

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

VICENTE DE PAULA ALMEIDA TINOCO

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE CORRENTE
ALTERNADA COM ARDUINO: uma sequência didática para a aprendizagem de conceitos
de eletrodinâmica

São Luís – MA

2024

VICENTE DE PAULA ALMEIDA TINOCO

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE CORRENTE ALTERNADA

COM ARDUINO: uma sequência didática para a aprendizagem de conceitos de eletrodinâmica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de pesquisa: processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de física

Orientador: Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho

São Luís – MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Tinoco, Vicente.

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE CORRENTE ALTERNADA COM ARDUINO : Uma sequência didática para a aprendizagem de conceitos de eletrodinâmica / Vicente Tinoco. - 2024.

121 f.

Orientador(a): Edson Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 2024.

1. Eletrodinâmica. 2. Kit experimental. 3. Sequência didática. I. Carvalho, Edson. II. Título.

VICENTE DE PAULA ALMEIDA TINOCO

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE CORRENTE
ALTERNADA COM ARDUINO: uma sequência didática para a aprendizagem de conceitos
de eletrodinâmica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 22 / 02 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Edson Firmino Viana de Carvalho
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Presidente)

Jerias Alves Batista
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Membro interno)

Silvana Perez
Doutora em Física – Universidade Federal do Pará
(Membra externa)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

A minha esposa Tharcya e filhas Thalya e Thalyta por estarem sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

Ao meu orientador professor Dr. Edson Firmino pela imensa ajuda e apoio no desenvolvimento dessa dissertação.

Aos professores que fazem parte do PROFIS, polo 47, por estarem sempre dispostos a ajudar.

Ao diretor da escola CE Paulo Ramos, Eliel Ribeiro da Silva, e a coordenadora Jacielma da Graça Sousa Pereira, pelo apoio e ajuda na aplicação e execução do Produto Educacional.

Ao professor de Física e amigo Bruno Almeida, pela ajuda no desenvolvimento do Produto Educacional.

Aos meus amigos do mestrado da turma 2020 do polo 47, pelo companheirismo e parceria desenvolvida no decorrer do curso.

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

“O principal objetivo da educação é criar pessoas capazes de fazer coisas novas e não simplesmente repetir o que outras gerações fizeram.”

Jean Piaget

RESUMO

O ensino das disciplinas relacionadas às ciências nas escolas de educação básica frequentemente se apresenta como um desafio, motivando educadores a buscar alternativas para facilitar a aprendizagem diante das dificuldades enfrentadas. A Física, como uma ciência experimental, requer experimentação para seu ensino. No entanto, muitas escolas enfrentam a falta de laboratórios e práticas específicas. Nesse contexto, propomos a criação de um recurso educacional voltado para o entendimento dos conceitos de eletrodinâmica, baseado nas teorias construtivista de Jean Piaget e construcionista de Seymour Papert. Este recurso foi desenvolvido em colaboração com os alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede pública de ensino do interior do Maranhão. A proposta consiste em um kit experimental que inclui uma maquete de um sistema de distribuição de energia elétrica, demonstrando a função e aplicações da corrente alternada de forma investigativa. A maquete permitiu aos estudantes compreenderem como funcionam, conceitualmente e na prática, as ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas, bem como a importância de componentes elétricos como geradores, transformadores e fontes de tensão em um circuito. A implementação desse recurso educacional seguiu uma sequência didática composta por 10 encontros, divididos em 5 etapas: avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema, introdução de problemas iniciais, organização do conhecimento, aplicação prática do conhecimento e verificação da aquisição do conhecimento pelos alunos. Após coletar os dados de avaliação, verificou-se progresso dos alunos em relação aos objetivos de aprendizagem estabelecidos na sequência didática por meio da avaliação formativa, testes, engajamento, avaliação por pares e auto avaliação.

Palavras chave: Sequência didática; Kit experimental; Eletrodinâmica; Instalações elétricas.

ABSTRACT

The teaching of science-related subjects in basic education schools often poses a challenge, motivating educators to seek alternatives to facilitate learning in the face of encountered difficulties. Physics, as an experimental science, requires experimentation for its teaching. However, many schools lack laboratories and specific practices. In this context, we propose the creation of an educational resource aimed at understanding the concepts of electrodynamics, based on Jean Piaget's Constructivist theory and Seymour Papert's Constructionist theory. This resource was developed in collaboration with 3rd-year high school students at CE Paulo Ramos School, located in Turiacu - MA. The proposal includes an experimental kit that comprises a model of an electrical energy distribution system, demonstrating the function and applications of alternating current in an investigative manner. The model allowed students to grasp how monophasic, biphasic, and triphasic connections work conceptually and in practice, as well as the significance of electrical components like generators, transformers, and voltage sources in a circuit. The implementation of this educational resource followed a didactic sequence consisting of 10 sessions, divided into 5 stages: assessment of students' prior knowledge on the subject, introduction of initial problems, knowledge organization, practical application of knowledge, and verification of students' knowledge acquisition. After collecting the evaluation data, progress in relation to the established learning objectives in the didactic sequence is assessed through formative evaluation, tests, engagement, peer assessment, and self-assessment.

Keywords: Didactic sequence; Experimental kit; Electrodynamics; Electrical installations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Voltagem alternada. (b) Corrente alternada.	17
Figura 2 - Sistema de distribuição de energia elétrica.	22
Figura 3 - Esquema de ligações monofásicas.	23
Figura 4 - Esquema de um transformador ideal.	24
Figura 5 - Alguns modelos de fusíveis.	27
Figura 6 - Modelos de disjuntores padrão norte americano / europeu	27
Figura 7 - proteção térmica e magnética dos disjuntores eletromagnéticos	28
Figura 8 - Triângulo de potências.	31
Figura 9 - Representação das corrente entrando e saindo em relação a um nó N	33
Figura 10 – Análise da Lei das Malhas	34
Figura 11 – Maquete do kit experimental.	41
Figura 12 - Alunos respondendo o questionário.	48
Figura 13 - Respostas assinaladas pelos alunos para a questão 1	48
Figura 14 - Acertos dos alunos referente as questões 2,3 e 4.	49
Figura 15 - Análise da dificuldade apresentada pelos alunos às questões 5, 6, 9, 11 e 12.	50
Figura 16 - Alunos assistindo o vídeo sobre a eletricidade no Brasil	51
Figura 17 - Alunos assistindo o vídeo sobre a guerra elétrica.	53
Figura 18 - (a) Medição da corrente alternada e (b) medição da tensão contínua de uma fonte,	54
Figura 19 - Grupos de alunos formulando perguntas sobre fontes de energia.	55
Figura 20 - Explicação da Lei de Faraday	58
Figura 21 – Ilustração da Lei de Faraday	58
Figura 22 – Testando a fonte de 5 V e 24 V	60
Figura 23 – Alunos testando os capacitores	60
Figura 24 - Alunos montando a maquete	61
Figura 25 - Alunos treinando programação com o arduino.	62
Figura 26 – Apresentação da maquete aos alunos	62
Figura 27 – Análise gráfica da 1ª questão	64
Figura 28 - Análise dos acertos referente a questão 2	65
Figura 29 – Análise de acertos da 3ª questão	66
Figura 30 – Análise de acertos da 4ª questão	67
Figura 31 - Análise das alternativas marcadas nas questões 6 e 7	68
Figura 32 – Análise de acertos da 8ª questão	69

Figura 33 – Análise da resposta dada pelos alunos acerca da questão 9	70
Figura 34 – Análise da resposta dada pelos aluno acerca da questão 10.....	71
Figura 35 - Transformadores e alguns componentes da maquete	79
Figura 36 – Esquema de montagem dos transformadores	80
Figura 37 – Esquema de montagem das fontes na maquete e dos componentes eletrônicos ...	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA.....	15
2.2	Fundamentos teóricos.....	18
2.2.1	Equações de Maxwell.....	18
2.2.2	Fluxo de carga ou corrente elétrica.....	20
2.2.3	Fontes de voltagem ou tensão.....	20
2.2.4	Resistência elétrica e resistividade.....	21
2.3	Sistema de transmissão de energia elétrica.....	21
2.3.1.1	Sistema monofásico (127V ou 220V).....	22
2.3.1.2	Sistema trifásico (220V/127V ou 380V/220V).....	23
2.4	Dispositivos e elementos dos sistemas elétricos.....	23
2.4.1	Transformadores.....	23
2.4.1.1	Transformador ideal.....	24
2.4.1.2	Transformador real.....	26
2.4.2	Geradores de energia.....	26
2.4.3	Dispositivos de segurança.....	26
2.4.3.1	Fusíveis.....	26
2.4.3.2	Disjuntores.....	27
2.4.3.2.1	Funcionamento dos disjuntores.....	28
2.5	Potências em sistema de corrente alternada.....	29
2.5.1	Potência ativa ou real (P).....	30
2.5.2	Potência reativa (Q).....	30
2.5.3	Potência aparente (Pap).....	30
2.5.4	Fator de potência (FP).....	31
2.6	Impedância e admitância.....	31
2.7	Leis de Kirchhoff.....	32
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO EDUCACIONAL.....	35
3.1	O Construtivismo de Jean Piaget.....	35
3.2	O Construcionismo de Seymour Papert.....	36
3.3	Avaliação da aprendizagem.....	37
3.4	A experimentação e o uso da tecnologia educacional.....	38
4	RECURSO EDUCACIONAL: ABORDAGEM E APLICAÇÃO.....	40
4.1	Kit experimental: fundamentação e descrição.....	40

4.2	Metodologia e aplicação	42
4.2.1	Etapas da sequência didática	43
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	47
5.1	Apresentação da proposta didática	47
5.2	O questionário de levantamento de conhecimentos prévios acerca do objeto de estudo 47	
5.3	A problematização como um motivador no processo de ensino e aprendizagem	50
5.4	Organizando os conhecimentos necessários para a aplicação do produto.....	52
5.5	Verificação da aplicação do conhecimento	59
5.6	Sondagem dos conhecimentos adquiridos com a aplicação do kit experimental	63
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	74
	Apêndice A – Questionário prévio	77
	Apêndice B – Roteiro de montagem da maquete didática do sistema trifásico	79
	Apêndice C – Questionário de validação do conhecimento adquirido no decorrer da aplicação do produto educacional.....	85
	Apêndice D – Produto Educacional.....	87

1 INTRODUÇÃO

O ensino das disciplinas voltadas para o estudo de ciências nas escolas de educação básica frequentemente se revela ineficaz. Uma pesquisa realizada no período de 2009 a 2014 com alunos que prestaram o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) revelou que "a disciplina de Física, assim como Matemática e Química, obteve o menor número de acertos em suas questões" (Carta Educação, 2016). Tanto professores quanto alunos concordam que a forma como a disciplina de Física vem sendo ensinada não consegue manter a atenção dos alunos ou despertar seu interesse na maioria dos conteúdos ministrados.

Compreendemos, em virtude de nossa prática e experiência no ensino, que, conforme Brasil (1996) aponta, "uma parcela dessa dificuldade enfrentada pelos alunos da educação básica pode ser atribuída à sua escassa base de conhecimento em ciências e matemática proveniente do ensino fundamental".

A outra parte pode ser explicada pelo avanço tecnológico, uma vez que os estudantes estão cada vez mais distantes dos livros didáticos e mais próximos de ferramentas tecnológicas que fazem parte de seu cotidiano, mas que encontram obstáculos em algumas situações, devido à falta de qualificação dos professores em relação ao uso dessas práticas. (SANCHO, 2008, p 57)

Ainda neste contexto, Rosa (2013) "destaca a relevância de uma cultura educativa fundamentada na informática dentro da estrutura organizacional, para ela essa cultura deve incorporar os instrumentos tecnológicos tanto na concepção quanto na prática educativa". É fundamental considerar a complexidade da relação entre os recursos tecnológicos disponíveis, os conhecimentos e as técnicas utilizadas pelo professor

Conforme destacado por Castro (2009), é evidente que diversos outros elementos exercem influência significativa na melhoria da qualidade do ensino e aprendizagem. Entre esses elementos, merecem destaque a capacitação e valorização dos docentes, o estímulo ao protagonismo dos estudantes, a utilização de materiais contextualizados, entre outros. Ademais, não se pode ignorar a carência de infraestrutura em muitas instituições de ensino básico, tais como a falta de laboratórios para experimentação prática ou espaços equipados com recursos tecnológicos que contribuam para uma prática pedagógica eficaz. Como apontado por Kimura (2008), a infraestrutura nas escolas desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que tanto professores quanto alunos reconhecem que uma escola bem equipada com recursos tecnológicos e um espaço físico apropriado facilitaria a aprendizagem".

Nesse contexto de busca pela melhoria da aprendizagem, pesquisadores têm se dedicado à investigação de teorias que englobam os aspectos cognitivos, afetivos e psicomotores no desenvolvimento dos alunos. Dentro da nossa abordagem pedagógica, nos baseamos nas teorias Construtivistas de Jean Piaget e no Construcionismo de Seymour Papert. A partir dessas

fundamentações teóricas, elaboramos uma sequência didática - um recurso educacional estruturado e embasado conceitualmente - com o objetivo de ser aplicado de forma eficaz em uma turma do 3º ano do ensino médio.

Piaget (2018) argumenta que "a aprendizagem é um processo contínuo e não estático", enfatizando a importância de colocar os alunos em situações que os permitam interagir com o conteúdo. Para Piaget, o processo de aprendizagem começa quando os professores associam o conteúdo à experiência vivenciada pelo aluno, despertando assim seu interesse. Por outro lado, Seymour Papert (2017) propõe que "o aluno pode aprender construindo através da utilização de recursos tecnológicos", destacando a importância de tornar o ensino menos abstrato e mais prático. Papert introduziu o uso de ferramentas tecnológicas como uma forma de facilitar o processo de aprendizagem, transformando a teoria construtivista de Piaget em uma abordagem mais tangível e prática.

Tendo como foco central desta pesquisa o desenvolvimento da compreensão de conceitos de eletrodinâmica entre os estudantes do Ensino Médio, implementamos a sequência didática em uma escola da rede pública localizada na cidade de Turiaçu - MA. Essa sequência didática utiliza um kit experimental construído com base em uma placa de prototipagem de Arduino. Os principais conceitos abordados abrangem a voltagem, corrente elétrica, potência desenvolvida, energia elétrica e sua transmissão desde as unidades geradoras até as residências, bem como a física dos dispositivos de medição e sistemas de proteção elétrica, além de geradores de corrente alternada e transformadores. Para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem, estabelecemos objetivos específicos, que incluem:

- Elaborar uma sequência didática para investigar alguns conceitos físicos fundamentada na teoria construcionista;
- Desenvolver, juntamente com os alunos, um kit experimental que utilize a placa de prototipagem Arduino para analisar, mensurar, prever e modelar resultados relacionado às grandezas: voltagem, corrente elétrica, potência e energia elétrica;
- Analisar os resultados da implementação da sequência didática e desenvolver um produto educacional na forma de um texto de apoio ao professor;

O capítulo 2, dedicado aos "Tópicos de Eletrodinâmica", explora desde o fluxo de carga ou corrente elétrica até as leis de Kirchhoff, fornecendo uma abordagem abrangente dos conceitos fundamentais da eletrodinâmica. Na sequência, o capítulo 3, intitulado "Fundamentação Teórica Metodológica da Pesquisa", introduz a base teórica do construtivismo de Jean Piaget e do construcionismo de Seymour Papert, avaliação da aprendizagem e a importância da experimentação e tecnologia educacional. O capítulo 4, "Recurso Educacional:

Abordagem e Aplicação", delinea a sequência didática juntamente com o kit experimental desenvolvidos em parceria com os alunos, sua fundamentação e metodologia de aplicação. A aplicação prática do produto educacional é explorada no capítulo 5, destacando a proposta didática, a realização de um questionário de levantamento de conhecimentos prévios, a importância da problematização, a organização dos conhecimentos necessários, a verificação da aplicação do conhecimento e a sondagem pós-experimentação. Por fim, as "Considerações Finais" no capítulo 6 proporcionam uma reflexão conclusiva sobre o desenvolvimento e resultados obtidos ao longo do trabalho, consolidando a importância do Kit Experimental no contexto educacional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM FÍSICA

Neste capítulo, vamos abordar a eletrodinâmica, que é a parte da física que estuda o comportamento das cargas elétricas em movimento. Isso inclui conceitos fundamentais como corrente elétrica, tensão e resistência elétrica. Esses princípios são essenciais para entendermos o funcionamento dos sistemas elétricos modernos. Em seguida, vamos explorar a fundamentação física por trás da utilização de sistemas de energia elétrica de corrente alternada. Compreender esses fundamentos é crucial, pois eles embasam a transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica alternada. Por fim, veremos como esses conhecimentos são aplicados em dispositivos elétricos, sistemas de transmissão de energia elétrica, transformadores, geradores de energia e dispositivos de segurança, fornecendo uma base sólida para uma compreensão mais aprofundada das tecnologias e práticas nesse campo dinâmico e vital.

2.1 Corrente elétrica alternada: definição, aplicações e distribuição.

O estudo dos portadores de cargas elétricas em movimento desempenha um papel fundamental em um mundo imerso em rápido avanço tecnológico, repleto de conveniências e oportunidades que têm aprimorado significativamente a qualidade de vida humana. Isso é especialmente evidente no campo da geração de energia elétrica, onde fontes renováveis desempenham um papel essencial. As fontes alternativas de energia reúnem algumas formas de produção de energia que originam menor impacto ambiental no planeta se mostrando pouco poluentes, sendo que essas energias alternativas são provenientes de fontes de energias renováveis ou energia limpa (Horstch e Otomar, 2016).

Para Silva (2009), um dos protagonistas essenciais no avanço da eletrodinâmica foi Simon Ohm, que nasceu em 1789 na Alemanha. Seu pai era serralheiro e sua mãe, filha de um alfaiate. Em 1805, com apenas 15 anos, Ohm ingressou na Universidade de Erlangen, localizada no estado da Baviera. No entanto, devido ao seu estilo de vida boêmio, seu pai, enfurecido com seu comportamento, o enviou para a Suíça em setembro de 1806. Lá, com apenas 16 anos, tornou-se professor de matemática.

De acordo com Silva (2009), dois anos e meio mais tarde, Ohm deixou seu cargo de professor de matemática e retornou à Universidade de Erlangen, onde obteve seu doutorado em 1811. Ele então passou a atuar como professor de matemática no corpo docente da universidade. No entanto, insatisfeito com sua remuneração como professor universitário, ele se demitiu e passou seis anos lecionando em escolas menos renomadas na Bavária.

Durante esse período, o Rei Wilhelm II da Prússia ficou impressionado com o livro de Ohm sobre geometria elementar e ofereceu a ele um cargo de professor em Colônia. Foi nesse período que Ohm pôde se dedicar à física experimental (HEWITT, 2015).

Em 1827, um marco significativo foi estabelecido quando a obra seminal de Ohm foi publicada, revelando a conexão entre o "fluido elétrico" (atualmente conhecido como corrente elétrica) e a força eletroscópica, que é hoje entendida como diferença de potencial (ddp), voltagem ou tensão. Essa obra, renomada como a Lei de Ohm, delineou os princípios fundamentais que regem o fluxo de corrente em um circuito elétrico (Silva, 2009).

Helerbrock (2019) descreve a corrente contínua como um fluxo de elétrons em uma única direção, originado por uma tensão com polaridade definida, composta por um polo positivo e um polo negativo. Este tipo de corrente mantém um fluxo constante de elétrons na mesma direção, sendo utilizada em dispositivos eletrônicos de baixa tensão, como rádios, televisores e celulares. No entanto, sua limitação reside na dificuldade de transformação da tensão por meio de transformadores.

Por outro lado, a corrente alternada, conforme explicado por Helerbrock (2019), varia tanto em direção quanto em intensidade ao longo de um período específico, determinado por sua frequência. Sua principal vantagem reside na capacidade de ser transmitida eficientemente a longas distâncias, uma vez que a tensão associada pode ser facilmente ajustada para compensar perdas de energia. No Brasil, a maioria das cidades opera com uma frequência de oscilação de 60 Hz, o que implica que a polaridade da tensão da corrente alternada se inverta aproximadamente 60 vezes por segundo.

Em 1832, o francês Hyppolyte Pixii foi o primeiro a observar a geração de corrente alternada ao aplicar o princípio da indução de Michael Faraday. Em 1886, Nikola Tesla, trabalhando com campos magnéticos rotativos, descobriu uma maneira de tornar viável o uso da corrente alternada. Atualmente, a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica se baseiam quase que integralmente no sistema de corrente alternada (CA).

Segundo Dias (2008), no Brasil, especialmente, observamos que as principais instalações de geração de energia elétrica, como as hidrelétricas, estão localizadas a considerável distância dos centros de consumo. Portanto, encontrar formas economicamente viáveis e menos perigosas de transmitir essa energia é um foco de estudo para os principais centros de pesquisa tecnológica. Compreender o processo de transmissão de energia é fundamental para a compreensão de seus conceitos-chave e é crucial para nosso país.

Ao analisarmos a relação entre as potências elétricas na transmissão de energia elétrica temos que levar em consideração a segunda Lei de Ohm, isto é, a Eq. (2), na qual verificamos

que a resistência à passagem da corrente elétrica é proporcional ao comprimento do fio. Temos ainda que a potência total de transmissão (P_t) é

$$P_t = Ui, \quad (1)$$

em que U é a tensão (voltagem) e i é a corrente elétrica que percorre o fio condutor. A potência dissipada (P_d) é

$$P_d = Ri^2. \quad (2)$$

Se quisermos diminuir em um determinado comprimento do fio a perda de energia elétrica por dissipação na forma de calor temos que diminuir a intensidade de corrente elétrica no mesmo, por outro lado nessa mesma situação se quisermos manter a potência total de transmissão teríamos que elevar a tensão, daí vem a importância do uso de transformadores de tensão na transmissão de energia elétrica a longas distâncias com o sistema de corrente alternada. (ANICETE, MELO E MENEGHELLO, 2015, p.56)

A corrente alternada, bem como a tensão alternada, como o próprio nome sugere, tem alternância no seu sentido, que geralmente é representada na forma de uma função sinusoidal. É representada da seguinte maneira:

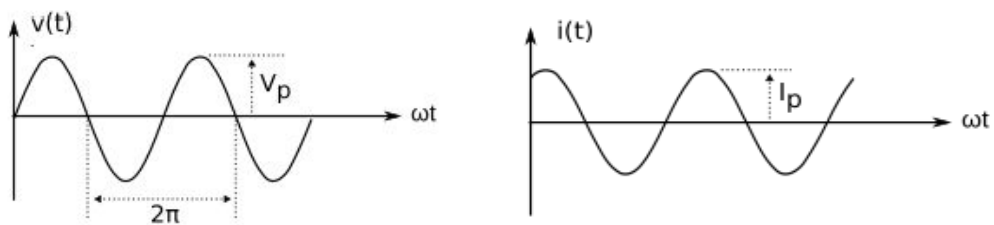
$$V(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

e

$$i(t) = i_p \text{sen}(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

em que $V(t)$ é a tensão alternada num tempo t qualquer, V_p é a tensão ou voltagem de pico (máximo valor de voltagem), $i(t)$ é a corrente alternada num tempo t , i_p é a corrente elétrica de pico (máximo valor de corrente elétrica), ω é a frequência angular de oscilação da voltagem ou da corrente e φ é a diferença de fase entre a tensão e a corrente. Graficamente, podemos representar as Eq. (3) e (4) pelos gráficos (a) e (b), respectivamente, mostrados na Figura 1.

Figura 1 - (a) Voltagem alternada. (b) Corrente alternada.



Fonte: mspc.eng.br/dir60/ac01.php

2.2 Fundamentos teóricos

2.2.1 Equações de Maxwell

As equações de Maxwell, juntamente com a lei da força de Lorentz, formam a base do eletromagnetismo clássico e são fundamentais para a óptica clássica. Desenvolvidas no final do século XIX, essas equações desempenharam um papel crucial na revolução tecnológica que se seguiu. Elas consistem em um conjunto de equações diferenciais parciais e podem ser categorizadas em dois grupos: as equações microscópicas, que lidam com cargas e correntes em níveis atômicos, e as equações macroscópicas, que introduzem campos auxiliares para evitar a necessidade de conhecer essas grandezas em escalas atômicas. Essa distinção facilita a aplicação prática das equações de Maxwell em diversos contextos científicos e tecnológicos.

As equações de James Clark Maxwell (1831-1879) são fundamentadas nas bases teóricas de Faraday, Ampere e Gauss, as quais fundamentam o eletromagnetismo moderno, assim como as leis de Newton e a gravitação universal são bases para Mecânica. A partir do desenvolvimento matemático de Maxwell, foi possível a criação de novos aparelhos e descobertas científicas nas áreas da engenharia, com o estudo mais aprofundado sobre os condutores, melhoras em dispositivos como antenas no processo de produção de energia com a lei de Faraday, e no processo de transporte de energia elétrica com o estudo da condutância. As aplicações para essas equações estão sendo desenvolvidas até os dias atuais (Aranha; Gomes; Oliveira; Oliveira, 2019, p. 13).

Portanto, ao incorporar os princípios das equações de Maxwell na concepção do kit experimental proposto nesta pesquisa, os estudantes têm a oportunidade de explorar conceitos avançados de eletromagnetismo de forma prática, contribuindo para uma compreensão mais profunda e aplicada dos fenômenos elétricos e magnéticos..

A primeira equação de Maxwell na forma diferencial, conhecida como Lei de Gauss para o campo elétrico, afirma que o divergente do campo elétrico (\vec{E}) é igual ao quociente da densidade de carga elétrica (ρ) e da constante de permissividade elétrica (ϵ_0), representada pela equação

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (5)$$

ou seja, a divergência do campo elétrico em um ponto é proporcional à densidade de carga elétrica nesse ponto. Já a forma sua forma integral,

$$\oint \vec{E} dA = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}. \quad (6)$$

Expressa a ideia de que a quantidade de linhas de fluxo elétrico que emanam de uma região carregada é proporcional à quantidade de carga contida nessa região. Tal que se a densidade de carga é positiva, as linhas de fluxo elétrico se originarão da região de carga. Se a

densidade de carga é negativa, as linhas de fluxo elétrico convergirão para a região de carga. Se não houver carga, a divergência do campo elétrico será zero, indicando que as linhas de fluxo elétrico entram e saem da região de interesse de maneira equilibrada.

A segunda equação de Maxwell diz que a variação do campo magnético gerará um campo elétrico, conhecida como a Lei de Faraday-Lenz é escrita na forma diferencial da seguinte maneira:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}. \quad (7)$$

Na forma integral temos

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\phi_B}{dt}. \quad (8)$$

O sinal negativo, presente tanto na forma diferencial quanto na forma integral, decorre da Lei de Lenz, que está intrinsecamente ligada ao princípio da conservação de energia. Essa negatização desempenha a função crucial de estabelecer a direção do fluxo elétrico resultante da variação do campo magnético. Essas equações expressam ainda que a circulação do campo elétrico ao longo de uma curva fechada é igual à taxa de variação temporal do fluxo magnético através da superfície delimitada por essa curva, com um sinal negativo indicando a direção da f.e.m. induzida. Em termos mais simples, expressa o fenômeno da indução eletromagnética, que é a geração de corrente elétrica em um circuito devido à variação do campo magnético.

Na terceira equação de Maxwell, conhecida como a Lei de Gauss para o magnetismo, tem sua forma diferencial expressa como

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0. \quad (9)$$

Sua forma integral é

$$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0. \quad (10)$$

A forma diferencial assim com a forma integral da terceira equação de Maxwell mostram que não existem fontes magnéticas isoladas (monopólos magnéticos). Em outras palavras, as linhas de fluxo magnético sempre formam *loops* fechados, não tendo um ponto de origem isolado ou um destino isolado. Se houvesse monopólos magnéticos, as linhas de fluxo se estenderiam de um monopolo para o infinito, o que não é observado na prática.

Na quarta equação de Maxwell ou Lei de Ampère-Maxwell, nome este devido a correção feita por Maxwell à Lei de Ampère, cuja forma diferencial é

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right), \quad (11)$$

destaca a relação entre as correntes elétricas e as mudanças nos campos elétrico e magnético. Maxwell percebeu que havia uma variação de um campo magnético devido a variação de um fluxo elétrico fora do condutor, o termo da equação $\left(\epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right)$ é denominado corrente de deslocamento e corresponde a correção feita por Maxwell à Lei de Ampère.

A forma integral da 4ª equação de Maxwell é

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt} \right). \quad (12)$$

2.2.2 Fluxo de carga ou corrente elétrica

Para compreender adequadamente o conceito de corrente elétrica, é útil lembrar do conceito de calor e do fluxo de calor, geralmente ensinados no segundo ano do ensino médio. Atualmente, um dos conceitos aceitos de calor é que ele representa a energia térmica em movimento. Assim, o fluxo de calor ocorre quando uma diferença de temperatura é estabelecida entre dois corpos ou substâncias. Segundo Hewitt (2015), analogamente, no caso das partículas que transportam cargas elétricas, seu movimento organizado se inicia quando uma diferença de potencial é criada entre diferentes partes de um condutor elétrico, resultando no que chamamos de fluxo organizado de partículas portadoras de cargas elétricas, ou simplesmente corrente elétrica.

A expressão matemática da intensidade de corrente elétrica I é a razão entre o módulo da quantidade de carga ΔQ que atravessa determinada seção transversal de um condutor e o intervalo de tempo Δt . Tal que:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta Q|}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}. \quad (13)$$

A sua unidade padrão medida no Sistema Internacional é Ampère A (C/s).

2.2.3 Fontes de voltagem ou tensão

Para estabelecer uma diferença de potencial ou tensão elétrica, basta conectar dois condutores com potenciais elétricos diferentes por meio de um fio condutor. Entretanto, é importante observar que a diferença de potencial gerada será apenas momentânea, uma vez que ocorrerá um fluxo de cargas elétricas do ponto de maior potencial para o ponto de menor potencial, até que atinjam um estado de equilíbrio eletrostático, no qual os potenciais são iguais, quase que instantaneamente.

Se desejarmos manter uma diferença de potencial por um período mais prolongado, será necessário aplicar uma força capaz de impulsionar os elétrons por uma certa distância, fornecendo assim energia na forma de trabalho às partículas portadoras de cargas elétricas.

O trabalho realizado por qualquer que seja o dispositivo usado para separar as cargas opostas está disponível nos terminais da bateria ou do gerador. Esses diferentes valores de energia por carga criam uma diferença de potencial (voltagem). (HEWITT, 2015, p.432)

No sistema Internacional de unidades SI a unidade padrão da voltagem é Volts (v).

2.2.4 Resistência elétrica e resistividade

A resistência elétrica pode ser conceituada como a medida da oposição oferecida pelos átomos de um condutor à passagem da corrente elétrica. A resistência de um fio está intrinsecamente ligada à sua espessura, comprimento e condutividade específica. Em 1827, o físico experimental Simon Ohm publicou seus estudos sobre a resistência elétrica de materiais, que culminaram no que hoje conhecemos como as Leis de Ohm. A segunda lei de Ohm, que relaciona as características e propriedades dos materiais, foi formulada da seguinte maneira:

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (14)$$

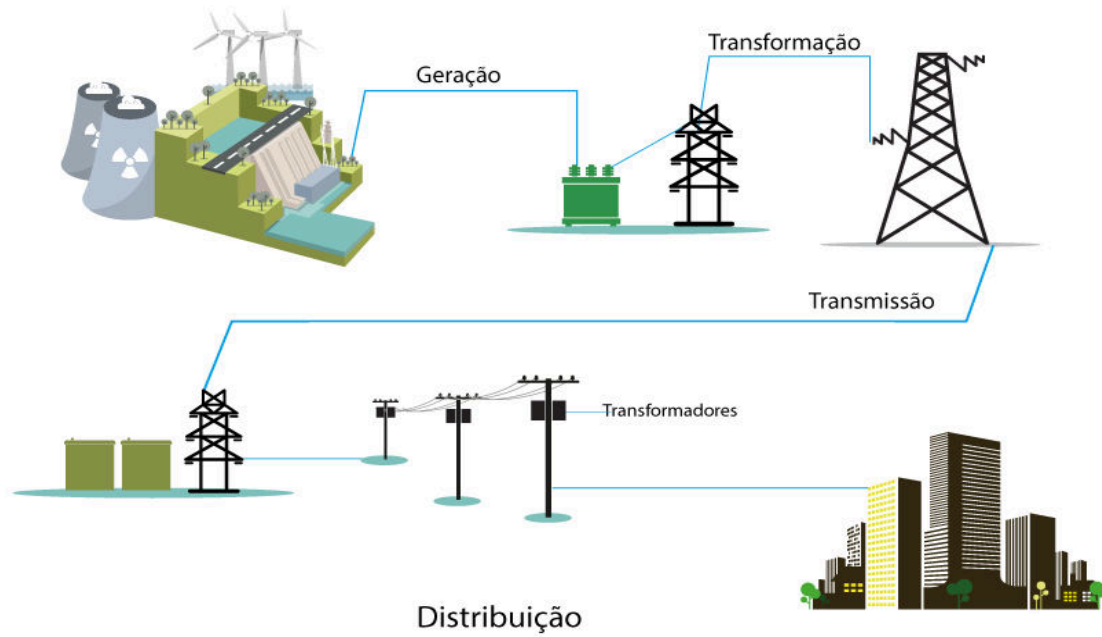
em que R é a resistência do fio, ρ é a resistividade elétrica do material do fio, L é o comprimento do fio condutor e A é a área da seção transversal do fio, podendo ser expressa ainda como sendo a relação entre voltagem (U), corrente elétrica (i) e a resistência (R). Essa é denominada como sendo a 1ª lei de Ohm,

$$U = Ri. \quad (15)$$

2.3 Sistema de transmissão de energia elétrica

Depois de ser gerada, a energia é transportada através de linhas de transmissão, que conduzem a eletricidade em alta tensão por longas distâncias até chegar às áreas urbanas. Ao alcançar a cidade, a energia passa por uma subestação, onde transformadores reduzem a sua voltagem. Em seguida, a energia é introduzida na rede de distribuição, sendo levada por meio de cabos até os pontos de consumo nas ruas. Esses cabos são os que normalmente observamos nos postes distribuídos pelas cidades, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Sistema de distribuição de energia elétrica.



Fonte: <https://energiainteligenteufjf.com.br/como-funciona/transmissao-de-energia-eletrica/>

De acordo com Dias (2008), antes de a energia elétrica ser distribuída para nossas residências, passa por transformadores que reduzem sua voltagem para os padrões comuns de 127 ou 220 volts. É relevante destacar que, desde 1999, em algumas regiões específicas, a voltagem da eletricidade fornecida às residências não é mais de 110 volts, mas sim de 127 volts. Posteriormente, a eletricidade é direcionada para o medidor de energia, localizado em nossas casas, onde o consumo elétrico é registrado e calculado.

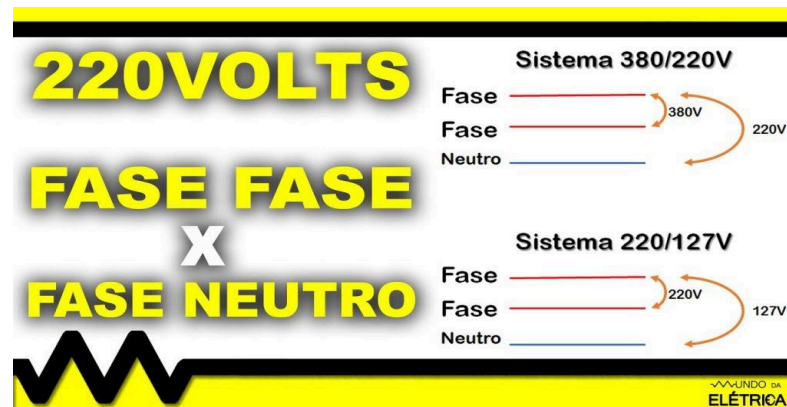
2.3.1.1 Sistema monofásico (127V ou 220V)

O sistema monofásico origina-se de um gerador monofásico que produz uma única tensão senoidal conhecida como tensão de fase. É fundamental não confundir o sistema monofásico com um circuito monofásico, já que um circuito monofásico, como por exemplo a instalação de uma tomada de 127 V, pode ser alimentado por um sistema trifásico. Portanto, o estudo do sistema monofásico é fundamental para compreender adequadamente o sistema trifásico.

Nesse contexto, tomemos como exemplo a concessionária Equatorial, que atende os estados do Pará, Maranhão, Piauí e Alagoas. A distribuição é organizada da seguinte forma: no Pará, são usados dois fios, com uma fase de 127 V e um neutro; nos estados do Maranhão, Piauí e Alagoas, também são utilizados dois fios, com uma fase de 220 V e um neutro. É importante

destacar que, de acordo com as normas da Concessionária Equatorial, a conexão deve ser monofásica apenas quando a unidade consumidora possui uma carga instalada máxima de 10 KW. O caso de uma ligação monofásica de 127V (a carga instalada refere-se à soma das potências de todos os dispositivos elétricos da unidade consumidora) e para a ligação monofásica de 220V, a carga instalada máxima é de 12 KW. A Figura 3 mostra a diferença entre as ligações monofásicas para as duas formas de distribuições.

Figura 3 - Esquema de ligações monofásicas.



Fonte: [youtube.com/watch?v=mG05wQqNM0I](https://www.youtube.com/watch?v=mG05wQqNM0I)

2.3.1.2 Sistema trifásico (220V/127V ou 380V/220V)

O sistema trifásico consiste em quatro condutores, dos quais três são fases e um é o neutro. As conexões trifásicas são aconselhadas quando a carga instalada, que é a soma das potências de todos os dispositivos elétricos em uma unidade consumidora, ultrapassa os 15 KW. Também é aplicado quando se deseja alimentar equipamentos específicos que requerem uma conexão trifásica, como motores trifásicos.

2.4 Dispositivos e elementos dos sistemas elétricos

2.4.1 Transformadores

Os transformadores desempenham um papel essencial na transmissão de energia elétrica por corrente alternada, desencadeando um processo crucial desde as fontes distribuidoras, que inicialmente geram uma tensão muito elevada para compensar as perdas por dissipação ao longo dos fios. Nas subestações, esses transformadores reduzem essa tensão, permitindo que a energia seja então transportada através das linhas de transmissão até os pontos de consumo. De acordo com Bim (2015), os transformadores geralmente consistem em dois ou mais enrolamentos, conhecidos como primário e secundário, compostos de fios de cobre esmaltado, juntamente com um conjunto de lâminas ferromagnéticas justapostas que compõem o núcleo do transformador. Enquanto o enrolamento primário recebe a tensão de entrada a ser transformada,

o enrolamento secundário fornece a tensão desejada na saída. O funcionamento desses dispositivos é completamente baseado nas leis de Faraday e Lenz.

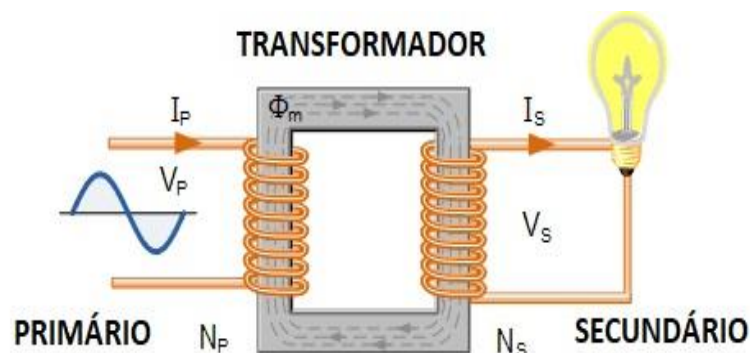
2.4.1.1 Transformador ideal

Para que um transformador seja considerado ideal, temos que levar em consideração as seguintes hipóteses:

- Todo o fluxo magnético deve estar confinado ao núcleo e enlaçar os dois enrolamentos.
- As resistências dos enrolamentos devem ser desprezíveis.
- As perdas no núcleo devem ser desprezíveis.
- a permeabilidade do núcleo deve ser tão alta que uma quantidade desprezível de fmm (força magneto-motriz, é responsável pela condução do fluxo magnético) é necessária para estabelecer o fluxo magnético (Sambaqui, 2008).

A Figura 4 mostra o arranjo dos principais componentes que formam um transformador.

Figura 4 - Esquema de um transformador ideal.



Fonte: homeworkhelpers-br.com

Ao aplicarmos a Lei de Faraday,

$$\varepsilon_{ind} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (16)$$

em que ε_{ind} é a força eletromotriz induzida, $\Delta\Phi$ a variação do fluxo magnético e Δt o intervalo de tempo. N é o número de voltas no enrolamento secundário e considerando que a força eletromotriz (fem) induzida no enrolamento 1 é V_p e a fem induzida no enrolamento 2 é V_s , sabendo que o fluxo magnético varia igualmente nos dois enrolamentos, teremos:

$$V_p = -N_p \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (17)$$

que é denominada como a lei de Faraday aplicada ao enrolamento primário e

$$V_S = -N_S \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (181)$$

como sendo a lei de Faraday aplicada ao enrolamento secundário. Assim, a variação temporal do fluxo do vetor indução magnética é o mesmo nos dois enrolamentos, tal que

$$\frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad (19)$$

ou

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}, \quad (202)$$

que é a equação fundamental dos transformadores ideais. Na Eq. (20) temos que V_P é a voltagem ou tensão no enrolamento primário, V_S é a voltagem no enrolamento secundário, N_P é o número de espiras no enrolamento primário, N_S é o número de espiras no enrolamento secundário e $\Delta\Phi/\Delta t$ a variação temporal do vetor indução magnéticas nos enrolamentos primário e secundário (Sambaqui, 2008).

Do ponto de vista prático, ao conectarmos uma lâmpada no enrolamento secundário, surgiria nessa lâmpada uma corrente elétrica i_s obtida pela seguinte relação:

$$i_s = \frac{V_S}{R_L}. \quad (213)$$

R_L na Eq. (21) é a resistência da lâmpada. Esta corrente irá produzir uma força magneto-motriz no enrolamento secundário dada por

$$f_{mm(s)} = N_S i_s, \quad (22)$$

tal que uma força magneto-motriz surgirá no enrolamento primário, ou seja,

$$f_{mm(p)} = N_P i_P \quad (23)$$

de mesmo valor, porém no sentido contrário justamente para que o fluxo magnético Φ não sofra variação (Sambaqui, 2008).

Ao igualarmos as forças eletromotriz dos enrolamentos, chegamos à conclusão de que dessa forma teremos a seguinte relação:

$$\begin{aligned} f_{mm(p)} &= f_{mm(s)} \\ N_P i_P &= N_S i_s \\ \frac{i_P}{i_S} &= \frac{N_S}{N_P}. \end{aligned} \quad (24)$$

Portanto, podemos concluir que a corrente elétrica em cada enrolamento é inversamente proporcional aos seus respectivos números de espiras.

2.4.1.2 Transformador real

Nos transformadores reais, ocorrem perdas que diferem do comportamento ideal dos transformadores. Essas perdas em transformadores reais resultam devido a vários fatores, incluindo o fato de que nem todo o fluxo magnético é contido estritamente no núcleo. Além disso, há perdas por dissipação na forma de calor nos enrolamentos e perdas magnéticas, como as relacionadas à histerese magnética, que ocorrem no núcleo do transformador.

2.4.2 Geradores de energia

Para o estudo da eletrostática e eletrodinâmica, além dos conceitos de corrente, sistema de transmissão e transformadores, faz-se necessária a compreensão do processo de produção de energia elétrica bem como seu fornecimento e distribuição. Assim, o estudante se entenderá dentro do seu contexto social e econômico, visto que possibilitará a ele entender o reflexo de suas ações quanto ao desperdício de energia elétrica, bem como os riscos que ela oferece ao ser distribuída até as unidades consumidoras.

De maneira geral, podemos definir geradores elétricos como sendo um dispositivo que converte uma forma qualquer de energia (mecânica, química, solar etc.) em energia elétrica. Os geradores têm o papel de fornecer energia elétrica para o funcionamento de um circuito elétrico e para entendermos melhor a funcionalidade dos geradores temos que adentrar aos conceitos ainda mais fundamentais do eletromagnetismo, tais como o de propriedades magnéticas dos materiais.

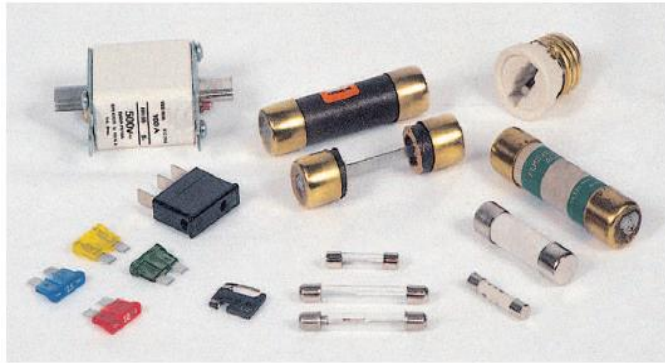
2.4.3 Dispositivos de segurança

Reservamos para esta seção uma breve explicação sobre alguns dispositivos de proteção contra o aumento excessivo da corrente elétrica. São eles: fusíveis e disjuntores.

2.4.3.1 Fusíveis

Os fusíveis são componentes condutores normalmente feitos de materiais como cobre, estanho, chumbo ou alumínio (veja Figura 5). Sua principal finalidade é salvaguardar o circuito elétrico contra correntes que ultrapassem os limites seguros. O mecanismo de proteção dos fusíveis entra em ação quando a corrente elétrica atinge um valor máximo preestabelecido.

Figura 5 – Alguns modelos de fusíveis.



Fonte: conhecendoaetrica.com

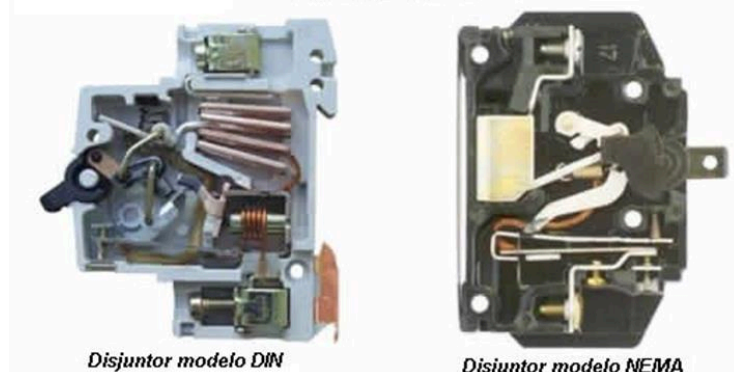
2.4.3.2 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos de interrupção utilizados nos sistemas elétricos que podem operar sob carga normal ou em condições de curto-circuito. Um disjuntor é composto por uma bobina de abertura e uma bobina de fechamento, que, quando energizadas, realizam respectivamente a abertura e o fechamento dos contatos principais, interrompendo o fluxo da corrente elétrica (Cotosck, 2007).

Em termos simples, os disjuntores são dispositivos de segurança essenciais em todas as instalações elétricas, uma vez que funcionam como interruptores automáticos que protegem os circuitos elétricos contra curtos-circuitos e sobrecargas, desligando-se automaticamente ao detectar tais condições.

No Brasil, existem principalmente dois tipos de disjuntores: o modelo NEMA (Figura 6), que segue o padrão norte-americano baseado na norma RTQ contida na portaria do INMETRO 243, e o modelo DIN (Figura 6), que segue o padrão europeu e está em conformidade com a ABNT NBR NM60898.

Figura 6 - Modelos de disjuntores padrão norte americano / europeu



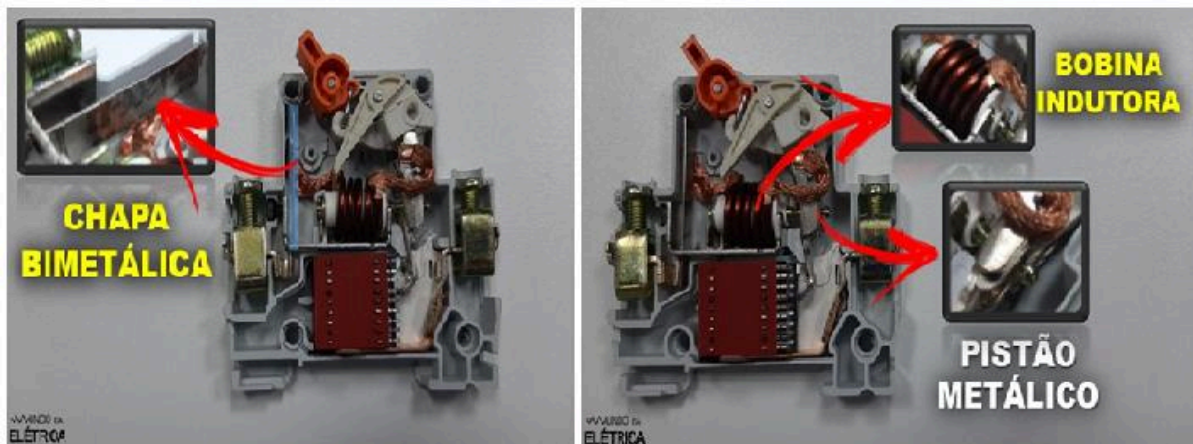
Fonte: sabereletrica.com.br

2.4.3.2.1 Funcionamento dos disjuntores

Compreender o funcionamento dos disjuntores é de importância fundamental para sua utilização adequada e dimensionamento correto. O termo "termomagnético" desempenha um papel central na compreensão desse dispositivo. De acordo com Hudson Silveira e Mikaella Dias (2018), "termomagnético" é uma combinação das palavras "térmica" e "magnética", o que significa que os disjuntores operam em duas modalidades distintas de desarme. A primeira dessas modalidades, a térmica, envolve o uso da "integral de Joule" e considerações sobre dilatação térmica e transferência de calor entre materiais metálicos. A segunda modalidade, relacionada ao campo magnético, se baseia nas "Equações de Maxwell" de acordo com Hudson Silveira e Mikaella Dias (2018, p. 4, apud MAMEDE FILHO 2012, p. 345).

A relevância desse tipo de disjuntor reside na sua capacidade de proporcionar uma proteção dupla, conforme sugerido pelo próprio nome. A proteção térmica é realizada por meio de duas chapas ou lâminas bimetálicas com coeficientes de dilatação distintos. Se a corrente elétrica no circuito exceder um determinado valor, causando um aumento anormal de temperatura, as lâminas bimetálicas se curvam, interrompendo o circuito e evitando que a corrente elétrica cause danos ao circuito. A Figura 7 mostra dos alguns componentes descritos anteriormente.

Figura 7 - proteção térmica e magnética dos disjuntores eletromagnéticos



Fonte: www.mundodaeletrica.com.br/disjuntor-termomagnetico-como-funciona

A proteção magnética é alcançada por meio de uma bobina que abriga um pistão em seu interior. Esse pistão é responsável por manter o circuito fechado, permitindo a passagem da corrente elétrica. Quando a corrente elétrica supera o valor considerado "aceitável", o campo magnético relacionado a essa corrente se torna mais intenso, forçando o pistão no interior da bobina a "abrir" o circuito, interrompendo, assim, a circulação da corrente elétrica e protegendo o circuito contra possíveis danos.

2.5 Potências em sistema de corrente alternada

Todo sistema elétrico, faça uso de corrente contínua ou alternada, sempre será dividido entre aquele que fornece potência elétrica e aquele que consome potência. O primeiro pode ser uma fonte DC, um gerador AC ou a rede elétrica (AC/60 Hz no Brasil), enquanto o segundo é geralmente uma carga, como lâmpadas, motores ou equipamentos. As unidades de potência mais comuns são o watt [W], volt-ampère [VA] e volt-ampère reativo [VAr]. A potência representa o consumo ou fornecimento de energia em joules [J] por unidade de tempo (segundo) [s]. (Schmidt; Yoshioka; Galeazzo, 2017). Neste trabalho estaremos focados em sistemas que trabalham com corrente alternada. Para compreendermos melhor o estudo da potência em sistemas de corrente alternada analisaremos as potências **ativa, reativa e aparente**.

Consideramos que a tensão alternada esteja em um regime permanente senoidal $V(t)$ dado pela equação:

$$V(t) = V_0 \text{sen}(\omega t + \phi), \quad (25)$$

Na Eq. (25) V_0 é a tensão máxima ou de pico, ω é a frequência de oscilação da tensão num tempo t e ϕ é a fase inicial. Considerando uma resistência pura podemos definir a corrente elétrica alternada como:

$$i(t) = \frac{V(t)}{R} \quad (26)$$

ou

$$i(t) = \frac{V_0}{R} \text{sen}(\omega t + \phi). \quad (27)$$

Dessa forma podemos definir a potência instantânea como:

$$P(t) = \frac{V_0^2}{R} \text{sen}^2(\omega t + \phi). \quad (28)$$

A tensão eficaz (V_{ef}) e corrente eficaz (i_{ef}) (RMS), que é a parcela de corrente ou tensão que é absorvida por um sistema de corrente alternada na forma de potência, são definidas, respectivamente, como sendo

$$V_{ef} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \quad (29)$$

e

$$i_{ef} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}. \quad (30)$$

2.5.1 Potência ativa ou real (P)

Essa forma de potência corresponde a potência útil, ou seja, é a potência responsável pela realização do trabalho em um sistema, a potência real pode ser entendida como o valor médio da potência instantânea, definida pela equação

$$P = V_{ef}i_{ef}\cos(\varphi). \quad (31)$$

Na Eq. (31) tem-se que V_{ef} é o valor eficaz da tensão, i_{ef} é o valor eficaz da corrente e φ é a defasagem entre a corrente elétrica e a tensão. A unidade padrão de potência ativa é o Watts (W).

2.5.2 Potência reativa (Q)

A potência reativa está relacionada a energia utilizada por um circuito que envolve componentes indutivos ou capacitivos na criação e manutenção de campos magnéticos e elétricos, sem gerar trabalho útil. Em outras palavras, a potência reativa está relacionada à energia que flui de volta e para frente entre esses campos, sendo necessária para manter o equilíbrio, mas não contribui diretamente para realizar tarefas úteis no circuito.

Os aparelhos elétricos indutivos, tais como motores e transformadores, desenvolvem um campo magnético interno necessário para o seu funcionamento. Este campo é formado pela passagem da corrente nos enrolamentos. Quando os equipamentos são alimentados em corrente alternada, a energia armazenada em forma de campo magnético tende a se opor à variação da intensidade da corrente, causando um atraso da corrente em relação à tensão. Como consequência uma parcela da corrente não realiza trabalho útil, produzindo o que se chama de energia reativa. (CHRISTO, 2005, p.26)

A unidade usual da potência reativa é o volt-ampère reativo [VAr] e sua representação matemática é dada pela equação

$$Q = V_{ef}i_{ef}\sin(\varphi). \quad (325)$$

2.5.3 Potência aparente (P_{ap})

A potência aparente é a potência total fornecida a um circuito de corrente alternada, sendo representada pela soma das potências ativas e reativas, isto é,

$$P_{ap} = P + Q \quad (336)$$

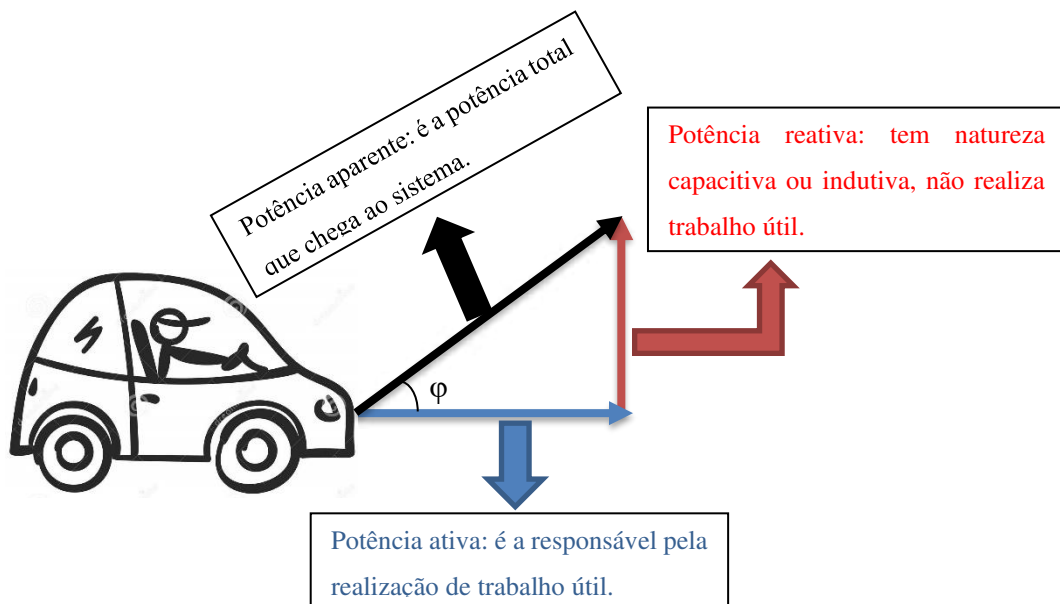
ou, simplesmente,

$$P_{ap} = V_{ef}i_{ef}. \quad (34)$$

A unidade usual de potência aparente é o volt-ampère [VA], geralmente usa-se o VA multiplicado por 1000 (KVA). Uma forma bem interessante de compreendermos a relação e

atuação das potências em sistema de corrente alternada é através do triângulo de potências, mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Triângulo de potências



Fonte: próprio autor 2023

2.5.4 Fator de potência (F_P)

O Fator de Potência é um índice adimensional que reflete a proporção da energia ativa em relação à energia total (aparente) consumida por um equipamento ou instalação. Sua escala varia de 0 a 1, indicando se a carga é predominantemente capacitiva (0 a 1) ou indutiva (-1 a 0), representando assim a eficiência na utilização da energia elétrica, sendo 1 ou -1 ideais. (Silva, 2009)

O fator de potência pode ser expresso matematicamente através da equação

$$F_P = \frac{P}{P_{ap}} = \frac{V_{ef} i_{ef} \cos(\varphi)}{V_{ef} i_{ef}} = \cos(\varphi). \quad (35)$$

2.6 Impedância e admitância

A impedância é uma medida da oposição que um circuito elétrico ou um componente oferece à passagem da corrente alternada (CA). Ela é representada pelo símbolo Z e é medida em ohms (Ω). A impedância é uma quantidade complexa, o que significa que ela tem uma parte real e uma parte imaginária. A impedância é uma parte fundamental na teoria de circuitos elétricos e em várias disciplinas relacionadas à física e engenharia. Ela desempenha um papel crucial na análise e no design de sistemas elétricos e eletrônicos, garantindo a eficiência na transferência de energia e minimizando perdas (Araujo; Fernandes; Moraco, 2018).

A parte real da impedância é a resistência elétrica (R), que está relacionada a oposição a passagem da corrente elétrica no circuito e a parte imaginária é denominada de reatância (X), que está relacionada a oposição causada por elementos capacitivos ($X_C = 1/\omega C$) ou indutivos ($X_L = \omega L$). Sendo representada da seguinte maneira:

$$Z = R + iX. \quad (7)$$

Seu módulo é dado pela equação

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}. \quad (8)$$

A relação entre os resistores, indutores e capacitores com os fasores de tensão (\bar{V}) e de corrente elétrica (\bar{I}) é mostrada através das equações $\bar{V} = R\bar{I}$ para os resistores, $\bar{V} = j\omega L\bar{I}$ para os indutores e $\bar{V} = \bar{I}/j\omega C$ para os capacitores.

Dessa forma, podemos escrever a impedância dos resistores, indutores e capacitores, respectivamente, pelas equações $Z_R = R$, $Z_L = j\omega L$ e $Z_C = 1/j\omega C$, respectivamente.

Assim como a impedância, a admitância é uma ferramenta valiosa na análise de circuitos elétricos, especialmente em sistemas de corrente alternada. Ela é frequentemente usada em conjunto com a impedância para simplificar cálculos e análises em certos contextos. Em alguns casos, é mais conveniente trabalhar com admitância, especialmente ao lidar com circuitos nos quais a facilidade de fluxo de corrente é uma consideração importante.

Podemos entender a admitância (Y) como o inverso da Impedância, como a impedância é um número complexo a admitância também será representada por um número complexo.

$$Y = 1/Z = \frac{1}{R + jX} = G + jB, \quad (9)$$

em que G é a condutância, que representa a parte real da admitância e está relacionada a facilidade com que a corrente pode fluir em um circuito, sendo está o inverso da resistência R , B é a susceptância, que representa a parte imaginária da admitância e está relacionada à capacidade de um circuito para armazenar ou liberar energia reativa, sendo representada pelo inverso da reatância X . A unidade da admitância bem como a unidade da condutância e da susceptância é o Siemens (S), que é equivalente ao inverso do Ohm (Ω).

2.7 Leis de Kirchhoff

As Leis de Kirchhoff são fundamentais para analisar e resolver problemas em circuitos elétricos. Elas são aplicáveis a circuitos de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) e são amplamente utilizadas em engenharia elétrica e eletrônica. Ao aplicar essas leis em conjunto

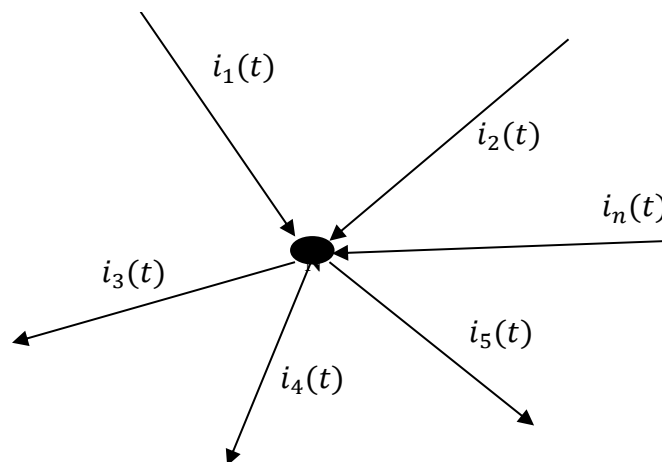
com a Lei de Ohm e outras relações fundamentais, é possível determinar correntes, tensões e resistências em diferentes partes de um circuito complexo.

De acordo com Kienitz (2010), As Leis de Kirchhoff são postulados fundamentais na análise de circuitos elétricos, e embora sejam geralmente aceitas como verdadeiras, sua validade para circuitos concentrados pode ser demonstrada a partir das equações de Maxwell, que descrevem os fenômenos eletromagnéticos. Essas leis, conhecidas como Lei das Correntes de Kirchhoff e Lei das Tensões de Kirchhoff, são essenciais para resolver e compreender circuitos elétricos.

Para uma boa compreensão das leis de Kirchhoff é importante entendermos alguns conceitos básicos de circuitos elétricos tais como: nó (ponto do circuito onde há pelo menos a união de três componentes, o que causa a junção ou separação de correntes elétricas); malha (uma trajetória fechada, formando um loop no circuito) e ramo ou braço (trecho do circuito compreendido entre dois nós).

A soma algébrica das correntes em um nó é igual a zero, ou seja, a somatória das correntes que entram em um nó é igual a soma das correntes que saem do nó. Por ser fundamental, este enunciado foi considerado a 1ª lei de Kirchhoff.

Figura 9 - Representação das corrente entrando e saindo em relação a um nó N.



Fonte: próprio autor 2023

Esta lei pode ser representada matematicamente pela soma algébrica das correntes, isto é,

$$i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + i_4(t) + i_5(t) + \dots + i_n(t) = 0 \quad (10)$$

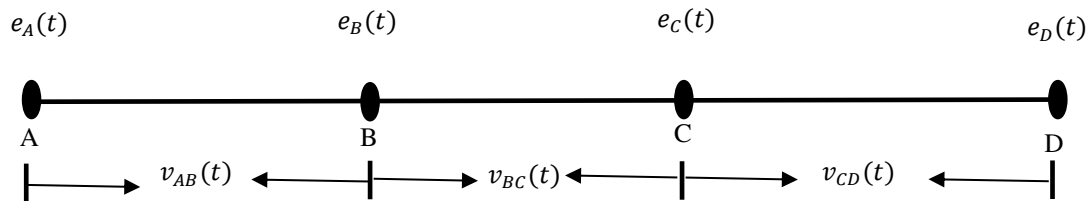
ou ainda

$$\sum_{j=1}^n i_j(t) = 0 \quad (11)$$

Já a 2ª Lei de Kirchhoff também conhecida como lei das malhas afirma que a tensão aplicada a um circuito fechado é igual a soma das quedas de tensão no circuito.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** temos o circuito fechado ABCDA mostrando o comportamento da tensão distribuída entre os nós A, B, C e D, em que $e_A(t)$ é o potencial do ponto A, $e_B(t)$ é o potencial do nó B, $e_C(t)$ é o potencial do ponto C e $e_D(t)$ é o potencial do ponto D. Nela podemos confirmar que são válidas as relações $v_{AB}(t) = e_B(t) - e_A(t)$ e $v_{AB}(t) = -v_{BA}(t)$.

Figura 10 – Análise da Lei das Malhas



Fonte: Próprio autor 2024.

Dessa forma podemos escrever a 2ª lei de Kirchhoff da seguinte maneira:

$$v_{AD}(t) = v_{AB}(t) + v_{BC}(t) + v_{CD}(t).$$

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO EDUCACIONAL

3.1 O Construtivismo de Jean Piaget

Para Carneiro (2018), Jean Piaget (1896 - 1980) fundamentou sua teoria no Interpretativismo, que postula que a verdade é uma questão de interpretação. Segundo essa perspectiva, cada indivíduo interpreta o mundo de maneira única, e todas as diferentes visões do mundo são legítimas. A partir da relação entre sujeito e objeto, Piaget introduziu o termo "construtivismo" para explicar que o conhecimento é um processo de construção resultante da ação do sujeito sobre os objetos. Portanto, tudo o que sabemos sobre o mundo é um produto das experiências que vivenciamos e das interpretações que fazemos delas. Esse enfoque coloca o aprendiz no centro do processo educacional, enfatizando a importância de proporcionar experiências significativas que permitam a construção ativa do conhecimento. Assim, o construtivismo de Piaget se alinha com a ideia de que a aprendizagem é um processo contínuo e individual, no qual cada aluno constrói sua compreensão do mundo com base em suas próprias interações e interpretações.

É importante destacar que o construtivismo apresenta um aspecto fundamental:

[...] é a ideia que sustenta que o indivíduo - tanto nos aspectos cognitivos quanto sociais do comportamento como nos afetivos - não é um mero produto do ambiente nem um simples resultado de suas disposições internas, mas, sim, uma construção própria que vai se produzindo, dia a dia, como resultado da interação entre esses dois fatores. Em consequência, segundo a posição construtivista, o conhecimento não é uma cópia da realidade, mas, sim, uma construção do ser humano. (CARRETERO, 2017, p. 35)

Para Jean Piaget, o processo de aprendizagem tem início por meio das interações entre o indivíduo e o ambiente ao qual está exposto. Ele acreditava que as pessoas assimilam conceitos de maneira mais eficaz quando confrontadas com situações e desafios, quer sejam provocados ou acidentais. Por exemplo, alguém que nunca estudou eletricidade pode, ao acidentalmente inserir um objeto condutor em uma tomada e receber um choque, compreender, por meio dessa experiência, a necessidade de precaução ao lidar com tomadas elétricas.

Nesse contexto, cabe ao professor criar conexões entre os conceitos e essas situações de interação, mostrando ao aluno que o ensino da disciplina de Física não se restringe a fórmulas matemáticas ou meros conceitos a serem memorizados.

Com frequência, a sala de aula é percebida como um espaço onde o ensino se limita à reprodução, memorização e revisão de conteúdos predefinidos, com pouca relevância para o estudante. No entanto, os alunos deveriam encarar a sala de aula como um ambiente propício à interação e à construção do conhecimento com base em experiências já vivenciadas por eles.

De acordo com Colares (2003), "a sala de aula deveria ser vista como um espaço de vida no qual se cria história, que é construída e reconstruída a cada dia. É um local onde se tomam decisões e se promove um aprendizado colaborativo, no qual todos têm algo a aprender e ensinar uns aos outros".

Assim, um dos maiores desafios dos docentes referente ao sistema educacional pode ser entendido em parte através das seguintes perguntas: como estão sendo ministradas as aulas? Que papel o professor está desempenhando? Como o aluno está absorvendo o que está sendo passado a ele? Em resposta a algumas dessas perguntas, Piaget afirma:

[...] os conhecimentos derivam da ação, não no sentido de meras respostas associativas, mas no sentido muito mais profundo da associação do real com as coordenações necessárias e gerais da ação. Conhecer um objeto é agir sobre ele e transformá-lo, apreendendo os mecanismos dessa transformação vinculados com as ações transformadoras. [...] (PIAGET, 2018, p. 30)

Na concepção de Caetano (2018), a interação entre professor e aluno na perspectiva piagetiana é crucial. O estudante é visto como um sujeito cognitivo, capaz de adquirir e assimilar conhecimento. Portanto, é fundamental que o educador crie situações alinhadas com as vivências dos alunos, permitindo que compreendam, inventem, interajam e construam conhecimento. Nesse contexto, o papel do professor é o de um facilitador que elabora cuidadosamente situações-problema, visando promover novas aprendizagens com base nos conhecimentos prévios dos alunos.

De acordo com Piaget, esse processo se baseia em estruturas cognitivas e esquemas mentais já existentes, permitindo que os alunos acessem o conhecimento por meio de suas próprias experiências ou ao resolverem situações-problema apresentadas (Rizzon, 2010). Assim, a relação entre professor e aluno é vista como uma parceria colaborativa, onde o educador guia os alunos através de desafios que estimulam sua cognição e os ajudam a construir seu próprio entendimento, ao mesmo tempo em que respeita e valoriza suas experiências individuais.

3.2 O Construcionismo de Seymour Papert

Seymour Papert, um matemático de ascendência africana nascido em 1928 e falecido em 2016, foi reconhecido como um visionário, pois já na década de 1960 defendia a ideia de que todos os alunos deveriam ter acesso a um computador em suas salas de aula (Souza, 2001). Tanto Piaget quanto Papert, conforme apontado por Osti (2019), compartilhavam a convicção de que a aprendizagem ocorre por meio de um processo ativo de interação com o mundo. Para eles, os indivíduos absorvem conhecimento de maneira mais eficaz quando são expostos a situações que os instigam a interagir, criar, modelar e propor soluções. Segundo o Construcionismo de Papert, o conhecimento não é algo estático ou acabado; ao contrário, é algo

que pode ser construído com o auxílio de ferramentas tecnológicas. Papert defendia que os alunos deveriam aprender com seus erros, tornando, assim, o processo de ensino mais humanizado. A abordagem "aprender fazendo" proposta por Papert se concretiza quando os alunos, sob a orientação do professor, conseguem analisar, medir e corrigir seus resultados a partir de suas experiências com o uso de recursos tecnológicos, integrando o aprendizado prático ao conceitual por meio da interação entre aluno e objeto.

A vivência cotidiana dos alunos desempenha um papel crucial na determinação da abordagem dos conteúdos previamente identificados como significativos. Dentro desse contexto, é essencial incentivar a exploração experimental e científica por meio de diretrizes abertas em ambientes apropriados, o que promove uma mudança substancial nos papéis do professor e do aluno no processo educacional. Segundo Papert, o design do ambiente de aprendizagem não deve ser feito de maneira arbitrária, pois:

[...] um ambiente de aprendizagem interativa baseada no computador onde os pré-requisitos estão embutidos no sistema e onde os aprendizes podem tornar-se ativos, arquitetos construtores de sua própria aprendizagem (PAPERT, 2017, p. 151).

Para Gadotti (2020), diante do incessante avanço tecnológico, torna-se imprescindível a adoção de recursos que aprimorem as abordagens pedagógicas no ensino da disciplina de física. Nesse contexto, é essencial que o professor assuma o papel de facilitador, criando um ambiente propício para que os alunos se envolvam em projetos interdisciplinares que conectem o conteúdo da sala de aula à sua experiência pessoal. Dessa forma, busca-se estimular o interesse dos estudantes pelo tema em estudo.

3.3 Avaliação da aprendizagem

Conforme destacado por Hoffmann (2013), a avaliação desempenha um papel fundamental na validação de uma sequência didática, sendo essencial por diversas razões. Ela é crucial para determinar o sucesso da sequência didática em alcançar seus objetivos educacionais, além de contribuir para a melhoria contínua do processo de ensino-aprendizagem. Além disso, a avaliação proporciona um *feedback* indispensável tanto para os professores quanto para os alunos, possibilitando ajustes com base nas necessidades e no progresso dos estudantes. A seguir, apresentamos alguns possíveis indicadores de aprendizagem:

- Medição do Progresso: A avaliação permite medir o progresso dos alunos por meio de avaliações formativas e somativas, que fornecem *insights* sobre o nível de compreensão e aplicação do conteúdo pelos alunos.
- Feedback Informativo: Os alunos recebem *feedback* valioso sobre seu desempenho, o que os ajuda a entender suas forças e áreas que precisam de melhoria. Os indicadores de aprendizagem incluem comentários do professor, notas em tarefas

e exames, que são usados para orientar os alunos no aprimoramento de seu aprendizado.

- **Validação dos Objetivos Educacionais:** A avaliação é essencial para verificar se os objetivos educacionais estabelecidos para a sequência didática foram atingidos. Isso pode ser avaliado com indicadores de aprendizagem que demonstram a aquisição de conhecimento, desenvolvimento de habilidades e competências.
- **Tomada de Decisões Educacionais:** Com base nos indicadores de aprendizagem, os professores podem tomar decisões informadas sobre a continuidade do ensino, a necessidade de revisão de conteúdo e a aplicação de estratégias de apoio a alunos que enfrentam dificuldades.
- **Engajamento:** O nível de engajamento dos alunos durante a sequência didática é uma medida importante, pois reflete o grau de interesse, participação e motivação dos alunos em relação ao conteúdo e às atividades propostas. O engajamento pode indicar o quão envolvente e eficaz é a abordagem pedagógica utilizada na sequência didática.

3.4 A experimentação e o uso da tecnologia educacional

A Física, como um outro componente curricular qualquer, necessita ser trabalhada de uma forma contextualizada, conforme as contribuições de Piaget e Papert, de modo que o aluno possa associar os conceitos estudados em sala de aula com situações em que ele vivencia ou vivenciará. Para isso é necessário que o professor consiga criar “pontes” para associar o abstrato ao concreto através de experimentos e atividades práticas. Lima (2013) diz que, “competências em Física para a vida se constroem em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos, portanto, de forma interdisciplinar”.

Em relação à forma como a disciplina Física vem sendo ensinada pelos docentes, Bonadiman e Nonenmacher (2007) identificaram que a falta de contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, a fragmentação dos conteúdos e a forma linear como são desenvolvidos em sala de aula, a pouca valorização da atividade experimental e dos saberes do aluno, a própria visão da ciência, e da Física em particular, geralmente entendida é repassada para o aluno como um produto acabado.

O problema do uso de experimentos em sala de aula é praticamente comum nas escolas da rede pública do Brasil. Evangelista e Chaves (2019, p.7) sugerem que para esse problema, o professor não fique de braços cruzados esperando por uma sala de aula com os devidos equipamentos e sim tome a atitude de criar situações e experimentos com materiais de baixo

custo e de fácil acesso à comunidade escolar. Dessa forma os alunos se sentirão mais seguros quanto ao uso e manuseio durante as práticas.

4 RECURSO EDUCACIONAL: ABORDAGEM E APLICAÇÃO

O recurso educacional elaborado nesta dissertação compreende uma sequência didática ancorada no construcionismo de Papert e no Construcionismo de Piaget, desenvolvida com o objetivo de proporcionar aos alunos uma abordagem diferenciada no estudo da Física, concentrando-se com objeto de pesquisa a aprendizagem de tópicos de eletrodinâmica como geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, além de análise de alguns componentes essenciais, como geradores, transformadores, dispositivos de segurança e instrumentos de medição. A compreensão conceitual, a descrição matemática e a aplicação prática desses elementos desempenham um papel fundamental no sucesso desta proposta pedagógica.

4.1 Kit experimental: fundamentação e descrição

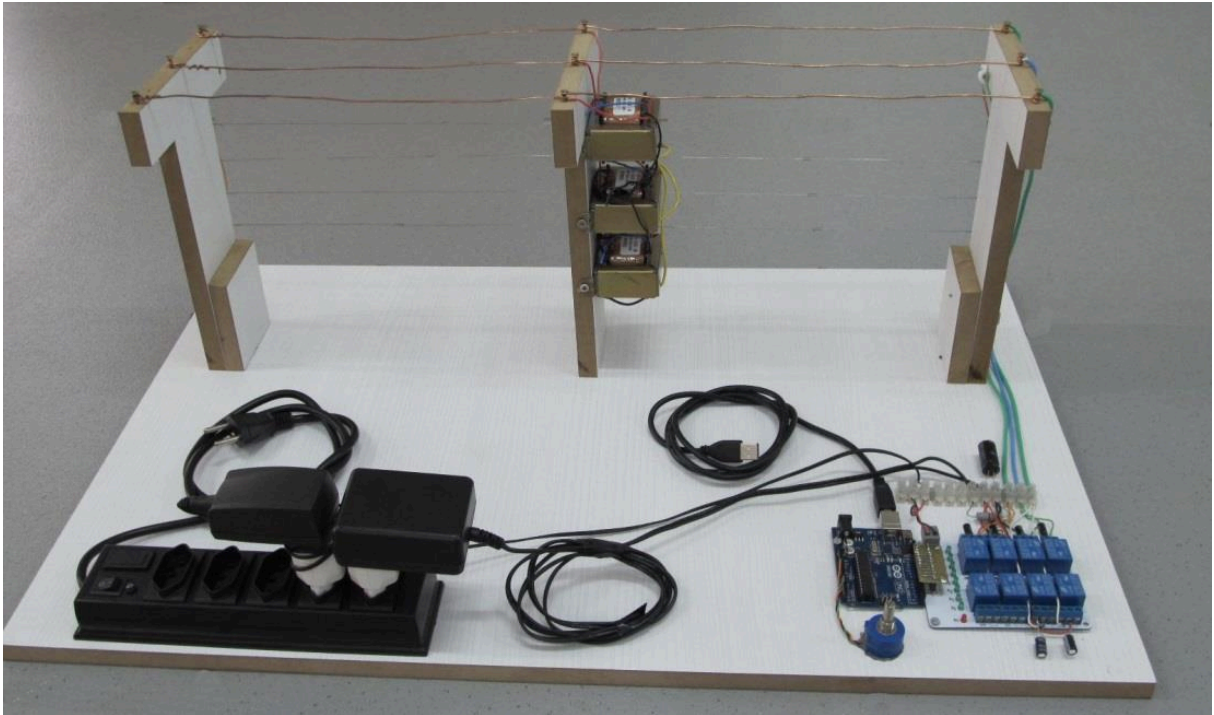
Este produto educacional baseia-se nas teorias do Construtivismo de Piaget e no Construcionismo de Seymour Papert. Ambos concordam que o ensino eficaz não deve estar desconectado da realidade e da vivência dos alunos. Segundo Piaget, o processo de aprendizagem ocorre quando o aluno interage com os objetos do conhecimento por meio de situações que enriquecem suas experiências de vida. Por sua vez, Papert vai além, defendendo que a interação necessária para a aprendizagem não deve ser aleatória. Ele acredita que os alunos aprendem ao experimentar, construir e participar ativamente do processo de construção do conhecimento com o auxílio de recursos tecnológicos.

Fornaza e Webber (2018, p.5) afirmam que, para Papert, uma abordagem construtivista moderna pressupõe que os alunos precisam buscar o conhecimento por conta própria em um ambiente mediado pelo educador. Uma das metodologias que se alinha a esse pensamento é a introdução da Robótica Educacional nas escolas. Quando utilizada adequadamente, a Robótica Educacional capacita os alunos a desempenhar um papel ativo no processo de aprendizagem, permitindo-lhes interagir diretamente com componentes elétrico-eletrônicos, os quais exigem um embasamento teórico para sua correta utilização.

Inicialmente desenvolvido por Visconi et al. (2015) para elucidar o funcionamento da rede elétrica, o kit experimental em forma de maquete didática foi associado a uma sequência didática e implementado em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública em Turiçu, Maranhão. A escolha dessa instituição como local de pesquisa e aplicação do kit experimental decorre de dois motivos principais: a falta de oportunidades para os alunos se envolverem em atividades práticas de experimentação, devido à ausência de laboratórios didáticos de ciências e salas de informática adequadas; e também por ser o ambiente da sala de aula onde exerço minha profissão.

O kit permite que se simule uma rede elétrica e se observe as inversões na tensão elétrica através de um sistema de LEDs coloridos. Na maquete estão presentes alguns componentes encontrados numa rede elétrica, tais como gerador, transformador e linhas de transmissão. A maquete é controlada por uma placa de Arduino. Os demais componentes eletrônicos presentes na maquete são de fácil aquisição e podem ser encontrados em lojas especializadas. A Figura 11 mostra a ligação dos componentes utilizados no kit experimental.

Figura 11 – Maquete do kit experimental.



Fonte: Viscovini (2015).

Pela Figura 11 podemos constatar que o kit experimental é composto dos seguintes componentes:

- 1 placa Arduino UNO;
- 1 fonte de 24 V;
- 1 fonte de 5 V;
- 1 módulo de 8 relés;
- 1 potenciômetro de 10 K Ω ;
- 1 cabo USB.
- 3 transformadores.
- 1 capacitor de 100,0 μ F e 6 capacitores de 10,0 μ F.
- 1 Barra de conectores múltiplos Sindal.

4.2 Metodologia e aplicação

Para Almeida e Tinoco (2021, p.3), a escola desempenha um papel crucial ao proporcionar situações de aprendizagem desafiadoras, onde os alunos são incentivados a enfrentar problemas relacionados ao seu cotidiano, promovendo assim sua participação ativa no processo educacional. Esta abordagem pedagógica fundamenta-se na exploração das estruturas cognitivas dos alunos, apresentando a essência das situações-problema e fornecendo ferramentas e recursos para que possam construir, organizar e desenvolver soluções para os desafios propostos. O objetivo é desenvolver a autonomia dos alunos, capacitando-os a buscar soluções e recursos para lidar com uma variedade de situações-problema ao longo de sua trajetória educacional.

Com o intuito de proporcionar aos alunos um entendimento mais sólido e significativo dos conceitos de eletrodinâmica, visando tornar o processo de ensino e aprendizagem mais eficaz e motivador, foi elaborada uma sequência didática. Essa sequência didática consiste em uma organização estruturada e sequencial de atividades de aprendizagem, aplicada aos alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública em Turiaçu, interior do Maranhão. A escola em questão é a única instituição estadual no município, contando apenas com anexos em áreas periféricas, e possui um total de 11 salas de aula, além de uma sala destinada aos professores e outra para informática, porém, esta última não está efetivamente equipada para uso contínuo. Segundo Zabala (1998), uma sequência didática é composta por um conjunto de atividades organizadas e estruturadas, interligadas com o objetivo de alcançar metas educacionais específicas, conhecidas tanto pelos professores quanto pelos alunos.

A Sequência Didática foi implementada ao longo de 10 encontros, divididos em 5 etapas, todas alinhadas com os seguintes objetivos:

- ✓ Diferenciar os conceitos de corrente contínua (i_{cc}) e corrente alternada (i_{ca}).
- ✓ Entender o processo de distribuição de energia elétrica realizado pelas empresas concessionárias, desde a geração até a entrega aos consumidores.
- ✓ Compreender a diferença entre sistema de distribuição monofásico, bifásico e trifásico.
- ✓ Compreender a relação entre corrente elétrica e campo magnético, bem como campos magnéticos provocados por corrente elétrica alternada.
- ✓ Relacionar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz com o funcionamento dos geradores de corrente alternada.
- ✓ Entender a funcionalidade e a necessidade do uso de transformadores no sistema de distribuição de energia elétrica por corrente alternada.
- ✓ Compreender e diferenciar dispositivos de segurança de circuitos elétricos de acordo com as suas funcionalidades.

- ✓ Identificar e entender os conceitos de física relacionados aos medidores elétricos.

4.2.1 Etapas da sequência didática

A sequência didática apresentada neste projeto foi desenvolvida com a colaboração dos alunos, com o intuito de tornar o processo de aprendizagem mais cativante, relevante e eficaz. Ela está estruturada em 5 (cinco) etapas, distribuídas ao longo de um total de 10 (dez) encontros, cada um com duração de uma hora-aula (1 h/a).

- **1ª Etapa (01 encontro) – Sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos a respeito do conteúdo a ser estudado**

Nesta etapa, ocorre a apresentação da proposta pedagógica, seguida da aplicação de um questionário de conhecimentos prévios contendo 12 perguntas abertas relacionadas ao conteúdo a ser estudado. É importante destacar que não há uma avaliação rigorosa das respostas, uma vez que o questionário serve principalmente como uma ferramenta de sondagem. Por meio dessas respostas, o professor obtém uma noção aproximada do conhecimento prévio dos alunos em relação ao tema. Esses dados permitem ao professor estabelecer um diálogo com os alunos e, a partir daí, direcionar ou, até mesmo, ajustar o desenvolvimento da sequência didática.

Para Freire (2014) “o diálogo entre professor e aluno é algo primordial no processo de aprendizagem, pois é nesse momento que os alunos refletem sobre a sua realidade e sobre os conhecimentos que já vivenciaram, afim de construir novos saberes”.

- **2ª Etapa (01 encontro) – problematização inicial**

Essa etapa terá início com o professor fazendo uma série de perguntas de forma oral aos alunos, todas relacionadas à energia elétrica. Os seguintes questionamentos serão apresentados aos estudantes: Como você imagina sua vida sem eletricidade? Quais aparelhos ou equipamentos seriam utilizáveis em seu cotidiano se a energia elétrica não tivesse sido estudada e desenvolvida?

Através dessas questões iniciais, iniciaremos um processo de problematização, incentivando os alunos a refletirem sobre a relevância da energia elétrica e a valorizarem os avanços científicos e tecnológicos. Nesse encontro, será exibido um vídeo do YouTube com o tema "Eletricidade no Brasil: Como chegamos até aqui?". Este vídeo possui um pouco mais de seis (6) minutos e sua finalidade é estabelecer conexões entre as disciplinas de História e Ciências, promovendo desta forma interdisciplinaridade.

- **3ª Etapa (04 encontros) – organização do conhecimento**

No primeiro encontro, os alunos assistirão a um vídeo do YouTube com o título "A Guerra Elétrica - A Disputa entre Edison, Westinghouse e Tesla¹", que oferece um breve documentário sobre a história da corrente contínua e da corrente alternada, incluindo seus defensores e principais invenções. Após a exibição do vídeo, os alunos terão a oportunidade de expressar sua compreensão sobre corrente contínua e corrente alternada por meio de um diálogo. O professor esclarecerá dúvidas sobre o conteúdo do vídeo e explicará as diferenças entre essas correntes. Também demonstrará o uso de um alicate amperímetro para mostrar como ler medições de corrente contínua e corrente alternada, destacando que, ao medir corrente alternada, o visor do alicate exibe uma frequência em hertz (Hz), enquanto a corrente contínua não apresenta essa informação.

No segundo encontro, os alunos receberão um material apostilado que aborda diferentes fontes de energia elétrica, tanto renováveis quanto não renováveis. O material explicará suas vantagens e desvantagens, abordando aspectos econômicos e geográficos. Os alunos terão 30 minutos para ler o material e formular perguntas sobre o assunto. Posteriormente, as perguntas serão respondidas, e haverá uma discussão sobre as fontes de energia. Na segunda parte desse encontro, o professor explicará o processo de transmissão e distribuição de energia elétrica, desde a geração até a entrega aos consumidores, esclarecendo o papel das subestações elevadoras e abaixadoras de tensão, bem como o funcionamento de circuitos monofásicos, bifásicos e trifásicos, utilizando recursos visuais como um quadro branco e um data show. Ao final, os alunos terão a oportunidade de contribuir com perguntas e esclarecer dúvidas.

No terceiro encontro, os alunos serão introduzidos a conceitos de eletromagnetismo, incluindo ímãs, polos magnéticos, propriedades básicas dos ímãs e o campo magnético da Terra. O professor explicará o experimento de Hans Christian Oersted que demonstrou a relação entre corrente elétrica e campo magnético, apresentando um experimento semelhante ao de Oersted. Além disso, ministrará uma aula com o auxílio de um data show e um material apostilado sobre fontes de campo magnético. Na segunda parte deste encontro, os alunos receberão material apostilado sobre o fluxo do vetor indução magnética, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz, bem como suas aplicações tecnológicas. Após a explicação do conteúdo, os alunos terão a oportunidade de interagir com uma animação na plataforma PhET *Interactive Simulations* que simula as leis de Faraday e Lenz. O encontro terminará com um período de perguntas e esclarecimento de dúvidas.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=dVtzwDzK20c>

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=qkxieZ2PzU>

No quarto encontro, os alunos receberão uma aula com material apostilado sobre transformadores, abordando a diferença entre transformadores elevadores e abaixadores de tensão e relacionando esse conhecimento à identificação dos transformadores próximos às suas residências. O material enfatizará as equações dos transformadores, com foco na compreensão qualitativa das grandezas envolvidas. Após a explicação, os alunos responderão a um questionário apostilado que destaca os aspectos teóricos do conteúdo. Eles terão 20 minutos para completar o questionário, seguido pela discussão das questões e esclarecimento de dúvidas por parte do professor.

- **4ª Etapa (02 encontros) – aplicação do conhecimento**

No primeiro encontro, os alunos serão introduzidos aos componentes físicos do kit experimental. Em seguida, dar-se-á início ao processo de montagem do circuito elétrico descrito no kit experimental a partir de um roteiro que indica a forma adequada de como os componentes devem ser inseridos no projeto, enquanto o professor supervisiona atentamente os procedimentos técnicos, especialmente em relação aos riscos de choque elétrico.

No segundo encontro, será feita uma introdução básica ao Arduino, juntamente com os componentes associados a ele e sua linguagem de programação específica. Após essa introdução, na presença dos alunos, o circuito elétrico será colocado em funcionamento, resultando na iluminação dos LEDs que simulam as lâmpadas dos postes da rede pública. A partir desse ponto, será possível simular os diferentes tipos de ligações elétricas, como as monofásicas, bifásicas e trifásicas, que são comuns em residências, comércios e indústrias. Nesse momento, o professor também enfatizará a importância dos dispositivos de segurança em instalações elétricas para proteger o circuito contra surtos de energia e destacará as precauções necessárias para evitar acidentes elétricos.

- **5ª Etapa (02 encontros) – Verificação do conhecimento adquirido**

Nesta etapa final, os alunos serão avaliados quanto ao seu entendimento e habilidade na aplicação do conhecimento adquirido. A avaliação será conduzida por meio de um questionário (Apêndice C), que será distribuído aos estudantes após a apresentação e execução do kit experimental por eles desenvolvido. Ao analisar as respostas desse questionário, o professor realizará uma comparação com as respostas fornecidas no questionário inicial entregue aos alunos na primeira etapa da sequência didática. Essa comparação tem como principal objetivo validar a eficácia da abordagem pedagógica adotada. No entanto, é crucial ressaltar que essa análise não deve ser a única abordagem de avaliação, uma vez que a avaliação de uma sequência

didática deve ser holística, considerando diversos elementos para determinar sua eficácia na consecução dos objetivos educacionais.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

5.1 Apresentação da proposta didática

Em 10 de novembro de 2022, convocamos as turmas do turno matutino, cada uma composta por cerca de 40 alunos que regularmente participavam das aulas. O propósito desse encontro foi promover a discussão sobre o desenvolvimento de um recurso educacional destinado a aprimorar a experiência de aprendizado. O objetivo era tornar a aprendizagem mais eficaz, envolvente e adaptada às necessidades dos alunos em relação aos conceitos de eletrodinâmica presentes em uma rede de distribuição elétrica.

Neste encontro, explicamos aos alunos que essa atividade fazia parte de uma pesquisa de mestrado, delineando os objetos de aprendizagem envolvidos. Ressaltamos também que a avaliação seria formativa e que os alunos passariam por uma avaliação para medir o alcance dos objetivos de aprendizagem estabelecidos.

Os alunos demonstraram entusiasmo e ansiedade ao expressar seu interesse em iniciar as atividades propostas. Durante essa primeira interação, explicamos minuciosamente os passos a serem seguidos, apresentamos o cronograma completo e indicamos a quantidade de encontros necessários. Estabelecemos a data de início das atividades, 17 de outubro de 2022, com o objetivo de garantir que os alunos compreendessem a relevância dessa aula específica.

5.2 O questionário de levantamento de conhecimentos prévios acerca do objeto de estudo

Iniciamos a implementação do produto distribuindo um questionário composto por 12 perguntas, sendo 6 de múltipla escolha e 6 questões subjetivas que abordavam os conceitos relacionados ao objeto de estudo. Destacamos a importância da sinceridade ao responder o questionário, pois esses conceitos seriam lembrados ao longo dos encontros. Além disso, informamos que, ao término das sessões, seria aplicado novamente um questionário para verificar a aprendizagem.

A Figura 12 mostra os alunos de uma das turmas respondendo o questionário prévio, que se encontra no Apêndice I deste trabalho.

Figura 12 - Alunos respondendo o questionário



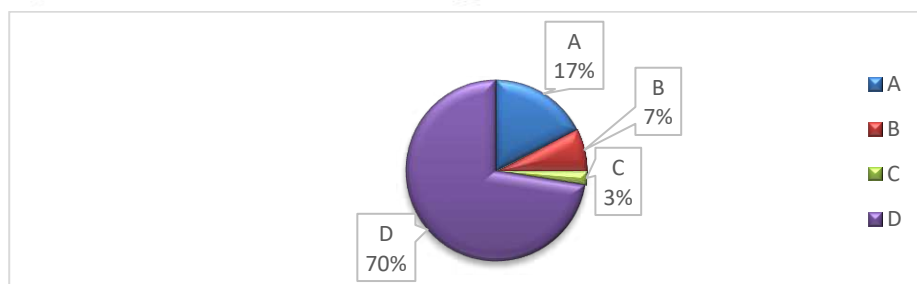
Fonte: próprio autor (2024)

Ao analisarmos as respostas do questionário, observamos que a primeira pergunta, que aborda o conceito de corrente elétrica, obteve uma taxa de acertos de aproximadamente 70%. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que o conceito de corrente elétrica ser recorrente em toda a eletrodinâmica, isto é, um tópico que os alunos estavam explorando durante o período de aplicação do questionário. A Figura 13 apresenta em detalhes os acertos e erros, incluindo a mencionada primeira pergunta.

Figura 13 - Respostas assinaladas pelos alunos para a questão 1

1ª Questão: A corrente elétrica é uma medida

- a) da força responsável pelo movimento das cargas.
- b) da resistência ao movimento das cargas.
- c) da energia responsável pelo movimento das cargas.
- d) do movimento das cargas

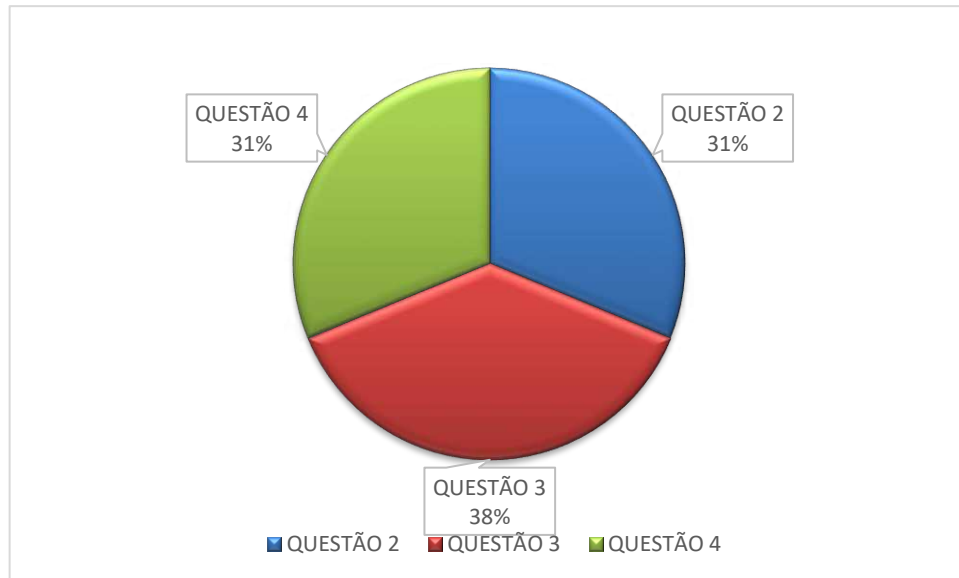


Fonte: Próprio autor (2024)

As perguntas 2, 3 e 4 registraram uma taxa média de acertos variando de 41% a 50%. A questão 2 abordou o conceito de corrente elétrica contínua (ICC ou IDC), a questão 3 relaciona ao conceito de corrente alternada (ICA ou IAC), enquanto a questão 4 solicita aos alunos que

mencionassem fontes de energia conhecidas por eles. Acreditamos que as questões 2 e 3 obtiveram essa faixa de acertos devido à necessidade de um nível mais profundo de compreensão sobre o conceito de corrente elétrica e suas diferenças. A Figura 14 oferece uma análise clara sobre o desempenho dos alunos em relação às questões 2, 3 e 4.

Figura 14 - Acertos dos alunos referente as questões 2,3 e 4.

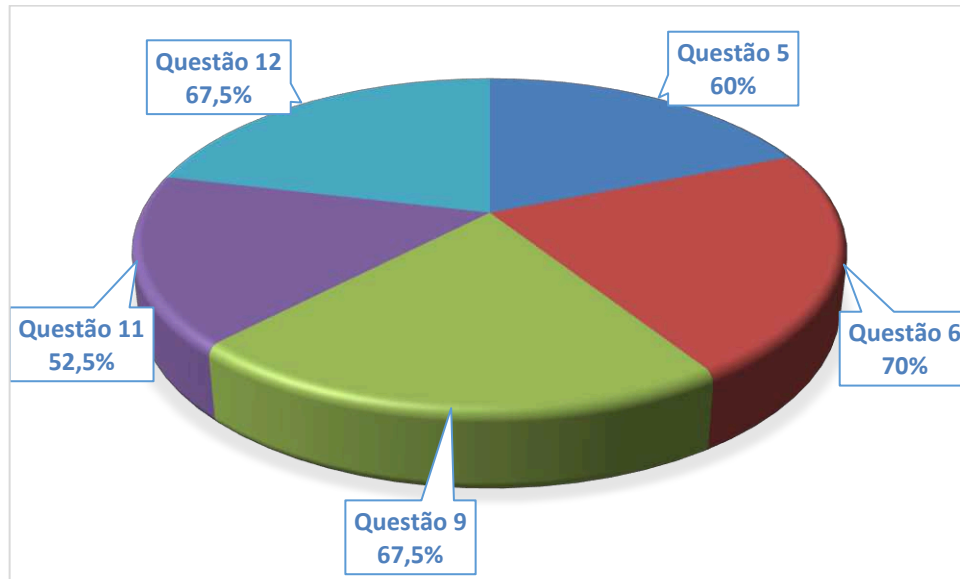


Fonte: próprio autor (2024)

No que diz respeito à dificuldade, notamos que as questões 5, 6, 9, 11 e 12 foram as que apresentaram menor índice de acertos, conforme se observa no gráfico da Figura 15. Acreditamos que a dificuldade da questão 5 pode ser atribuída ao conceito relacionado às subestações aumentadoras e abaixadoras de tensão, termos pouco comuns nos materiais didáticos convencionais. A questão 6, que aborda a distribuição de energia monofásica, bifásica e trifásica, também registrou uma quantidade significativa de erros, assim como a questão 9, que explora o conceito de dispositivos de proteção elétrica de circuitos. Ambas as questões demonstram que esses conceitos relacionados à distribuição de energia e dispositivos de proteção elétrica envolvem aplicações práticas. Se os alunos não conseguem conectar a teoria à prática, isso pode levar a equívocos nas respostas.

A questão 11, que fala sobre o capacitor, apresentou uma taxa de erros em torno de 52%, enquanto a questão 12, centrada no conceito de Arduino, registrou uma média de erros um pouco superior, na faixa de 67%. Isso pode incluir desafios na compreensão de como os capacitores armazenam carga e interagem em circuitos elétricos, além deixar claro que os alunos podem não ter uma compreensão sólida de como o Arduino funciona, suas aplicações e como programá-lo.

Figura 15 - Análise da dificuldade apresentada pelos alunos às questões 5, 6, 9, 11 e 12.



Fonte: Próprio autor (2024)

5.3 A problematização como um motivador no processo de ensino e aprendizagem

Durante diversas conversas com colegas professores, observamos que um desafio significativo nas salas de aula é a ausência de participação e interação por parte dos alunos. Essa situação decorre do fato de eles não conseguirem relacionar os conteúdos ministrados em sala de aula com seu cotidiano e sua realidade. Isso frequentemente resulta em aversão, desinteresse e desmotivação em relação ao ensino de ciências.

As metodologias ativas têm o potencial de despertar a curiosidade, à medida que os alunos se inserem na teorização e trazem elementos novos, ainda não considerados nas aulas ou na própria perspectiva do professor. Quando acatadas e analisadas as contribuições dos alunos, valorizando-as, são estimulados os sentimentos de engajamento, percepção de competência e de pertencimento, além da persistência nos estudos, entre outras. (BERBEL, 2011, p.28)

Com o propósito de melhorar a interação e participação dos alunos, demos início ao segundo encontro, prosseguindo com a aplicação do produto, lançando duas perguntas de forma oral para os alunos. A primeira indagação foi: "Como seria a sua vida sem eletricidade?" Como previsto, a maioria dos alunos respondeu que seria difícil viver sem energia elétrica. Muitos mencionaram o celular como uma ferramenta tecnológica essencial para a comunicação, trabalho e entretenimento nos dias de hoje, destacando que sem a energia elétrica, esse dispositivo seria inoperante. Outros lembraram dos eletrodomésticos em suas casas, os quais dependem da energia elétrica para funcionar.

Após as respostas dos alunos à primeira pergunta, lançamos a segunda: "**Quais aparelhos ou equipamentos você conseguiria usar no seu dia a dia caso a energia elétrica**

não tivesse sido estudada e desenvolvida?" Pedimos aos alunos que ponderassem cuidadosamente, pois suas respostas deveriam considerar conhecimentos sobre fontes de tensão e condutores de eletricidade.

Alguns alunos afirmaram “não possuir tais equipamentos em suas casas”, enquanto aqueles que vivem em áreas rurais mencionaram “máquinas manuais”, como a de bater açaí acionada por uma alavanca giratória manual, e a máquina de arar a terra, puxada por búfalos ou cavalos.

Concluimos destacando que essas máquinas citadas na segunda pergunta já não são amplamente utilizadas devido à necessidade de aumentar a produção, reduzir o tempo de trabalho e otimizar processos. Por isso, recorreremos aos recursos proporcionados pelo avanço tecnológico impulsionado pelo desenvolvimento de meios mais eficientes de distribuição e uso da energia elétrica.

Após essa introdução e problematização por meio de perguntas orais, seguimos o cronograma apresentando um vídeo do YouTube com o tema "Eletricidade no Brasil: como chegamos até aqui?"².

Figura 16 - Alunos assistindo o vídeo sobre a eletricidade no Brasil



Fonte: Próprio autor (2024)

Após o vídeo, a impressão deixada foi que gostaram do que assistiram, pois, mesmo que timidamente, entenderam como se deu o processo de desenvolvimento e expansão do setor

² Acesso em 19/11/2023: <https://www.youtube.com/watch?v=dVtzwDzK20c>

energético brasileiro, bem como a época e as dificuldades encontradas na implementação de hidrelétricas, assim como os avanços no processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no Brasil.

Dessa forma os alunos conseguiram criar links com as disciplinas história e geografia, entendendo que o desenvolvimento do setor energético brasileiro foi um dos eventos que propiciou o avanço da industrialização no Brasil bem como as mudanças no espaço geográfico das regiões alcançadas por esse evento.

Durante esta fase da implementação do produto, destacamos a interdisciplinaridade, pois reconhecemos que a integração da disciplina de física com outras áreas é um fator motivador que estimula a participação dos alunos e desperta seu interesse em aprofundar os conhecimentos transmitidos. Isso os transforma em agentes ativos no processo de ensino e aprendizagem.

A interdisciplinaridade, com o passar do tempo, vem deixando de ser mais um modismo na educação. Ela começa a ser encarada como uma proposta pedagógica que pode auxiliar a superar algumas das dificuldades encontradas por professores e alunos no trabalho desenvolvido na sala de aula. No entanto, esse conceito ainda é pouco discutido nas escolas, dificultando a compreensão dos seus reais objetivos (HÜLSENDEGER, 2008, p. 3).

5.4 Organizando os conhecimentos necessários para a aplicação do produto

Iniciamos esta fase da implementação do produto educacional apresentando aos alunos um vídeo do YouTube intitulado "A Guerra Elétrica - A Disputa entre Edison, Westinghouse e Tesla"³. O objetivo era proporcionar aos alunos uma visão histórica do desenvolvimento da eletricidade, abordando a distribuição de energia elétrica por meio das correntes alternada e contínua. Essas correntes eram defendidas, respectivamente, por Thomas Edison e Nikola Tesla.

³ Acesso em 11/01/2024: <https://www.youtube.com/watch?v=qkxiez2PfzU>

Figura 17 - Alunos assistindo o vídeo sobre a guerra elétrica



Fonte: Próprio autor (2024)

Após a exibição do vídeo, oferecemos aos alunos a oportunidade de expressarem sua compreensão sobre o conteúdo do documentário. Alguns alunos mais reservados optaram por não comentar sobre o vídeo, enquanto outros demonstraram entusiasmo ao discutir a genialidade de Tesla ao resolver os desafios dos dínamos de corrente contínua de Edison. No entanto, houve indignação em relação à falta de seriedade nas promessas financeiras de Edison a Tesla para resolver esses problemas.

Outros alunos abordaram o que consideraram um "jogo sujo" por parte de Thomas Edison ao tentar difamar a corrente alternada defendida por Westinghouse e Tesla. Eles destacaram a prática questionável de Edison ao sacrificar animais na tentativa de provar a maleficência e periculosidade da corrente alternada. Além disso, mencionaram a proposta de Edison de utilizar a corrente alternada na execução por choque elétrico de um condenado.

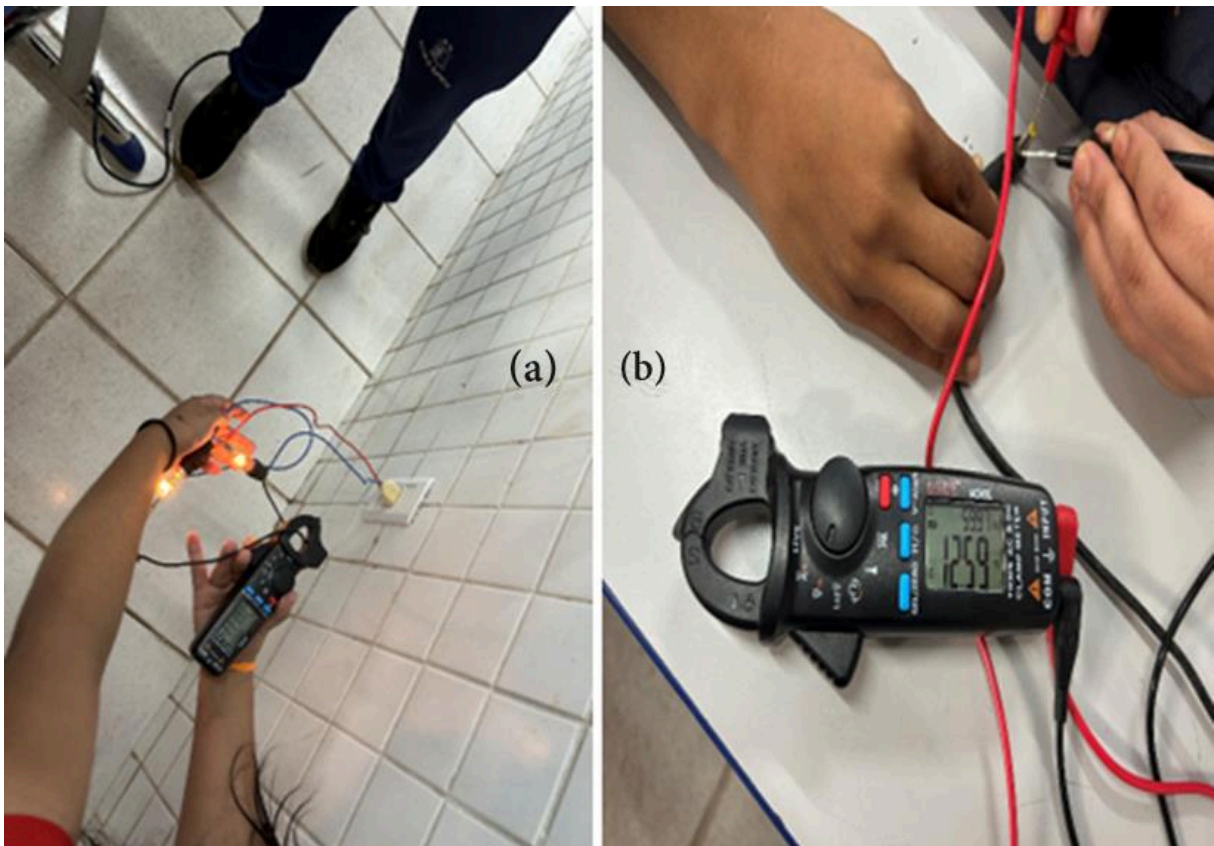
Contudo, o diálogo foi marcado por um comentário impactante de um aluno, que compreendeu a necessidade de tantos transformadores na cidade de Turiaçu (local onde se desenvolveu o recurso educacional). Ele explicou que o uso da corrente alternada faz com que ela seja transmitida em alta voltagem, tornando essencial o papel dos transformadores para reduzir essa voltagem e adequá-la aos 220V utilizados em residências. De acordo com Papert (2017), as pessoas aprendem melhor quando estão engajadas em projetos significativos nos quais têm a liberdade de explorar, experimentar e descobrir por si mesmas. Ele defendia a ideia

de que a aprendizagem deve ser centrada no aluno, permitindo que ele construa seu próprio conhecimento de forma ativa

Após os comentários dos alunos, esclarecemos dúvidas restantes sobre corrente contínua e corrente alternada. Destacamos que a corrente contínua não pode ser transmitida a longas distâncias devido às perdas por aquecimento nos cabos. Nesse contexto, explicamos que a corrente alternada, oscilando a uma frequência de 60 Hz, permite o uso eficiente de transformadores para ajustar a voltagem, viabilizando a transmissão a longas distâncias com perdas mínimas. Esclarecemos também a relação entre a redução das perdas por aquecimento dos fios, a diminuição da corrente elétrica transmitida e o aumento da tensão para manter constante a potência de transmissão de energia.

Após esse momento de conversa e esclarecimento de dúvidas sobre corrente contínua e corrente alternada, mostramos aos alunos o uso de um alicate amperímetro em um circuito de duas lâmpadas em série ligadas em uma tomada para exemplificar a corrente alternada, (Figura 18) (a) e logo em seguida mostramos a leitura da voltagem em uma fonte de tensão contínua, (Figura 18) (b).

Figura 18 - (a) Medição da corrente alternada e (b) medição da tensão contínua de uma fonte,



Fonte: Próprio autor (2024)

Na sequência, entregamos aos alunos um material apostilado abordando diversas fontes de energia, tanto renováveis quanto não renováveis. Este material incluía informações sobre as vantagens e desvantagens nos aspectos econômicos e sociais. Aos alunos foi então concedido cerca de 30 minutos para leitura, reflexão, pesquisa adicional em seus celulares e formulação de perguntas em grupos. Estas questões foram posteriormente discutidas e respondidas pelo professor em conjunto com os demais grupos, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Grupos de alunos formulando perguntas sobre fontes de energia.



Fonte: Próprio autor (2024).

Após essa etapa, os grupos começaram a apresentar suas dúvidas por meio de perguntas. Para facilitar e organizar o processo, designamos um grupo específico para expor sua pergunta e demos oportunidade para que outros grupos oferecessem respostas ou comentários sobre a questão apresentada. Após ouvir as respostas fornecidas pelo grupo escolhido, o professor fez observações necessárias, explicando e reforçando as informações para esclarecer as dúvidas levantadas pelo primeiro grupo. Desta forma, conseguimos abordar e elucidar as principais questões, tais como: **Quais ou qual a(s) fonte(s) de energia seriam mais viáveis tanto do ponto de vista geográfico quanto do ponto de vista econômico e ambiental. Por que a energia nuclear não é usada de forma predominante no Brasil? O aquecimento global está relacionado com quais tipos de fontes de energia?**

A primeira pergunta foi abordada ao mencionar as características geográficas distintas das principais regiões e suas respectivas demandas energéticas. Ressaltou-se que fontes de

energia renováveis, como hidrelétrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, energia das marés e do hidrogênio, são consideradas ideais devido à capacidade de regeneração espontânea ou por intervenção humana. No entanto, salientou-se a importância de considerar as condições geográficas específicas de cada região. Por exemplo, destacou-se que hidrelétricas devem ser instaladas em locais com desnível e fluxo contínuo de água. Já as energias solar e eólica, consideradas limpas por não agredirem nem deixarem resíduos na natureza, seriam mais eficazes em regiões como a Norte e a Nordeste, devido às condições climáticas favoráveis nessas áreas. Os alunos demonstraram compreensão da explicação por meio de expressões faciais, gestos e participação verbal.

A segunda pergunta foi abordada ao lembrar aos alunos as diversas possibilidades, formas e tipos de energias renováveis disponíveis no Brasil. Mesmo com as usinas nucleares Angra 1, 2 e 3 em operação, ressaltou-se que a energia nuclear apresenta algumas desvantagens. Destacou-se que é uma fonte de energia não renovável, apresenta riscos ao meio ambiente e à saúde humana em caso de descarte inadequado do lixo atômico ou ocorrência de acidentes, como exemplificado pelo desastre de Chernobyl. Além disso, foram mencionados os altos custos de instalação e os impactos ambientais, como o aquecimento das águas do mar e dos rios pelo descarte de água superaquecida no processo.

Iniciamos a resposta da terceira pergunta lembrando sobre o conceito de fontes renováveis e não renováveis. Fizemos um breve apanhado sobre o que é o efeito estufa e sua importância para a manutenção da vida no planeta, a partir daí, os alunos entenderam que o problema não está no efeito estufa e sim na intensificação deste, causado pelo aumento da emissão de gases poluentes como o CO₂ (dióxido de carbono), um dos principais intensificadores do efeito estufa, oriundo da queima de combustíveis fósseis como carvão mineral, petróleo e seus derivados e o gás natural. Enfatizamos que a queima de combustíveis fósseis não é o único vilão da intensificação do efeito estufa, porém, para ser coerente com a resposta à pergunta, citamos a emissão do dióxido de carbono (CO₂).

Tendo certeza de que os alunos compreenderam a fase relacionada às fontes de energia, avançamos explicando o processo de transmissão e distribuição de energia. Esclarecemos desde a geração até a entrega da energia elétrica aos grandes e pequenos centros consumidores. Para garantir uma compreensão sólida, relembramos com os alunos o conceito de gerador, enfatizando que o gerador não produz energia, mas converte uma forma qualquer de energia em outra. Utilizamos as hidrelétricas como exemplo, a principal fonte de energia no Brasil, e resumimos o conceito de energia mecânica, assunto abordado no 1º ano do ensino médio. Dessa forma, conseguimos ilustrar a função do gerador no processo de "geração" de energia elétrica.

Além disso, detalhamos a importância dos cabos condutores de energia elétrica e das subestações abaixadoras e aumentadoras de tensão. Explicamos o papel crucial e o funcionamento dos transformadores nesse processo. Os alunos compreenderam claramente a razão do uso dos transformadores dentro das cidades, com o primário conectado à alta tensão e o secundário ligado aos fios da rede que chegam aos consumidores.

Sobre os tipos de ligações, começamos explicando sobre as ligações monofásicas que funcionam com dois condutores, sendo um fase e um neutro, (no estado do Pará o fornecimento monofásico é de 127 V e nos estados do Maranhão, Piauí e Alagoas o fornecimento monofásico é de 220V). Esclarecemos também aos alunos o termo técnico utilizado pelas concessionárias de energia, “carga instalada em uma unidade consumidora”, que é a soma das potências nominais de todos os aparelhos elétricos de uma residência, que serve como base para as concessionárias determinarem qual o tipo de ligação é ideal para uma residência. Por exemplo, para uma ligação monofásica a potência instalada deve ser entre 10kW e 12kW. Seguindo o raciocínio da ligação monofásica explicamos aos alunos as ligações bifásicas (dois condutores fases e um condutor neutro) e trifásica (três condutores fases e um condutor neutro).

No terceiro encontro da fase de organização do conhecimento, introduzimos conceitos de eletromagnetismo. Inicialmente, abordamos as propriedades magnéticas dos ímãs, definindo polos magnéticos e destacando a relevância do campo magnético da Terra. Em seguida, discutimos a experiência de Hans Christian Ørsted, reconhecido como o pai do eletromagnetismo, explicando a interação entre corrente elétrica (eletricidade) e campo magnético (magnetismo). Os alunos demonstraram interesse, já que muitos tinham noção de corrente elétrica. Alguns compartilharam experiências relacionadas ao campo magnético, recordando momentos de infância em que brincavam com ímãs próximos à televisão, observando distorções na imagem. Seguindo essa linha de raciocínio, exploramos os campos magnéticos gerados por corrente elétrica e os efeitos da força magnética em partículas eletrizadas.

Utilizando um projetor de *slides* e aproveitando os recursos disponíveis na plataforma educacional PhET *Interactive Simulations*, iniciamos a última parte da introdução ao eletromagnetismo. Demonstramos o funcionamento da Lei de Faraday e suas aplicações em conjunto com a Lei de Lenz. Na Figura 20, apresentamos uma introdução à Lei de Faraday, exemplificando e associando-a a problemas e dispositivos que operam com base nessa lei.

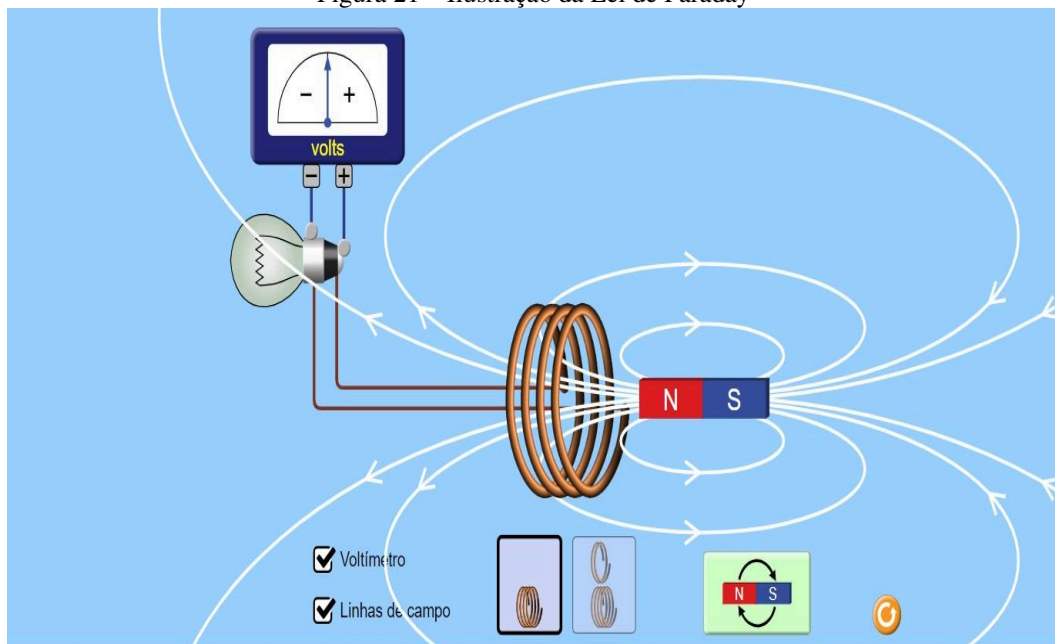
Figura 20 - Explicação da Lei de Faraday



Fonte: próprio autor (2024)

Após mostrarmos matematicamente a lei de Faraday e explicarmos as grandezas nela presentes, utilizamos a simulação da plataforma PhET para mostrar o comportamento da variação do fluxo do vetor campo magnético através de uma espira, deixando claro que só existe f.e.m, induzida quando há um movimento relativo entre a espira e o ímã, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Ilustração da Lei de Faraday



Fonte: phet.colorado.edu

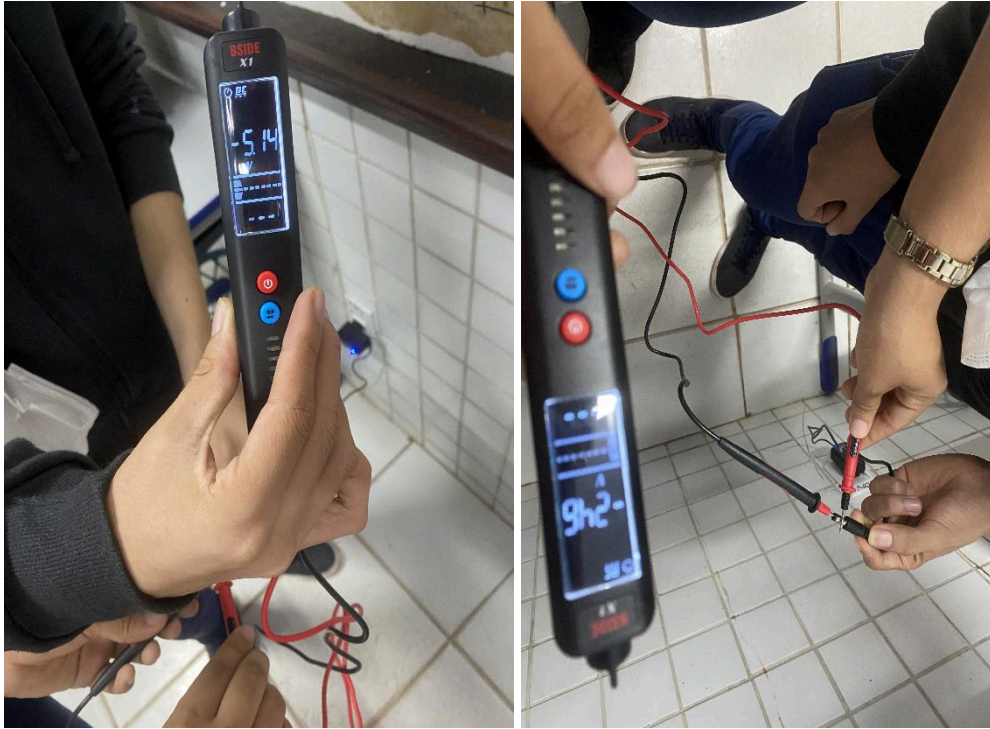
Como exemplo da aplicação da Lei de Faraday, apresentamos a explicação e conceituação dos transformadores de tensão e de corrente, os quais são amplamente utilizados nas redes de distribuição de energia elétrica. Mencionamos também os autotransformadores, que são empregados dentro das residências para transformar 127 em 220 V ou 220 em 127 V, além dos transformadores eletrônicos, similares aos que serão utilizados em nossa maquete de distribuição de energia elétrica. Estes últimos convertem 127 V ou 220 V em tensões menores, como 9 V, 12 V, 15 V, entre outras.

Ao abordarmos a equação dos transformadores, enfatizamos matematicamente que, ao conectar uma fonte de tensão no primário com a intenção de obter um aumento de tensão no secundário, o resultado será uma tensão maior. No entanto, destacamos que a corrente induzida no secundário será menor do que a corrente introduzida no primário, conforme os princípios da Lei de Faraday.

5.5 Verificação da aplicação do conhecimento

Dado que a verificação da aprendizagem desempenha um papel crucial no processo educacional, oferecendo informações essenciais tanto para educadores quanto para alunos e permitindo ajustes, melhorias e assegurando a consecução dos objetivos educacionais, nesta fase da aplicação do recurso educacional, iniciamos apresentando aos alunos os componentes do circuito da maquete. Relembramos a função de cada componente e como eles se integram no circuito. Em seguida, avançamos para a etapa de teste de alguns componentes, como as fontes de tensão contínua de 5 V e 24 V, conforme ilustrado na Figura 22.

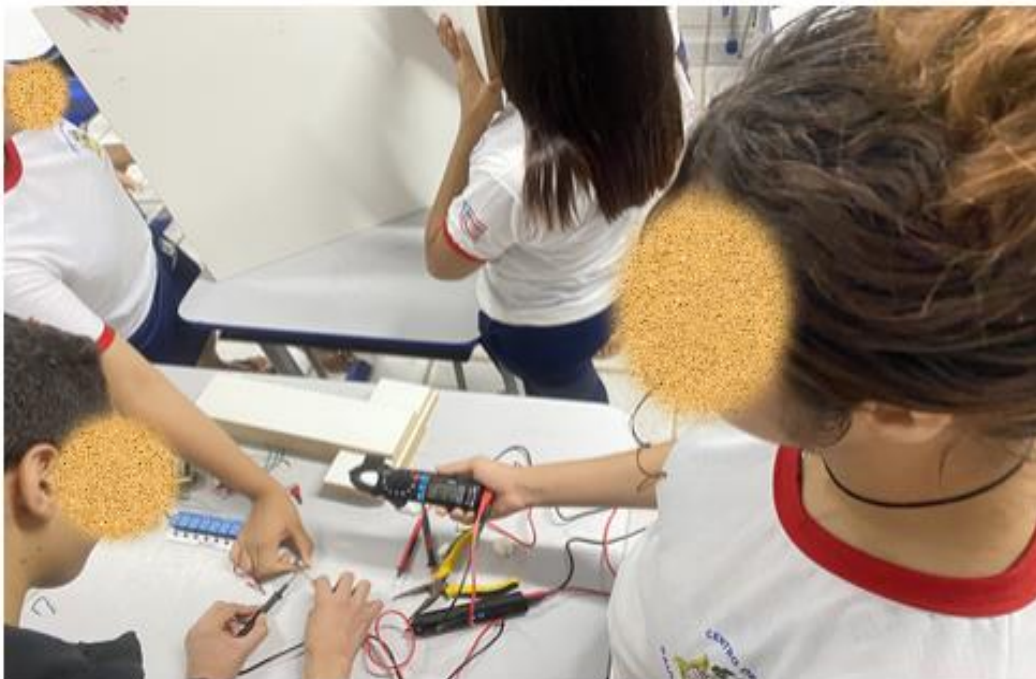
Figura 22 – Testando a fonte de 5 V e 24 V



Fonte: Próprio autor (2024)

Posteriormente, os alunos deram início aos testes dos capacitores de $10 \mu\text{F}$ e $100 \mu\text{F}$. Foi reforçado aos alunos que a função do capacitor é reduzir os ruídos gerados no circuito decorrentes do chaveamento das cargas indutivas, especialmente nos enrolamentos primários dos transformadores. A Figura 23 ilustra os alunos realizando os testes nos capacitores.

Figura 23 – Alunos testando os capacitores



Fonte: Próprio autor (2024)

Após testarmos os componentes, demos início ao processo de montagem física da maquete. Os alunos se organizaram de forma que as tarefas foram divididas entre eles harmonicamente; com o uso de uma parafusadeira, alguns alunos se empenharam em colocar os parafusos para fixar os “postes” na maquete, enquanto uns seguraram a base e outros supervisionaram para ver se não estava ficando fora do esquadro e das marcações propostas, como mostra na Figura 24.

Figura 24 - Alunos montando a maquete



Fonte: Próprio autor (2024)

Após concluir o processo de montagem da maquete, iniciamos a introdução ao Arduino, apresentando aos alunos os diversos tipos de Arduino disponíveis no mercado. Explicamos como os pinos digitais e analógicos são empregados, destacando também a finalidade dos pinos de 5V e GND. Em seguida, conduzimos os alunos até a sala de informática da escola para realizar uma programação básica conhecida como "pisca led".

Com o auxílio de um projetor, demonstramos aos alunos como inserir o código de programação, explicando detalhes como a função *void setup*, utilizada para definir pinos, variáveis e estabelecer velocidade de transmissão serial, entre outras finalidades. Também elucidamos o *void loop*, que representa um laço de repetição no Arduino. Após mostrar aos alunos como inserir os comandos no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino, formamos grupos para que tentassem replicar o código apresentado. Orientamos os alunos a verificarem o código no IDE do Arduino após a inserção do mesmo.

Na Figura 25 temos grupos de alunos treinando programação no arduino.

Figura 25 - Alunos treinando programação com o arduino



Fonte: Próprio autor (2024)

Após concluir a fase de montagem física da maquete e a introdução ao Arduino com a linguagem de programação, foi necessário intervir junto aos alunos nas conexões de alguns componentes eletrônicos. Foi preciso decapar alguns fios com o auxílio de um alicate, uma habilidade que a maioria dos alunos não possuía. Após finalizar essa etapa, procedemos com a apresentação da maquete para a turma, proporcionando aos alunos uma visão geral e abrangente de todo o trabalho realizado. A Figura 26 ilustra a apresentação da maquete aos alunos.

Figura 26 – Apresentação da maquete aos alunos



Fonte: Próprio autor (2024)

Através da maquete, conseguimos simular ligações elétricas monofásicas, bifásicas e trifásicas, explicando aos alunos as diferenças entre elas e em que condições essas ligações

devem ser empregadas, conforme as normas técnicas da concessionária de energia Equatorial que atende nosso estado. Ao analisar a maquete, elucidamos para os alunos a função dos transformadores presentes dentro das cidades, instalados nos postes próximos a residências e comércios. Mostramos que esses transformadores têm seu enrolamento primário conectado à alta tensão, enquanto o enrolamento secundário está ligado à baixa tensão, uma vez que atuam como transformadores abaixadores de tensão.

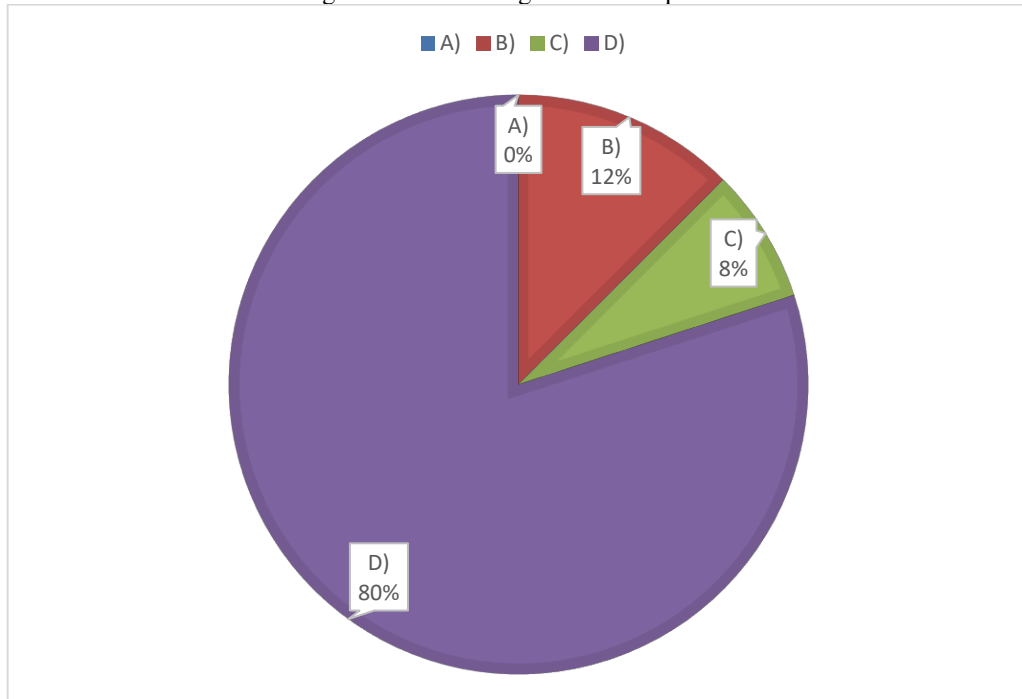
Durante esse momento, explicamos aos alunos a importância dos dispositivos de segurança, como disjuntores e fusíveis, bem como a maneira correta de utilizá-los para a proteção de circuitos elétricos. Ressaltamos a relevância da atenção no dimensionamento dos componentes da maquete, que deve seguir rigorosamente as orientações contidas no apêndice B. Destacamos que o uso inadequado de qualquer componente pode afetar o funcionamento da maquete.

5.6 Sondagem dos conhecimentos adquiridos com a aplicação do kit experimental

Após a montagem da maquete, a explicação de seu funcionamento e a detalhada apresentação de seus componentes, avançamos para a etapa final, que consiste na aplicação de um questionário para validar o conhecimento adquirido durante a implementação do produto educacional, conforme apresentado no Apêndice C. Em seguida, realizaremos uma comparação com o questionário de conhecimentos prévios, conforme indicado no Apêndice A, a fim de verificar se o processo de aprendizagem ocorreu conforme o esperado. O questionário destinado a avaliar os conhecimentos adquiridos foi formulado com base nos conteúdos abordados e nas experiências práticas vivenciadas pelos alunos ao longo de todo o processo de implementação, mantendo-se alinhado com o conteúdo do questionário de conhecimentos prévios.

Ao analisar a primeira pergunta que requer que os alunos identifiquem a diferença entre corrente contínua e corrente alternada, observamos que a média de acertos foi de 80%, representando um total de 32 respostas corretas em uma turma de aproximadamente 40 alunos. Esta melhora é notável em comparação ao primeiro questionário, refletindo um aumento de 30% a 39%. Acreditamos que essa evolução na taxa de acertos pode ser atribuída à ênfase dada ao conteúdo de corrente contínua e corrente alternada, destacando que esse conhecimento é fundamental para a compreensão do trabalho. Durante os testes dos componentes, os alunos, ao usarem o multímetro, conseguiram discernir entre voltagem e corrente contínua ao testar a fonte de tensão e voltagem, e corrente alternada ao testarem os transformadores. O gráfico da Figura 27 ilustra a distribuição de respostas corretas dentro da amostra mencionada, sendo a resposta correta identificada pela alternativa D).

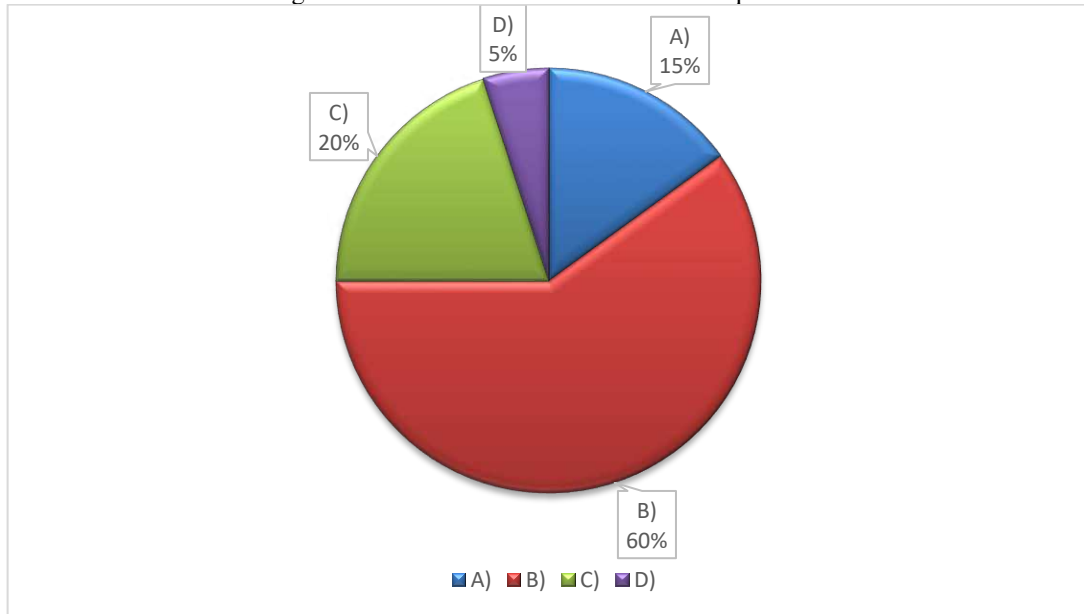
Figura 27 – Análise gráfica da 1ª questão



Fonte: Próprio autor (2024)

Em relação à questão 2 que se refere ao conceito de fontes de energia renováveis e não renováveis, tivemos uma melhora não tão significativa em relação ao questionário de conhecimentos prévios. Acredita-se que essa situação ocorreu devido ao fato desse assunto ter sido explorado apenas em uma parte da aplicação do produto e ser um assunto que envolva bastante leitura e pesquisa. A média de acertos ficou em torno do 60%, 10% a mais de acertos em relação à questão que envolvia o conceito de fontes de energia no primeiro questionário passado aos alunos. O gráfico da Figura 28 mostra claramente essa situação, sendo que a alternativa correta era a letra B).

Figura 28 - Análise dos acertos referente a questão 2

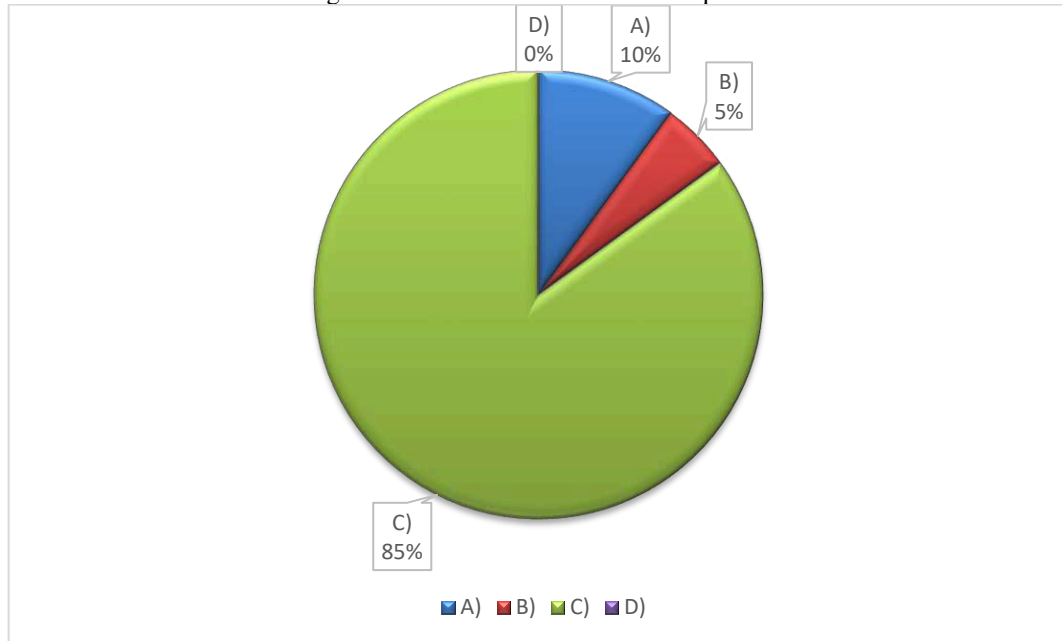


Fonte: Próprio autor (2024)

Na terceira pergunta, que aborda a lei da física responsável pelo funcionamento dos transformadores, observamos um aproveitamento bastante positivo, alcançando cerca de 85%. Acreditamos que esse desempenho favorável por parte dos alunos está relacionado à terceira etapa da aplicação do produto, na qual utilizamos um material apostilado sobre os transformadores em sala de aula. Enfatizamos a equação, aplicação e funcionamento desses dispositivos, realizando também uma breve revisão sobre o eletromagnetismo. Durante essa etapa, destacamos os campos gerados por corrente elétrica e as leis de Faraday e Lenz.

Além disso, promovemos uma abordagem interativa ao mostrar aos alunos animações sobre a lei de Faraday por meio da plataforma PhET Colorado. Nesse contexto, os alunos puderam visualizar como uma fonte de campo magnético em movimento próximo a uma espira metálica circular induz uma voltagem alternada na mesma. Considerando a alternativa correta, indicada pela letra c), o gráfico abaixo apresenta a quantidade de alunos que assinalaram cada opção, juntamente com seus percentuais correspondentes.

Figura 29 – Análise de acertos da 3ª questão

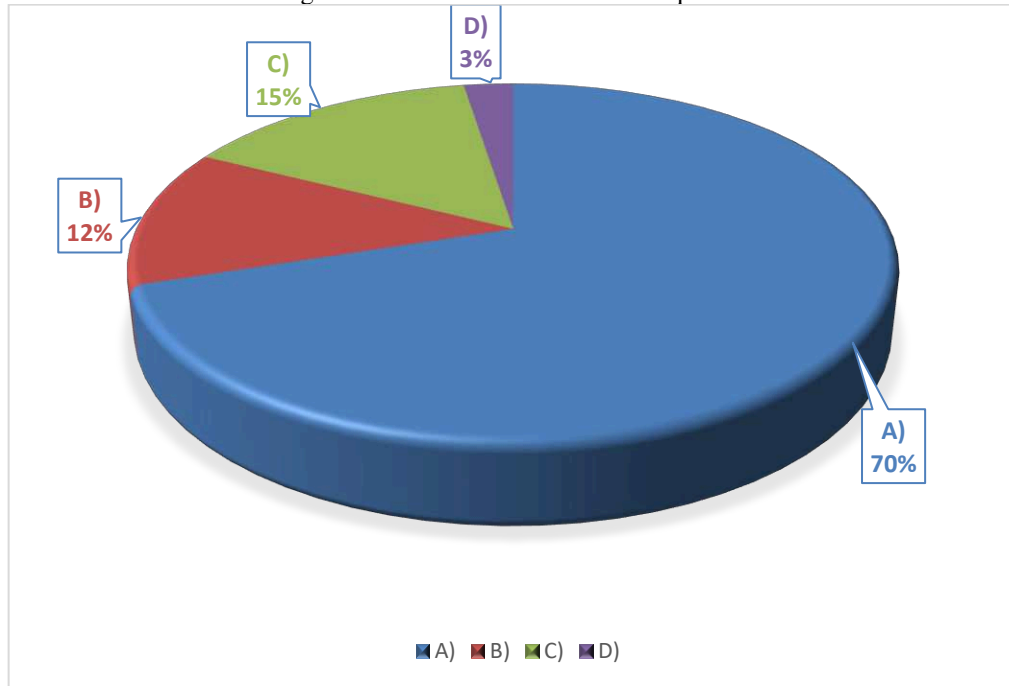


Fonte: Próprio autor (2024)

Ao analisar a questão 4, que aborda o conceito de subestações aumentadoras e abaixadoras de tensão no questionário de sondagem do conhecimento, e compará-la com a questão 5 do questionário de conhecimentos prévios, observamos uma melhora significativa. Na 5ª questão do primeiro questionário, foram registrados 24 erros, o que significa que 60% dos alunos cometeram equívocos, enquanto apenas 40% acertaram inicialmente essa questão.

No entanto, após a conclusão da etapa 3 de organização do conhecimento e da etapa 4 de aplicação do conhecimento, onde os alunos participaram de aulas expositivas com recursos multimídia e receberam materiais apostilados direcionados a esse tema, observamos um aumento percentual de acertos em torno de 30%. Ou seja, 70% da turma acertou a questão relacionada às subestações no questionário de sondagem do conhecimento, considerando que a alternativa correta está representada pela letra "a". O gráfico da Figura 30 detalha a quantidade de acertos.

Figura 30 – Análise de acertos da 4ª questão



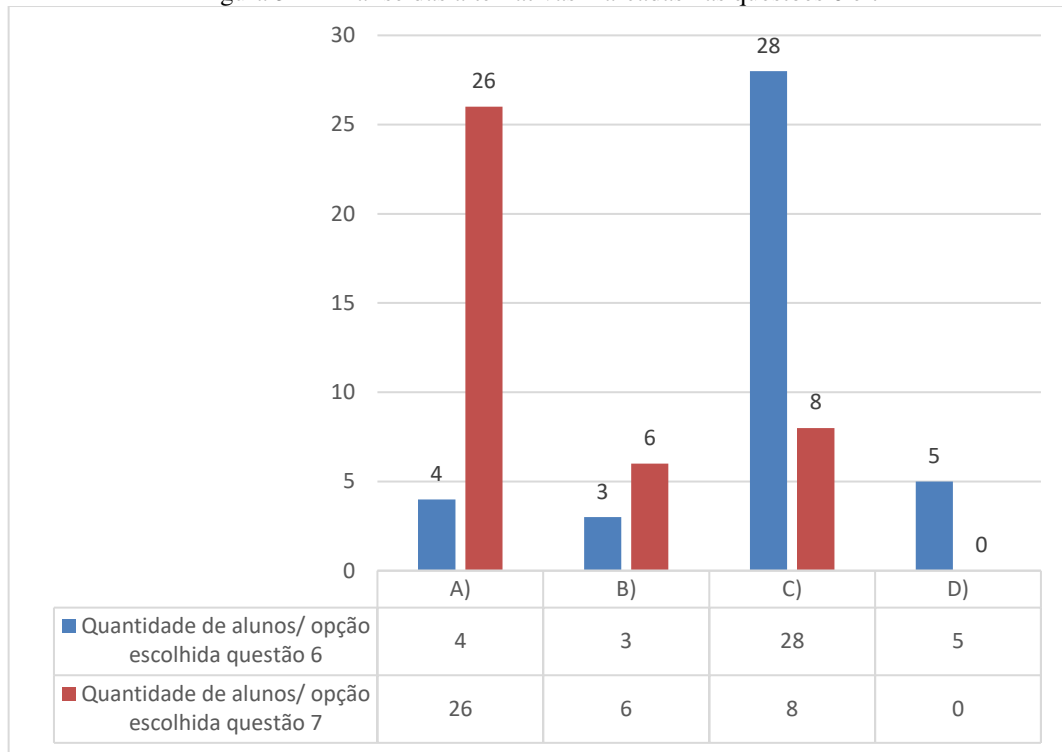
Fonte: Próprio autor (2024)

A 5ª questão, que aborda os tipos de ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas, foi formulada para que as respostas fossem dadas de maneira pessoal. No entanto, os alunos precisavam ter um conhecimento específico sobre o assunto para respondê-la, conhecimento adquirido ao longo da aplicação do produto e na apresentação da maquete. Durante essa apresentação, simulamos os três tipos de ligações usando a maquete construída pelos alunos. Dessa forma, eles aplicaram o conhecimento adquirido ao indicar o tipo de ligação utilizado em suas residências. Como esperado, aproximadamente 95% dos alunos responderam adequadamente. Em detalhes, 38 alunos afirmaram que a ligação em suas residências era monofásica, enquanto 2 alunos mencionaram que em suas casas a ligação era bifásica.

As questões 6 e 7 do questionário de sondagem do conhecimento, relacionadas a geradores e multímetros, apresentaram uma quantidade de acertos dentro do previsto. Cerca de 70% dos alunos acertaram a 6ª questão, ou seja, 28 alunos escolheram a alternativa correta. Quanto à questão 7, 65% dos alunos acertaram, indicando que 26 alunos marcaram a alternativa correta. Ao longo do processo de construção da maquete e testagem dos componentes, explicamos sobre geradores, apresentamos e elucidamos o funcionamento do alicate multímetro, ensinando os alunos a utilizá-lo para fazer leituras de corrente elétrica, voltagem contínua e alternada, resistência elétrica e capacitância de capacitores. No entanto, acreditamos que a porcentagem de acertos mencionada acima pode ser atribuída ao fato de os alunos não terem um contato muito frequente com geradores e multímetros. A alternativa correta para a 6ª

questão é a letra C), e para a 7ª questão é a letra A). A Figura 31 retrata o desempenho dos alunos em relação a essas questões.

Figura 31 - Análise das alternativas marcadas nas questões 6 e 7

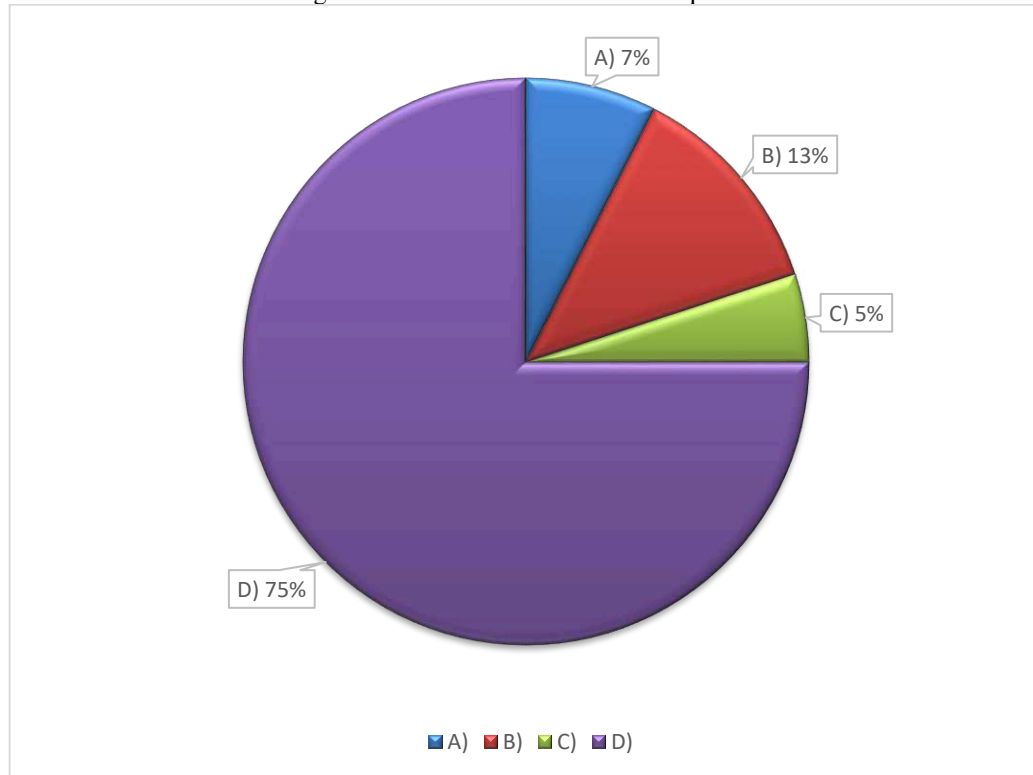


Fonte: Próprio autor (2024)

Ao compararmos as respostas da 8ª questão do questionário de sondagem com as respostas da questão 11 do questionário de conhecimentos prévios (veja Figura 32), observamos uma melhora significativa no entendimento sobre a conceituação e função dos capacitores. No primeiro questionário aplicado, ocorreu uma margem de erro da ordem de 52%, indicando que 21 alunos erraram a questão relacionada aos capacitores, enquanto 19 acertaram. Inicialmente, essa quantidade de erros pode ser atribuída ao fato de que esse conteúdo ainda não havia sido abordado em sala de aula.

No entanto, após o início da aplicação do produto, os alunos tiveram contato com os componentes eletrônicos, incluindo testes nos capacitores para verificar se estavam com a capacitância indicada nos rótulos. Com a participação na montagem da maquete e o envolvimento em todo o processo descrito nas etapas 3 e 4, os alunos conseguiram assimilar e entender a funcionalidade dos capacitores. No questionário de sondagem do conhecimento, obtivemos uma média de acertos de 75%, indicando que 30 alunos acertaram a questão e 10 alunos erraram. A alternativa correta está representada pela letra "d".

Figura 32 – Análise de acertos da 8ª questão

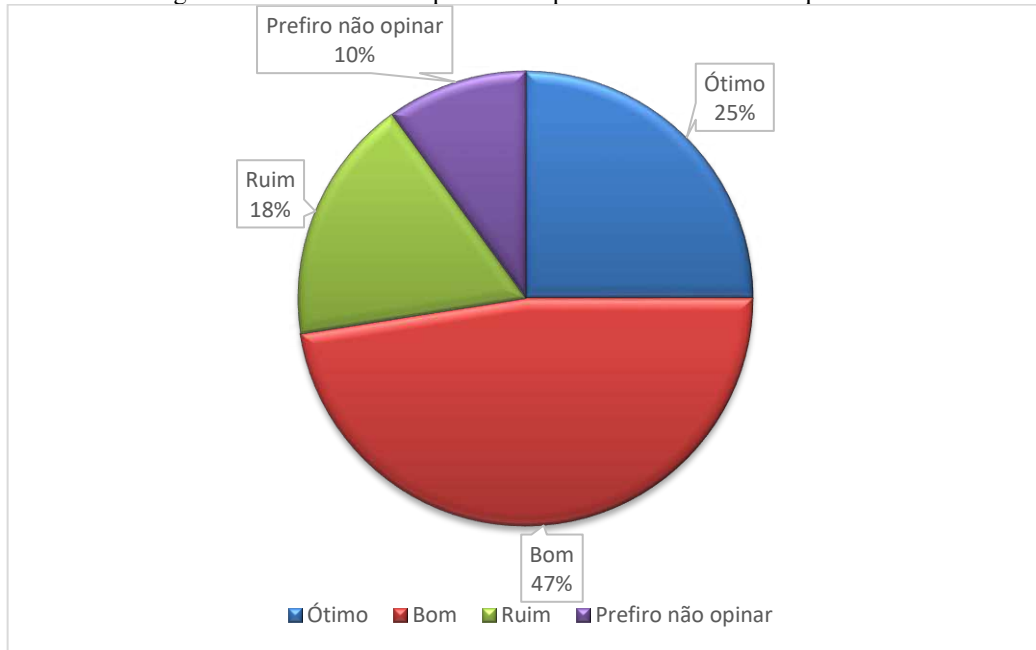


Fonte: Próprio autor (2024)

A questão 9 foi formulada para que os alunos pudessem expressar suas opiniões de maneira pessoal, avaliando o que acharam da introdução ao Arduino. Vale ressaltar que o questionário de conhecimentos prévios, aplicado inicialmente, revelou que 27 alunos, aproximadamente 67,5% do total, não sabiam o que era o Arduino e não conseguiram citar uma aplicação dele.

Com uma abordagem um pouco diferente, apresentamos opções de resposta entre ótimo, bom, ruim ou não opinar, permitindo que os alunos expressassem o que pensavam sobre a introdução ao Arduino que lhes foi apresentada. A Figura 33 ilustra como a 9ª questão foi respondida pelos alunos.

Figura 33 – Análise da resposta dada pelos alunos acerca da questão 9



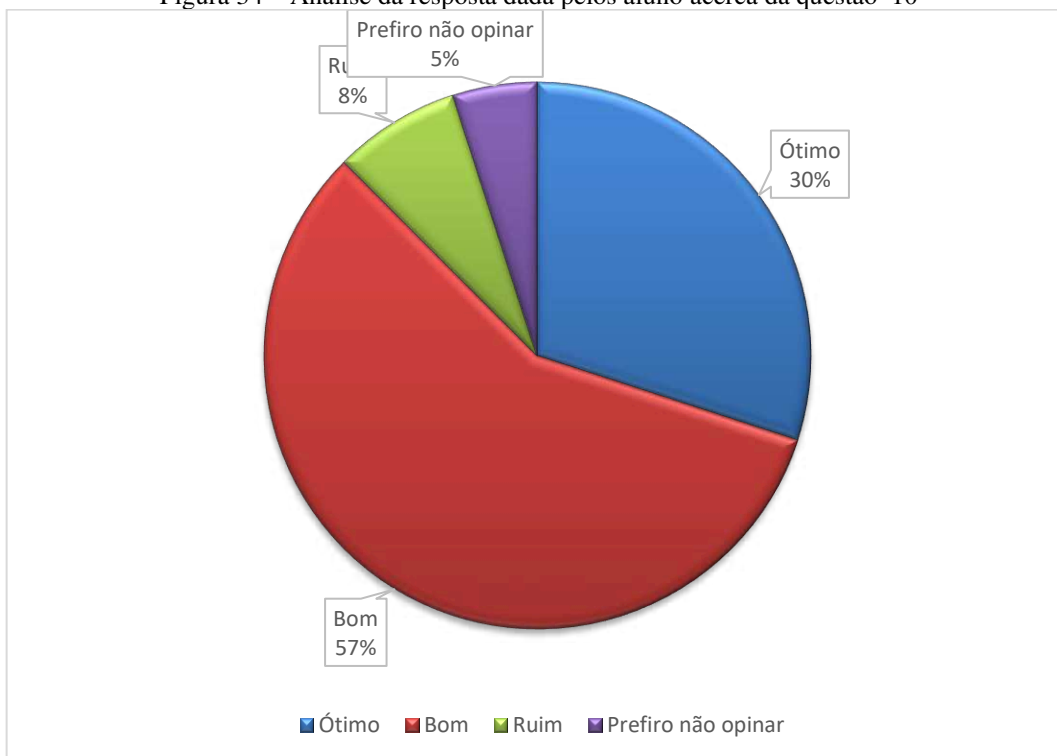
Fonte: Próprio autor (2024)

Analisando o gráfico da Figura 33 e considerando a soma das opções: ótimo e bom, como um retorno positivo podemos considerar que cerca de 72,5% dos alunos compreenderam em parte o funcionamento do Arduino no que diz respeito ao seu uso na maquete construída, mostrando que o método utilizado na 4ª etapa para introduzir o conceito de Arduino e mostrar como funciona a linguagem de programação dele foi eficaz.

A 10ª questão, que aborda a avaliação da aplicação do produto educacional composto por um Kit Experimental, teve como objetivo realizar uma avaliação abrangente de todo o processo, desde a 1ª etapa de sondagem dos conhecimentos prévios até a 4ª etapa, referente à aplicação do conhecimento. O intuito era obter uma visão geral do desenvolvimento do processo de aprendizagem e avaliar a metodologia empregada no trabalho.

Na resposta a essa questão, os alunos tiveram a oportunidade de escolher entre as opções ótimo, bom, ruim ou preferir não opinar. O resultado dessa análise, que representa a última questão do questionário de sondagem dos conhecimentos adquiridos com a aplicação do Kit Experimental, está apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Análise da resposta dada pelos aluno acerca da questão 10



Fonte: Próprio autor (2024)

Ao analisarmos os resultados da questão 10, conforme apresentado no gráfico 31, observamos que a maioria dos alunos, aproximadamente 35 de um total de 40, aprovou a metodologia empregada no desenvolvimento das atividades relacionadas à aplicação do Kit Experimental. Essa aprovação se reflete não apenas nessa questão, mas em todas as perguntas do questionário, indicando um aproveitamento positivo em todas as etapas da sequência didática desenvolvida neste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da implementação do produto educacional, fundamentado em uma sequência didática para o ensino de conteúdos de eletrodinâmica por meio da montagem de um kit experimental, composto por uma maquete que simula a distribuição de energia elétrica em corrente alternada, tornou-se evidente a importância de uma abordagem prática e contextualizada. Essa abordagem possibilita aos alunos estabelecer conexões entre os conceitos teóricos que abrangem transformadores, geradores, fontes de energia, assim como os processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, com situações do mundo real que refletem suas vivências e experiências cotidianas.

Na etapa de problematização, os alunos demonstraram ansiedade ao responder de forma oral às perguntas, mas a intervenção do professor para direcionar as respostas evidenciou a colaboração e compromisso dos alunos com o desenvolvimento das atividades. A exibição do vídeo "A Guerra Elétrica - A Disputa entre Edison, Westinghouse e Tesla" suscitou uma variedade de emoções e reflexões, destacando o envolvimento e interesse dos alunos nas discussões sobre corrente contínua e alternada, bem como em atividades práticas, como o uso do alicate multímetro. Na etapa de organização do conhecimento, os alunos demonstraram participação ativa na exploração de temas como geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas, subestações e eletromagnetismo. O uso de recursos visuais e simulações interativas estimulou o interesse e a compreensão dos alunos.

A aplicação do conhecimento na quarta etapa foi marcada pelo entusiasmo dos alunos, que se engajaram em atividades práticas, como a montagem física da maquete. A apresentação da maquete, com a simulação dos tipos de ligações, foi o ápice da participação dos alunos, permitindo-lhes consolidar os conhecimentos adquiridos, de sondagem dos conhecimentos adquiridos com a aplicação do Kit Experimental, os alunos demonstraram animação e ânimo ao responderem ao questionário. Seu envolvimento contribuiu significativamente para a avaliação positiva de todas as etapas da sequência didática, evidenciando não apenas o aprendizado, mas também a aprovação da metodologia empregada.

A utilização de recursos tecnológicos e experimentais mostrou-se fundamental para a construção do conhecimento e para o desenvolvimento de habilidades práticas. Além disso, destacamos a importância de uma abordagem tanto construcionista quanto construtivista, que valorizou a participação ativa dos alunos na construção do conhecimento, permitindo-lhes explorar, experimentar e descobrir por si mesmos. Em resumo, a aplicação do produto educacional foi marcada pela participação ativa, engajamento e interesse dos alunos, refletindo

uma abordagem eficaz para promover o aprendizado significativo dos conceitos relacionados à distribuição de energia elétrica e suas tecnologias associadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Bruno dos Santos; TINOCO, Vicente de Paula. **Aplicação da robótica educacional no ensino da física: um estudo de caso na escola Paulo Ramos em Turiaçu-MA. *Robótica Educacional***, Editora Itacaiúnas, p. 1 -15, 6 maio 2021.
- ANICETE, M.; MELO, S; MENEGHELLO, M. **Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Outubro 2015, p.56
- ARANHA, E; GOMES, A; OLIVEIRA, A; OLIVEIRA, M. **Aplicações das equações de Maxwell na engenharia elétrica**, Revista Acadêmica- Ensino de Ciências e Tecnologias IFSP - campus Cubatão, v.5, n.5, ago. / dez. 2019.
- ARAUJO, R; FERNANDES, T; MORACO, A. **Circuitos Elétricos II. Editora e Distribuidora Educacional S.A**, 2018. 264 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR IEC 60947-2: **Dispositivos de manobra e comando de baixa tensão, Disjuntores**, 2013.
- BIM, Edson. **Máquinas elétricas e acionamentos**. Elsevier Brasil, 2015.
- BISCUOLA, Gualter José; VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou. **Tópicos de Física 3: Eletricidade, Física Moderna, Análise dimensional**. 18. ed. [S. l.]: Editora Saraiva, 2012. 400 p. v. 3.
- BRASIL.**Lei de Diretrizes e Bases da Educação: Lei 9.394/96**, Brasília, 1996
- CAETANO, L., M. **A Epistemologia Genética de Jean Piaget**. Campinas: 2018.
- CARRETEIRO, Teresa Cristina. **História de vida laboral e aposentadoria: uma metodologia em discussão**. *Psicol. rev.* (Belo Horizonte), Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 35, jan. 2017.
- CARNEIRO, Maria Ângela Barbatto. **Jean Piaget e os estudos sobre o desenvolvimento humano. Artigo Científico**. São Paulo (PUC/SP), Departamento de Fundamentos da Educação da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2018.
- COLLARES, Darli. **Epistemologia genética e pesquisa docente: estudo das ações no contexto escolar**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.
- CHRISTO, Eliane. **Previsão de Potência Reativa**. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. p.100.
- CASTRO, M. A. C. D. de. Revelando o sentido e o significado da resiliência na preparação de professores para atuar e conviver num mundo em transformação. In: TAVERES, J. (Org.). *Resiliência e educação*. 6ª ed. Campinas: Papyrus, 2009.
- COTOSCK, Kelly. **Proteção de sistemas elétricos: uma abordagem técnico-pedagógica**. Belo Horizonte, 2017, p.42
- DIAS, Robson Francisco da Silva. **Derivação ou injeção de energia em uma linha de transmissão de pouco mais de meio comprimento de onda por dispositivo de eletrônica de potência**, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, março de 2008.
- EVANGELISTA, F. L.; CHAVES, L. T. **Uma Proposta Experimental e Tecnológica na Perspectiva de Vygotsky para o Ensino de Física**. *Revista do Professor de Física*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 177–200, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3i1.24013. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/24013>. Acesso em: 29 out. 2021.

- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 46 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2014.
- FORNAZA, Roseli. WEBBER, Carine G. **Robótica educacional aplicada à aprendizagem em física**. 2018. Disponível em: < seer.ufrgs.br › renote › article › view > Acesso em: 15 de setembro de 2021.
- GADOTTI, Moacir. **Interdisciplinaridade: atitude e método**. São Paulo: Instituto Paulo Freire. Disponível: <www.paulofreire.org>. Acesso em: 02 mar. 2024.
- GALEAZZO, Elisabete; SCHMIDT, Hernan; YOSHIOKA, Leopoldo. **Potência em Corrente Alternada: Introdução Teórica**. São Paulo, 2017.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: ELETROMAGNETISMO**. 9ª Edição. ed. [S. l.]: LTC/gen, 2012. 355 p. v. 3.
- HEWIT, P. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HELERBROCK, Rafael. **Corrente elétrica**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/corrente-eletrica.htm>. Acesso em 04 de março de 2024.
- HOFFMANN, J. **Avaliação da aprendizagem escolar: para além da verificação de resultados**. Porto Alegre: Mediação, 2013.
- HORSTCH, V.; DENILSON, R.; OTOMAR. **Eletricidade e Tecnologias: abordagens de fontes alternativas**, 2016. p.02
- KIENITZ, Karl. **ANÁLISE DE CIRCUITOS: Um Enfoque de Sistemas**. 2ª Edição, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.
- KIMURA, Shoko. **Geografia no ensino básico: questões e propostas**. São Paulo: Contexto, 2008. p.19-21.
- LIMA, Elon Lages, **Análise Real, Funções de Uma Variável**, IMPA, 2013, 12 edição.
- MOURA, AILSON P.; MOURA, ADRIANO ARON F.; ROCHA, EDNARDO P. **Engenharia de sistemas de potência: Transmissão de energia elétrica em corrente alternada**. 284. ed. Engenharia elétrica: Edições UFC, 2019. 353 p. Disponível em: <https://imprensa.ufc.br/pt/transmissao-de-energia-eletrica-em-corrente-alternada/>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- OLIVEIRA, Carlos Jacinto; SANTANA DOS SANTOS, Antonio Carlos. **Eletricidade e Magnetismo II**. 01. ed. [S. l.]: UECE, 2015. 89 p. v. 02.
- OSTI, A. **Concepções sobre desenvolvimento e aprendizagem segundo a psicogênese piagetiana**. Revista de Educação, São Paulo. v. 12, 2009.
- PAPERT, Seymour M. **A Máquina das Crianças: Repensando a escola na era da informática (edição revisada). Nova tradução, prefácio e notas de Paulo Gileno Cysneiros**. Porto Alegre, RS: Editora Artmed, 2017.
- PIAGET, Jean. **Epistemologia genética**. Trad. Álvaro Cabral. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2018.
- RIZZON, Gisele. **A sala de aula sob o olhar do construtivismo piagetiano: perspectivas e implicações**. Congresso Internacional de Filosofia e Educação, p. 01 - 09, 11 maio 2010. Disponível em: https://www.ucs.br ? Construtivismo_Piagetiano. Acesso em: 20 out. 2021.
- ROSA, Rosemar. **Trabalho docente: dificuldades apontadas pelos professores no uso das tecnologias**. Revista Encontro de Pesquisa em Educação, Uberaba, v. 1, n.1, p. 214-227, 2013

SAMBAQUI, Ana. **Apostila de máquinas elétricas I**, 1ª Edição, Joinville – SC, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2008.

SANTOS, Marcio Anicete; PASSOS, Marinez Meneghello; ARRUDA, Sergio de Mello. **Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica**. *Eletricidade*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 3, p. 856-869, jul. 2015.

SANCHO, Juana M. (Org.). **Para uma tecnologia educacional**. Porto Alegre: ArtMed, 2008.

SILVA, Danielli Meira Ribeiro. **Desvendando a lei de Ohm: buscando respostas na história**. Monografia. UFRJ, Rio de Janeiro: Projeto de Instrumentação para o Ensino da Física, 2009.

SCACHETTI, Ana Ligia; CAMILO, Camila. **O construtivismo está nos detalhes: Ao derrubar os mitos que cercam a teoria inspirada em pesquisadores como Piaget e Vygotsky, as aulas são valorizadas e ganham significado**. ed. Nova Escola: Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/7746/o-construtivismo-esta-nos-detalhes>. Acesso em: 27 out. 2021.

SILVA, Marcos. **Correção do fator de potência de cargas Industriais com dinâmica rápida**. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2009, p.31.

SILVEIRA, H; DIAS, M. **Dimensionamento, especificações e aplicação de disjuntores elétrico sendo o equipamento de proteção e manobra mais viável é utilizado**. *Revista Científica Semana Acadêmica*, Fortaleza, v.1, n. 121, p. 1-12, mar. 2018.

SOUZA J.R.A; MORENO H. **Instalações elétricas de baixa tensão**. *Revista Eletricidade Moderna* 2004, 289p.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, n. 1, p. 1 – 521, mar. 2001.

ZABALA, A. **A Prática educativa: Como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998

Apêndice A – Questionário prévio

1ª Questão: A corrente elétrica é uma medida

- a) da força responsável pelo movimento das cargas.
- b) da resistência ao movimento das cargas.
- c) da energia responsável pelo movimento das cargas.
- d) do movimento das cargas

2ª Questão: Qual o conceito de Corrente elétrica contínua (i_{cc} ou i_{dc})?

- a) É aquela que tem variação na sua intensidade e direção.
- b) É a corrente elétrica que mantém constante seu módulo(intensidade) e sentido.
- c) É a diferença de potencial que provoca curto-circuito.
- d) É a corrente elétrica representada por um campo magnético constante.

3ª Questão: Qual o conceito de Corrente elétrica alternada (i_{ca} ou i_{ac})?

- a) É a corrente elétrica caracterizada por uma variação em sua intensidade (módulo) e direção no tempo.
- b) É a corrente elétrica caracterizada por manter sua intensidade e direção constantes.
- c) É a grandeza que representa a massa do elétron.
- d) É a grandeza que representa a massa do próton.

4ª Questão: Cite os tipos de fontes de energia que você conhece.

5ª Questão: O que você entende por subestação aumentadora de tensão e abaixadora de tensão?

6ª Questão: O que você entende por distribuição de energia Monofásica, bifásica e trifásica?

7ª Questão: O que é um gerador?

- a) É um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- b) É um dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.
- c) É um dispositivo que pode aumentar ou baixar a tensão, de acordo com a necessidade do circuito.
- d) É um dispositivo que mede a tensão elétrica de um circuito.

8ª Questão: O que é um transformador de tensão?

- a) Dispositivo que transforma a tensão elétrica da rede em energia térmica.
- b) Dispositivo que pode aumentar ou reduzir a tensão dependendo da necessidade do circuito elétrico.
- c) Dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- d) Dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.

9ª Questão: Quais dispositivos de proteção elétrica você possui em sua casa?

10ª Questão: Defina com suas palavras o que é um amperímetro e um voltímetro.

11ª Questão: O que é um capacitor?

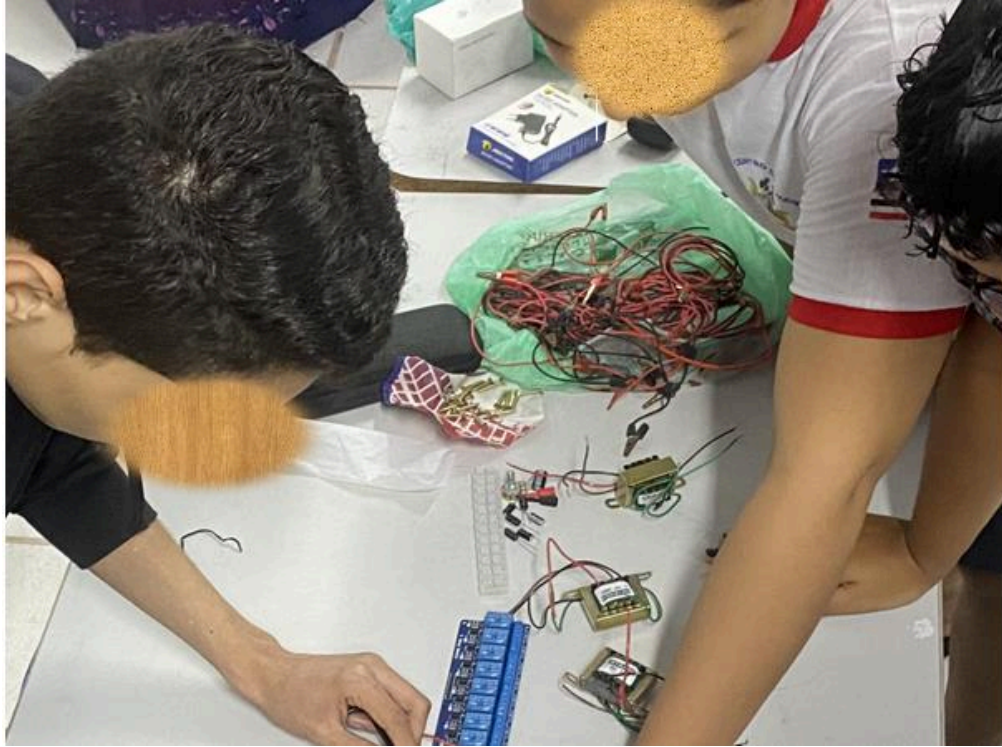
- a) Dispositivo que transforma energia elétrica em calor,
- b) Dispositivo que armazena carga elétrica em um circuito, quando submetido a uma diferença de potencial.
- c) Dispositivo que transforma corrente contínua em corrente alternada.
- d) Dispositivo que protege o circuito elétrico de aquecimentos.

12ª Questão: O que é um arduino? Cite uma de suas aplicações.

Apêndice B – Roteiro de montagem da maquete didática do sistema trifásico

Passo 1 – Os transformadores de tensão: Nesse projeto da maquete utilizamos três transformadores com entrada de 0-110-220V e saída 15+15V x 400mA. Tendo sido empregado como primário 220V e secundário 30V, a razão primário/secundário será 0,136.

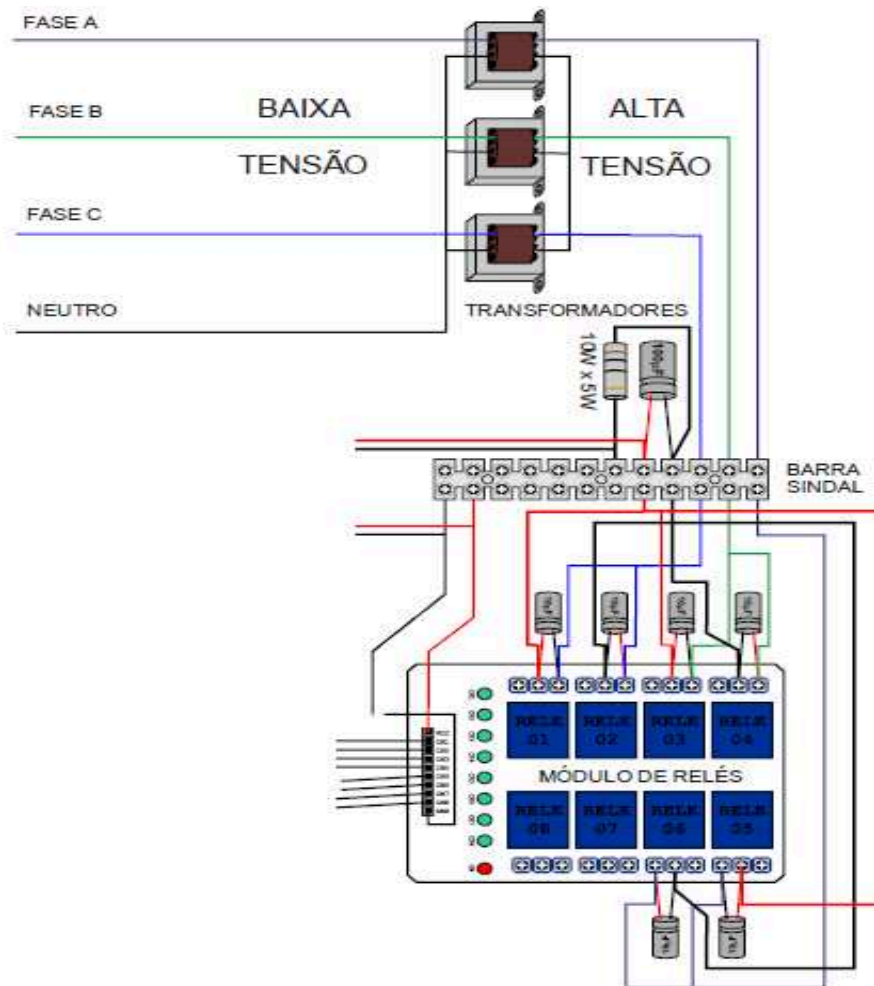
Figura 35 - Transformadores e alguns componentes da maquete



Fonte: próprio autor (2024)

Conectamos os neutros de cada transformador entre si no primário. No secundário, realizamos a mesma conexão para obter o neutro da baixa tensão. Os dois fios do primário dos transformadores que geraram as fases B e C (baixa tensão) foram conectados aos relés 1, 2, 3 e 4, junto com quatro capacitores de $10\mu\text{F}$ cada. O outro fio do primário do transformador (alta tensão) que gerou a baixa tensão A foi ligado, juntamente com dois capacitores de $10\mu\text{F}$ cada, aos relés 5 e 6. Os transformadores foram dispostos verticalmente e fixados em uma haste de madeira, simulando um poste da rede de energia das ruas.

Figura 36 – Esquema de montagem dos transformadores

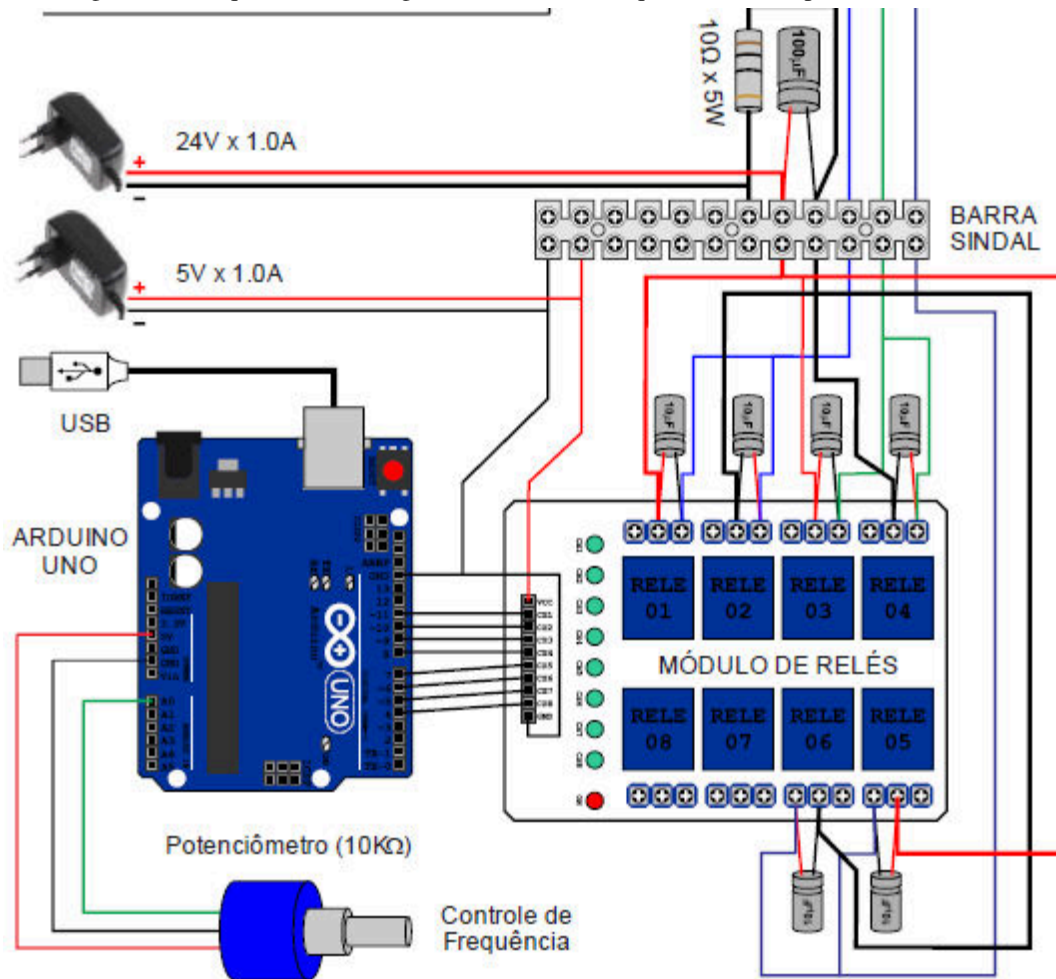


Fonte: Próprio autor (2024)

Passo 2 – As fontes de tensão desempenham papéis cruciais no projeto. A fonte de 24V é fundamental, alimentando um gerador trifásico composto por três transformadores, responsável pela geração das tensões alta e baixa. Para produzir as tensões digitais alternadas, cada fase do gerador é conectada ao polo positivo da fonte (+24V) por meio de um relé ou ao polo negativo (-24V) através de outro relé. Assim, a amplitude de voltagem do gerador é de 48V, representando a "Alta Tensão" na maquete. Com uma relação entre os enrolamentos primários e secundários dos transformadores de aproximadamente 0,136, a "Baixa Tensão" da maquete terá uma amplitude de voltagem de cerca de 8V, variando entre -4V e +4V.

Além disso, a fonte de 5V está conectada com seu polo positivo (+) à entrada Vcc do módulo de relés e seu polo negativo (-) à entrada GND do Arduino, alimentando o módulo de relés e servindo como uma opção de alimentação para o Arduino.

Figura 37 – Esquema de montagem das fontes na maquete e dos componentes eletrônicos



Fonte: Próprio autor (2024)

Passo 3 – Os Capacitores, o resistor, a barra aparafusável (Sindal) usada para facilitar as conexões dos componentes, o módulo de relés e o potenciômetro são mostrados na Figura 37.

Passo 4 – Arduino Uno: O Arduino é dividido em duas partes principais: hardware e software. O hardware consiste em um conjunto básico de componentes eletrônicos montados em uma placa de circuito impresso, proporcionando uma plataforma para o desenvolvimento de protótipos. O software inclui um aplicativo chamado bootloader, residente na memória do microcontrolador embarcado no Arduino. Além disso, há uma interface gráfica (*IDE* – Ambiente de Desenvolvimento Integrado), um programa executado em computadores padrão PC com Windows ou Linux, ou em máquinas Apple com o sistema operacional Mac OS X, atualmente o IDE do arduino já pode ser utilizado em celulares ou tablets por meio de aplicativos baixados na *Google play* ou na *App store*, facilitando a interação e programação do Arduino.

Utilizamos na programação do arduino o IDE que é gratis e pode ser encontrado no site <https://www.arduino.cc/en/software>, um notebook e um cabo usb. O IDE do arduino permite escrever a programação em linguagem C, compilar e transferir direto para a placa do Arduino Uno através de uma porta USB. Para simplificar, neste ambiente a programação pode ser reduzida para a definição (programação) de apenas duas funções: a de inicialização *setup()* que é executada uma única vez no início e a de repetição *loop()* que é repetitivamente executada após o *setup*.

Na função de inicialização *setup* as portas de controle dos relés são configuradas como saída e são ativadas (*HIGH*) as faseBNeg e faseCPos como preparação para o passo 5. Na função de repetição *loop* calcula-se primeiramente o intervalo entre passos a partir do valor de tensão na porta A0, proveniente do potenciômetro de controle de frequência (Fig. 18). Este valor, com mínimo de 8 (para A0=0) e máximo de 93 (para A0=1023), é armazenado na variável inteira *iTempo* que é usada nas funções *delay* para fazer pausas (em milissegundos). As pausas intercalam cada inversão de polaridade, ou seja, quando a tensão de uma fase muda de positivo para negativo ou vice-versa. Ativada a faseANeg tem-se a configuração do passo 5 (A-/B-/C+). Em seguida promove-se a inversão da fase B, desativando faseBNeg, pausa e ativando faseBPos, conseguindo o passo 4 (A-/B+/C+). Depois o passo 3 (A-/B+/C-), invertendo a fase C; o passo 2 (A+/B+/C-), invertendo A; o passo 1 (A+/B-/C-), invertendo B; o passo 6 (A+/B-/C+), invertendo C. Finalmente desativa-se a faseAPos como preparação para o passo 5 e repete-se a sequência do *loop*. Essa sequência invertida e começando no passo 5 é para mostrar que outras sequências podem ser utilizadas.

Com um intervalo de 8ms entre passos o ciclo de seis passos demora 48ms, ou seja, uma frequência de 20,8Hz. Já com um intervalo de 93ms, o ciclo demora 558ms, uma frequência de 1,8Hz.

O código fonte está descrito a seguir:

// Definição das Portas (cada fase oscila entre um positivo e um negativo em uma determinada frequência)

```
#define faseANeg 6           // fase A negativa está definida no pino 6 do arduino.
#define faseAPos 7           // fase A positiva está definida no pino 7 do arduino.
#define faseBNeg 8           // fase B negativa está definida no pino 8 do arduino.
#define faseBPos 9           // fase B positiva está definida no pino 9 do arduino.
#define faseCNeg 10          // fase C negativa está definida no pino 10 do arduino.
```

```

#define faseCPos 11          // fase C positiva está definida no pino 11 do arduino.

                          // Intervalo entre Passos

int iTempo;                // definimos a variável tempo para ser usada na função delay em
                          // milissegundos.

void setup() {
    // Configura Porta Saída

    pinMode(faseANeg,OUTPUT); // determina-se que o pino 6 como saída.
    pinMode(faseAPos,OUTPUT); // determina-se o pino 7 como saída.
    pinMode(faseBNeg,OUTPUT); // determina-se o pino 8 como saída.
    pinMode(faseBPos,OUTPUT); // determina-se o pino 9 como saída.
    pinMode(faseCNeg,OUTPUT); // determina-se o pino 10 como saída.
    pinMode(faseCPos,OUTPUT); // determina-se o pino 11 como saída.

    // Prepara Passo 5

    digitalWrite(faseANeg,LOW); // coloca-se o pino 6 em nível 0 (desligado)
    digitalWrite(faseAPos,LOW); // coloca-se o pino 7 em nível 0 (desligado)
    digitalWrite(faseBNeg,HIGH); // coloca-se o pino 8 em nível 1 (ligado)
    digitalWrite(faseBPos,LOW); // coloca-se o pino 9 em nível 0 (desligado)
    digitalWrite(faseCNeg,LOW); // coloca-se o pino 10 em nível 0 (desligado)
    digitalWrite(faseCPos,HIGH); // coloca-se o pino 11 em nível 1 (ligado)
}

void loop() {
    iTempo=(analogRead(A0)/12+8); // armazena-se um tempo na variável.
    delay(iTempo);                // aguarda-se o tempo armazenado.
    digitalWrite(faseANeg,HIGH); // coloca-se a fase A negativa em nível 1 (ligada)

    // Passo 5 (A-/B-/C+)

    digitalWrite(faseBNeg,LOW); // coloca-se a fase B negativa em nível 0 (desligada)
    delay(iTempo);                // aguarda-se o tempo armazenado.
    digitalWrite(faseBPos,HIGH); // coloca-se a fase B positiva em nível 1 (ligado)
}

```

```
        // Passo 4 (A-/B+/C+)
digitalWrite(faseCPos,LOW); // coloca-se a fase C positiva em nível 0 (desligada)
delay(iTempo);             // aguarda-se o tempo armazenado na variável
digitalWrite(faseCNeg,HIGH); // coloca-se a fase C negativa em nível 1 (ligada)

        // Passo 3 (A-/B+/C-)
digitalWrite(faseANeg,LOW); // coloca-se a fase A negativa em nível 0 (desligada)
delay(iTempo);             // aguarda-se o tempo armazenado na variável
digitalWrite(faseAPos,HIGH); // coloca-se a fase A positiva em nível 1 (ligada)

        // Passo 2 (A+/B+/C-)
digitalWrite(faseBPos,LOW); // coloca-se a fase B positiva em nível 0 (desligada)
delay(iTempo);             // aguarda-se o tempo armazenado na variável
digitalWrite(faseBNeg,HIGH); // coloca-se a fase B negativa em nível 1 (ligada)

        // Passo 1 (A+/B-/C-)
digitalWrite(faseCNeg,LOW); // coloca-se a fase C negativa em nível 0 (desligada)
delay(iTempo);             // aguarda-se o tempo armazenado na variável
digitalWrite(faseCPos,HIGH); // coloca-se a fase C positiva em nível 1 (ligada)

        // Passo 6 (A+/B-/C+)
digitalWrite(faseAPos,LOW); // coloca-se a fase A positiva em nível 0 (desligada)

    }
```

Apêndice C – Questionário de validação do conhecimento adquirido no decorrer da aplicação do produto educacional

1ª Questão: Qual a diferença entre corrente elétrica contínua e corrente elétrica alternada?

- a) Não há diferença entre elas.
- b) A corrente contínua tem elétrons que variam sua direção de movimento e a corrente alternada é formada por elétrons que se movimentam em uma única direção.
- c) A corrente contínua possui polaridade invertendo em um determinado intervalo de tempo enquanto a corrente alternada possui polos (+) e (-) constantes independente do tempo.
- d) A corrente contínua tem sua intensidade e direção constantes independente do intervalo de tempo enquanto a corrente alternada tem sua intensidade e direção variando em um intervalo de tempo.

2ª Questão: Qual a diferença entre fontes de energia renovável e não renovável?

- a) as fontes não renováveis são aquelas que não produzem danos ao meio ambiente, enquanto as renováveis trazem bastante problemas ambientais.
- b) as fontes renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis, pois são renovadas na natureza com facilidade, enquanto as não renováveis são consideradas fontes convencionais, esgotáveis e finitas.
- c) as fontes renováveis são aquelas que derivam do petróleo, enquanto as não renováveis são consideradas fontes de energia limpas como a solar, eólica, entre outras.
- d) não existe nenhuma diferença entre elas.

3ª Questão: Qual lei da física é fundamental para o funcionamento dos transformadores?

- a) 1ª e 2ª Leis de Ohm.
- b) Lei de Ampère.
- c) Lei de Faraday.
- d) 2ª Lei de Newton.

4ª Questão: Qual a diferença entre a subestação elevadoras de tensão e subestações abaixadoras de tensão?

- a) as elevadoras de tensão ficam geralmente localizadas nas saídas das hidrelétricas e servem para aumentar a tensão, enquanto as subestações abaixadoras de tensão ficam nas periferias das cidades e servem para baixar a tensão e evitar riscos aos consumidores.
- b) as subestações elevadoras de tensão ficam localizadas nas periferias das cidades e servem para baixar a tensão, enquanto as abaixadoras de tensão servem para aumentar a tensão para um bom uso dos consumidores.
- c) a subestação elevadora de tensão tem a finalidade de elevar a corrente elétrica, enquanto as abaixadoras de tensão têm a função de diminuir a corrente elétrica que chega nas residências.
- d) não existe diferença entre as subestações elevadoras de tensão e as abaixadoras de tensão.

5ª Questão: Qual o tipo de ligação elétrica é usado em sua residência?

- a) monofásica
- b) bifásica
- c) trifásica

6ª Questão: Quais os componentes da maquete estavam funcionando como um gerador?

- a) os capacitores.
- b) os transformadores.
- c) as fontes de tensão contínua de 5V e 24V.
- d) o arduino.

7ª Questão: Nos testes feitos nos componentes e na apresentação da maquete foi utilizado um multímetro em forma de alicate, o que significam as marcações *AC* e *DC* que aparecem em algumas leituras?

- a) *AC* significa que a voltagem ou a corrente elétrica eram alternadas e *DC* que a voltagem ou corrente elétrica eram contínua.
- b) *AC* indicava corrente contínua e *DC* indicava corrente alternada
- c) *AC* indicava resistência elétrica e *DC* indicava que capacitância.
- d) *AC* e *DC* indicam corrente contínua.

8ª Questão: Qual a função dos capacitores de 10 μ F e 100 μ F na maquete?

- a) aumentar a potência dos transformadores.
- b) diminuir a corrente elétrica nos fios da alta tensão.
- c) proteger o Arduino.
- d) diminuir o ruído elétrico produzido pelo chaveamento de cargas indutivas.

9ª Questão: O que você achou da introdução ao Arduino oferecida durante a aplicação do produto educacional?

- a) ótimo, consegui entender.
- b) bom, deu para entender um pouco, podia ser melhor se tivéssemos mais tempo destinado ao arduino.
- c) ruim, não entendi nada.
- d) prefiro não opinar.

10ª Questão: O que você achou da aplicação do produto educacional desenvolvido com a sua turma?

- a) Ótimo, pois consegui entender como funciona o processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica.
- b) Bom, pois compreendi em parte o que foi trabalhado na aplicação do kit experimental.
- c) Ruim, pois não entendi praticamente nada.
- d) Prefiro não opinar.

Apêndice D – Produto Educacional

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**A ROBÓTICA COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM DE
SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE
CORRENTE ALTERNADA**



Vicente Tinoco

Edson de Carvalho



Vicente Tinoco possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Sul Sudeste do Pará (UNIFESSPA), especialização no ensino de física pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e é Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é professor da rede estadual de ensino do Maranhão e realiza pesquisas em tecnologias aplicadas à sala de aula.

Edson de Carvalho possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e em Engenharia Industrial Elétrica pelo Centro Federal Tecnológico do Maranhão atual Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Mestrado em Física da Matéria Condensada pela UFMA e Doutorado em Física Atômica e Molecular pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é professor do Departamento de Física da UFMA.



© Vicente Tinoco e Edson Carvalho – 2024

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

APRESENTAÇÃO

Com o objetivo de melhorarmos as aulas de física e deixá-las mais interessante desenvolvemos um recurso educacional fundamentado no Construtivismo de Jean Piaget e no Construcionismo de Seymour Papert, baseado em uma sequência didática que promove a interação direta dos discentes com o conteúdo de eletrodinâmica e eletromagnetismo por meio de um kit experimental composto por uma maquete que simula a distribuição de energia elétrica por corrente alternada, pois entendemos que melhorar as aulas de física por meio de experimentos, é uma estratégia pedagógica que pode transformar o aprendizado dos alunos, tornando-o mais envolvente, prático e significativo. A integração de experimentos no ensino de física oferece uma abordagem holística que vai além da simples transmissão de conceitos teóricos, proporcionando uma compreensão mais profunda e duradoura dos princípios fundamentais da disciplina.

No decorrer da aplicação da sequência didática os alunos terão a oportunidade de entender o processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como a diferença, vantagens e desvantagens das diversas fontes de energia existentes. Este recurso educacional foi desenvolvido neste trabalho foi construído com a participação ativa dos alunos de uma turma do 3º ano do ensino médio. Com este recurso os estudantes terão contato com componentes elétrico - eletrônicos, entendendo suas funcionalidades e aplicações dentro da maquete proposta nesse kit experimental.

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	KIT EXPERIMENTAL: fundamentação e descrição.....	8
2.1	Montagem da maquete didática do sistema trifásico	10
2.2	METODOLOGIA E APLICAÇÃO	16
2.2.1	Etapas da sequência didática.....	17
2.3	Aplicação do recurso educacional.....	20
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
	REFERÊNCIAS	28
	Apêndice A – Questionário prévio.....	30
	Apêndice B – Questionário de validação do conhecimento adquirido no decorrer da aplicação do produto educacional.....	32

1 INTRODUÇÃO

A experimentação e a contextualização no ensino de física não apenas tornam o aprendizado mais atraente, mas também proporcionam benefícios profundos, desde uma compreensão mais profunda dos conceitos até o desenvolvimento de habilidades práticas e a preparação para carreiras científicas. Essas abordagens ajudam a tornar a física acessível, relevante e aplicável à vida dos alunos. Focando nos problemas encontrados referentes ao interesse, motivação e participação com relação a disciplina Física, desde 2004 quando comecei a ministrar aulas de física em uma escola particular do município de Barcarena – Pará, desenvolvemos um produto educacional que contemple não somente conteúdos de física, mas que englobe também outros conhecimentos como os apresentados pelas disciplinas História e Geografia, a fim de promover uma interdisciplinaridade com o intuito de criarmos links para que os alunos se sintam a vontade para interagir de forma construtiva e colaborativa, entendemos que o ensino de física não está preso a conceitos e fórmulas matemáticas abstratas.

De acordo com Colares (2003), "a sala de aula deveria ser vista como um espaço de vida no qual se cria história, que é construída e reconstruída a cada dia. É um local onde se tomam decisões e se promove um aprendizado colaborativo, no qual todos têm algo a aprender e ensinar uns aos outros".

Assim, desenvolvemos um produto educacional que mostra a aplicação prática de conceitos relacionados a eletrodinâmica e ao eletromagnetismo, relacionando temas importantes como fontes de energia renováveis e não renováveis, a história da corrente contínua e da corrente alternada bem como seus precursores. Este produto educacional tem como finalidade sanar lacunas de conhecimentos, muitas vezes causadas devido à falta de interesse e empatia pela disciplina física bem como pelos conteúdos ministrados, conteúdos esses que na maioria das vezes são apresentados de forma sistemática, sem contextualização e longe da realidade dos alunos, dessa forma apresentamos um trabalho que envolva e motive os alunos, pois nesse produto educacional o aluno é o agente que participa diretamente de todos os processos apresentados na sequência didática, que vão desde a montagem física do kit experimental composto pela maquete de distribuição de energia por corrente

alternada, testagem dos componentes eletrônicos até a participação na criação do código de programação do arduino.

2 KIT EXPERIMENTAL: fundamentação e descrição

Este produto educacional baseia-se nas teorias do Construtivismo de Piaget e no Construcionismo de Seymour Papert. Ambos concordam que o ensino eficaz não deve estar desconectado da realidade e da vivência dos alunos. Segundo Piaget, o processo de aprendizagem ocorre quando o aluno interage com os objetos do conhecimento por meio de situações que enriquecem suas experiências de vida. Por sua vez, Papert vai além, defendendo que a interação necessária para a aprendizagem não deve ser aleatória. Ele acredita que os alunos aprendem ao experimentar, construir e participar ativamente do processo de construção do conhecimento com o auxílio de recursos tecnológicos.

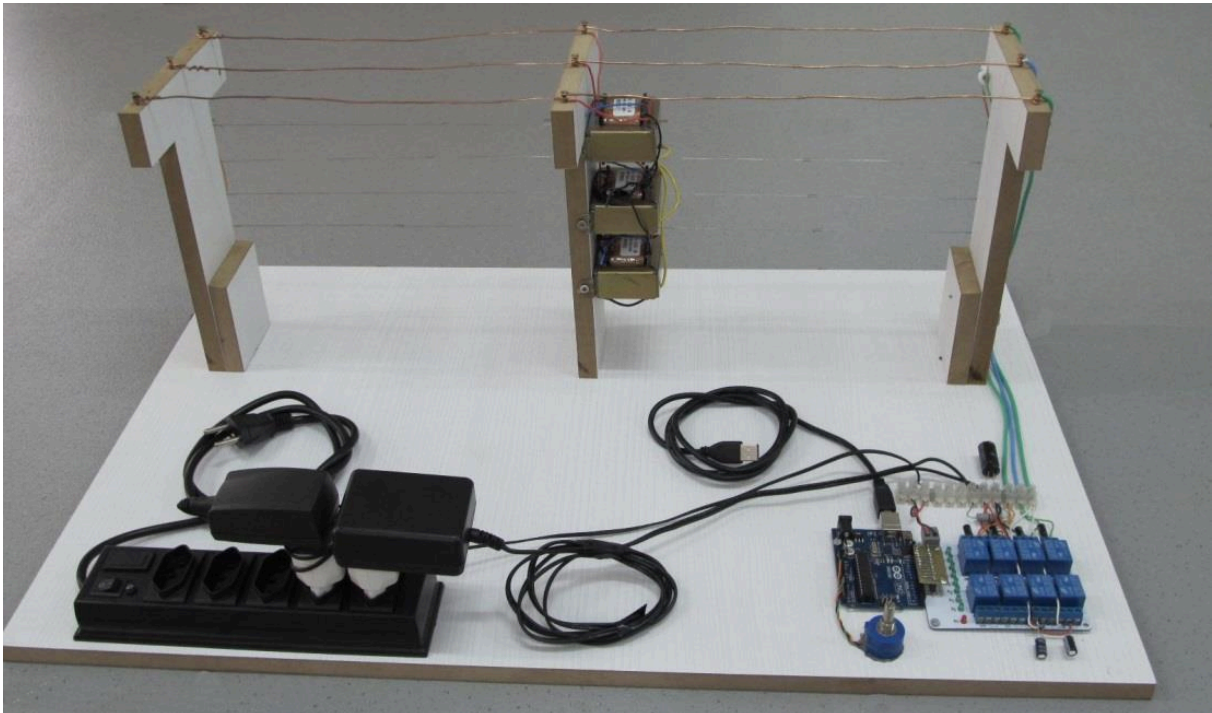
O problema da falta de uso de experimentos em sala de aula é praticamente comum nas escolas da rede pública do Brasil. Evangelista e Chaves (2019, p.7) sugerem que para esse problema, o professor não fique de braços cruzados esperando por uma sala de aula com os devidos equipamentos e sim tome a atitude de criar situações e experimentos com materiais de baixo custo e de fácil acesso à comunidade escolar. Dessa forma os alunos se sentirão mais seguros quanto ao uso e manuseio durante as práticas.

Fornaza e Webber (2018, p.5) afirmam que, para Papert, uma abordagem construtivista moderna pressupõe que os alunos precisam buscar o conhecimento por conta própria em um ambiente mediado pelo educador. Uma das possibilidades que se alinha a esse pensamento é a introdução da Robótica Educacional nas escolas. Quando utilizada adequadamente, a Robótica Educacional capacita os alunos a desempenharem um papel ativo no processo de aprendizagem, permitindo-lhes interagir diretamente com componentes elétrico-eletrônicos, os quais exigem um embasamento teórico para sua correta utilização.

O kit experimental, na forma de maquete didática, foi desenvolvido inicialmente por Visconi *et al.* (2015) para ensinar sobre o funcionamento da rede elétrica. Tal kit experimental foi associado a uma sequência didática e aplicado a uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de Turiaçu - MA. A escolha da escola como cenário de pesquisa se deve à escassez de oportunidades para os alunos se envolverem em atividades práticas de experimentação, uma vez que a instituição carece de laboratórios didáticos de ciências e salas de informática.

O kit permite que se simule uma rede elétrica e se observe as inversões na tensão elétrica através de um sistema de LEDs coloridos. Na maquete estão presentes alguns componentes encontrados numa rede elétrica, tais como gerador, transformador e linhas de transmissão. A maquete é controlada por uma placa de Arduino. Os demais componentes eletrônicos presentes na maquete são de fácil aquisição e podem ser encontrados em lojas especializadas. A Figura 1 mostra a ligação dos componentes utilizados no kit experimental.

Figura 1 – Maquete do kit experimental.



Fonte: Viscovini (2015).

Pela Figura 1 podemos constatar que o kit experimental é composto dos seguintes componentes:

- 1 placa Arduino UNO;
- 1 fonte de 24 V;
- 1 fonte de 5 V;
- 1 módulo de 8 relés;
- 1 potenciômetro de 10 K Ω ;
- 1 cabo USB.
- 3 transformadores.
- 1 capacitor de 100,0 μ F.

- 6 capacitores de 10,0 μ F.
- 1 Barra de conectores múltiplos Sindal.

2.1 Montagem da maquete didática do sistema trifásico

Cada etapa da montagem do kit experimental destaca não apenas os princípios fundamentais por trás do sistema trifásico de distribuição de energia elétrica, mas também permite que os estudantes apliquem esses conceitos na prática, promovendo a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades técnicas.

Neste contexto, este guia detalhado busca oferecer uma abordagem sistemática e acessível para a montagem do kit experimental de robótica, visando a distribuição de energia elétrica por corrente alternada em um sistema trifásico. Ao compreender cada passo do processo, os alunos serão capacitados a assimilar conceitos complexos de forma incremental, ao mesmo tempo em que desenvolvem competências cruciais em programação, eletrônica e engenharia de sistemas. Este material não apenas visa a construção física do kit, mas também enfatiza a importância de entender os princípios teóricos subjacentes, proporcionando uma experiência educacional abrangente e enriquecedora.

Passo 1 - Os transformadores de tensão: Nesse projeto utiliza-se três transformadores com entrada de 0-110-220V e saída 15+15V x 400 mA, na qual emprega-se como primário 220V e secundário 30V. A razão primário/secundário será 0,136.

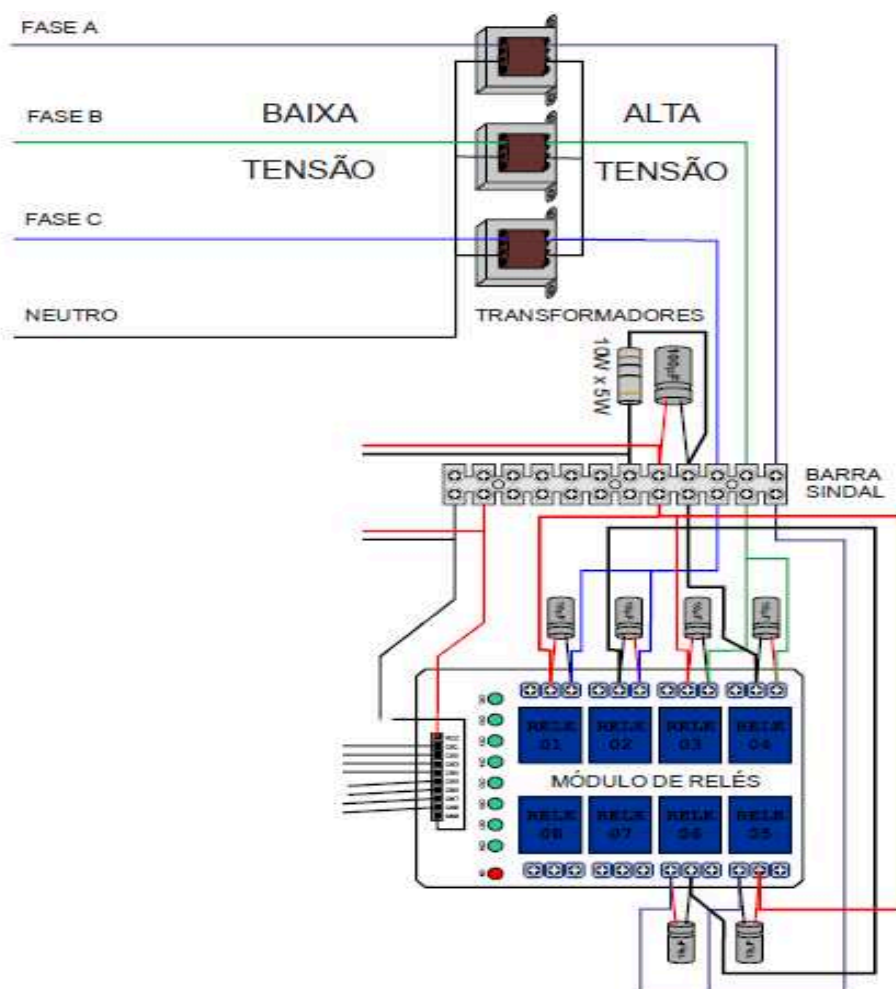
Figura 2 - Transformadores e alguns componentes da maquete



Fonte: próprio autor (2024).

Nesta etapa é importante conectar os neutros de cada transformador entre si no primário. No secundário, realiza-se a mesma conexão para obter o neutro da baixa tensão. Os dois fios do primário dos transformadores que geraram as fases B e C (baixa tensão) foram conectados aos relés 1, 2, 3 e 4, junto com quatro capacitores de $10\mu\text{F}$ cada. O outro fio do primário do transformador (alta tensão) que gerou a baixa tensão A tem que ser ligado, juntamente com dois capacitores de $10\mu\text{F}$ cada, aos relés 5 e 6. A Figura 3 mostra o esquema das ligações¹.

Figura 3 – Esquema de montagem dos transformadores.



Fonte: próprio autor (2024).

Passo 2 – As fontes de tensão desempenham papéis cruciais na maquete. A fonte de 24V é fundamental, alimentando um gerador trifásico composto por três transformadores, responsável pela geração das tensões alta e baixa. Para produzir as

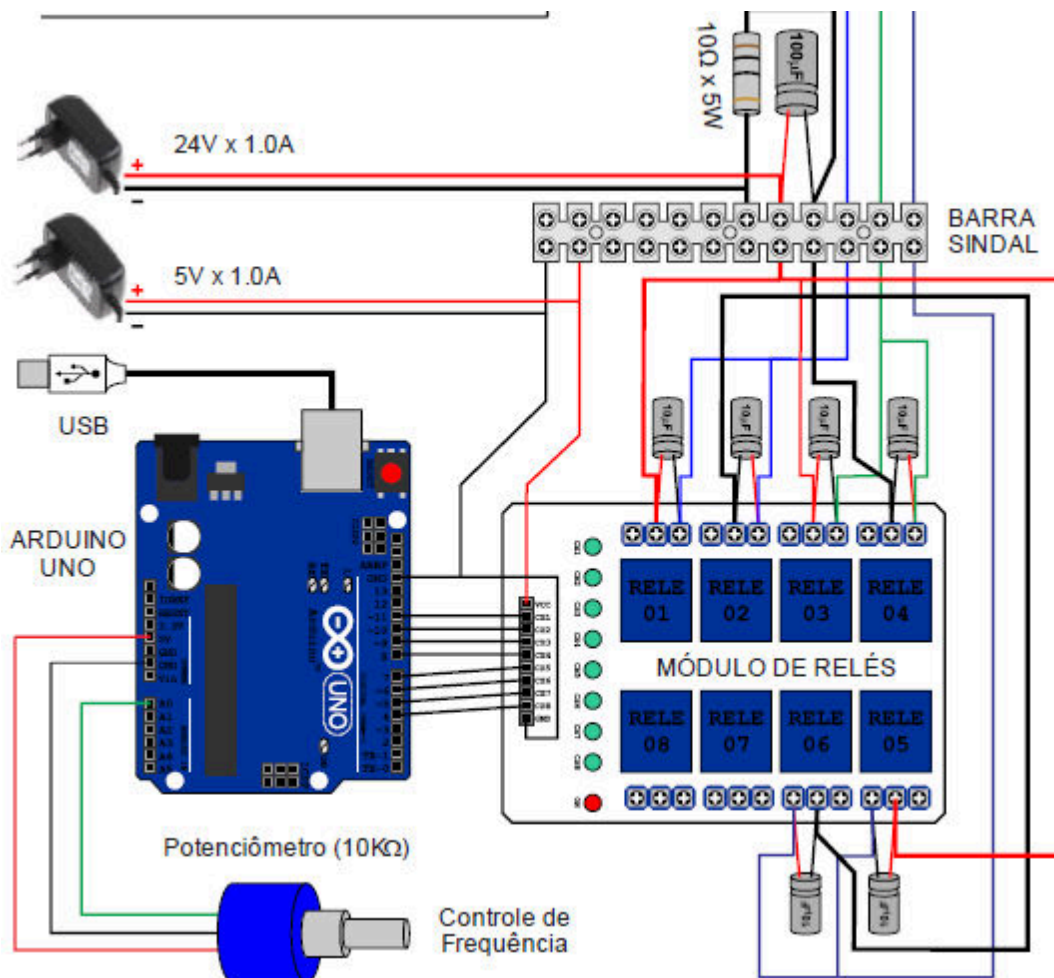
¹ Recomenda-se que os transformadores estejam dispostos verticalmente e fixados em uma haste de madeira, simulando um poste da rede de energia das ruas.

tensões digitais alternadas, cada fase do gerador é conectada ao polo positivo da fonte (+24V) por meio de um relé ou ao polo negativo (-24V) através de outro relé. Assim, a amplitude de voltagem do gerador é de 48V, representando a "Alta Tensão" na maquete. Com uma relação entre os enrolamentos primários e secundários dos transformadores de aproximadamente 0,136, a "Baixa Tensão" da maquete terá uma amplitude de voltagem de cerca de 8V, variando entre -4V e +4V.

Além disso, a fonte de 5V está conectada com seu polo positivo (+) à entrada Vcc do módulo de relés e seu polo negativo (-) à entrada GND do Arduino, alimentando o módulo de relés e servindo como uma opção de alimentação para o Arduino.

Passo 3 - Ligue os capacitores, o resistor, a barra aparafusável (Sindal) usada para facilitar as conexões dos componentes, o módulo de relés e o potenciômetro conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Esquema de montagem das fontes na maquete e dos componentes eletrônicos



Passo 4 – Arduino Uno: O Arduino é dividido em duas partes principais: hardware e software. O hardware consiste em um conjunto básico de componentes eletrônicos montados em uma placa de circuito impresso, proporcionando uma plataforma para o desenvolvimento de protótipos. O software inclui um aplicativo chamado bootloader, residente na memória do microcontrolador embarcado no Arduino. Além disso, há uma interface gráfica (*IDE* – Ambiente de Desenvolvimento Integrado), um programa executado em computadores padrão PC com Windows ou Linux, ou em máquinas Apple com o sistema operacional Mac OS X, atualmente o IDE do arduino já pode ser utilizado em celulares ou tablets por meio de aplicativos baixados na *Google play* ou na *App store*, facilitando a interação e programação do Arduino.

Na elaboração do código para o Arduino, faremos uso do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) disponibilizado gratuitamente e acessível através do site <https://www.arduino.cc/en/software>. Para a programação, serão necessários um notebook e um cabo USB. O IDE do Arduino oferece a capacidade de escrever o código em linguagem C, compilar e transferir diretamente para a placa do Arduino Uno por meio de uma porta USB. Simplificando ainda mais, neste ambiente, a programação pode ser reduzida à definição de apenas duas funções: a função de inicialização (`setup()`), que é executada uma única vez no início, e a função de repetição (`loop()`), que é executada de maneira repetitiva após o `setup`.

Na função de inicialização `setup`, as portas de controle dos relés são configuradas como saída, e as fases `faseBNeg` e `faseCPos` são ativadas (`HIGH`) em preparação para o passo 5. Na função de repetição `loop`, inicialmente, calcula-se o intervalo entre os passos com base no valor de tensão na porta `A0`, proveniente do potenciômetro de controle de frequência. Este valor, variando de 8 (para `A0=0`) a 93 (para `A0=1023`), é armazenado na variável inteira `iTempo`, que é utilizada nas funções `delay` para estabelecer pausas em milissegundos. As pausas ocorrem a cada inversão de polaridade, isto é, quando a tensão de uma fase muda de positivo para negativo ou vice-versa.

Após a ativação da `faseANeg`, é configurado o passo 5 (`A-/B-/C+`). Em seguida, realiza-se a inversão da fase B, desativando `faseBNeg`, pausando e ativando `faseBPos`,

alcançando o passo 4 (A-/B+/C+). Subsequentemente, obtém-se o passo 3 (A-/B+/C-), invertendo a fase C; o passo 2 (A+/B+/C-), invertendo A; o passo 1 (A+/B-/C-), invertendo B; e o passo 6 (A+/B-/C+), invertendo C. Finalmente, desativa-se a faseAPos em preparação para o passo 5 e repete-se a sequência do loop. Essa sequência, iniciando no passo 5 e seguindo de forma invertida, demonstra a flexibilidade para a utilização de outras sequências.

Com um intervalo de 8ms entre passos o ciclo de seis passos demora 48ms, ou seja, uma frequência de 20,8Hz. Já com um intervalo de 93ms, o ciclo demora 558ms, uma frequência de 1,8Hz.

O código fonte está descrito a seguir:

```
// Definição das Portas (cada fase oscila entre um positivo e um negativo em uma determinada
frequência)

#define faseANeg 6      // fase A negativa está definida no pino 6 do arduino.
#define faseAPos 7      // fase A positiva está definida no pino 7 do arduino.
#define faseBNeg 8      // fase B negativa está definida no pino 8 do arduino.
#define faseBPos 9      // fase B positiva está definida no pino 9 do arduino.
#define faseCNeg 10     // fase C negativa está definida no pino 10 do arduino.
#define faseCPos 11     // fase C positiva está definida no pino 11 do arduino.

// Intervalo entre Passos

int iTempo;           // definimos a variável tempo para ser usada na função delay em
milissegundos.

void setup() {
    // Configura Porta Saída
    pinMode(faseANeg,OUTPUT);    // determina-se que o pino 6 como saída.
    pinMode(faseAPos,OUTPUT);    // determina-se o pino 7 como saída.
    pinMode(faseBNeg,OUTPUT);    // determina-se o pino 8 como saída.
    pinMode(faseBPos,OUTPUT);    // determina-se o pino 9 como saída.
    pinMode(faseCNeg,OUTPUT);    // determina-se o pino 10 como saída.
    pinMode(faseCPos,OUTPUT);    // determina-se o pino 11 como saída.

    // Prepara Passo 5
    digitalWrite(faseANeg,LOW); // coloca-se o pino 6 em nível 0 (desligado)
    digitalWrite(faseAPos,LOW); // coloca-se o pino 7 em nível 0 (desligado)
```

```
digitalWrite(faseBNeg,HIGH); // coloca-se o pino 8 em nível 1 (ligado)
digitalWrite(faseBPos,LOW); // coloca-se o pino 9 em nível 0 (desligado)
digitalWrite(faseCNeg,LOW); // coloca-se o pino 10 em nível 0 (desligado)
digitalWrite(faseCPos,HIGH); // coloca-se o pino 11 em nível 1 (ligado)
}

void loop() {
  iTempo=(analogRead(A0)/12+8); // armazena-se um tempo na variavel.
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado.
  digitalWrite(faseANeg,HIGH); // coloca-se a fase A negativa em nível 1 (ligada)
  // Passo 5 (A-/B-/C+)
  digitalWrite(faseBNeg,LOW); // coloca-se a fase B negativa em nível 0 (desligada)
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado.
  digitalWrite(faseBPos,HIGH); // coloca-se a fase B positiva em nível 1 (ligado)
  // Passo 4 (A-/B+/C+)
  digitalWrite(faseCPos,LOW); // coloca-se a fase C positiva em nível 0 (desligada)
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado na variável
  digitalWrite(faseCNeg,HIGH); // coloca-se a fase C negativa em nível 1 (ligada)
  // Passo 3 (A-/B+/C-)
  digitalWrite(faseANeg,LOW); // coloca-se a fase A negativa em nível 0 (desligada)
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado na variável
  digitalWrite(faseAPos,HIGH); // coloca-se a fase A positiva em nível 1 (ligada)
  // Passo 2 (A+/B+/C-)
  digitalWrite(faseBPos,LOW); // coloca-se a fase B positiva em nível 0 (desligada)
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado na variável
  digitalWrite(faseBNeg,HIGH); // coloca-se a fase B negativa em nível 1 (ligada)
  // Passo 1 (A+/B-/C-)
  digitalWrite(faseCNeg,LOW); // coloca-se a fase C negativa em nível 0 (desligada)
  delay(iTempo); // aguarda-se o tempo armazenado na variável
  digitalWrite(faseCPos,HIGH); // coloca-se a fase C positiva em nível 1 (ligada)
  // Passo 6 (A+/B-/C+)
  digitalWrite(faseAPos,LOW); // coloca-se a fase A positiva em nível 0 (desligada)
}
```

2.2 METODOLOGIA E APLICAÇÃO

Segundo Almeida e Tinoco (2021, p.3), a escola desempenha o papel de proporcionar situações de aprendizagem nas quais os alunos são desafiados a enfrentar problemas relacionados ao seu cotidiano, estimulando sua participação ativa no processo de aprendizagem. Nesse contexto, a abordagem baseia-se na exploração das estruturas cognitivas dos alunos, apresentando a essência da situação-problema, fornecendo ferramentas e recursos para que possam construir, organizar e desenvolver soluções para resolver o problema em questão. Essa abordagem visa desenvolver a autonomia dos alunos na busca de soluções e recursos para lidar com diversas situações-problema que encontrarem ao longo de sua jornada.

Zabala (1998, p.18) define a sequência didática como um conjunto de atividades organizadas, estruturadas e interligadas, com o propósito de atingir objetivos educacionais específicos. Tais objetivos têm um início e um fim bem definidos, conhecidos tanto pelos professores quanto pelos alunos. A Sequência Didática será implementada ao longo de 10 encontros, divididos em 5 etapas, todas alinhadas com os seguintes objetivos:

- ✓ Diferenciar os conceitos de corrente contínua (i_{cc}) e corrente alternada (i_{ca}).
- ✓ Entender o processo de distribuição de energia elétrica realizado pelas empresas concessionárias, desde a geração até a entrega aos consumidores.
- ✓ Compreender a diferença entre sistema de distribuição monofásico, bifásico e trifásico.
- ✓ Compreender a relação entre corrente elétrica e campo magnético, bem como campos magnéticos provocados por corrente elétrica alternada.
- ✓ Relacionar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz com o funcionamento dos geradores de corrente alternada.
- ✓ Entender a funcionalidade e a necessidade do uso de transformadores no sistema de distribuição de energia elétrica por corrente alternada.
- ✓ Compreender e diferenciar dispositivos de segurança de circuitos elétricos de acordo com a suas funcionalidades.
- ✓ Identificar e entender os conceitos de física relacionados aos medidores elétricos.

2.2.1 Etapas da sequência didática

A sequência didática apresentada neste projeto foi desenvolvida com a colaboração dos alunos, com o intuito de tornar o processo de aprendizagem mais cativante, relevante e eficaz. Ela está estruturada em 5 (cinco) etapas, distribuídas ao longo de um total de 10 (dez) encontros, cada um com duração de uma hora-aula (1 h/a).

- **1ª Etapa (01 encontro) – Sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos a respeito do conteúdo a ser estudado**

Nesta etapa, ocorre a apresentação da proposta pedagógica, seguida pela aplicação de um questionário prévio (Apêndice A) contendo 12 perguntas abertas relacionadas ao conteúdo a ser estudado. É importante destacar que não há uma avaliação rigorosa das respostas, uma vez que o questionário serve principalmente como uma ferramenta de sondagem. Por meio dessas respostas, o professor obtém uma noção aproximada do conhecimento prévio dos alunos em relação ao tema. Esses dados permitem ao professor estabelecer um diálogo com os alunos e, a partir daí, direcionar ou, até mesmo, ajustar o desenvolvimento da sequência didática.

Para Freire (2014) “o diálogo entre professor e aluno é algo primordial no processo de aprendizagem, pois é nesse momento que os alunos refletem sobre a sua realidade e sobre os conhecimentos que já vivenciaram, afim de construir novos saberes”.

- **2ª Etapa (01 encontro) – problematização inicial**

Essa etapa terá início com o professor fazendo uma série de perguntas de forma oral aos alunos, todas relacionadas à energia elétrica. Os seguintes questionamentos serão apresentados aos estudantes: Como você imagina sua vida sem eletricidade? Quais aparelhos ou equipamentos seriam utilizáveis em seu cotidiano se a energia elétrica não tivesse sido estudada e desenvolvida?

Através dessas questões iniciais, iniciaremos um processo de problematização, incentivando os alunos a refletirem sobre a relevância da energia elétrica e a valorizarem os avanços científicos e tecnológicos. Nesse encontro, será exibido um vídeo do YouTube sobre o tema "Eletricidade no Brasil: Como chegamos até aqui?". Este vídeo possui um pouco mais de seis (6) minutos e sua finalidade é estabelecer

conexões entre as disciplinas de História e Ciências, promovendo desta forma interdisciplinaridade.

- **3ª Etapa (04 encontros) – organização do conhecimento**

No primeiro encontro, os alunos assistirão a um vídeo do YouTube com o título "A Guerra Elétrica - A Disputa entre Edison, Westinghouse e Tesla²", que oferece um breve documentário sobre a história da corrente contínua e da corrente alternada, incluindo seus defensores e principais invenções. Após a exibição do vídeo, os alunos terão a oportunidade de expressar sua compreensão sobre corrente contínua e corrente alternada por meio de um diálogo. O professor esclarecerá dúvidas sobre o conteúdo do vídeo e explicará as diferenças entre essas correntes. Também demonstrará o uso de um alicate amperímetro para mostrar como ler medições de corrente contínua e corrente alternada, destacando que, ao medir corrente alternada, o visor do alicate exibe uma frequência em hertz (Hz), enquanto a corrente contínua não apresenta essa informação.

No segundo encontro, os alunos receberão um material apostilado que aborda diferentes fontes de energia elétrica, tanto renováveis quanto não renováveis. O material explicará suas vantagens e desvantagens, abordando aspectos econômicos e geográficos. Os alunos terão 30 minutos para ler o material e formular perguntas sobre o assunto. Posteriormente, as perguntas serão respondidas, e haverá uma discussão sobre as fontes de energia. Na segunda parte desse encontro, o professor explicará o processo de transmissão e distribuição de energia elétrica, desde a geração até a entrega aos consumidores, esclarecendo o papel das subestações elevadoras e abaixadoras de tensão, bem como o funcionamento de circuitos monofásicos, bifásicos e trifásicos, utilizando recursos visuais como um quadro branco e um data show. Ao final, os alunos terão a oportunidade de contribuir com perguntas e esclarecer dúvidas.

No terceiro encontro, os alunos serão introduzidos a conceitos de eletromagnetismo, incluindo ímãs, polos magnéticos, propriedades básicas dos ímãs e o campo magnético da Terra. O professor explicará o experimento de Hans Christian Oersted que demonstrou a relação entre corrente elétrica e campo magnético, apresentando um experimento semelhante ao de Oersted. Além disso, ministrará uma

² <https://www.youtube.com/watch?v=dVtzwDzK20c>

² <https://www.youtube.com/watch?v=qkxiez2PpzU>

aula com o auxílio de um data show e um material apostilado sobre fontes de campo magnético. Na segunda parte deste encontro, os alunos receberão material apostilado sobre o fluxo do vetor indução magnética, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz, bem como suas aplicações tecnológicas. Após a explicação do conteúdo, os alunos terão a oportunidade de interagir com uma animação na plataforma PhET Interactive Simulations que simula as leis de Faraday e Lenz. O encontro terminará com um período de perguntas e esclarecimento de dúvidas.

No quarto encontro, os alunos receberão uma aula com material apostilado sobre transformadores, abordando a diferença entre transformadores elevadores e abaixadores de tensão e relacionando esse conhecimento à identificação dos transformadores próximos às suas residências. O material enfatizará as equações dos transformadores, com foco na compreensão qualitativa das grandezas envolvidas. Após a explicação, os alunos responderão a um questionário apostilado que destaca os aspectos teóricos do conteúdo. Eles terão 20 minutos para completar o questionário, seguido pela discussão das questões e esclarecimento de dúvidas por parte do professor.

- **4ª Etapa (02 encontros) – aplicação do conhecimento**

No primeiro encontro, os alunos serão introduzidos aos componentes físicos do kit experimental. Em seguida, dar-se-á início ao processo de montagem do circuito elétrico descrito no kit experimental a partir de um roteiro, enquanto o professor supervisiona atentamente os procedimentos técnicos, especialmente em relação aos riscos de choque elétrico.

No segundo encontro, será feita uma introdução básica ao Arduino, juntamente com os componentes associados a ele e sua linguagem de programação específica. Após essa introdução, na presença dos alunos, o circuito elétrico será colocado em funcionamento, resultando na iluminação dos LEDs que simulam as lâmpadas dos postes da rede pública. A partir desse ponto, será possível simular os diferentes tipos de ligações elétricas, como as monofásicas, bifásicas e trifásicas, que são comuns em residências, comércios e indústrias. Nesse momento, o professor também enfatizará a importância dos dispositivos de segurança em instalações elétricas para proteger o circuito contra surtos de energia e destacará as precauções necessárias para evitar acidentes elétricos.

- **5ª Etapa (02 encontros) – Verificação do conhecimento adquirido**

Nesta etapa final, os alunos serão avaliados quanto ao seu entendimento e habilidade na aplicação do conhecimento adquirido. A avaliação será conduzida por meio de um questionário (Apêndice B), que será distribuído aos estudantes após a apresentação e execução do kit experimental por eles desenvolvido. Ao analisar as respostas desse questionário, o professor realizará uma comparação com as respostas fornecidas no questionário inicial entregue aos alunos na primeira etapa da sequência didática. Essa comparação tem como principal objetivo validar a eficácia da abordagem pedagógica adotada. No entanto, é crucial ressaltar que essa análise não deve ser a única abordagem de avaliação, uma vez que a avaliação de uma sequência didática deve ser holística, considerando diversos elementos para determinar sua eficácia na consecução dos objetivos educacionais.

2.3 Aplicação do recurso educacional

A aplicação do produto educacional é um desafio que o professor deve encarar de maneira a propiciar algo que envolva, motive, cativa a atenção e priorize a participação direta dos alunos nas etapas descritas na sequência didática, desta forma inserimos sugestões que podem ser aproveitadas no desenvolvimento das etapas descritas na sequência.

Na 1ª etapa, que se refere a sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos a respeito do conteúdo a ser estudado, projetada para 01 encontro, recomendamos que os alunos sejam colocados em “fila indiana”. Durante essa etapa, a proposta pedagógica deve ser apresentada e o questionário de avaliação de conhecimentos prévios distribuído.

Nesse momento, o professor engaja os alunos em um diálogo aberto, incentivando-os a responder o questionário com sinceridade. É concedido um período de aproximadamente 30 minutos, durante o qual os alunos têm a oportunidade de responder às 12 perguntas sem recorrer a materiais didáticos ou qualquer outra fonte de informação externa.

Na 2ª etapa, que incorpora a problematização como uma ferramenta interativa para estimular a discussão em sala de aula e identificar lacunas de conhecimento reveladas durante o diálogo em grupo, sugerimos dedicar duas aulas a essa etapa.

Recomendamos que o professor organize a sala de aula de maneira circular para facilitar a interação entre os alunos.

Durante esta etapa, o professor inicia fazendo perguntas orais conforme descrito na segunda etapa da sequência didática. Após as perguntas, é aconselhável conceder cerca de 10 minutos para que os alunos organizem suas possíveis respostas. Após os alunos compartilharem seus pensamentos em relação às perguntas propostas, o professor, de maneira organizada, comenta as contribuições feitas e incentiva os alunos mais reservados a participarem da discussão em grupo. É enfatizada a importância da energia elétrica e os avanços tecnológicos relacionados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil.

Na segunda aula, sugerimos que o professor dê continuidade iniciando com a exibição de um vídeo do YouTube intitulado "Eletricidade no Brasil: Como chegamos até aqui?"³. Como o vídeo tem aproximadamente 6 minutos, recomenda-se que o professor faça breves pausas para explicar termos complexos ou abordar falas que os alunos possam ter dificuldades em compreender. Ao finalizar o vídeo, o professor faz um resumo geral com base no conteúdo do vídeo e nas respostas fornecidas pelos alunos durante as perguntas orais na primeira aula sobre a importância da eletricidade. Dessa forma, o professor consegue estabelecer conexões com a disciplina de história, promovendo a interdisciplinaridade em sala de aula, capturando a atenção dos alunos e estimulando a curiosidade em relação ao tema discutido.

Na etapa 3, que se concentra na organização do conhecimento, recomendamos sua execução ao longo de quatro encontros, utilizando recursos como um projetor, caixa de som, computador ou notebook, e um multímetro. No primeiro encontro, sugerimos que o professor inicie apresentando um documentário sobre a história da corrente alternada e contínua, usando aproximadamente uma aula, que geralmente tem entre 45 e 50 minutos, para exibir o vídeo e oferecer um breve resumo sobre seus precursores.

Na segunda aula, propomos que o professor permita que os alunos expressem suas opiniões sobre o conteúdo apresentado no vídeo. Em seguida, o professor pode iniciar a explicação sobre corrente contínua e corrente alternada, abordando suas

³ Acesso em 24 de janeiro de 2024: <https://www.youtube.com/watch?v=dVtzwDzK20c>

formulações matemáticas e suas aplicações no cotidiano. Em seguida, é vantajoso que o professor conduza leituras de corrente e voltagem contínua, utilizando um circuito simples com um LED e uma pilha. Para a leitura da tensão e corrente alternada, o professor pode empregar um circuito simples composto por uma lâmpada e um interruptor, conectando-o à tomada da rede elétrica da sala de aula.

No segundo encontro, sugerimos que o professor prepare material apostilado abordando as diversas fontes de energia, tanto renováveis quanto não renováveis, destacando suas vantagens e desvantagens. O professor deve distribuir esse material aos alunos⁴, concedendo um tempo médio de 30 minutos para que o leiam e elaborem perguntas sobre o tema. Essas perguntas serão posteriormente discutidas em sala de aula, promovendo um debate saudável mediado pelo professor.

Na segunda parte do encontro, é recomendado que o professor inicie explicando o processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. O foco deve ser nas três formas de distribuição da energia elétrica para os consumidores: monofásica, bifásica e trifásica. Para identificar como a energia elétrica foi distribuída à escola, o professor pode utilizar uma chave teste que identifica os condutores fase e neutro.

No terceiro encontro, para um desenvolvimento eficaz dessa etapa, o professor necessitará de um projetor, um computador ou notebook e uma conexão com a internet. Sugerimos que o professor inicie com uma introdução ao eletromagnetismo, explicando as propriedades básicas dos ímãs e a significativa importância do campo magnético terrestre. Utilizando um experimento simples semelhante ao realizado por Hans Christian Oersted, o professor pode demonstrar a relação entre corrente elétrica e campo magnético, utilizando o data show e material apostilado para apresentar diversas fontes de campo magnético.

Na segunda parte do terceiro encontro, recomendamos que o professor, com o auxílio de material apostilado e do projetor, explique o conceito de fluxo do vetor indução magnética, além de abordar as Leis de Faraday e de Lenz, destacando suas aplicações tecnológicas. Utilizando, por exemplo, a plataforma PhET Interactive

⁴ Esse material pode também ser entregue aos alunos no encontro anterior como atividade pra casa.

Simulations, o professor poderá proporcionar uma interação com animações relacionadas aos conteúdos de eletromagnetismo.

O docente poderá concluir a terceira etapa introduzindo o conceito de transformador. Através de um material apostilado, em que terá a oportunidade de apresentar as equações relacionadas aos transformadores e enfatizar suas aplicações tecnológicas. Utilizando um questionário contendo perguntas teóricas sobre os transformadores, o professor poderá avaliar a compreensão dos alunos em relação ao conteúdo. Em seguida, encerrará a aula abordando eventuais dúvidas e respondendo a questionamentos sobre a aplicação prática dos transformadores.

Na quarta etapa, que envolve a aplicação prática do produto educacional conforme descrito na sequência didática, destinamos dois encontros, com duas aulas cada, para essa fase. No primeiro encontro, sugerimos que o professor inicie com a montagem física da maquete. Ele orientará os alunos na fixação das partes que representam os postes de distribuição de energia elétrica, utilizando uma chave de fenda ou phillips, dependendo do tipo de parafuso empregado. Após essa etapa, o professor apresentará os componentes eletrônicos a serem utilizados, explicando suas funções e conduzindo testes com o multímetro para verificar se as leituras estão de acordo com as marcações dos componentes. Durante esse processo, é crucial tomar os devidos cuidados para evitar possíveis choques elétricos. Seguindo o roteiro de montagem apresentado no, o professor, com a colaboração dos alunos, inserirá os componentes eletrônicos, concluindo assim a construção da maquete.

No segundo encontro, sugerimos que o professor inicie com uma introdução básica sobre o Arduino, abordando sua história e importância não apenas como recurso educacional, mas também como uma ferramenta amplamente utilizada na automação residencial. É importante destacar que, com os devidos cuidados, o Arduino também pode ser aplicado em ambientes industriais. O professor deverá apresentar o ambiente de programação do Arduino, orientando os alunos sobre o download e o uso de suas ferramentas.

Em seguida, recomendamos que o professor dedique pelo menos 20 minutos para mostrar detalhadamente aos alunos como realizar uma programação básica no Arduino, conhecida como "pisca led". Após essa introdução ao Arduino, o professor,

utilizando um data show e um notebook, inserirá o código de programação na maquete, explicando cada passo aos alunos.

Com a maquete totalmente montada e o código de programação inserido no Arduino, é aconselhável que o professor, com a participação dos alunos, realize testes nas fases, verificando a tensão de entrada e saída dos transformadores por meio de um multímetro. Além disso, o professor deve demonstrar as ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas na prática. Durante essa atividade prática, é fundamental enfatizar a importância dos dispositivos de segurança para proteger o circuito elétrico de residências, comércios ou indústrias contra surtos e acidentes envolvendo choques elétricos.

Na quinta etapa, planejada para ser desenvolvida em dois encontros, é crucial compreender que a verificação do conhecimento é um processo destinado a avaliar a compreensão e a aprendizagem dos alunos em relação a conceitos, habilidades ou informações específicas. Essa prática desempenha um papel fundamental no acompanhamento do progresso dos estudantes, na identificação de dificuldades e na adaptação de estratégias de ensino. Nesse contexto, sugerimos que, no primeiro encontro, o professor administre o questionário de validação do conhecimento adquirido ao longo da aplicação do produto educacional, conforme indicado no Apêndice B. É importante lembrar aos alunos que as questões do questionário se referem aos conteúdos estudados e praticados desde o início da aplicação da sequência didática. A sinceridade e a responsabilidade manifestadas em suas respostas são de fundamental importância para a avaliação desta prática pedagógica.

No segundo e último encontro da aplicação do produto educacional, é aconselhável que o professor, tendo em mãos as respostas fornecidas pelos alunos no questionário de validação do conhecimento, realize uma comparação com as respostas obtidas no questionário de avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos, conforme apresentado no Apêndice A. Essa análise permitirá ao professor identificar se houve ou não aprendizagem em relação aos conceitos e informações abordados neste produto educacional. É relevante destacar que essa não é a única abordagem para avaliar a sequência didática utilizada. Pode-se optar por uma abordagem holística, que busca compreender o aluno de maneira abrangente, considerando aspectos emocionais, sociais, físicos e intelectuais.

Para obter informações mais detalhadas sobre a aplicação desse produto educacional, recomenda-se consultar a dissertação de mestrado de Tinoco (2024).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Almeida e Tinoco (2021, p.3) ressaltam o papel fundamental da escola na criação de oportunidades desafiadoras de aprendizagem, incentivando os alunos a abordar questões relacionadas ao seu cotidiano. Essa abordagem metodológica promove a participação ativa dos alunos, explorando suas estruturas cognitivas. A essência dessa abordagem reside em apresentar situações-problema e fornecer ferramentas para que os alunos construam e organizem soluções. O objetivo é desenvolver a autonomia dos alunos, capacitando-os a buscar recursos e soluções para enfrentar uma variedade de situações-problema ao longo de sua jornada educacional.

Baseando-se nas teorias construtivistas de Piaget e no construcionismo de Seymour Papert, ambos concordam que o ensino eficaz deve estar integrado à realidade e às vivências dos alunos. Segundo Piaget, o processo de aprendizagem ocorre quando o aluno interage com os objetos do conhecimento por meio de situações que enriquecem suas experiências de vida. Por sua vez, Papert vai além, defendendo que a interação necessária para a aprendizagem não deve ser aleatória. Ele acredita que os alunos aprendem ao experimentar, construir e participar ativamente do processo de construção do conhecimento com o auxílio de recursos tecnológicos.

Vygotsky (2001), em seu livro "A Construção do Pensamento e da Linguagem", destaca a importância dos processos de ensino na aquisição de conhecimentos e enfatiza a necessidade de os professores criarem situações pedagógicas que permitam aos alunos estabelecerem conexões entre o conhecimento científico e sua compreensão do cotidiano. Nesse contexto, a sequência didática é apresentada como uma metodologia pedagógica crucial para facilitar esses processos de ensino, oferecendo uma abordagem estruturada e ordenada que ajuda na articulação efetiva entre os conteúdos científicos e a experiência prática dos alunos.

A aplicação de recursos educacionais refere-se à utilização de diversos materiais, ferramentas e estratégias que enriquecem o processo de ensino-aprendizagem. Esses recursos buscam tornar as aulas mais dinâmicas, envolventes e eficazes. O produto educacional desenvolvido tem grande potencial no processo de ensino-aprendizagem, pois envolve, motiva e desperta a curiosidade dos alunos de maneira direta, oferecendo diversidade de informações e aplicações práticas. A

sequência didática proposta fornece um guia passo a passo sobre como aplicar esse produto, levando em consideração as características do público-alvo.

O kit experimental, composto pela maquete que simula a distribuição de energia elétrica por corrente alternada dentro de um sistema trifásico, foi criado com o objetivo de aprimorar a qualidade do ensino na disciplina de Física, especialmente nos conteúdos de eletrodinâmica e eletromagnetismo. Além disso, serve como suporte pedagógico para outros professores de física interessados em abordar esses conteúdos de maneira diferenciada, transformando o ensino de uma forma abstrata para uma forma concreta por meio de experimentos e atividades práticas. A contextualização estabelece conexões entre diferentes disciplinas, como História e Geografia. Conforme Lima (2013) destaca, "as competências em Física para a vida são construídas em um presente contextualizado, em articulação com competências de outras áreas, impregnadas de outros conhecimentos, portanto, de forma interdisciplinar".

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Bruno dos Santos; TINOCO, Vicente de Paula. **Aplicação da robótica educacional no ensino da física: um estudo de caso na escola Paulo Ramos em Turiaçu-MA. Robótica Educacional**, Editora Itacaiúnas, p. 1 -15, 6 maio 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR IEC 60947-2: Dispositivos de manobra e comando de baixa tensão, Disjuntores**, 2013.
- COLLARES, Darli. **Epistemologia genética e pesquisa docente: estudo das ações no contexto escolar**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.
- EVANGELISTA, F. L.; CHAVES, L. T. **Uma Proposta Experimental e Tecnológica na Perspectiva de Vygotsky para o Ensino de Física**. *Revista do Professor de Física*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 177-200, 2019. DOI: 10.26512/rpf.v3i1.24013. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/24013>. Acesso em: 29 out. 2021.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 46 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2014.
- FORNAZA, Roseli. WEBBER, Carine G. **Robótica educacional aplicada à aprendizagem em física**. 2018. Disponível em: < seer.ufrgs.br > renote > article > view > Acesso em: 15 de setembro de 2021.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: ELETROMAGNETISMO**. 9ª Edição. ed. [S. l.]: LTC/gen, 2012. 355 p. v. 3.
- HEWIT, P. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- LIMA, Elon Lages, **Análise Real, Funções de Uma Variável**, IMPA, 2013, 12 edição.
- OLIVEIRA, Carlos Jacinto; SANTANA DOS SANTOS, Antonio Carlos. **Eletricidade e Magnetismo II**. 01. ed. [S. l.]: UECE, 2015. 89 p. v. 02.
- PAPERT, Seymour M. **A Máquina das Crianças: Repensando a escola na era da informática** (edição revisada). Nova tradução, prefácio e notas de Paulo Gileno Cysneiros. Porto Alegre, RS: Editora Artmed, 2017.
- PIAGET, Jean. **Epistemologia genética**. Trad. Álvaro Cabral. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2018.
- RIZZON, Gisele. **A sala de aula sob o olhar do construtivismo piagetiano: perspectivas e implicações**. Congresso Internacional de Filosofia e Educação, p. 01 - 09, 11 maio 2010. Disponível em: <https://www.ucs.br> ? Construtivismo_Piagetiano. Acesso em: 20 out. 2021.
- SANTOS, Marcio Anicete; PASSOS, Marinez Meneghello; ARRUDA, Sergio de Mello. **Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica**. *Eletricidade*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 3, p. 856-869, jul. 2015.
- SILVA, Marcos. **Correção do fator de potência de cargas Industriais com dinâmica rápida**. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2009, p.31.

SOUZA J.R.A; MORENO H. **Instalações elétricas de baixa tensão**. Revista Eletricidade Moderna 2004, 289p.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, n. 1, p. 1 - 521, mar. 2001.

TINOCO, V. de P. A. **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA DE CORRENTE ALTERNADA COM ARDUINO: uma sequência didática para a aprendizagem de conceitos de eletrodinâmica**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Maranhão. São Luís, p. 121, 2024.

Apêndice A – Questionário prévio

1ª Questão: A corrente elétrica é uma medida

- a) da força responsável pelo movimento das cargas.
- b) da resistência ao movimento das cargas.
- c) da energia responsável pelo movimento das cargas.
- d) do movimento das cargas

2ª Questão: Qual o conceito de Corrente elétrica contínua (i_{cc} ou i_{dc})?

- a) É aquela que tem variação na sua intensidade e direção.
- b) É a corrente elétrica que mantém constante seu módulo(intensidade) e sentido.
- c) É a diferença de potencial que provoca curto-circuito.
- d) É a corrente elétrica representada por um campo magnético constante.

3ª Questão: Qual o conceito de Corrente elétrica alternada (i_{ca} ou i_{ac})?

- a) É a corrente elétrica caracterizada por uma variação em sua intensidade (módulo) e direção no tempo.
- b) É a corrente elétrica caracterizada por manter sua intensidade e direção constantes.
- c) É a grandeza que representa a massa do elétron.
- d) É a grandeza que representa a massa do próton.

4ª Questão: Cite os tipos de fontes de energia que você conhece.

5ª Questão: O que você entende por subestação aumentadora de tensão e abaixadora de tensão?

6ª Questão: O que você entende por distribuição de energia Monofásica, bifásica e trifásica?

7ª Questão: O que é um gerador?

- a) É um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- b) É um dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.
- c) É um dispositivo que pode aumentar ou baixar a tensão, de acordo com a necessidade do circuito.

d) É um dispositivo que mede a tensão elétrica de um circuito.

8ª Questão: O que é um transformador de tensão?

- a) Dispositivo que transforma a tensão elétrica da rede em energia térmica.
- b) Dispositivo que pode aumentar ou reduzir a tensão dependendo da necessidade do circuito elétrico.
- c) Dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- d) Dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.

9ª Questão: Quais dispositivos de proteção elétrica você possui em sua casa?

10ª Questão: Defina com suas palavras o que é um amperímetro e um voltímetro.

11ª Questão: O que é um capacitor?

- a) Dispositivo que transforma energia elétrica em calor,
- b) Dispositivo que armazena carga elétrica em um circuito, quando submetido a uma diferença de potencial.
- c) Dispositivo que transforma corrente contínua em corrente alternada.
- d) Dispositivo que protege o circuito elétrico de aquecimentos.

12ª Questão: O que é um arduino? Cite uma de suas aplicações.

Apêndice B – Questionário de validação do conhecimento adquirido no decorrer da aplicação do produto educacional

1ª Questão: Qual a diferença entre corrente elétrica contínua e corrente elétrica alternada?

- a) Não há diferença entre elas.
- b) A corrente contínua tem elétrons que variam sua direção de movimento e a corrente alternada é formada por elétrons que se movimentam em uma única direção.
- c) A corrente contínua possui polaridade invertendo em um determinado intervalo de tempo enquanto a corrente alternada possui polos (+) e (-) constantes independente do tempo.
- d) A corrente contínua tem sua intensidade e direção constantes independente do intervalo de tempo enquanto a corrente alternada tem sua intensidade e direção variando em um intervalo de tempo.

2ª Questão: Qual a diferença entre fontes de energia renovável e não renovável?

- a) as fontes não renováveis são aquelas que não produzem danos ao meio ambiente, enquanto as renováveis trazem bastante problemas ambientais.
- b) as fontes renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis, pois são renovadas na natureza com facilidade, enquanto as não renováveis são consideradas fontes convencionais, esgotáveis e finitas.
- c) as fontes renováveis são aquelas que derivam do petróleo, enquanto as não renováveis são consideradas fontes de energia limpas como a solar, eólica, entre outras.
- d) não existe nenhuma diferença entre elas.

3ª Questão: Qual lei da física é fundamental para o funcionamento dos transformadores?

- a) 1ª e 2ª Leis de Ohm.
- b) Lei de Ampère.
- c) Lei de Faraday.
- d) 2ª Lei de Newton.

4ª Questão: Qual a diferença entre a subestação elevadoras de tensão e subestações abaixadoras de tensão?

- a) as elevadoras de tensão ficam geralmente localizadas nas saídas das hidrelétricas e servem para aumentar a tensão, enquanto as subestações abaixadoras de tensão ficam nas periferias das cidades e servem para baixar a tensão e evitar riscos aos consumidores.
- b) as subestações elevadoras de tensão ficam localizadas nas periferias das cidades e servem para baixar a tensão, enquanto as abaixadoras de tensão servem para aumentar a tensão para um bom uso dos consumidores.

- c) a subestação elevadora de tensão tem a finalidade de elevar a corrente elétrica, enquanto as abaixadoras de tensão têm a função de diminuir a corrente elétrica que chega nas residências.
- d) não existe diferença entre as subestações elevadoras de tensão e as abaixadoras de tensão.

5ª Questão: Qual o tipo de ligação elétrica é usado em sua residência?

- a) monofásica
- b) bifásica
- c) trifásica

6ª Questão: Quais os componentes da maquete estavam funcionando como um gerador?

- a) os capacitores.
- b) os transformadores.
- c) as fontes de tensão contínua de 5V e 24V.
- d) o arduino.

7ª Questão: Nos testes feitos nos componentes e na apresentação da maquete foi utilizado um multímetro em forma de alicate, o que significam as marcações *AC* e *DC* que aparecem em algumas leituras?

- a) *AC* significa que a voltagem ou a corrente elétrica eram alternadas e *DC* que a voltagem ou corrente elétrica eram contínua.
- b) *AC* indicava corrente contínua e *DC* indicava corrente alternada
- c) *AC* indicava resistência elétrica e *DC* indicava que capacitância.
- d) *AC* e *DC* indicam corrente contínua.

8ª Questão: Qual a função dos capacitores de 10 μ F e 100 μ F na maquete?

- a) aumentar a potência dos transformadores.
- b) diminuir a corrente elétrica nos fios da alta tensão.
- c) proteger o Arduino.
- d) diminuir o ruído elétrico produzido pelo chaveamento de cargas indutivas.

9ª Questão: O que você achou da introdução ao Arduino oferecida durante a aplicação do produto educacional?

- a) ótimo, consegui entender.
- b) bom, deu para entender um pouco, podia ser melhor se tivéssemos mais tempo destinado ao arduino.
- c) ruim, não entendi nada.
- d) prefiro não opinar.

10ª Questão: O que você achou da aplicação do produto educacional desenvolvido com a sua turma?

- a) Ótimo, pois consegui entender como funciona o processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica.
- b) Bom, pois compreendi em parte o que foi trabalhado na aplicação do kit experimental.
- c) Ruim, pois não entendi praticamente nada.
- d) Prefiro não opinar.