e vermelhas do multímetro (utilizar ponteiros com terminais de garras jacaré).
- Ajuste o multímetro para a medição de resistência (Ω), como o resistor flexível utilizado tem resistência média de $13\text{ k}\Omega$, ajuste o multímetro para a escala de $20\text{ k}\Omega$.
- Primeira medição, sem flexão (Posição Natural): observe a resistência do resistor flexível sem qualquer flexão. Observe o valor no multímetro após sua estabilização e anote na Tabela 7:

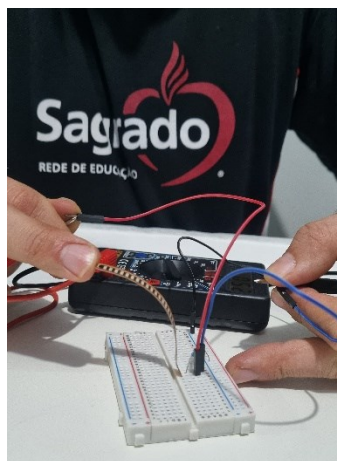
Tabela 7 – Tabela para registros e análise no resistor flexível

Medições da resistência e tensão e cálculos no resistor flexível			
Resistencia fixa do potenciômetro entre os terminais A e C (kΩ)			
Tensão de entrada no potenciômetro entre os terminais A e C (V)			
Medições em diferentes posições de flexão			
Flexão do resistor	Resistencia entre os terminais (somente resistor flexível) (kΩ)	Tensão entre os terminais B e C do divisor (V)	Cálculo da tensão de saída do divisor (V)
Posição Natural			
Leve flexão			
Flexão moderada			
Flexão máxima			

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Para as medições subsequentes, registre cuidadosamente as posições utilizadas em cada sequência, pois será necessário reproduzi-las de forma idêntica em medições posteriores.
- Segunda medição, leve flexão: flexione o resistor levemente e observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Terceira medição – flexão moderada (curvatura média): flexione o resistor mais intensamente, mas ainda sem chegar à curvatura máxima que terá na luva (Figura 42). Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.

Figura 42 – Curvatura moderada do resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Quarta medição, flexão máxima (curvatura máxima na luva): flexione o resistor até o ponto máximo. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.

- Finalize esta etapa respondendo o questionário:

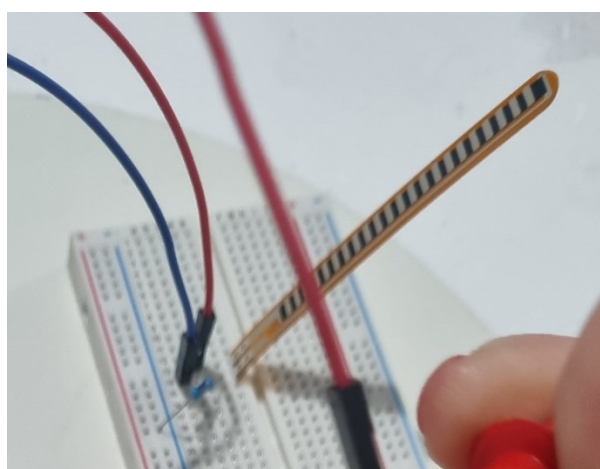
1- O que aconteceu com a resistência à medida que o resistor foi sendo flexionado?

2- Como o experimento observado se relaciona com o potenciômetro analisado anteriormente?

Montagem do circuito com o resistor flexível como divisor de tensão

- Conecte o resistor flexível em série com um resistor fixo de 10 k Ω , formando um divisor de tensão (Figura 43).

Figura 43 – Resistor de 10 k Ω em série com o resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Ligue a fonte de tensão e regule a tensão para 5 V.
- Conecte o terminal A do resistor flexível ao terminal positivo (+5 V) da fonte.
- Observe na Figura 46, que o terminal B do resistor flexível está ligado a um dos terminais do resistor fixo.
- Conecte a outra extremidade do resistor fixo (denominada Terminal C) ao terminal negativo da fonte.
- Perceba que o circuito agora forma um divisor de tensão, semelhante ao do potenciômetro. No caso do potenciômetro a soma sempre foi R_{total} , aqui a soma sempre

aumenta sem alterar o resistor lateral, por tanto o divisor na expressão sempre muda, onde a tensão medida no Terminal B (a junção entre o resistor flexível e o resistor fixo) dependerá da resistência variável do resistor flexível.

- Ajuste o multímetro para a escala de tensão contínua (DC), garantindo que a faixa seja compatível com 5 V (no caso do multímetro utilizado será a escala de 20 V).
- Conecte a ponteira vermelha (positiva) do multímetro no ponto de junção do resistor flexível com o resistor fixo (Terminal B).
- Conecte a ponteira preta (negativa) do multímetro ao ponto que denominamos terminal C (parte do resistor fixo conectado ao negativo da fonte).
- Primeira medição, sem flexão (Posição Natural): com o resistor flexível em sua posição natural, registre o valor observado no multímetro, após sua estabilização, e anote na Tabela 7, em seu respectivo local.
- Para as próximas medições, deve-se ter o cuidado para que cada posição seja mais fiel possível as posições aplicadas na medição da resistência, para que a análise final não tenha muitas distorções, entre o observado e os cálculos.
- Segunda medição, leve flexão: flexione o resistor levemente e observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Terceira medição – flexão moderada (curvatura média): flexione o resistor mais intensamente, mas ainda sem chegar à curvatura máxima. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.
- Quarta medição, flexão máxima (curvatura máxima): flexione o resistor até o ponto máximo. Observe novamente o valor no multímetro, assim que estabilizar a leitura anote o resultado.

Cálculo da Tensão Esperada

- Ao variar a resistência do resistor flexível, a corrente no circuito também varia, e isso influencia a tensão medida no ponto de saída. Conforme previsto pela Lei de Ohm, considerando que o resistor flexível e o resistor fixo tenham comportamentos Ôhmicos, podemos aplicar a relação estabelecida pela lei de Ohm e as leis de Kirchhof, para prever o comportamento da tensão que conforme a flexão do resistor flexível.
- Use a resistência medida para calcular a tensão esperada em diferentes condições de flexão utilizando a fórmula do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_{flexível}}{R_{flexível} + R_{fixo}}$$

- Onde V_{out} é a tensão medida no resistor flexível, V_{in} é a tensão fornecida pela fonte, $R_{flexível}$ é a resistência do resistor flexível e R_{fixo} é a resistência do resistor fixo.
- Calcule a tensão para cada flexão da luva e anote na Tabela 08.
- Compare os valores calculados com as medições reais da tensão para verificar a precisão da Lei de Ohm em diferentes condições de flexão.
- Para finalizar e refletir, responda o questionário:

1- Como poderemos utilizar o resistor flexível para fazer os movimentos de abrir e fechar da mão de uma pessoa, serem transmitidos para movimentos similares de abrir e fechar em uma garra robótica?

OITAVA AULA: MONTAGEM DA LUVA CONTROLADORA COM RESISTOR FLEXÍVEL

Nesta aula iremos desenvolver a luva controladora, capaz de transmitir o movimento de abrir e fechar a mão de uma pessoa para movimentos semelhantes em uma garra robótica. A luva será equipada com um resistor flexível, projetado para identificar os movimentos de abertura e fechamento dos dedos. Esse controlador, por sua vez, realizará a leitura do sensor integrado à luva e transmitirá os dados resultantes para os servos motores da garra robótica, possibilitando assim a reprodução dos movimentos da mão do operador.

Em seguida criaremos dois códigos, o primeiro testará a leitura feita pela porta do Arduino quando a mão estiver totalmente aberta e totalmente fechada. O segundo irá converter estes valores para valores que serão enviados para o servo motor da garra robótica, que será desenvolvida na próxima etapa.

A construção e a utilização da luva controladora proporcionarão uma abordagem prática e experimental dos conceitos explorados até o momento, especialmente a Lei de Ohm. Esses princípios possibilitam não apenas a compreensão teórica, mas também a prática durante a programação da luva, permitindo a previsão dos movimentos com base na variação da resistência elétrica, que ocorre ao flexionar o resistor flexível durante os gestos de abrir e fechar a mão.

OBJETIVOS

Integrar teoria e prática através da combinação dos conceitos de física (Lei de Ohm) e robótica (controle de servo motor), proporcionando uma experiência de aprendizagem significativa e crítica. Compreender de forma tangível o funcionamento do resistor flexível. Aplicar o conceito de divisor de tensão. Estimular o raciocínio lógico e a resolução de problemas durante a montagem, programação e testes.

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

- Iniciaremos a fase central de nosso projeto educacional, que busca dar significado a aprendizagem da Lei de Ohm, durante o desenvolvimento da luva controladora equipada com um resistor flexível.

Montagem do resistor flexível na luva

- Utilizaremos uma luva de tecido e borracha, que proporciona durabilidade à luva controladora desenvolvida e ao mesmo tempo boa mobilidade para a execução dos movimentos (Figura 44).

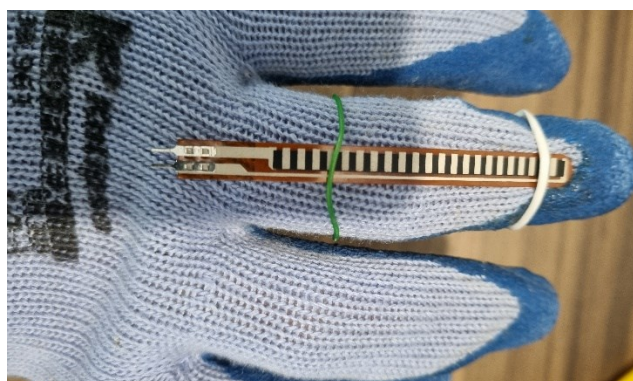
Figura 44 – Luva utilizada no projeto



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione o resistor flexível sobre a parte superior do dedo médio da luva, garantindo que ele fique bem alinhado para captar corretamente os movimentos de abrir e fechar a mão.
- Utilize o fio sólido para amarrar e fixar firmemente o resistor no dedo médio (Figura 45). Garanta que ele se flexione corretamente com o movimento da mão. Evite deixar o resistor muito apertado ou frouxo, pois isso pode interferir na captação do movimento.

Figura 45 – Fixação do resistor flexível na luva



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Vista a luva e teste a fixação movendo os dedos (abrindo e fechando a mão), para assegurar que o resistor flexível não se solte e que responde corretamente à movimentação da mão.
- Garanta que os pontos de conexão do resistor fiquem acessíveis para soldagem dos fios.
- Corte dois fios de aproximadamente 50 cm para a conexão entre a luva e a placa protoboard, que se conectará ao Arduino, garantindo uma extensão com comprimento

suficiente para movimentação confortável da mão durante a manipulação da garra robótica.

- Desencape aproximadamente 5 mm das extremidades dos fios para facilitar a soldagem.
- Corte um cabo jumper ao meio e conecte nos terminais do resistor garantindo um contato firme e seguro (Figura 46).

Figura 46 – Conexão com o resistor flexível



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Solde o lado cortado do cabo jumper nas extremidades do fio extensor.
- Utilize fita isolante para cobrir as conexões soldadas, prevenindo curto-circuito e protegendo contra desgaste durante os movimentos.
- Enrole fita isolante a cada 10 cm ao longo dos fios para mantê-los organizados, garantindo um acabamento visual mais limpo e permitindo maior fluidez nos movimentos da luva controladora (Figura 47).

Figura 47 – Organização da extensão de fios com fita isolante



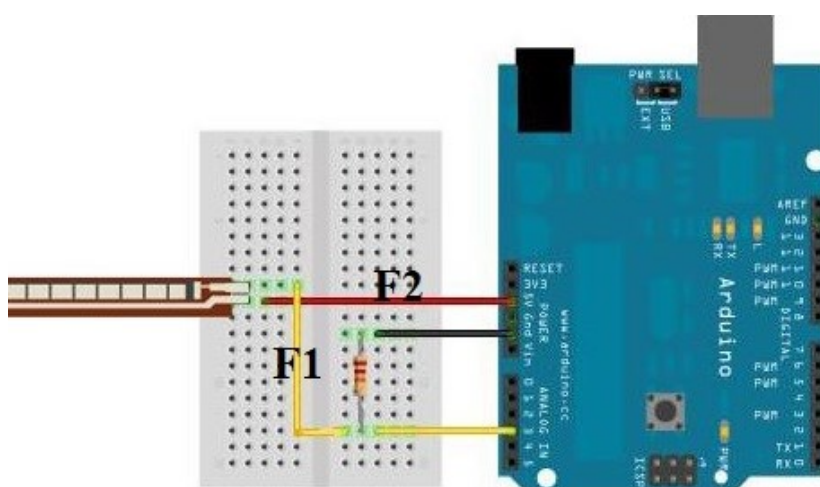
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Corte outro cabo jumper ao meio e solde cada parte nas extremidades dos fios provenientes da luva (resistor flexível). Isso permitirá uma conexão mais prática e segura à protoboard

Montagem do divisor de tensão na protoboard

- Escolha uma linha da protoboard para ser a linha de 5V e outra para GND.
- O primeiro fio do resistor flexível (vindo da luva), que denominaremos F1, deve ser conectado a uma linha livre da protoboard (Figura 48).

Figura 48 – Esquema elétrico do divisor de tensão no simulador Tinkercad.



Fonte: Adaptado de AUTODESK (2025).

- O segundo fio do resistor flexível (vindo da luva), que denominaremos F2, deve ser conectado à linha de 5V da protoboard (Figura 48).
- Conforme a Figura 48, adicione o resistor fixo ($10k\Omega$), conecte um dos terminais do resistor na mesma fileira onde está o primeiro fio do resistor flexível (F1).
- O outro terminal do resistor fixo deve ser conectado à linha de GND da protoboard.
- No ponto onde o resistor flexível e o resistor fixo se encontram (junção dos dois na protoboard), conecte um jumper e ligue-o ao pino A3 do Arduino (Figura 48).
- Ligue a linha 5V da protoboard ao pino 5V do Arduino.
- Ligue a linha GND da protoboard ao pino GND do Arduino.

Funcionamento do circuito conforme a Lei de Ohm e leis de Kirchoff

- Relembre que o resistor flexível altera sua resistência conforme a mão se abre e fecha. Para que o Arduino possa verificar essas variações, precisamos converter essa

resistência variável em uma variação de voltagem. Isso é feito com um divisor de tensão, conforme estudado em aulas anteriores, que foi feito com o resistor fixo e o resistor flexível.

- A tensão de saída (V_{out}) que seguirá para a porta analógica do Arduino será determinada pela fórmula do divisor de tensão:

$$V_{out} = V_{cc} \times \frac{R_{flex}}{R_{flex} + R_{fixo}}$$

- Perceba que V_{cc} é a tensão de alimentação do Arduino (5V), R_{flex} é o resistor flexível, cuja resistência muda conforme a mão abre e fecha a luva, R_{fixo} é o resistor de $10k\Omega$ adicionado ao circuito e V_{out} será a tensão enviada para o pino analógico A3 do Arduino.

Testando a luva controladora e as respostas do Arduino ao abrir e fechar a mão

Antes de criar um código que transforme o movimento de abrir e fechar da mão na luva para um movimento similar na garra robótica (servo motor), vamos testar a leitura diretamente no monitor serial do programa do Arduino (Arduino IDE). Isso ajuda a determinar os valores máximos e mínimos que o divisor de tensão vai gerar e ser interpretado pela porta do Arduino, assim poderemos ajustar adequadamente os limites de abrir e fechar da mão para os movimentos do servo motor da garra robótica.

- Conecte o Arduino ao computador ou notebook utilizando o cabo USB.
- Abra o Arduino IDE em seu computador.
- Abra um novo sketch no Arduino IDE e cole o seguinte código:

```
int pinoResistor = A3; // Pino analógico onde o divisor de tensão está conectado
int valorLido;        // Variável para armazenar o valor lido do divisor de tensão
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicializa o monitor serial a 9600 bps
}
```

```
void loop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor); // Lê o valor analógico do divisor de tensão
  Serial.println(valorLido);           // Exibe o valor no monitor serial
}
```

```
delay(200);           // Aguarda 200ms antes de ler novamente
}
```

- Selecione a porta serial correta em Ferramentas (Porta no Arduino IDE).
- Clique em Upload para carregar o código no Arduino.
- Abra o Monitor Serial em Ferramentas (Monitor Serial ou pressionando Ctrl + Shift + M).
- Com o monitor serial aberto, abra e feche a mão na luva controladora.
- Observe os valores que são exibidos no monitor serial. Eles vão variar de acordo com a flexão do dedo, refletindo a mudança na tensão do divisor de tensão.
- Com base nos valores exibidos no monitor serial, você pode ver qual é o valor mínimo e o máximo que o Arduino está lendo quando o resistor flexível está em sua posição mais aberta e mais fechada.
 - Valor mínimo: O valor do divisor de tensão quando a mão está aberta (resistência baixa).
 - Valor máximo: O valor do divisor de tensão quando a mão está fechada ao máximo (resistência alta).
- Anote o valor lido quando a mão estiver totalmente aberta e o valor quando a mão estiver totalmente fechada.

Criando o código que converterá o movimento da mão no movimento da garra

- Com os valores de leitura mínima e máxima em mãos, vamos criar um código que converterá os movimentos de abrir e fechar da mão para ângulos de giro do servo motor, que, na garra robótica replicará os movimentos de abrir e fechar.
- Nos testes encontramos os valores de leitura mínimo 200 e o máximo de 800, então colocamos estes valores no mapeamento.
- Abra um novo sketch no Arduino IDE e cole o seguinte código:

```
int pinoResistor = A3;    // Pino analógico onde o divisor de tensão está conectado
int valorLido;           // Variável para armazenar o valor lido do divisor de tensão
int angulo;              // Variável para armazenar o ângulo do servo motor

void setup() {
  Serial.begin(9600);     // Inicializa o monitor serial a 9600 bps
}
```

```

voidloop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor);      // Lê o valor analógico do divisor de tensão
  angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 180); // Mapeia o valor lido para um intervalo de 0 a
  180 (valores que encontramos anteriormente).
  angulo = constrain(angulo, 0, 180);        // Garante que o ângulo está dentro dos limites de
  0 a 180
  Serial.println(angulo);                    // Exibe o ângulo no monitor serial
  delay(200);                               // Aguarda 200ms antes de ler novamente
}

```

- Carregue o código no Arduino como feito anteriormente.
- Abra o Monitor Serial em Ferramentas (Monitor Serial ou pressionando Ctrl + Shift + M).
- Com o monitor serial aberto, movimente a mão na luva controladora.
- Observe os valores que são exibidos no monitor serial. Eles vão variar de acordo com o movimento de abrir e fechar a mão., refletindo a mudança na tensão do divisor de tensão.
- Se necessário, ajuste novamente os valores de 200 e 800 para garantir que quando forem convertidos para movimentos da garra robótica, ocorram de forma correta.

NONA AULA: CONSTRUÇÃO DA GARRA ROBÓTICA DIDÁTICA

Nesta aula, iremos construir a garra robótica didática que será controlada pela luva desenvolvida na aula anterior do projeto. Essa atividade permite a aplicação prática dos conceitos estudados, reforçando a compreensão da Lei de Ohm e da relação entre resistência, tensão e corrente. Ao integrar teoria e prática, a proposta favorece a construção ativa do conhecimento, permitindo que os alunos estabeleçam conexões entre os princípios físicos e suas aplicações tecnológicas. Além disso, essa abordagem incentiva a reflexão crítica sobre os conceitos envolvidos, estimulando a autonomia intelectual e a compreensão significativa dos fenômenos estudados.

A garra será acionada por um servo motor, cuja movimentação dependerá da variação de resistência no sensor flexível da luva. Quando a mão do usuário se fecha ou se abre, o sensor flexível sofre uma deformação mecânica que altera sua resistência elétrica. Essa variação é interpretada e utilizada para ajustar o ângulo do servo motor, permitindo que a garra reproduza o movimento da mão de forma sincronizada. Esse processo evidencia a conversão entre grandezas físicas, demonstrando como um sinal elétrico gerado por uma variação mecânica pode ser utilizado para controlar um sistema mecânico. Além disso, permite explorar conceitos como a relação entre tensão, corrente e resistência elétrica na prática.

OBJETIVOS

Aplicar, na prática, a Lei de Ohm, observando como a variação da resistência elétrica pode ser utilizada para controlar um sistema mecânico. Construir uma garra robótica didática para compreender, de forma experimental, o funcionamento da Lei de Ohm em circuitos elétricos, sensores e acionamento de motores, relacionando teoria e prática. Desenvolver o raciocínio crítico e a criatividade, explorando o uso de tecnologias presentes na luva controladora e na garra robótica.

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Montagem da base para a garra robótica

- Posicione a tampa de plástico com a borda sobressaliente para cima e fixe dois blocos de madeira um sobre o outro, utilizando cola quente, posicionando-os próximos a uma das extremidades da tampa de plástico (Figura 49)

Figura 49 – Suporte da garra de palitos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Aplique cola quente na base do servo motor e fixe-o firmemente no suporte Pan Tilt, garantindo que fique bem alinhado e estável (Figura 50a e Figura 50b)

Figura 50a – Fixação do servo motor no suporte Pan Tilt



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 50b – Vista inferior do servo motor no suporte



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Fixe o suporte Pan Tilt no bloco de madeira previamente colado à base, certifique-se de posicioná-lo de modo que as saídas dos fios do servo motor estejam orientadas para a extremidade mais próxima, facilitando a organização e conexão dos cabos (Figura 51).

Figura 51 – Fixação do suporte com servo motor na estrutura da base



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montagem do dedo fixo da garra robótica

- Corte dois palitos de picolé, com 10 cm de comprimento cada.
- Corte um palito de picolé com 5 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.
- Posicione um dos palitos de 10 cm sobre a mesa, deixando a extremidade arredondada voltada para cima. Em seguida, fixe o palito de 5 cm sobre essa extremidade, inclinándolo em um ângulo de aproximadamente 40 graus em relação ao lado superior esquerdo. Utilize cola quente (Figura 52).

Figura 52 – Montagem do dedo fixo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Posicione o outro palito de 10 cm, também com a parte arredondada volta para cima, exatamente sobreposto ao palito de 5 cm e paralelo ao palito de 10 cm (Figura 53) que servirá de reforço pra o dedo fixo.

Figura 53 – Reforço do dedo fixo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Cole o dedo fixo no suporte pan tilt, alinhando sua extremidade reta com o lado direito do suporte. Utilize cola quente certificando-se de que o posicionamento esteja correto conforme ilustrado na Figura 54a e Figura 54b.

Figura 54a – Fixação do dedo fixo ao suporte do servo motor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 54b – Detalhe da fixação do dedo fixo



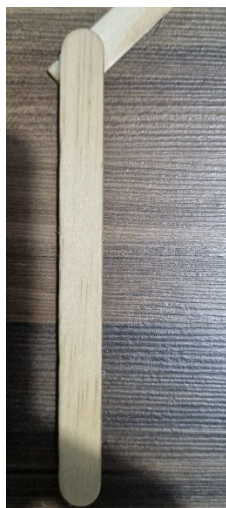
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Montagem do dedo móvel da garra robótica

- Corte um palito de picolé com 5 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.
- Corte outro palito de picolé com 3 cm de comprimento, removendo as extremidades arredondadas para que fique com as pontas retas.

- Posicione um palito de picolé original (com as duas pontas arredondadas) de 11 cm sobre a mesa. Em seguida, fixe o palito de 5 cm, sobre essa extremidade, inclinando-o em um ângulo de aproximadamente 40 graus em relação ao lado superior direito utilizando cola quente. (Figura 55).

Figura 55 – Montagem do dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Cole o palito de 3 cm na extremidade do dedo móvel, posicionando-o perpendicularmente ao palito de 5 cm. Utilize cola quente e certifique-se de que o alinhamento esteja correto, conforme ilustrado na Figura 56.

Figura 56 – Extremidade do dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Fixe a engrenagem que será conectada ao servo motor (inclusa no kit do servo motor 9g) na parte inferior do dedo móvel, garantindo que fique paralela a ele (Figura 57).

Figura 57 – Fixação da engrenagem no dedo móvel



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Fixação do dedo móvel no servo motor

Agora procederemos com a conexão do dedo móvel à engrenagem do servo motor. Antes de fixá-lo, é essencial garantir que o servo motor esteja posicionado em seu limite máximo no sentido horário seguindo as instruções:

- Utilize uma das engrenagens auxiliares fornecidas no kit do servo motor e acople-a ao eixo para girá-lo cuidadosamente no sentido horário até encontrar resistência, indicando que o motor atingiu seu limite máximo. É fundamental realizar esse procedimento com delicadeza para evitar danos às engrenagens internas do motor.
- Com o servo nessa posição, encaixe o dedo móvel na engrenagem do servo motor, que está fixada ao suporte, utilizando a engrenagem previamente colada ao dedo como ponto de conexão. Tome cuidado para que o dedo móvel não tenha seu movimento comprometido devido a colisão com o dedo fixo no ponto de rotação. O encaixe deve formar uma estrutura semelhante a uma pinça (alicate) junto ao dedo fixo, possibilitando a abertura e o fechamento da garra de maneira eficiente (Figura 58).

Figura 58 – Encaixe do dedo móvel no servo motor



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Com a finalização da montagem da garra robótica de palitos, na próxima aula poderemos visualizar de forma prática como a variação da resistência elétrica no sensor flexível da luva controladora pode ser convertida em um movimento mecânico. Ao acionar o servo motor, a mudança na resistência altera o ângulo da garra, permitindo que ela abra e feche em sincronia com a mão do usuário.

DÉCIMA AULA: APRENDENDO A LEI DE OHM NA PRÁTICA, DA EXPERIMENTAÇÃO E TEORIA AO CONTROLE DA GARRA ROBÓTICA

Nesta aula, vamos criar o código responsável por converter os movimentos da luva controladora em movimentos similares na garra robótica. Utilizando os conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores, programaremos o Arduino para interpretar os valores lidos pelo divisor de tensão instalado na protoboard e transferi-los ao servo motor, que movimentará a garra robótica.

OBJETIVOS

Os objetivos desta aula são de implementar o código de controle que transforma os movimentos da luva controladora nos movimentos da garra robótica. Relacionar os conceitos de variação de resistência elétrica e controle de movimento em sistemas robóticos. Ajustar a resposta da garra com base nos testes de leitura dos valores de tensão. Explorar aplicações reais dos conceitos físicos explorados, principalmente a Lei de Ohm. Finalizar a sequência didática com discussão e exemplos reais de sua aplicação.

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

- Relembre que o resistor flexível instalado na luva altera sua resistência conforme a mão se abre e fecha. O divisor de tensão transforma essa variação de resistência em uma variação de tensão, que é lida pelo Arduino na entrada analógica e esses valores serão mapeados para controlar o movimento do servo motor da garra robótica.

Conexão do Servo Motor na Protoboard

Agora que já configuramos o divisor de tensão na protoboard (Aula 8) é hora de integrar o servo motor ao circuito para que ele possa reproduzir os movimentos controlados pela luva.

- Identifique os Pinos do Servo Motor: O servo motor possui três fios principais:
 - VCC (vermelho): Este fio é responsável pela alimentação de 5V.
 - GND (preto ou marrom): Este fio é responsável pelo aterramento (GND).
 - Sinal (amarelo ou laranja): Este fio é utilizado para enviar o sinal de controle (o ângulo) para o servo motor, que será enviado pelo pino de controle do Arduino.
- Conecte o fio VCC (vermelho) do servo motor à linha de 5V da protoboard.
- Conecte o fio GND (preto ou marrom) do servo motor à linha de GND da protoboard.

- Conecte o fio Sinal (amarelo ou laranja) do servo motor ao pino de controle do Arduino, usaremos pino digital 9. Para isso, use um cabo jumper para fazer essa conexão entre o pino digital do Arduino e o fio amarelo ou laranja do servo motor

Criação do código para controle da garra

- Abra o Arduino IDE e crie um novo sketch
- Utilize o código base da Aula 8 para leitura do resistor flexível.
- Agora, integre o controle do servo motor, conforme o exemplo abaixo:

```
#include <Servo.h>

int pinoResistor = A3; // Pino analógico do divisor de tensão
int valorLido;        // Variável para armazenar o valor lido
int angulo;           // Variável para armazenar o ângulo do servo motor
Servo garra;          // Objeto servo motor

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  garra.attach(9); // Pino do servo motor
}

void loop() {
  valorLido = analogRead(pinoResistor); // Lê o valor do resistor flexível
  angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 90); // Mapeia o valor para o servo motor
  angulo = constrain(angulo, 0, 90); // Garante que o ângulo está entre 0 e 90
  garra.write(angulo); // Move o servo motor
  Serial.println(angulo); // Exibe o ângulo no monitor serial
  delay(200);
}
```

- Carregue o código no Arduino e verifique a comunicação entre a luva e o servo motor.
- Teste abrindo e fechando a mão para observar se o servo motor acompanha o movimento corretamente.

Ajuste do Controle do Servo Motor (Limitação de Ângulo)

Antes de avançar para os testes práticos, é importante ajustar o controle do servo motor para garantir que a garra de palitos não seja danificada durante os movimentos. O servo

motor possui uma faixa de movimento de 0 a 180 graus, mas, para garantir a segurança do projeto, vamos limitar a abertura da garra a cerca de 50 graus no máximo.

- Identifique os Limites: No código criado anteriormente, o valor do ângulo é mapeado entre 200 e 800. Para limitar a abertura da garra a 50 graus, é necessário ajustar os valores de mapeamento no código.
- Modifique o mapeamento do código para que o valor de leitura do resistor flexível (quando a mão estiver totalmente aberta) não ultrapasse o valor que corresponderia ao ângulo máximo de 50 graus. Para isso, altere a linha onde o valor do ângulo é mapeado. O mapeamento pode ser ajustado da seguinte forma:
`angulo = map(valorLido, 200, 800, 0, 50); // Limita a abertura da garra a 50 graus`
- Teste agora os movimentos para verificar se a posição da garra aberta é segura para a estrutura (Figura 59).

Figura 59 – Teste da abertura da garra



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

- Nos testes seguintes, se necessário, ajuste novamente, conforme as instruções, para obter o melhor desempenho da luva controladora e da garra robótica

Testes práticos com a luva controladora e a garra robótica

Teste 1: segurando objetos simples

- Pegue um objeto leve (ex: esponja) e tente segurá-lo fechando e abrindo a mão na luva.

Teste 2: teste de força da garra

- Segure um copo plástico vazio até amassá-lo e depois tente soltá-lo gradualmente.

Teste 3: teste de reflexo com a garra

- Coloque a garra em uma posição inicial aberta (50 graus).
- Solte uma bola de papel amassado (de preferência grande) e tente pegar o objeto caindo usando o movimento de abertura e fechamento da garra.

Teste 4: teste com objetos pequenos

- Coloque a garra em sua posição inicial aberta (50 graus).
- Coloque uma moeda próxima a garra e tente segurá-la com os movimentos controlados pela luva.

Teste 5: teste com objetos oscilantes

- Coloque uma bolinha de papel presa em um fio ou corda
- Comece a balançar o objeto de forma suave, na frente da garra, criando um movimento oscilante e imprevisível (como um pêndulo).
- Com a luva controladora, movimente os dedos para tentar pegar o objeto enquanto ele balança de um lado para o outro.
- Discuta com os colegas sobre suas observações e dificuldades durante os testes, identificando possíveis ajustes para otimizar o funcionamento.

DISCUÇÃO FINAL SOBRE A LEI DE OHM NO PROJETO DA LUVA CONTROLADORA

- Participe da recapitulação da experiência com a luva e a garra robótica:
- Compartilhe com a turma:
 - Como foi usar a luva controladora?
 - O que você achou da interação com a garra robótica?
- Lembre-se dos componentes principais: Resistor flexível; Divisor de tensão; Arduino; Servo motor
- Perceba que o resistor flexível foi o sensor que converteu o movimento da mão em sinal elétrico para controlar a garra.
- Reflita sobre o que é um resistor ôhmico: Um resistor é ôhmico se obedecer à Lei de Ohm: $V = R \times I$. Isso significa que a corrente aumenta proporcionalmente à tensão, se a resistência for constante.

- Relembre como identificar um comportamento ôhmico: O gráfico de tensão (V) versus corrente (I) deve ser uma reta que passa pela origem. Observe como o gráfico do resistor flexível pode ser usado para descobrir se ele é ou não ôhmico.
- Compare com outros tipos de componentes não ôhmicos, como diodos, que não obedecem à Lei de Ohm da mesma forma.
- Reflita junto com a turma como a Lei de Ohm foi essencial para entender e controlar o projeto da luva, pense em como esse conhecimento pode ser aplicado em outros projetos de robótica e tecnologia.
- Discuta com os colegas e o professor sobre outros exemplos de aplicação da Lei de Ohm na tecnologia moderna: Sensores resistivos em roupas inteligentes; carregadores rápidos de celular; eletrônica de veículos elétricos; Circuitos de computadores e smartphones; dispositivos biomédicos (como medidores de sinais vitais); dentre outros.

FINALIZAÇÃO E FEED BACK

Chegamos à última etapa do nosso projeto, e é hora de refletirmos sobre todo o percurso que percorremos até aqui. Desde a introdução aos conceitos básicos da Lei de Ohm até a montagem final da garra robótica controlada pela luva, cada passo foi cuidadosamente planejado para proporcionar uma experiência de aprendizado significativa e prática. O objetivo central sempre foi aprender sobre a Lei de Ohm de forma tangível e interativa, utilizando a construção de uma luva controladora equipada com um resistor flexível, que transmite os movimentos de abrir e fechar da mão para a garra robótica com servo motor.

Ao longo do projeto, vimos como os conceitos da lei de Ohm embasam o entendimento acerca de resistência, tensão e corrente elétrica, ancorando, juntamente com as leis de Kirchhoff, a compreensão de circuitos mais complexos, como os divisores de tensão. Tudo isso no contexto de uma experiência prática, tornando a teoria não apenas compreensível, mas também relevante para o cotidiano.

Para encerrar, expresse suas impressões sobre o projeto, destacando suas percepções sobre o aprendizado da Lei de Ohm, respondendo ao questionário final:

Feedback final:

1- Como a experiência de construir a luva controladora e trabalhar com o resistor flexível ajudou você a entender de forma mais clara a Lei de Ohm na prática?

2- De que maneira o processo de aplicar a Lei de Ohm no controle da garra robótica modificou sua percepção sobre a relação entre teoria e prática na física? Você conseguiu identificar pontos de conexão entre o conteúdo aprendido e o mundo real?

3- Em que medida o trabalho com o divisor de tensão e os testes realizados com o servo motor e a garra robótica permitiram que você visse a Lei de Ohm como mais do que uma equação matemática?

4- Como a abordagem prática do projeto, que envolveu a construção da luva controladora e da garra robótica, contribuiu para a construção de um entendimento mais profundo da Lei de Ohm em comparação com o estudo teórico tradicional?

5- Como o projeto permitiu que você não apenas aprendesse a Lei de Ohm, mas também desenvolvesse uma postura crítica e reflexiva sobre o processo de aprendizagem em si?

Espaço para anotações e cálculos