



Universidade Federal de Mato Grosso
Instituto de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**Maleta Didática - Máquina de corrente contínua aplicada no
ensino de eletromagnetismo para o ensino médio**

Murilo Araujo Santos

Cuiabá - Mato Grosso
Junho de 2021

Murilo Araujo Santos

Maleta Didática - Máquina de corrente contínua aplicada no ensino de eletromagnetismo para o ensino médio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Mato Grosso no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Dr^a Daniela de Oliveira Maionchi.

Cuiabá - Mato Grosso
Julho de 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A663m Araujo Santos, Murilo.

Maleta Didática - Máquina de corrente contínua aplicada no ensino de eletromagnetismo para o ensino médio / Murilo Araujo Santos. -- 2021

xiii, 95 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Daniela de Oliveira Maionchi.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Cuiabá, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Eletromagnetismo. 2. Lei de Faraday. 3. Máquina de corrente contínua. 4. Ensino médio. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL - PROFIS
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - Cuiabá/MT
Tel : 3615-8788 - Email : sabrina@fisica.ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "Maleta Didática - Motor de corrente contínua aplicado no ensino de eletromagnetismo para o ensino médio"

AUTOR: Murilo Araujo Santos

defendida e aprovada em 23/07/2021.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientadora Doutora Daniela de Oliveira Maionchi
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinadora Interna Doutora Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo Doutor Geison Jader Mello
Instituição : Instituto Federal de Mato Grosso

Examinador Suplente Doutor ANDRE CORREIA RISERIO DO BONFIM
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Suplente Doutor Osvaldo Alves Pereira
Instituição : Universidade de Cuiabá -UNIC

CUIABÁ, 23/07/2021.

Dedico essa dissertação ao meu pai Homero e minha mãe Adriana que fizeram o possível e o impossível para que eu chegasse até aqui.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao meu pai e mãe por toda contribuição que me fizeram ao longo de todos os anos da minha vida.

Agradeço a minha orientadora Dr^a Daniela de Oliveira Maionchi pelas considerações feitas a este trabalho. Agradeço também o incentivo de publicar o artigo científico e a utilizar o L^AT_EX. Levarei esses ensinamentos por toda a vida.

Agradeço o meu grande companheiro, parceiro e melhor amigo Diego Doneda que me apoiou nos momentos difíceis desses últimos anos.

Agradeço ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física por essa maravilhosa experiência que muito influenciará minha vida profissional daqui para frente.

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

Muito obrigado!

Resumo

Este trabalho propõe a construção de uma maleta didática utilizando uma máquina de corrente contínua para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem na área do eletromagnetismo para o ensino médio, tanto nas disciplinas de física como na de máquinas elétricas. O produto didático foi utilizado nas aulas práticas de eletromagnetismo e de máquinas elétricas do curso técnico em Automação Industrial integrado ao nível médio do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Avançado Sinop. A maleta foi construída utilizando uma máquina de corrente contínua semelhante a de liquidificadores domésticos de duas velocidades. Os enrolamentos formam conectados a bornes para facilitar as conexões do circuito através de conectores banana. Circuitos elétricos, tensão e corrente elétrica, lei de indução de Faraday e algumas características funcionais são alguns temas discutidos, na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa, com o apoio desta maleta. A influência da maleta didática na aprendizagem significativa dos alunos foi medida através de um delineamento quase-experimental. A turma que presenciou as demonstrações práticas teve um desempenho superior em comparação à turma que só teve aulas tradicionais, sem demonstrações práticas.

Palavras-chave: eletromagnetismo, lei de Faraday, máquina de corrente contínua, ensino médio.

Abstract

This work proposes the construction of a didactic case using a direct current machine to assist the teaching-learning process in the field of electromagnetism for high school, both in physics and in electrical machines. The didactic product was used in practical classes of electromagnetism and electrical machines of the technical course on Industrial Automation integrated to high school of the Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Avançado Sinop. The case was constructed using a direct current machine similar to two-speed blenders. The windings were connected to terminals to facilitate the circuit connections through banana connectors. Electric circuits, voltage and electric current, Faraday's law of induction and some characteristic features are some of the topics discussed, from the perspective of the Meaningful Learning Theory, with the support of this case. The influence of the didactic case on the students' meaningful learning was measured through a quasi-experimental design. The class that witnessed the practical demonstrations had a superior performance compared to the class that only had traditional classes, without practical demonstrations.

Keywords: electromagnetism, Faraday's law, direct current machine, high school.

Lista de Figuras

2.1	Esfera descendo uma rampa - adaptado de Gomes (2020).	18
2.2	Simulação de um sistema termodinâmico - retirado de PhET Interactive Simulations (2020a).	20
2.3	Simulação da lei de indução eletromagnética de Faraday - retirado de PhET Interactive Simulations (2020b).	20
2.4	Demonstração da força magnética ao aproximar um ímã de um condutor utilizado para ligar um <i>datashow</i> - do autor.	21
2.5	Exemplo de enquete realizada no aplicativo <i>Telegram</i> - do autor.	22
2.6	Esquema construtivo da máquina de corrente contínua - adaptado de Learn Engineering (2014) (https://youtu.be/LAtPHANefQo).	23
3.1	Força magnética exercida em uma carga positiva Q	26
3.2	Esquema simplificado de cargas em movimento dentro de um condutor cilíndrico qualquer.	27
3.3	Esquema construtivo da máquina de corrente contínua - adaptado de Magtaan (2017).	28
3.4	Foto da maleta didática	29
3.5	Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.	30
3.6	Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.	31
3.7	Circuito elétrico equivalente da máquina de corrente contínua na excitação em série - retirado de Chapman (2013).	32
3.8	Circuito elétrico equivalente de um liquidificador doméstico com duas velocidades de rotação.	35
3.9	Laminação do núcleo magnético da máquina de corrente contínua.	36
4.1	Esquema da metodologia aplicada na turma teste.	39
4.2	Esquema da metodologia aplicada na turma controle.	40
4.3	Enquete elaborada no aplicativo <i>Telegram</i> durante a realização da aula.	41
4.4	Recorte do slide utilizado na aula da máquina de corrente contínua.	42
4.5	Captura de tela do vídeo sobre motor de corrente contínua - retirado de Learn Engineering (2014)(https://youtu.be/LAtPHANefQo).	42

4.6	Enquete elaborada no aplicativo <i>Telegram</i> durante a realização da aula.	43
4.7	Captura de tela da apresentação do circuito elétrico.	44
4.8	Enquete elaborada no aplicativo <i>Telegram</i> durante a realização da aula.	45
4.9	Enquete elaborada no aplicativo <i>Telegram</i> durante a realização da aula.	45
4.10	Captura de tela do vídeo no momento da geração de energia elétrica utilizando o gerador de corrente contínua.	46
5.1	Resultados graficamente expressos acerca da questão 1 da sondagem inicial.	48
5.2	Resultados graficamente expressos acerca da questão 2 da sondagem inicial.	49
5.3	Resultados graficamente expressos acerca da questão 3 da sondagem inicial.	51
5.4	Resultados graficamente expressos acerca da questão 4 da sondagem inicial.	53
5.5	Resultados graficamente expressos acerca da questão 1 da sondagem final.	54
5.6	Resultados graficamente expressos acerca da questão 2 da sondagem final.	57
5.7	Resultados graficamente expressos acerca da questão 3 da sondagem final.	59
5.8	Resultados graficamente expressos acerca da questão 4 da sondagem final.	61
C.1	Foto da maleta didática.	70
C.2	Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.	72
C.3	Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.	73
C.4	Circuito elétrico equivalente da máquina de corrente contínua na excitação em série - retirado de (CHAPMAN, 2013).	74
C.5	Circuito elétrico equivalente de um liquidificador doméstico com duas velocidades de rotação.	77
C.6	Captura de tela do vídeo <i>Magnetic Forces and Magnetic Fields</i> - retirado de https://youtu.be/RqSode4HZrE	81
C.7	Captura de tela do vídeo <i>DC Motor, How it works?</i> - Disponível em: https://youtu.be/LAtPHANefQo	82
C.8	Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.	83
C.9	Conexão paralela dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.	83
C.10	Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.	84
C.11	Medição da tensão interna gerada do enrolamento da armadura.	85
C.12	Medição da corrente elétrica do circuito.	86
C.13	Medição da corrente elétrica pelo alicate amperímetro.	87
C.14	Medição da corrente elétrica pelo alicate amperímetro.	88
C.15	Redução na tensão interna gerada ao simular a inserção de torque de carga. A tensão com o eixo livre era de 8.05V conforme mostrado na figura C.11.	89

C.16 Circuito elétrico equivalente de um liquidificador de duas velocidades. . . .	90
C.17 Circuito elétrico de um liquidificador de duas velocidades.	91

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Ciência para a tomada de decisões	14
1.2	Motivação	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	Publicação em revista indexada	16
2	Referencial teórico	17
2.1	David Ausubel e a teoria da aprendizagem significativa	17
2.2	Condições para a Aprendizagem Significativa	18
2.2.1	Material potencialmente significativo	18
2.2.2	Predisposição a aprender	23
3	O eletromagnetismo clássico e o motor de corrente contínua	26
3.1	A força magnética	26
3.2	Construção da maleta didática	28
3.3	Possíveis abordagens didáticas da maleta didática	29
3.3.1	Conceitos de circuitos elétricos: série e paralelo	30
3.3.2	Utilização do multímetro	31
3.3.3	Tensão elétrica e velocidade de rotação do motor	32
3.3.4	Carga mecânica no eixo do motor e corrente injetada	33
3.3.5	Funcionamento do motor em corrente alternada	34
3.3.6	Circuito retificador de meia onda	34
3.3.7	Correntes parasitas	35
3.3.8	Campo magnético residual	37
3.3.9	Função geradora	37
4	Metodologia	39
4.1	Contexto da aplicação	40
4.2	Sequência didática	40
5	Resultados e Discussões	47
5.1	Sondagem Inicial	47

5.2	Sondagem Final	53
5.3	Síntese do capítulo	61
6	Considerações Finais	63
	Referências Bibliográficas	64
A	Sondagem Inicial	66
B	Sondagem Final	67
C	Produto Educacional	69
C.1	Apresentação	69
C.2	Maleta Didática	69
C.2.1	Passo a passo da construção	71
C.2.2	Dicas para montagem da maleta	71
C.3	Possíveis abordagens	72
C.3.1	Conceitos de circuitos elétricos: série e paralelo	72
C.3.2	Utilização do multímetro	72
C.3.3	Tensão elétrica e velocidade de rotação do motor	74
C.3.4	Carga mecânica no eixo do motor e corrente injetada	75
C.3.5	Funcionamento do motor em corrente alternada	76
C.3.6	Circuito retificador de meia onda	76
C.3.7	Correntes parasitas	77
C.3.8	Campo magnético residual	78
C.3.9	Função geradora	79
C.4	Sequência Didática	79
C.4.1	Aula 1	80
C.4.2	Aula 2	82
C.4.3	Aula 3	82
C.4.4	Aula 4	88
C.4.5	Aula 5	91

Capítulo 1

Introdução

1.1 Ciência para a tomada de decisões

O avanço tecnológico e científico da humanidade, além de nos proporcionar uma melhor qualidade de vida, nos trouxe questões científicas relevantes a serem refletidas. Os combustíveis fósseis, por exemplo, deram à humanidade um fácil acesso à energia. A maior parte dessa é usada pela indústria, transporte e geração de eletricidade. Vale salientar que estes itens são indispensáveis para garantir a vida moderna do homem. Entretanto, o consumo deste tipo de combustível colabora com a mudança na composição da atmosfera terrestre aumentando sua capacidade de reter energia térmica, o que aumenta de forma generalizada a temperatura na superfície do planeta, alterando comportamentos climáticos (MCMICHAEL; WOODRUFF; HALES, 2006). Há indícios que essas alterações podem oferecer riscos à nossa civilização devido a maior incidência de enchentes, intensas ondas de calor, secas severas e tempestades (MCMICHAEL; WOODRUFF; HALES, 2006).

Grande parte da geração de energia elétrica global é dependente de combustíveis fósseis (RITCHIE; ROSER, 2020). Estes são utilizados nas termoeletricas e resultam em despejo de gás carbônico, entre outros poluentes, na atmosfera. Wieman & Perkins (2005) mencionam a necessidade dos cidadãos serem alfabetizados cientificamente para tomar melhores decisões em problemáticas globais como esta. A conscientização acerca de seus efeitos deletérios é imprescindível para a mitigação desses problemas.

A sociedade desfruta das benesses advindas do desenvolvimento científico e tecnológico, entretanto é de sua responsabilidade lidar com as consequências geradas.

Assim, para que a sociedade entenda sobre suas atribuições para com o mundo, é necessária a **educação**. A Base Nacional Comum Curricular apresenta em uma de suas competências gerais da educação básica o seguinte item:

Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta (BRASIL, 2018, p. 9).

Portanto, é importante a estimulação dessa consciência nos estudantes a fim de prepará-los melhor ao exercício da cidadania. O conhecimento científico é um poderoso instrumento na busca de eficazes soluções para, por exemplo, evitar a depredação do planeta e a exaustão de seus recursos naturais. Assim, o educador colabora ao encontrar maneiras de promover o pensamento crítico entre os estudantes.

1.2 Motivação

Tendo em vista que o *aprender* não é um processo espontâneo, cabe ao docente e discente encontrar métodos para desenvolver o conhecimento. Para isso, o professor dispõe de diversos recursos didáticos a fim de estimular a aprendizagem do aluno. No entanto, é possível ouvir relatos de insatisfação de discentes à aula expositiva tradicional amparada apenas pelo pincel e o quadro branco. O excesso desse tipo de aula pode incentivar um ambiente monótono e desinteressante, o que prejudica a aprendizagem significativa, principalmente quando este excesso ocorrer no ensino médio.

No contexto da disciplina de Física, lecionada no nível médio, o processo de ensino-aprendizagem pode se tornar bastante desafiador tendo em vista as diversas leis, teorias e conceitos que são utilizados na interpretação do universo. Os conceitos pertencentes à área do eletromagnetismo, por exemplo, são abstratos por sua própria natureza. Os campos elétricos e magnéticos envolvem o espaço tridimensional e componentes invisíveis, alheios à realidade dos estudantes.

A atividade prática aparece na literatura científica como uma aliada na aprendizagem duradoura. Com ela, é possível oferecer materialidade ao aluno e então permiti-lo a construir esquemas mentais mais elaborados a fim de entender melhor os fenômenos naturais e, assim, evitar que utilizem receitas prontas para resolver problemas. Entretanto, nem todas as escolas do Brasil têm condições de oferecer *kits* didáticos, ou até mesmo laboratórios como ferramentas facilitadoras do aprendizado.

Tendo em vista estas problemáticas, o presente trabalho consta da elaboração de uma sequência didática utilizando uma maleta didática de baixo custo utilizando uma máquina de corrente contínua com escovas para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem no nível médio.

1.2.1 Objetivo geral

O propósito deste estudo é aplicar e verificar a viabilidade educacional da maleta didática em sala de aula. Almeja-se que o produto didático proporcione aos alunos aulas mais interessantes, melhorando o processo de ensino-aprendizagem, além da difusão desta ideia entre demais professores de física do Brasil. Este trabalho visa auxiliar a compreensão dos alunos na área do eletromagnetismo clássico utilizando um motor de corrente contínua como facilitador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir a maleta didática com a máquina de corrente contínua;
- Testar o funcionamento da máquina na função motor, gerador, os demais componentes elétricos;
- Estruturar sugestões de aula utilizando a maleta didática;
- Aplicar o produto educacional em sala de aula;
- Coletar dados sobre o desempenho dos discentes após a aplicação do produto;
- Verificar se houve melhoras no processo de ensino-aprendizagem com a utilização do produto.

1.3 Publicação em revista indexada

Esta maleta didática gerou um artigo científico intitulado “Maleta Didática – Máquina de corrente contínua no ensino do eletromagnetismo para o nível médio” publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física (Qualis A1) em 31/05/2021. Autores: Murilo Araujo Santos; Dr^a Daniela de Oliveira Maionchi. Pode ser acessado pelo seguinte endereço eletrônico: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0156>

Capítulo 2

Referencial teórico

2.1 David Ausubel e a teoria da aprendizagem significativa

David Ausubel (1918-2008) foi um médico-psiquiatra estado-unidense que dedicou grande parte de sua carreira acadêmica à psicologia educacional e ao desenvolvimento da teoria da aprendizagem significativa. Esta teoria trata, através de uma perspectiva cognitivista, da assimilação de conteúdos pelos estudantes. A aprendizagem cognitiva é aquela que resulta no armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende (MOREIRA, 1999). Segundo Moreira (2012), a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos de forma não-literal e não-arbitrária. Esta aprendizagem implica a compreensão, a transferência, a capacidade de explicar, descrever e enfrentar novas situações (MOREIRA, 2012). O estudante, quando em contato com uma nova informação, tenta conectá-la a um conhecimento pré-existente. Esse conhecimento prévio é chamado de subsunçor ou ideia-âncora. Trata-se de um item importante na aprendizagem significativa, pois serve de alicerce para novos conhecimentos. Além disso, esse determinado conhecimento tem um potencial de perdurar por mais tempo dentro da estrutura cognitiva do aprendiz. Caso esse conhecimento não seja utilizado frequentemente, ele pode ser progressivamente esquecido. Entretanto, quando há a aprendizagem significativa, a reaprendizagem é facilitada, pois os resíduos dessa aprendizagem persistem no subsunçor daquele que aprende. Caso o aluno não seja capaz de relacionar o conteúdo de aprendizagem com o subsunçor, pode haver a aprendizagem mecânica. Esta aprendizagem, segundo Moreira (2012), é a que mais acontece na escola. Está relacionada apenas com a capacidade memorística do estudante, onde o mesmo absorve o conteúdo ensinado mas não cria significados em sua estrutura cognitiva. Dessa forma, o aprendiz não consegue reter esse conhecimento por muito tempo e nem aplicá-lo em outros contextos. Vejamos um exemplo:

Suponha que o professor de física vá lecionar sobre o princípio de conservação de energia. Primeiramente explana sobre o conceito físico de energia e então mostra um sistema de uma massa descendo uma rampa conforme a Figura 2.1.

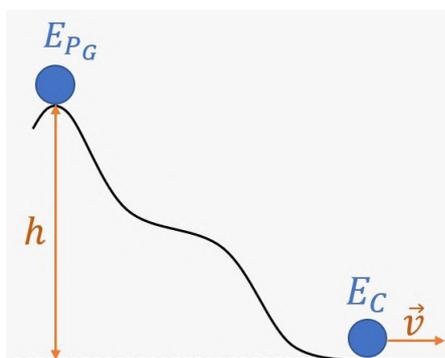


Figura 2.1: Esfera descendo uma rampa - adaptado de Gomes (2020).

A partir disso, o docente apresenta as fórmulas da energia potencial gravitacional e energia cinética e sua relação conforme a seguinte equação,

$$mgh = \frac{mv^2}{2}. \quad (2.1)$$

O estudante, em posse dessa equação, pode calcular diversas velocidades a partir de diversas alturas onde essa esfera pode estar. É possível que este estudante lembre dessa equação na hora da avaliação, e até lembre das palavras para definir energia, mas depois de um certo tempo, esquece completamente do que se trata a conservação de energia. Isso acontece quando o aprendiz não relaciona de forma eficaz as novas informações com o que ele já sabe. Pode acontecer também quando o subsunçor não é elaborado suficientemente para apoiar o novo conhecimento. Para que haja aprendizagem significativa, o professor deve buscar situações próximas dos estudantes, se possível do cotidiano, explorando o que eles já sabem. A conservação de energia está presente na bicicleta que acelera quando desce uma colina, no balanço do *playground* das crianças, no skatista que oscila na “rampa em u” para executar manobras radicais. Afinal de contas, segundo Batista, Fusinato & Blini (2009) citando Serafim (2001), não é capaz de compreender a teoria o aluno que não reconhece o conhecimento científico em situações cotidianas.

2.2 Condições para a Aprendizagem Significativa

Segundo Moreira (2012), existem duas condições para que a aprendizagem significativa aconteça. São elas:

- O material deve ser potencialmente significativo;
- O estudante deve apresentar uma predisposição a aprender.

2.2.1 Material potencialmente significativo

Como dito na seção anterior, o subsunçor é um fator crucial na aprendizagem. Portanto, o material disponibilizado ao aluno deve instigar e explorar situações que o aluno

já conhece. O termo potencialmente significativo é colocado por Moreira (2012), pois o "significado está nas pessoas, e não nos materiais"(MOREIRA, 2012). Segundo ele, são os estudantes que atribuem significados aos materiais de aprendizagem, e estes significados podem ser ou não adequados no contexto do conteúdo. Afinal de contas, o processo de ensino-aprendizagem não é isento de falhas.

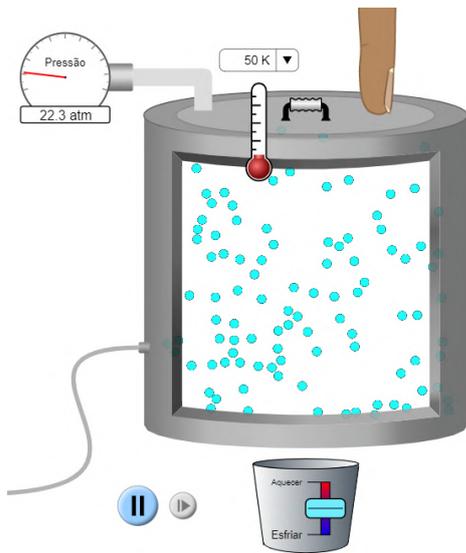
Há de salientar que os materiais potencialmente significativos devem ter um sentido lógico e psicológico. O sentido lógico está relacionado a adequação de conteúdo, cientificamente correto, com transposição didática adequada e também adequado ao perfil e faixa etária do aluno. Mas o significado psicológico é atribuído pelo aluno. Então, os exemplos que se seguem, são adequados do ponto de vista lógico, selecionados pelo professor.

Simulações didáticas

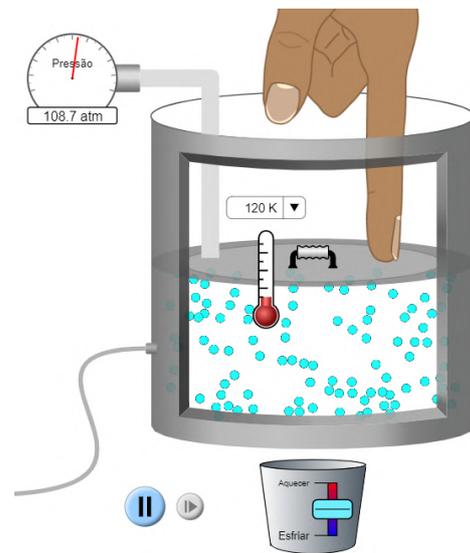
As simulações didáticas são ferramentas interessantes que, caso sejam bem utilizadas, podem auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. Com elas, torna-se mais fácil a representação dos fenômenos físicos presentes na natureza. Os algoritmos contidos nessas simulações ficam encarregados de solucionar as equações físicas pertinentes ao fenômeno em questão. Desta forma, o aluno pode explorar conceitualmente os sistemas apresentados. É possível encontrar na internet simulações em diversas áreas da Física, na Mecânica Clássica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Gravitação, Ondulatória e até na Física Quântica. Com essas simulações, o estudante pode organizar seu subsunçor a fim de prepará-lo para receber novas informações e, então, processá-las de uma forma mais sofisticada. A Figura 2.2 mostra a simulação de um sistema termodinâmico.

Em posse desta simulação, o docente pode tornar o ensino de Termodinâmica mais interativo. O aumento da temperatura, por exemplo, resulta em uma agitação maior desses círculos, que representam as moléculas do gás. Tal representação seria impossível de ser observada na prática. Associando essas informações ao gráfico $P(V)$, por exemplo, tornaria a explicação do fenômeno mais clara.

Vejamos um outro exemplo apresentado na Figura 2.3 que trata sobre a lei de indução eletromagnética de Faraday. Esta simulação didática mostra as linhas de campo magnético do ímã, invisíveis ao olho nú. O docente, neste caso, pode utilizar essa simulação para diferenciar os conceitos de campo magnético e fluxo magnético, por exemplo. O campo magnético presente ao redor do ímã é constante no tempo, entretanto, o fluxo deste campo que atravessa a bobina pode variar dependendo da posição do ímã em relação a bobina. Nesta simulação, também é possível ver que a tensão induzida na bobina depende da velocidade que se move o ímã; quanto mais rápida for a movimentação, maior a tensão induzida, portanto maior o brilho da lâmpada.

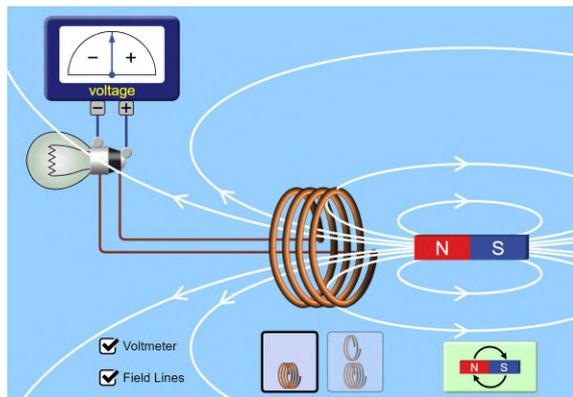


(a) Gás confinado em um volume V_1 , com uma temperatura de 50K e 22,3atm de pressão.

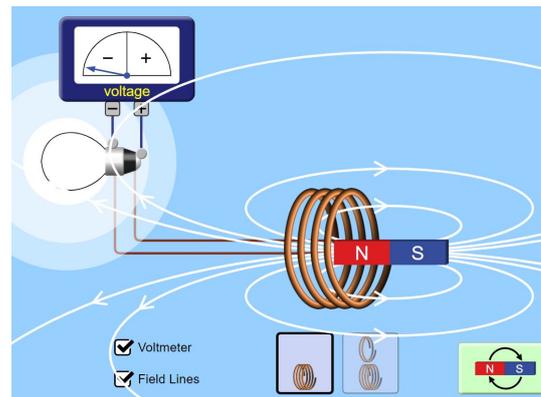


(b) A compressão adiabática deste gás a um volume $V_2 < V_1$ leva-o a um estado mais energético, pois há trabalho sobre o gás. Sua temperatura aumenta para 120K e sua pressão para 106,7atm.

Figura 2.2: Simulação de um sistema termodinâmico - retirado de PhET Interactive Simulations (2020a).



(a) Quando o ímã está em repouso em relação a bobina, não há tensão induzida. Sendo assim, a lâmpada não acende.



(b) Quando o usuário movimentava o ímã próximo da bobina, o fluxo de campo magnético através da bobina muda no tempo gerando tensão induzida e a lâmpada acende.

Figura 2.3: Simulação da lei de indução eletromagnética de Faraday - retirado de PhET Interactive Simulations (2020b).

Chang *et al.* (2008) realizaram uma revisão de diversos artigos sobre o uso de simulações didáticas e constataram que estas podem ajudar os estudantes na elaboração de hipóteses, na realização de experimentos e na interpretação de dados.

Experimentos e demonstrações

A abordagem experimental tem potencial de mitigar os efeitos negativos da monotonia em sala de aula. É possível observar um certo entusiasmo dos alunos quando notam que

a aula não será apenas "quadro e pincel". Segundo Araújo & Abib (2003),

A utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes (ARAÚJO; ABIB, 2003).

Este ambiente propício torna o estudante mais receptivo para as novas informações que são disponibilizadas. Segundo Araújo & Abib (2003), as atividades de caráter demonstrativo pode contribuir para a aprendizagem de conceitos físicos abordados. Na Figura 2.4, por exemplo, temos um estudante sentindo a força magnética presente ao aproximar um ímã de um condutor com corrente elétrica.

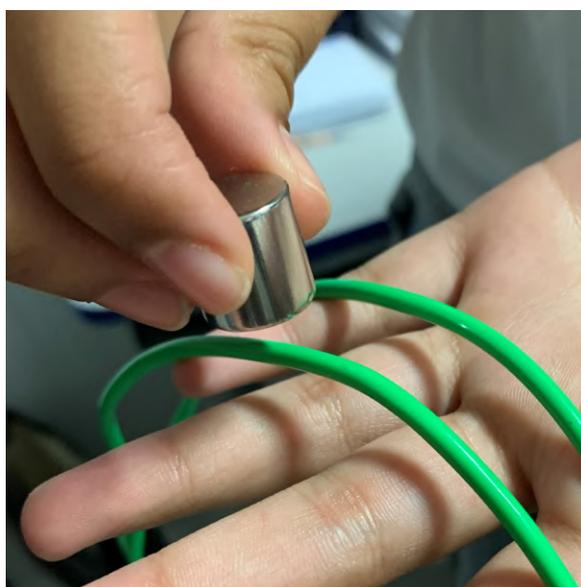


Figura 2.4: Demonstração da força magnética ao aproximar um ímã de um condutor utilizado para ligar um *datashow* - do autor.

Com esta simples demonstração, é possível apresentar diversos fenômenos. A força sentida tem um caráter vibracional devido a presença da corrente alternada neste condutor. Além disso, a intensidade da força depende da distância entre o ímã e o condutor. Pode-se, então, instigar os estudantes a refletirem sobre essas questões introduzindo sua formulação matemática.

Cabe aqui salientar que, mesmo em um experimento ou demonstração, o aluno deve ter uma participação ativa. Desta forma, aumenta-se a chance de ocorrer a aprendizagem significativa. Crouch *et al.* (2004) constataram que o desempenho foi maior de estudantes que participam ativamente das experiências comparado àqueles que assistiram passivamente. Com a finalidade de promover a participação dos estudantes, Wieman & Perkins (2005) comentam sobre a utilização de um sistema denominado *clicker*. Trata-se de um aparato composto por controles remotos e um receptor infravermelho. O docente realiza uma pergunta e os alunos respondem através do controle. As respostas são computadas

eletronicamente e então apresentadas aos discentes. Segundo Beekes (2006), este sistema incentiva a aprendizagem e a concentração durante as aulas. Esta autora relata que quando a maioria dos estudantes responderam erroneamente à pergunta, houve um debate entre os estudantes a fim de esclarecer aquele determinado tópico. Estes debates certamente colaboram com o engajamento dos discentes à aula, promovendo a atenção e instigando o interesse na matéria. O docente também pode ter um *feedback* instantâneo sobre o acompanhamento dos discentes em relação à explicação. Desta forma, pode-se explicar pontualmente e possivelmente solucionar a dúvida.

Existem várias formas de promover essas enquetes dentro da sala de aula. O sistema de *clicker* pode ser através de um *hardware* conforme descrito acima, mas também pode ser através de *software* mediado pelo celular. Essas enquetes podem ser geradas em *websites* ou em aplicativos como o *Telegram*, exemplificado na Figura 2.5.

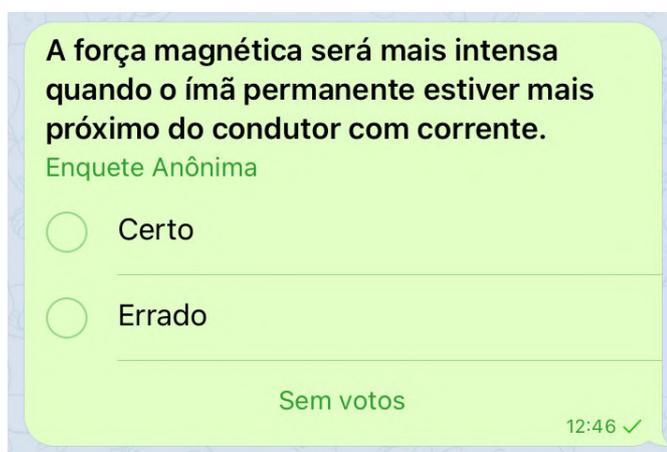


Figura 2.5: Exemplo de enquete realizada no aplicativo *Telegram* - do autor.

Ao selecionar a alternativa, os resultados são disponibilizados aos estudantes. Essa enquete pode ser feita antes da demonstração. Desta forma, o discente quando for investigar este fenômeno, terá atenção sobre esse detalhe. Durante a aplicação da sequência didática, foi utilizado o sistema *clicker* através do aplicativo *Telegram*.

Vídeos

As representações gráficas podem colaborar com o processo de ensino-aprendizagem, podendo ser utilizados para facilitar o entendimento de assuntos complexos e/ou abstratos. Ao assistir a um vídeo, o estudante recebe o ensinamento por mais de um sentido, permitindo-o ter um maior envolvimento com o objeto de estudo (OLIVEIRA, 2016). Estão disponibilizados no *YouTube* vídeos didáticos sobre as mais variadas áreas da ciência. Vale salientar que estes conteúdos são gratuitos, podem ser acessados 24 horas por dia e geralmente possuem uma linguagem simples e atrativa aos jovens. Esta ferramenta tem a capacidade de trazer mais autonomia ao estudante, possibilitando este aprender sem necessariamente estar na escola. Entretanto, nem todos os vídeos do *YouTube* possuem um

rigor acadêmico suficiente em relação aos conteúdos que trazem. Seria interessante que o professor assistisse aos vídeos primeiramente antes de disponibilizá-los para os discentes.

No contexto dos motores elétricos, a importância dos vídeos didáticos fica evidente. As inúmeras componentes presentes no funcionamento na máquina de corrente contínua como corrente elétrica, força, velocidade de rotação, campo magnético e, claro, a comutação, tornam o seu entendimento difícil. O estudante, ao se deparar com as explicações presentes nas páginas do livro, pode não entender completamente o que se trata. Desta forma, a sua atribuição de significados sobre esse assunto fica prejudicada, pois essas novas informações podem não encontrar uma fundação sólida para serem apoiadas.

A Figura 2.6 mostra um esquema do motor de corrente contínua. A corrente elétrica, o campo magnético e a força são apresentadas de forma clara, realçados com cores distintas. O vídeo mostra a rotação acontecendo lentamente, evidenciando as características de funcionamento e funções das partes que compõem o motor.

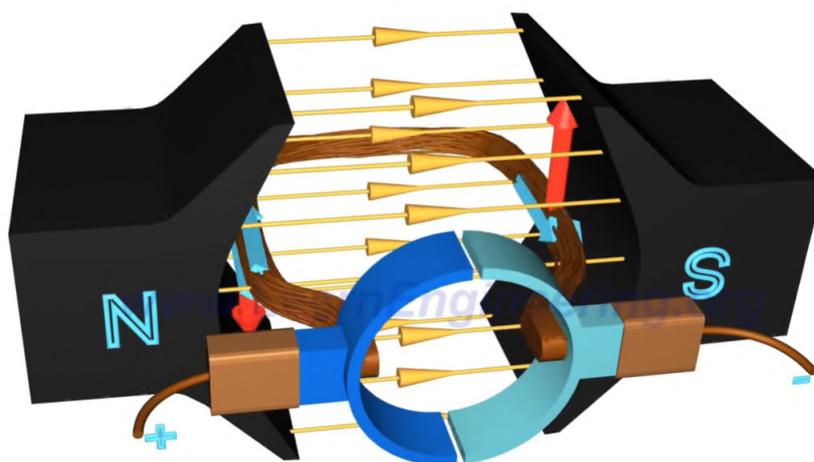


Figura 2.6: Esquema construtivo da máquina de corrente contínua - adaptado de Learn Engineering (2014) (<https://youtu.be/LAtPHANefQo>).

2.2.2 Predisposição a aprender

Além dos materiais potencialmente significativos, Moreira (2012) comenta sobre uma condição intrínseca do aluno perante à aprendizagem. Trata-se de uma condição alheia à vontade e empenho do docente.

Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos (MOREIRA, 2012).

Subsunçor

Os subsunçores são conhecimentos prévios específicos presentes na estrutura cognitiva do estudante. Devem ser relacionáveis com o novo conceito ou ideia apresentada pelo

professor. Servem, portanto, de uma espécie de referência ou ancoragem. Podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios, representações sociais e conceitos (MOREIRA, 2012). Esses conhecimentos prévios são desenvolvidos ao longo da vida, a partir da educação formal, não-formal e informal. Importante salientar que todo subsunçor é um conhecimento prévio, mas nem todo conhecimento prévio é subsunçor. O subsunçor é aquele conhecimento que será utilizado para a interagir com aquela nova informação a ser aprendida. E então, o subsunçor pode adquirir novos significados se tornar mais complexo.

Segundo Tavares (2004),

As pessoas constroem seus conhecimentos a partir de uma intenção deliberada de fazer articulações entre o que conhece e a nova informação que pretende absorver. Esse tipo de estruturação cognitiva se dá ao longo de toda a vida, através de uma sequência de eventos, única para cada pessoa, configurando-se, desse modo, como um processo idiossincrático.

Para promover a aprendizagem significativa, o docente deve estimular que as novas informações sejam relacionadas com conhecimentos que os estudantes já possuem. Portanto, estes conhecimentos prévios podem ser experiências vividas no cotidiano, mas não somente. No ensino do empuxo, por exemplo, seria interessante que o professor mencionasse a sensação de flutuação que temos ao estar dentro de uma piscina e que, ao sair, essa sensação é cessada. Lembrá-los de quando inspiramos e enchemos os pulmões de ar, nosso corpo sofre mais empuxo e fica mais fácil boiar. E que o contrário também acontece. Apontar também o fato do gelo boiar quando colocado em um copo com refrigerante. Ou quando adicionamos açúcar ao nosso café, este desce até o fundo antes de ser dissolvido.

No ensino de termodinâmica, ao falar sobre a primeira lei, resgatar que o pino da panela de pressão roda rapidamente e isso só acontece pela inserção de calor na água presente dentro da panela. Desta forma, é possível relacionar a mecânica clássica com a termodinâmica. Ao falar sobre entropia, debater sobre a vida útil das baterias de celulares, pois as sucessivas cargas e descargas fazem com que a capacidade da bateria em reter energia fique comprometida com o tempo.

No eletromagnetismo, os diversos conceitos como resistência, corrente e tensão elétrica podem ser auxiliados por meio de um motor de corrente contínua. Processos mais complexos como a lei de indução eletromagnética de Faraday podem ser demonstrados com o uso desta máquina. Afinal, o motor está presente em grande parte dos domicílios brasileiros. Vale salientar também que algumas características de funcionamento são senso comum entre os brasileiros, principalmente no que se refere à sobrecarga mecânica. Desta forma, é possível resgatar esses subsunçores nos estudantes, possibilitando a instalação do conhecimento científico.

A Física do ensino médio nos permite relacionar diversos exemplos do cotidiano com o assunto ensinado.

No entanto, os subsunçores nem sempre facilitam o aprendizado. Moreira (2012) comenta sobre a dificuldade presente no ensino de mecânica quântica. O pensamento que

há em relação a uma partícula ser necessariamente um corpúsculo dificulta o entendimento da sua característica dual (onda e matéria), manifestado na experiência da dupla fenda.

Capítulo 3

O eletromagnetismo clássico e o motor de corrente contínua

3.1 A força magnética

A força magnética \vec{F} está no cerne teórico do funcionamento de um motor elétrico. Essa força surge quando um corpo carregado com uma carga Q se move com uma velocidade \vec{v} dentro de um campo magnético \vec{B} (HAYT; BUCK, 2020), esquematizado na Figura 3.1. É importante salientar que quando a carga estiver se movimentando na mesma direção do campo magnético, independente do sentido, a força magnética resultante sobre ela será nula. A intensidade, direção e sentido dessa força pode ser calculado através da seguinte equação,

$$\vec{F} = Q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (3.1)$$

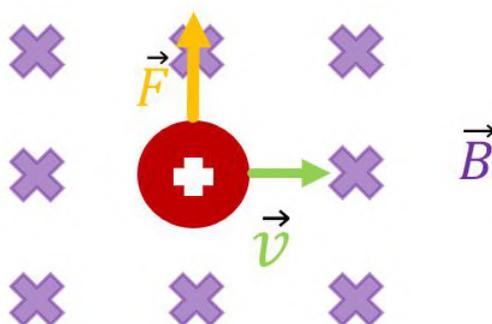


Figura 3.1: Força magnética exercida em uma carga positiva Q .

Tendo em vista que a força magnética é resultado de um produto vetorial, podemos dizer que esta é sempre perpendicular ao plano que contém os vetores \vec{v} e \vec{B} . Isso faz com que, além da força \vec{F} , a aceleração \vec{a} também seja sempre perpendicular ao movimento da carga elétrica. O vetor \vec{a} descreve apenas a mudança de direção do vetor \vec{v} , mantendo o módulo deste constante. Desta forma, não há variação de energia cinética no corpo carregado e, conseqüentemente, não há transferência de energia do campo magnético para

a carga elétrica. Este fenômeno implica que a força magnética não desenvolve trabalho. O conceito de carga em movimento nos remete à noção de corrente elétrica. A corrente elétrica I é um fluxo de cargas elétricas movendo de um lugar a outro. É definida pela razão da quantidade de carga dQ que atravessa uma determinada área em um determinado tempo dt podendo ser calculada através da Equação (3.2). No sistema internacional de unidades, a corrente elétrica é dada em ampères (A).

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (3.2)$$

Esse movimento está esquematizado na Figura 3.2.

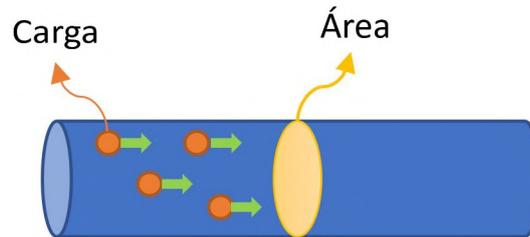


Figura 3.2: Esquema simplificado de cargas em movimento dentro de um condutor cilíndrico qualquer.

No caso de um fio, é possível reescrever a Equação (3.1) como (HAYT; BUCK, 2020),

$$\vec{F} = I \int d\vec{L} \times \vec{B}, \quad (3.3)$$

onde $d\vec{L}$ é o vetor comprimento infinitesimal de um fio orientado no sentido da corrente e \vec{B} é o vetor campo magnético dado em *weber* que atua nesse fio. Essa força aparece nos condutores que formam as espiras mostradas na Figura 3.3. Em máquinas elétricas, o conjunto dessas espiras é denominado enrolamento de armadura. Esta se encontra posicionada no rotor, parte que gira na máquina. No caso da máquina de corrente contínua, o campo magnético pode ser originado por ímã permanente, exemplificado na Figura 3.3 ou por uma outra bobina externa chamada de enrolamento de campo. Esta determinada bobina fica localizada no estator da máquina, ou seja, na região fixa da máquina. Sua direção e sentido estão esquematizados pelos polos magnéticos N (norte) e S (sul). Quando o enrolamento de armadura do motor estiver posicionado na vertical, a força induzida no condutor superior será igual em módulo com a do condutor inferior, ambas na direção vertical, resultando torque total τ nulo. Neste momento, é necessária a inversão do sentido da corrente dentro do enrolamento da armadura. Para isso, a injeção de corrente na bobina do rotor é feita através de um anel comutador, mostrado em vermelho na Figura 3.3.

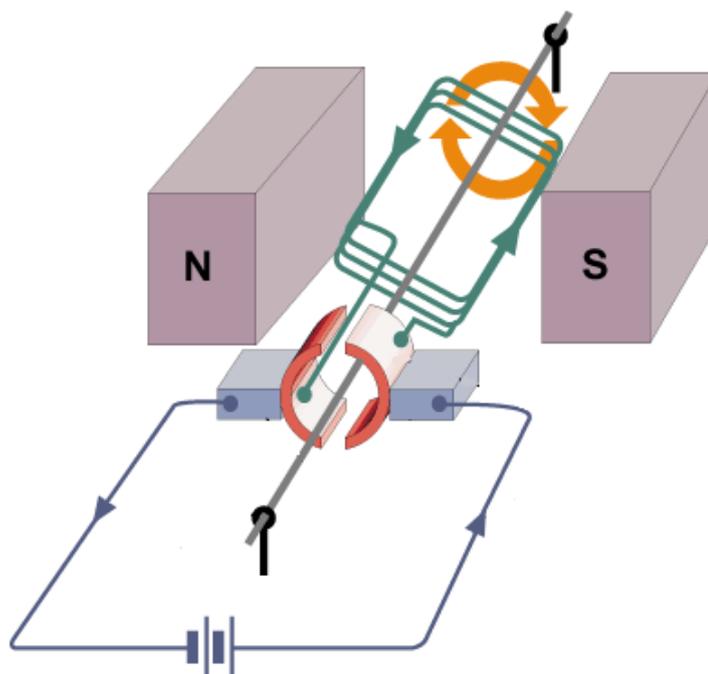


Figura 3.3: Esquema construtivo da máquina de corrente contínua - adaptado de Magtaan (2017).

Caso o motor tenha enrolamento de campo, é possível energizar esse motor de diversas formas. Na excitação independente, são necessárias duas fontes de tensão. O enrolamento de armadura e o enrolamento de campo são ligados através destas respectivas fontes e não há conexão elétrica entre os dois circuitos. Há a possibilidade de ligar o enrolamento de armadura e de campo em série, de forma que a corrente que circulará nos enrolamentos será a mesma. Pode-se ligar os enrolamentos em paralelo (*shunt*), aplicando o mesmo valor de tensão em seus terminais. É possível também estabelecer uma conexão dita composta, onde uma parcela do enrolamento de campo é colocada em série com o enrolamento de armadura. Esta ligação, entretanto, requer um ponto de derivação no enrolamento de campo. Trata-se de uma característica construtiva específica e não é encontrada em todos os motores de corrente contínua.

Essas diversas conexões possibilitam que o motor apresente características de funcionamento distintas tendo como sua principal mudança a relação entre o torque τ e a velocidade de rotação ω .

3.2 Construção da maleta didática

Este produto foi desenvolvido em forma de maleta, conforme mostrado na Figura 3.4, com o intuito de ser prático e móvel. Desta forma, é possível levar o produto para diversas salas de aula, sem grandes dificuldades, mesmo em escolas que não possuem um laboratório disponível para auxiliar os estudantes. Para que as demonstrações possam ocorrer, é necessária a utilização de fontes de tensão contínua e alternada, um multímetro para mensurar os parâmetros elétricos como tensão e corrente elétrica e uma furadeira

para servir como máquina primária na operação geradora. Para demonstração desta ação geradora, foram adicionadas duas lâmpadas incandescentes de 12V (5W e 40W).



Figura 3.4: Foto da maleta didática

A máquina de corrente contínua pode ser adquirida pela internet, já que é geralmente oferecida para substituições em liquidificadores domésticos. Seus enrolamentos foram descontinuados e conectados aos bornes respectivos ao seu enrolamento de campo e de armadura. Esses bornes foram utilizados para facilitar as conexões do circuito através de conectores "banana".

A chave de dois estados e o diodo são utilizados para demonstração do funcionamento de um liquidificador doméstico de duas velocidades, muito comum em domicílios brasileiros.

3.3 Possíveis abordagens didáticas da maleta didática

Nesta seção, serão apresentadas algumas possíveis abordagens didáticas e suas respectivas explicações físicas.

3.3.1 Conceitos de circuitos elétricos: série e paralelo

Geralmente, quando se trabalha com eletrodinâmica no ensino médio, os conceitos de série e paralelo são limitados à teoria. Sem a atividade prática, o aluno acaba não tendo uma oportunidade de relacionar esses conceitos com a prática.

A Figura 3.5 mostra os terminais do enrolamento de campo e enrolamento de armadura e a fonte de tensão contínua presentes no interior da maleta didática. Para realizar a ligação paralela entre os enrolamentos e a fonte de tensão contínua, deve-se ligar o borne 1-3-5 e 2-4-6.

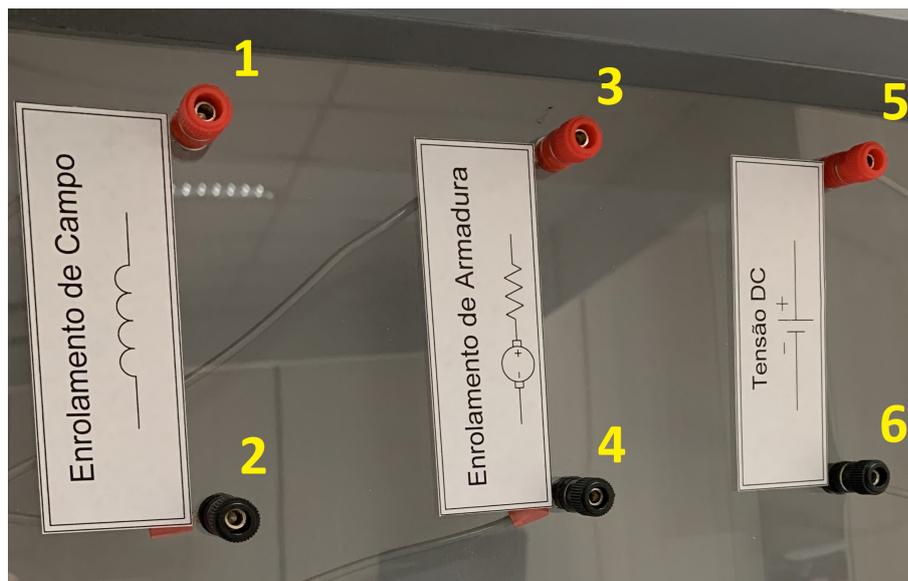


Figura 3.5: Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.

Para energizar os enrolamentos do motor em série, ligam-se os terminais 5-3. A corrente flui por dentro do enrolamento da armadura e sai pelo borne 4 e então entra pelo borne 2, segue pelo enrolamento de campo e então sai pelo borne 1 até o outro terminal da fonte de corrente contínua. Essa ligação está demonstrada na Figura C.10.



Figura 3.6: Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.

3.3.2 Utilização do multímetro

É importante o correto manuseio de instrumentos de medição para aferir parâmetros elétricos como tensão e corrente elétrica. O posicionamento incorreto das pontes pode resultar em uma leitura errada ou até mesmo em um acidente.

O voltímetro possui uma resistência interna equivalente muito elevada, na ordem de $10^7 \Omega$ (STOJILOVIC; ISAACS, 2018) e deve ser ligado em paralelo com o ramo o qual se pretende medir a tensão elétrica. Caso esse instrumento seja conectado em série, o observador lerá uma determinada tensão equivocada, além de impossibilitar seu apropriado funcionamento.

Já o amperímetro, que possui uma resistência elétrica interna equivalente muito baixa, deve ser conectado em série com o ramo para que uma correta mensuração da corrente elétrica seja realizada. Se esse instrumento for utilizado em paralelo com a fonte de tensão, ocorrerá um curto circuito, comprometendo a segurança do experimento e causando contratempos como a queima de fusíveis.

A utilização do alicate amperímetro também pode ser demonstrada com auxílio desta maleta didática. Este alicate não consegue medir correntes constantes no tempo, pois seu funcionamento depende de indução eletromagnética. O campo magnético emanado pelo condutor deve ser variante no tempo para que haja uma tensão induzida no circuito do multímetro e, posteriormente, traduzido em valores de corrente elétrica. O professor poderá ligar a máquina em corrente contínua e alternada (discutido na subseção 3.3.5) para comparar as aferições realizadas.

Espera-se que o aluno possa, com auxílio do professor, aprender a manusear os equipamentos de medição e realizar aferições corretas de tensão e corrente elétrica. A lei de indução eletromagnética de Faraday também pode ser explorada tendo em vista a possibilidade de demonstração com o alicate amperímetro.

3.3.3 Tensão elétrica e velocidade de rotação do motor

Na excitação em série, a alteração da tensão de alimentação reflete diretamente na velocidade de rotação do motor. Seu circuito elétrico equivalente está representado na Figura 3.7.

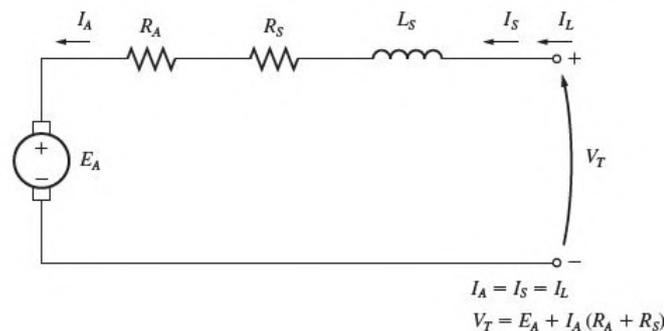


Figura 3.7: Circuito elétrico equivalente da máquina de corrente contínua na excitação em série - retirado de Chapman (2013).

Onde R_S e L_S representam a resistência e indutância do enrolamento de campo. Já o R_A representa a resistência elétrica do enrolamento de armadura. Esse acréscimo de velocidade devido ao acréscimo de tensão terminal pode ser analisado por uma abordagem qualitativa (CHAPMAN, 2013). Assumindo que o motor não possui carga mecânica útil no eixo (o que é o caso no motor presente na maleta didática), o torque de carga, τ_{carga} , corresponde apenas ao efeito do atrito. Suponhamos que o motor já esteja rodando com velocidade angular constante ($\omega > 0$), então temos que $\tau_{carga} = \tau_{ind}$.

A elevação de V_T implica num aumento da corrente I_L , o que leva a um aumento de torque induzido conforme a seguinte equação,

$$\tau_{ind} = K \phi_B I_L. \quad (3.4)$$

Esse aumento de τ_{ind} desequilibra a situação $\tau_{carga} = \tau_{ind}$, gerando um torque τ não nulo que provoca uma aceleração angular α a favor do movimento rotacional segundo

$$\tau = I_m \alpha. \quad (3.5)$$

Onde I_m é o momento de inércia dado em $kg.m^2$ e α é a aceleração angular dada em $rad.s^{-2}$. Esta aceleração resulta em um aumento da velocidade de rotação do eixo do motor e, conseqüentemente, aumento da tensão induzida no enrolamento da armadura. Este fenômeno acontece devido à variação de fluxo magnético que atravessa as espiras do

enrolamento do rotor. Essa tensão interna gerada é descrita no circuito elétrico por E_A como

$$E_A = K \phi_B \omega_m, \quad (3.6)$$

onde K é uma constante que depende das características construtivas do motor, ϕ_B é o fluxo magnético dado em *Weber* e ω_m é a frequência de rotação dada em rotações por minuto.

O aumento da tensão E_a ajuda a reduzir a corrente I_L . Esta diminuição de corrente I_L reduz o τ_{ind} até que $\tau_{ind} = \tau_{carga}$ estabilizando a rotação ω_m a uma velocidade mais alta.

Essa dinâmica pode ser apresentada aos alunos com auxílio da maleta didática. Através do monitoramento dos parâmetros de tensão e corrente, é possível constatar essas alterações. Com isso, o subunçor da eletrodinâmica pode ser estimulado, pois aborda-se o assunto de uma forma não convencional, inserido em um contexto prático.

3.3.4 Carga mecânica no eixo do motor e corrente injetada

O motor de corrente contínua apresenta uma reação quando carga mecânica é adicionada ao seu eixo. Essa reação é observada na corrente que o motor solicita.

Para exemplificar esse fenômeno, será utilizado o motor de corrente contínua com o enrolamento de campo e de armadura ligados em série (excitação em série) conforme mostrado na subseção anterior (Figura 3.7). A corrente é definida por (CHAPMAN, 2013) como

$$I_L = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_S}. \quad (3.7)$$

Substituindo a equação (3.6) em (3.7), temos,

$$I_L = \frac{V_T - K \phi_B \omega_m}{R_A + R_S}. \quad (3.8)$$

Desta forma, pode-se observar que a rotação do motor tem influência na corrente que ele solicita. Quando ω_m diminui, a corrente aumenta e vice-versa. Por exemplo, um motor de 50HP a 250V demanda uma corrente 20 vezes a corrente nominal no momento de sua partida ($\omega_m = 0$) (CHAPMAN, 2013). Esta corrente de partida também é denominada por corrente de rotor bloqueado. Os enrolamentos não são dimensionados para suportar esta corrente por um tempo relativamente grande. No momento de sua partida, essa corrente elevada circula por um breve período de tempo, variando de acordo com a potência nominal do motor e a inércia da carga mecânica acoplada ao seu eixo, mantendo assim a temperatura dos condutores em um nível seguro.

No contexto do liquidificador, essa corrente pode ser superior à corrente nominal em algumas situações. Isso acontece quando são adicionadas cargas mecânicas difíceis de

serem processadas. A corrente elevada causa uma maior dissipação de energia nos condutores, aumentando sua temperatura. Se essa situação é mantida por um tempo razoável, o verniz que envolve os condutores pode carbonizar e liberar um odor de queimado característico. Além disso, o aumento de temperatura pode levar ao derretimento parcial das bobinas do motor resultando potencialmente em uma interrupção do circuito elétrico. Caso isso ocorra, o motor apresentará características de desempenho prejudicadas, ou até mesmo não funcionar.

Na perspectiva do processo de ensino-aprendizagem, esse fenômeno pode auxiliar a aprendizagem do aluno, tendo em vista que existe um certo conhecimento popular sobre a possibilidade do liquidificador queimar quando este opera com sobrecarga mecânica.

É possível demonstrar esse aumento de corrente utilizando a maleta didática. Primeiramente deve-se ligar o motor em uma tensão reduzida (neste caso, é sugerido utilizar 15V), o que implica em um torque induzido também baixo. Desta forma, é possível segurar o eixo do motor com as próprias mãos, simulando um aumento de carga mecânica, sem comprometer a segurança da demonstração. Ainda, com o auxílio de um amperímetro, pode-se visualizar esse aumento na corrente injetada no motor de corrente contínua.

3.3.5 Funcionamento do motor em corrente alternada

Para alterar o sentido de rotação do rotor, é necessária a inversão da corrente no enrolamento da armadura **ou** no enrolamento de campo do motor. Caso o sentido dos dois enrolamentos sejam alterados simultaneamente, o rotor permanecerá com o sentido de rotação inalterado.

Quando o motor é ligado em série, a corrente será a mesma nos dois enrolamentos. Na corrente alternada, a inversão do sentido da corrente acontece para os dois enrolamentos simultaneamente. Desta forma, o sentido do torque permanece inalterado.

Seu funcionamento pode ser demonstrado utilizando a maleta didática e a sua velocidade de rotação pode ser controlada através do nível de tensão que se estabelece em seus terminais.

Este motor, quando ligado em série, também é chamado de **motor universal**, pois funciona adequadamente em corrente contínua ou corrente alternada.

3.3.6 Circuito retificador de meia onda

Sabe-se que a redução da tensão eficaz do motor de corrente contínua reduz sua velocidade de rotação. Os liquidificadores domésticos mais comuns possuem duas velocidades de rotação, representados pelas posições 1 e 2. Vale salientar que este motor é conectado à tensão nominal de 127V ou 220V (AC) dependendo da região no Brasil.

A Figura 3.8 representa o esquema elétrico utilizado em liquidificadores domésticos. Têm-se, da esquerda para direita, a fonte de tensão alternada, chave de dois estados, o diodo e o motor.

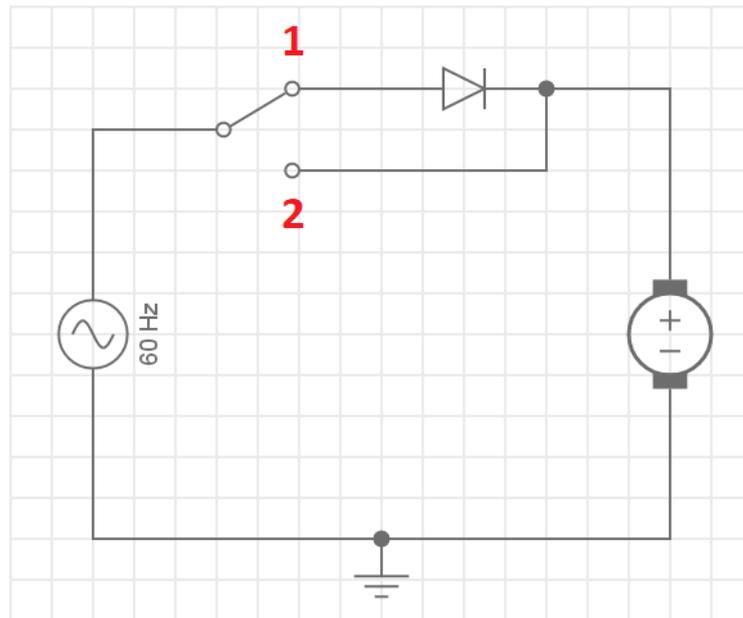


Figura 3.8: Circuito elétrico equivalente de um liquidificador doméstico com duas velocidades de rotação.

Quando a chave é colocada na posição 1, o motor é alimentado através de um diodo conforme mostrado na Figura 3.8. O diodo é um dispositivo eletrônico geralmente composto por silício dopado com boro e fósforo que, resumidamente, permite a passagem de corrente apenas em um sentido (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2012). Quando é inversamente polarizado, este apresenta resistência elétrica equivalente muito elevada. Desta forma, o motor fica submetido a uma tensão eficaz inferior em comparação à ligação direta, sem diodo. Este circuito que utiliza o diodo para reduzir a tensão eficaz na carga também é denominado circuito retificador de meia onda. Na posição 2, o motor é ligado em tensão nominal, o que acarreta uma maior velocidade de rotação e maior potência mecânica desenvolvida.

3.3.7 Correntes parasitas

Como visto na subseção 3.3.5, este motor também pode trabalhar com corrente alternada. Na excitação em série, a corrente que flui no motor é a mesma tanto no enrolamento de campo, quanto no enrolamento de armadura. Esta corrente oscilará de acordo com a frequência da fonte de tensão. No Brasil, esta frequência é 60Hz .

A corrente alternada que flui no enrolamento de campo induzirá um campo magnético também alternado no circuito magnético do motor. Sabe-se que um campo magnético que varia no tempo gera um campo elétrico que varia no espaço conforme a seguinte equação de Maxwell,

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}. \quad (3.9)$$

O estator dessa máquina é composto por ligas metálicas, nas quais os elétrons da camada de valência acabam por se desvincular do núcleo, ficando livres. Quando este

campo elétrico age sobre esses elétrons livres, há a aparição da seguinte força elétrica dada pela seguinte equação,

$$\vec{F} = Q \vec{E}. \quad (3.10)$$

Os elétrons então começam a circular de forma ordenada no núcleo magnético (rotor e estator) do motor, provocando aquecimento. Este processo é irreversível, diminuindo o rendimento e limitando a potência mecânica desenvolvida pela máquina.

No ensino médio, essas correntes induzidas podem ser explicadas através da lei de indução eletromagnética de Faraday,

$$F_{em} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.11)$$

onde F_{em} é a força eletromotriz dada em Volts, e $\frac{d\Phi}{dt}$ é a variação de fluxo magnético no tempo. Esse potencial elétrico presente nas chapas metálicas do motor geram corrente conforme a primeira lei de Ohm.

A laminação do núcleo magnético de máquinas elétricas apresentado na figura 3.9, como motores e transformadores, diminui a intensidade da corrente parasita, acarretando menos perdas e elevando seu rendimento (AGARWAL, 1959). Essas correntes também são chamadas de correntes de Foucault.

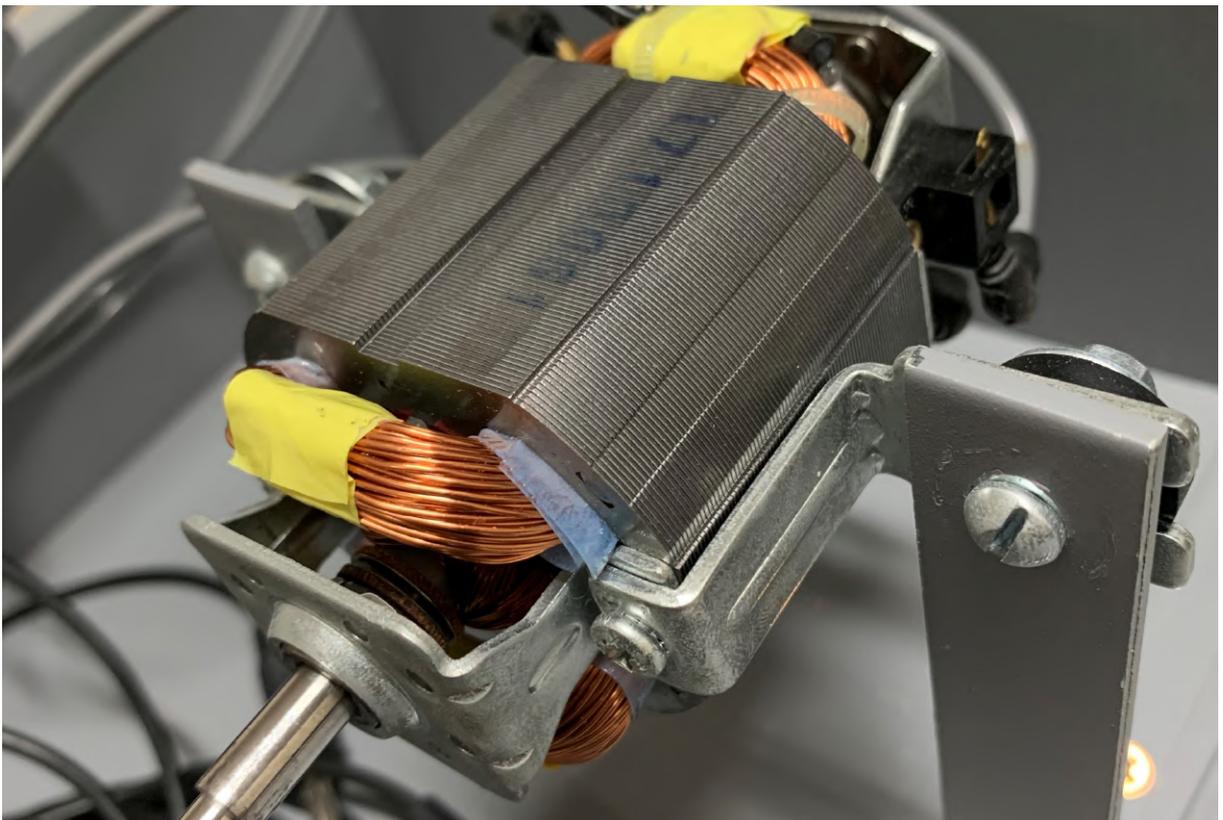


Figura 3.9: Laminação do núcleo magnético da máquina de corrente contínua.

Desta forma, a corrente circulante fica suprimida, pois como há menos espaço para sua circulação, a mesma observa uma resistência elétrica equivalente maior, diminuindo a intensidade da corrente elétrica e conseqüentemente sua potência dissipada.

É possível observar este efeito utilizando a maleta didática. Ligando o motor no mesmo nível de tensão em corrente contínua e em corrente alternada verifica-se uma maior temperatura, em regime permanente, quando este é ligado em tensão alternada.

3.3.8 Campo magnético residual

Os átomos de materiais ferromagnéticos apresentam uma característica reativa quando expostos a campos magnéticos externos. Os elétrons desemparelhados sofrem torque e tendem a se alinhar com o campo magnético. Isso pode ser observado no funcionamento de bússolas. A agulha móvel precisa necessariamente estar imantada, ou seja, possuir um campo magnético interno para interagir com o campo magnético terrestre e indicar a direção magnética.

Em um outro exemplo, pode-se observar essa situação quando se coloca um ímã na caixa de ferramentas, próximo a chave de fenda. A chave de fenda se torna imantada e pode assim auxiliar a execução de trabalhos com parafusos.

Essa magnetização perdura por um certo tempo mesmo que a fonte de campo magnético seja removida. Essa magnetização diminui com o aumento da temperatura do material e eventuais choques mecânicos nele aplicado. Essa característica se deve ao chamado campo magnético residual ($\vec{B}_{residual}$). Esse fenômeno pode ser observado com a utilização da maleta didática com a máquina funcionando no modo motor ou gerador.

Na função motor, deve-se ligar o enrolamento de campo com uma tensão contínua por alguns segundos. A corrente que fluirá pelo enrolamento será contínua, assim como seu campo magnético. Esse campo fará com que os momentos magnéticos dos átomos presentes no núcleo magnético da máquina também sejam alinhados. Cessa-se a alimentação elétrica do enrolamento de campo, levando sua corrente elétrica a zero. Entretanto, devido à questão inercial, o material ferromagnético que compõe o núcleo continua magnetizado com o $\vec{B}_{residual}$. Quando o enrolamento de armadura é alimentado com tensão contínua, é possível observar uma aceleração angular de seu eixo, implicando que o campo magnético no interior do motor seja necessariamente diferente de zero.

Na função geradora, em vez de alimentar o enrolamento de armadura, devemos conectar um voltímetro em seus terminais na menor escala. Ao rotacionar manualmente o eixo da máquina, pode-se observar uma pequena tensão induzida.

3.3.9 Função geradora

A máquina de corrente contínua pode ser utilizada como motor ou gerador. Vale salientar que não é necessária nenhuma alteração construtiva da máquina para isso. Basta observar o fluxo de potência, isto é, quando fornecemos alimentação elétrica a máquina nos fornece potência mecânica (motor). Quando fornecemos potência mecânica no eixo, podemos extrair uma tensão nos enrolamentos da armadura.

Pode ser demonstrado, através do uso da maleta didática, a função geradora da má-

quina de corrente contínua. Energiza-se o enrolamento de campo, gerando corrente elétrica e, conseqüentemente, campo magnético que permeará o rotor da máquina. Utilizando uma furadeira como máquina primária, podemos acoplá-la mecanicamente ao eixo da máquina. Ao acionarmos a furadeira, o enrolamento de armadura também rotaciona dentro do campo magnético. Isso faz com que a variação de fluxo magnético no tempo seja diferente de zero, gerando uma tensão nos enrolamentos da armadura. Para uma visualização melhor por parte dos alunos, esse enrolamento de armadura é conectado a uma lâmpada incandescente de pequeno porte. É possível observar a relação direta entre a velocidade de rotação e a intensidade luminosa emitida pela lâmpada.

Capítulo 4

Metodologia

O desempenho dessa maleta foi avaliada através da comparação de performance entre duas turmas, teste e controle, do 2º ano do ensino médio. Esse desempenho foi medido através da análise de sondagens feitas antes e depois da aplicação do produto didático. Trata-se de um delineamento quase-experimental, pois as amostras não foram estabelecidas aleatoriamente. Este delineamento foi escolhido tendo em vista os entraves logísticos de se fazer um delineamento experimental, que exigiria a realização das aulas no período vespertino. Acontece que, neste momento pandêmico, esse período está sendo utilizado pelos discentes para a realização de atividades assíncronas de outras disciplinas. A utilização deste momento poderia trazer ônus aos estudantes. Desta forma, o delineamento quase-experimental se mostrou o mais apropriado para esta pesquisa.

A turma do segundo ano do curso técnico em Automação Industrial foi escolhida como a turma teste, ou seja, esta terá a sequência didática com a presença da maleta didática. Já a turma do segundo ano do curso técnico em Eletromecânica foi escolhida como a turma controle. Esta terá as mesmas aulas expositivas constantes na sequência didática, porém com a ausência da maleta didática.

As metodologias de aquisição de dados adotadas para as turmas teste e controle estão esquematizadas nas figuras 4.1 e 4.2, respectivamente.



Figura 4.1: Esquema da metodologia aplicada na turma teste.



Figura 4.2: Esquema da metodologia aplicada na turma controle.

Cabe aqui salientar que a escolha dessas determinadas turmas para compor a amostra teste ou controle foi feito a partir de um sorteio. Não houve direcionamento neste sentido. Os dados X e Y foram extraídos a partir de um mesmo questionário apresentado no apêndice A - Sondagem Inicial. Já os dados X' e Y' foram retirados de um questionário presente no apêndice B. Note que estes questionários não são idênticos, porém abordam os mesmos assuntos nas questões. Afinal, segundo Mayer (2002), aquele que é capaz de entender deve também ser capaz de inferir e extrapolar, ou seja, utilizar um certo conhecimento e aplicar em situações análogas.

Após a coleta desses dados, foi realizada uma análise quantitativa e qualitativa entres as respostas das sondagens a fim de verificar se a maleta didática contribuiu para a aprendizagem significativa dos estudantes.

4.1 Contexto da aplicação

Os sujeitos da pesquisa foram os alunos do 2º ano do ensino médio dos cursos técnicos em Automação Industrial e Eletromecânica do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Avançado Sinop. As aulas foram realizadas de forma online, através de videoconferências mediadas pelo *Google Meet*. Atualmente, a humanidade vive uma pandemia de um coronavírus denominado SARS-CoV-2 que, infelizmente, até o momento da escrita desta dissertação, já vitimou mais de 4 milhões de pessoas no mundo todo (ROSER *et al.*, 2020). Com o objetivo de reduzir a transmissão do vírus, evitando assim mortes, as aulas presenciais foram suspensas e substituídas por abordagens não presenciais.

4.2 Sequência didática

O produto educacional desenvolvido neste trabalho trata de uma sequência didática aliada a uma maleta didática que possibilita executar demonstrações físicas na aula. A sequência didática é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos” (ZABALA, 1998).

As atividades presentes nesta sequência didática são apresentadas a seguir e as aulas descritas tiveram a duração de uma hora cada.

Aula 01

Houve nesta aula um questionário diagnóstico a fim de investigar os subsunçores presentes nos alunos e também propor algumas situações-problemas. As questões estão apresentadas no Apêndice A - Sondagem Inicial.

Este teste foi utilizado na análise do desempenho dos estudantes que será discutido no capítulo 5. Os alunos responderam de forma online, através do Google Formulários. Ambas turmas tiveram três dias para realizar a atividade.

Aula 02

Na segunda aula, foi trabalhado o conceito sobre força elétrica e força magnética e suas respectivas influências sobre cargas elétricas. Essa aula foi feita através do Google Meet acompanhada por *slides*. Foi proposto um exercício onde uma carga é arremessada dentro de um campo elétrico de um capacitor. Foi discutido sobre a sua trajetória entre as placas paralelas e sua variação de energia cinética, tendo em vista a direção e sentido da força elétrica resultante. Em seguida, esta mesma carga foi arremessada dentro de um campo magnético. Sua trajetória e variação de energia cinética também foi discutida, observando a direção e o sentido da força, que se diferencia da força elétrica. Os discentes tiveram contato também com a “regra do tapa”, comumente utilizada para determinar a direção e sentido de um vetor resultante de um produto vetorial. Assim, foi possível debater sobre as diferenças desses dois campos. Para verificar em tempo real a atenção e compreensão do conteúdo lecionado, foi feita uma enquete no aplicativo *Telegram* conforme apresentado na figura 4.3.

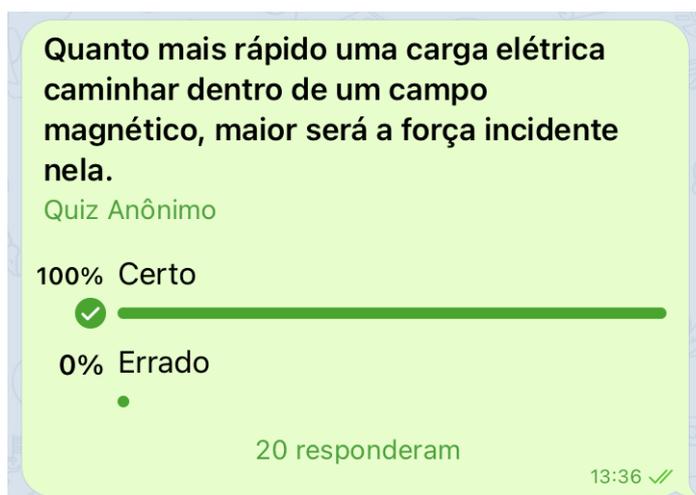


Figura 4.3: Enquete elaborada no aplicativo *Telegram* durante a realização da aula.

Também foi explicada a fórmula da força magnética em termos da corrente elétrica ao invés de somente uma carga em movimento.

Aula 03

Em posse dos conhecimentos sobre a força magnética, foi proposta uma atividade inserindo esse conceito no contexto da máquina de corrente contínua apresentada na Figura 4.4.

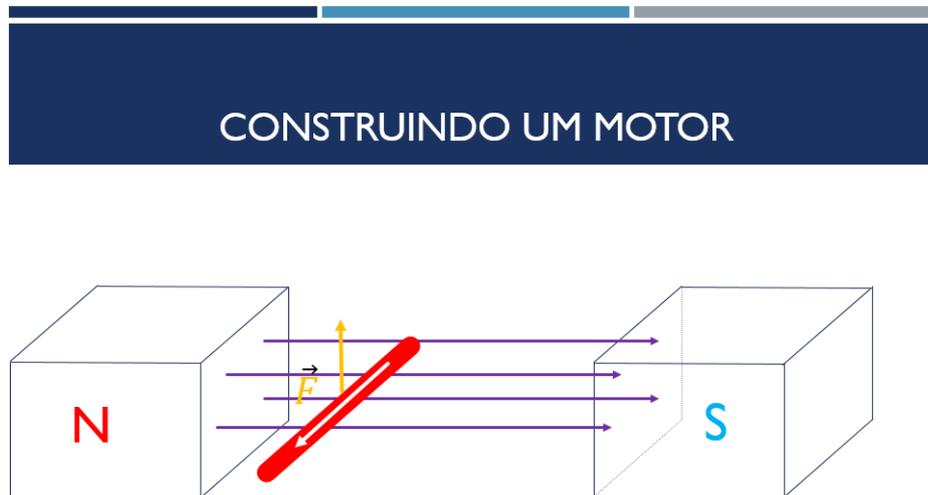


Figura 4.4: Recorte do slide utilizado na aula da máquina de corrente contínua.

Seus aspectos construtivos foram introduzidos e discutidos. Houve uma ênfase no funcionamento do anel comutador, essencial para o funcionamento da máquina de corrente contínua com escovas. Para isso, foi utilizado um vídeo do Youtube, apresentado na Figura 4.5, que mostra de forma dinâmica a rotação de uma espira carregada com corrente rotacionando dentro de um campo magnético.



Figura 4.5: Captura de tela do vídeo sobre motor de corrente contínua - retirado de Learn Engineering (2014)(<https://youtu.be/LAtPHANefQo>).

O áudio do vídeo foi silenciado e a explicação foi feita em cima das imagens. Desta forma, o processo de ensino-aprendizagem pode ser facilitado. O ensino feito através

de desenhos na lousa ou por livros pode exigir subsunções mais avançadas dos discentes, pois teriam que interpretar as bobinas desenhadas por vistas frontais e laterais, com informações sobre corrente elétrica, campo magnético e força. Desta forma, a aprendizagem significativa pode não ser alcançada. A utilização do vídeo, além de dispensar essa problemática, evita o desperdício de tempo com desenhos muito elaborados.

Aula 04

Houve diferenças na abordagem do conteúdo com as duas turmas a partir desta aula. Conforme explicado acima, tivemos uma turma teste e uma turma controle para avaliar o desempenho da maleta didática na aprendizagem significativa dos estudantes. A turma teste teve explicações convencionais, através das aulas dialogadas aliadas com a maleta didática com a máquina de corrente contínua. Já a turma controle não teve contato com as demonstrações práticas.

Nesta aula, foram discutidas as diversas ligações que esta máquina pode ter, enfatizando as excitações independente, série e paralelo. Foram também apresentados os gráficos característicos sobre a relação torque pela velocidade de rotação. Houve um momento para explicar como medir corretamente a tensão e a corrente elétrica com um multímetro. Na turma teste, com o motor de corrente contínua em série alimentado pela fonte de tensão contínua, foi medida a corrente elétrica através do amperímetro acoplado a fonte. Então, em posse de um alicate amperímetro, foi perguntado aos discentes se o amperímetro leria o mesmo valor mostrado pela fonte de tensão. Essa questão foi proposta novamente pela enquete do *Telegram* conforme mostrado na Figura 4.6.

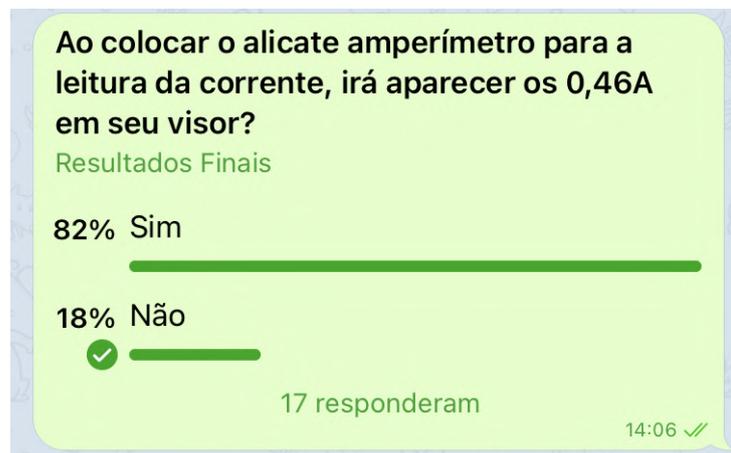


Figura 4.6: Enquete elaborada no aplicativo *Telegram* durante a realização da aula.

Ardilosamente, o alicate amperímetro foi fechado no circuito e para surpresa dos alunos, o visor mostrava zero ampere e ainda assim o motor continuava a rodar. Foi então perguntado a eles o porquê da não leitura do medidor. Muitos não souberam responder. A hipótese de um determinado aluno foi a de um defeito presente dentro do alicate amperímetro. Então, esse motor foi ligado em corrente alternada possibilitando a leitura de corrente do alicate amperímetro. A partir disso, foi explicado que o alicate amperímetro

funciona com indução eletromagnética e que o campo magnético precisa ser variante no tempo para induzir tensão no circuito do medidor e então ser traduzido em corrente e exposto no visor do equipamento.

Aula 05

Nesta aula, foi discutido sobre a influência da carga mecânica na demanda de corrente elétrica pelo motor de corrente contínua. Foi explicado, com auxílio do circuito elétrico, que essa corrente é resultado da diminuição da intensidade indução eletromagnética incidente sobre o enrolamento da armadura conforme explicado no capítulo 3. A turma teste contou com uma demonstração para visualização deste fenômeno. Com uma tensão de alimentação reduzida e com as próprias mãos, foi inserido um torque de carga devido ao atrito dos dedos com o eixo do motor. E assim, foi possível ver um aumento de corrente no amperímetro da fonte de tensão contínua.

Foi também explicado o funcionamento deste motor em corrente alternada, mencionando sobre o sentido do vetor torque permanecer constante durante seu funcionamento. Houve nesta aula também a apresentação da solução técnica utilizada pela indústria para reduzir a potência mecânica desenvolvida quando o motor é ligado em corrente alternada. Foi apresentado o circuito elétrico através do *slide* na turma controle. A turma teste contou com o *slide* e a demonstração prática com a maleta didática e observou o motor de corrente contínua rodar mais rápido ou mais lentamente dependendo de como era ligada a chave de dois estados. A figura 4.7 mostra a apresentação da aula. O circuito foi colorido para facilitar a conexão dos condutores na demonstração prática e então, o *slide* foi fechado para que a visualização da maleta fosse ampliada.

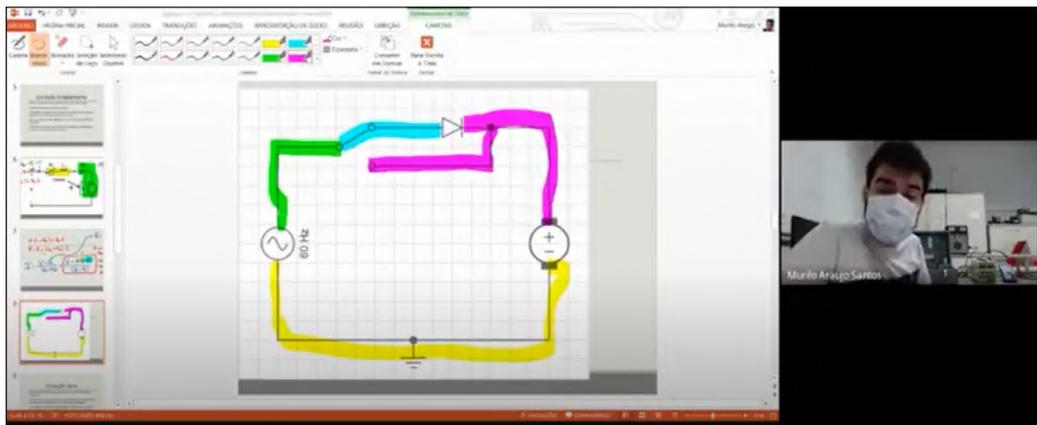


Figura 4.7: Captura de tela da apresentação do circuito elétrico.

Aula 06

Nesta aula, houve a explicação do aparecimento das correntes parasitas no núcleo magnético do motor de corrente contínua. Foi debatido a lei de indução de Faraday e o porquê dessa máquina aquecer mais quando está submetido à corrente alternada.

O campo magnético residual também pôde ser trabalhado. A turma teste teve uma demonstração na prática que explorava este fenômeno. Primeiramente foi energizado o enrolamento de campo, gerando um campo magnético e imantando o núcleo magnético do motor. E então essa alimentação era cessada. Foi perguntado aos alunos, através da enquete do *Telegram*, se o motor conseguiria rodar sem a alimentação do enrolamento do campo e as respostas estão apresentadas na figura 4.8.

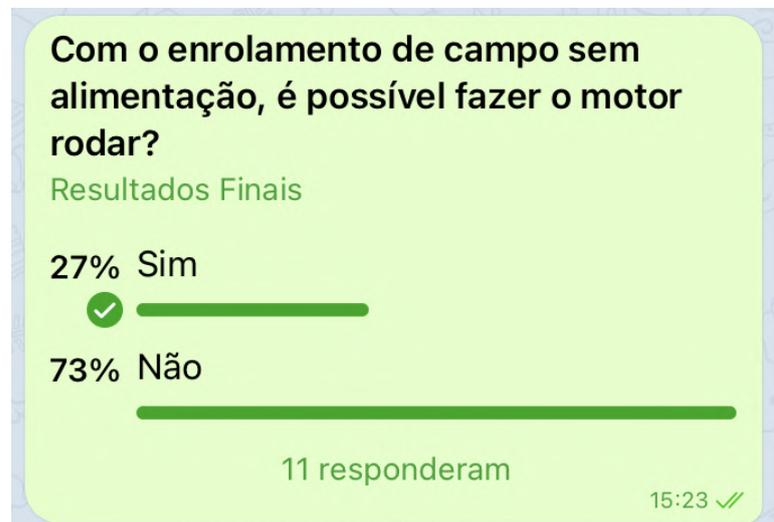


Figura 4.8: Enquete elaborada no aplicativo *Telegram* durante a realização da aula.

A maioria errou, pois não considerou que poderia haver um magnetismo residual presente no enrolamento da máquina, e então, foi ligado o enrolamento da armadura e o rotor começou a rodar. Então, foi realizada uma outra pergunta sobre a possibilidade de haver campo magnético dentro do núcleo magnético e a resposta está apresentada na figura 4.9.

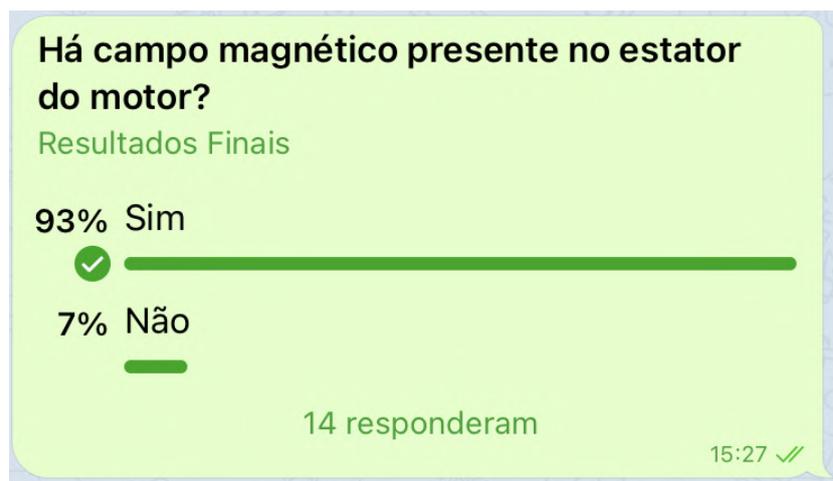


Figura 4.9: Enquete elaborada no aplicativo *Telegram* durante a realização da aula.

Portanto, aparentemente se convenceram que poderia haver campo magnético presente no material mesmo sem a alimentação do enrolamento de campo.

E para finalizar, foi apresentado também o princípio de geração de energia elétrica mencionando, obviamente, a lei de indução de Faraday mais uma vez. Com o enrola-

mento de campo energizado, foi acoplado uma furadeira no eixo da máquina utilizando o mandril. O enrolamento de armadura foi conectado à lâmpada. Ao acionar a máquina primária, a lâmpada começou a brilhar conforme apresentado na figura 4.10, evidenciando o aparecimento de tensão, corrente e, portanto, potência elétrica.



Figura 4.10: Captura de tela do vídeo no momento da geração de energia elétrica utilizando o gerador de corrente contínua.

A turma controle não teve contato com essas demonstrações, ficando apenas com a explicação baseada em aulas dialogadas com *slides*.

Aula 07

Houve a realização da sondagem final afim de verificar a aprendizagem dos discentes. Foi feito através do Google Formulários e os alunos tiveram 3 dias para realizar essa atividade. Os resultados são discutidos no capítulo 5.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Para a análise das respostas obtidas através das sondagens, foi feito um esquema de classificação das respostas. Desta forma, foi possível compilá-las quantitativamente para a análise apresentada a seguir.

5.1 Sondagem Inicial

A sondagem inicial contou com algumas questões possivelmente próximas do cotidiano do aluno. Desta forma, foi possível investigar os conhecimentos prévios que posteriormente foram utilizados como subsunçores para os assuntos trabalhados com a sequência didática. As respostas entregues foram debatidas e exploradas nas aulas.

Questão 1

A primeira pergunta realizada trata sobre a influência da sobrecarga mecânica no funcionamento do motor de corrente contínua. Vejamos:

Existem diversas receitas que podem ser feitas no liquidificador. São sucos, molhos, cremes, sobremesas e várias outras. O bolo de cenoura, muito comum no Brasil, frequentemente usa liquidificador no seu processo de fabricação. A cenoura é processada junto com outros ingredientes e essa mistura é levada ao forno. Dona Maria decidiu fazer duas receitas do bolo e adicionou o dobro de cenoura dentro do liquidificador. No momento que ela ligou, percebeu que o motor rodava com muita dificuldade. O motor apresentou um ruído incomum e o eixo das lâminas rodava devagar. Se dona Maria tivesse deixado o liquidificador ligado operando com essa dificuldade, o que aconteceria com o motor?

Nesta pergunta, 100% dos alunos, tanto da turma teste como de controle, responderam que este motor queimaria/aqueceria/pararia de funcionar, conforme mostrado na Figura 5.1. As respostas foram breves e assertivas.

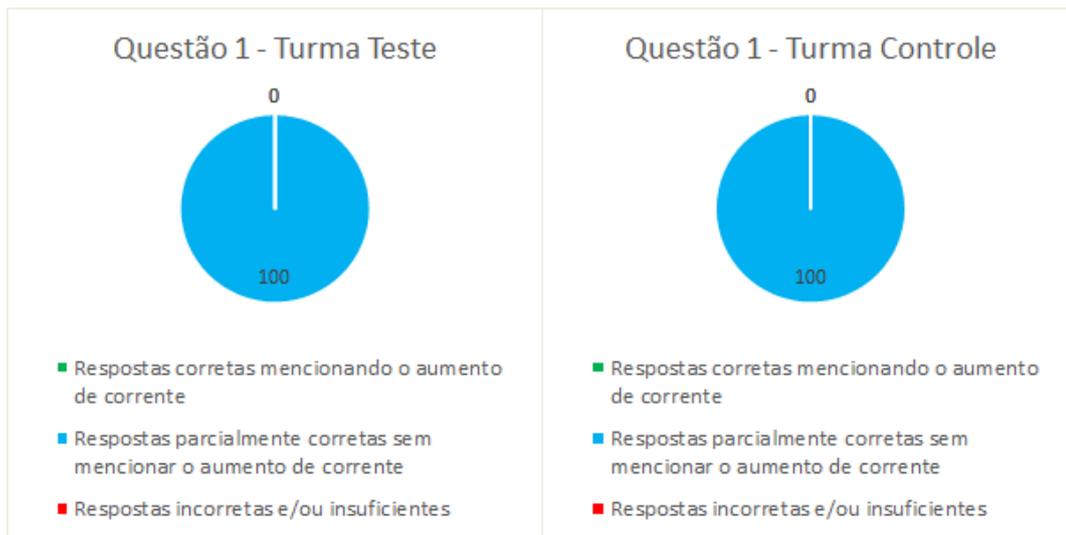


Figura 5.1: Resultados graficamente expressos acerca da questão 1 da sondagem inicial.

Vejam os um exemplo de resposta de um discente da amostra teste:

O motor iria queimar e conseqüentemente pararia de funcionar, pois ele ficará sobrecarregado sem força para misturar os ingredientes.

Um outro discente, da turma controle, respondeu de forma descontraída, inserido no contexto da pergunta:

Simplesmente o motor do liquidificador iria aquecer tanto que chegaria a um ponto que o motor iria queimar, e a dona Maria não conseguiria fazer o seu delicioso bolo de cenoura.

Uma outra resposta, provinda da turma teste, se mostrou bastante interessante, vejamos:

O eixo das lâminas começou a rodar devagar porque sobrecarregou a capacidade do motor, que é chamado de "bloqueio do motor". Quando isso acontece, o motor queima, porque ele recebe energia elétrica para converter em mecânica, sendo uma parte também convertida em energia térmica naturalmente, por isso sentimos a maioria dos eletrodomésticos quentes. Porém, se as lâminas travam, o motor passa a somente converter a energia elétrica recebida em energia térmica, o que faz com que o motor queime.

Perceba que foi mencionado que uma parte da energia elétrica é convertida em energia térmica naturalmente e que este fenômeno é perceptível em alguns eletrodomésticos. Pode-se observar um certo conhecimento prévio sobre o princípio de conservação da energia. Além disso, este determinado estudante poderia utilizar este indício de subsunção como ancoradouro para aprender significativamente a primeira lei da termodinâmica.

Os estudantes responderam corretamente que o motor sofreria algum tipo de avaria devido a sobrecarga aplicada em seu eixo; entretanto nenhum destes foi capaz de explicar

fisicamente o porquê. Foi um resultado considerado esperado tendo em vista que o assunto muito provavelmente é inédito em sua formação.

O uso dos eletrodomésticos pode ser uma interessante possibilidade para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem na Física, tendo em vista os subsunçores que foram desenvolvidos ao longo da vida do aprendiz.

Questão 2

Foi perguntado nessa questão como o liquidificador era capaz de alterar sua velocidade de rotação, vejamos:

Os liquidificadores mais simples possuem duas velocidades de rotação. Tendo em vista que a tensão da tomada é praticamente constante, como é possível alterar essa velocidade?

Houve um resultado distinto em relação à primeira questão. A maioria das respostas de ambas as turmas foram incorretas e/ou insuficientes conforme apresentado na Figura 5.2. O desempenho da turma controle foi ligeiramente melhor comparado à turma teste.

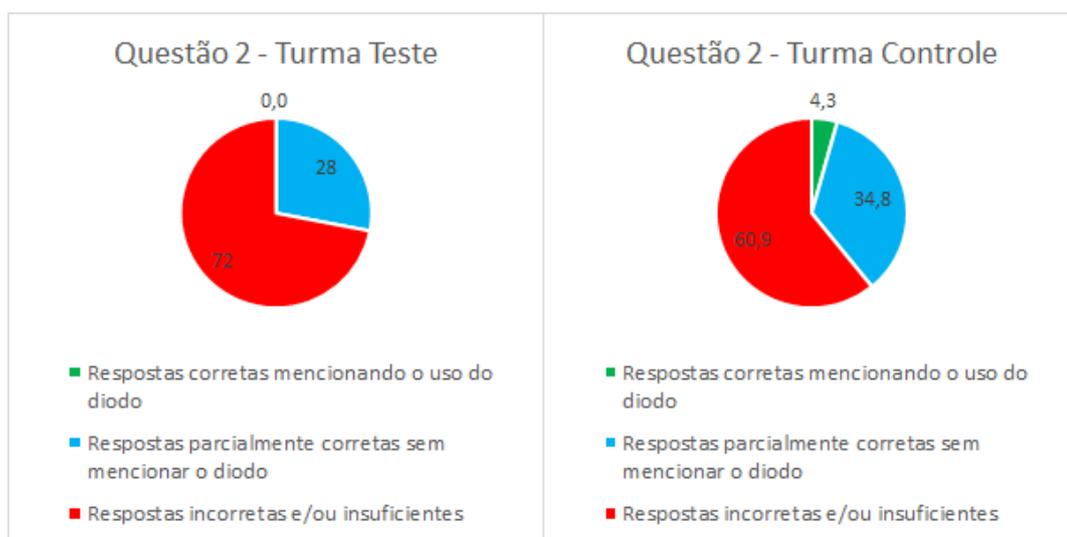


Figura 5.2: Resultados graficamente expressos acerca da questão 2 da sondagem inicial.

Alguns estudantes possivelmente recorreram à internet na busca de respostas para esta pergunta, vejamos:

A velocidade do motor não está relacionada com a tensão, e sim com a frequência da corrente, que alimenta o motor, e o número de polos do motor, que este último, vem da fabricação do motor. Porém, a frequência da corrente elétrica que as tomadas do Brasil proporcionam, é sempre a mesma, 60Hz. Então, se um motor trabalhasse sempre com essa mesma frequência, ele teria sempre a mesma velocidade. Para que seja possível aumentar ou diminuir a velocidade de um motor, é necessário variar a frequência, e para isso, criou-se os inversores de frequência, que possuem uma série de componentes para o

seu funcionamento, onde ele vai, resumidamente, transformar a corrente alternada que chega até ele (porque a corrente das tomadas é sempre alternada) em corrente contínua, para depois "transformar" em uma simulação de uma corrente alternada. Uma simulação porque não é verdadeiramente uma corrente alternada, o inversor aumenta ou diminui a frequência dessa nova corrente que foi simulada de acordo com a necessidade do motor.

A primeira frase que trata sobre a velocidade motor não estar relacionada com a tensão não pode ser aplicada ao motor de corrente contínua, pois sua tensão influencia diretamente em sua velocidade de rotação. Essa característica está relacionada com os motores de corrente alternada, mais especificamente os de indução, tanto o monofásico quanto o trifásico. A solução técnica para a variação de velocidade destes determinados motores se baseia na utilização de inversores de frequência, que são capazes de alterar a frequência da tensão elétrica de saída. Alterar a frequência de um motor de corrente contínua não promoveria alteração em sua frequência de rotação de seu eixo. Essa resposta mostra uma possibilidade de que possa ter sido elaborada com ajuda da internet, pois esses assuntos ainda não foram trabalhados. Cabe salientar que foi dito que essa atividade não valeria nota e que os alunos deveriam responder de forma espontânea. Entretanto, diante de uma possível represália o discente preferiu devolver uma resposta tecnicamente elaborada, mesmo que inapropriada neste contexto.

Os alunos que acertaram parcialmente essa questão mencionaram a alteração da resistência elétrica a fim de reduzir a velocidade de rotação do motor, vejamos um exemplo:

Acredito que seja por meio de resistores, conforme mudamos a resistência a corrente se altera e a potência muda.

Provavelmente, podem ter resgatado em sua estrutura cognitiva o divisor de tensão, técnica utilizada em circuitos elétricos para alterar o nível de tensão em uma determinada carga pela variação de resistência elétrica em série. Entretanto, os liquidificadores de duas velocidades não utilizam esses resistores mencionados para alteração da velocidade de rotação. Trata-se de uma solução tecnicamente inferior tendo em vista uma dissipação maior de energia, reduzindo o rendimento do eletrodoméstico. Em liquidificadores de duas velocidades, o uso do diodo é extremamente comum a fim de realizar a redução de velocidade conforme explicado na subseção 3.3.6.

Foi isso que um discente, e único, da turma controle mencionou corretamente, observamos:

Porque no botão existe um diodo que faz a energia reduzir de potência. Com isso, a velocidade fica mais baixa.

A afirmação possui erro conceitual no que se refere “energia reduzir de potência”, entretanto foi a resposta mais próxima da correta.

Questão 3

Nesta questão, foi investigado o provável subsunçor acerca da magnetização de materiais, utilizando novamente uma situação possivelmente próxima dos alunos, vejamos:

É comum deixar um ímã dentro da caixa de ferramentas, próximo à chave de fenda e/ou phillips, por quê?

Os resultados estão expressos na Figura 5.3. A turma teste foi ligeiramente melhor que a turma controle.

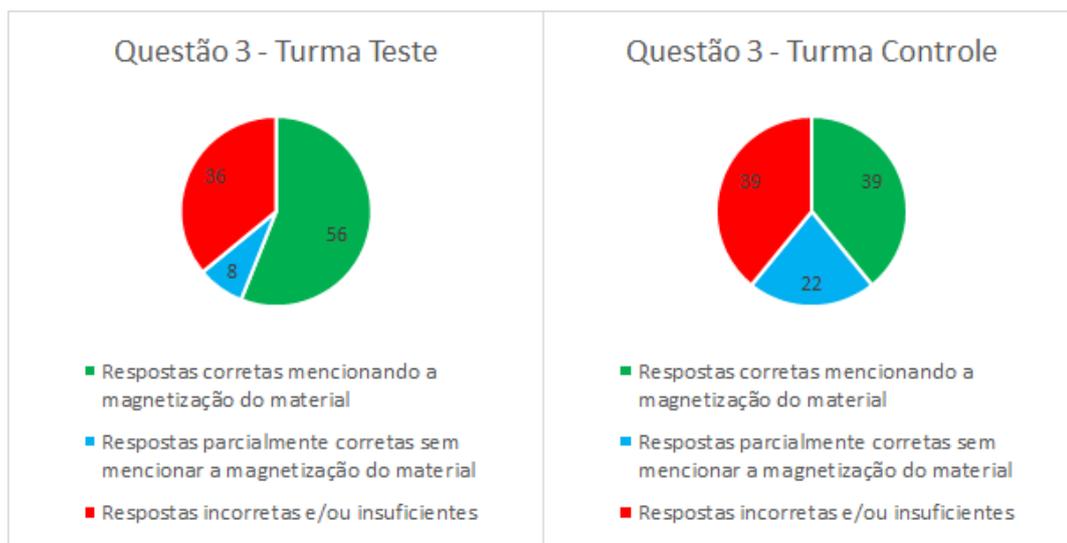


Figura 5.3: Resultados graficamente expressos acerca da questão 3 da sondagem inicial.

Um determinado discente da turma teste elaborou uma resposta sofisticada e interessante, vejamos:

Essas ferramentas serão usadas futuramente para soltar ou apertar parafusos e por isso ter uma maior adesão é muito vantajoso às mesmas. Como esses parafusos são feitos de metal, seria conveniente que eles fossem magnéticos, pois isso atrairia o metal que vai ser parafusado e facilitaria o processo. Portanto, ao deixar um ímã em conjunto a essas ferramentas, ocorre uma magnetização temporária da ferramenta, por isso sempre deixam o ímã encorpado nela, pois o efeito da magnetização vai esvaindo em função do tempo.

É perceptível o conhecimento prévio deste discente sobre a magnetização desses materiais. Provavelmente este subsunçor poderá ser mais elaborado ao receber novas informações, pois o fenômeno da magnetização residual pode ser trabalhado no contexto da máquina de corrente contínua. Vale salientar também que o mesmo relatou em sua resposta que a magnetização “vai esvaindo em função do tempo”. Aqui podemos notar um terreno fértil para contextualizar a questão da entropia, descrita pela segunda lei da termodinâmica.

Outro discente, da turma controle, resgatou em sua estrutura cognitiva apenas o fenômeno de atração de ímãs com alguns metais, porém não mencionou o campo magnético residual que pode eventualmente perdurar nestes metais, vejamos:

No meu pensar não tem problema, deixar na caixa de ferramenta. A única coisa que vai acontecer é que o Imã vai puxar a chave fenda/ou Phillips, porque o Imã atrai objetos de ferro e aço.

Outros estudantes foram sinceros ao afirmar que desconheciam este determinado acontecimento:

Não sei.

Almeja-se que depois da sequência didática, estes consigam aprender significativamente e responder de forma adequada na sondagem final.

Questão 4

Nesta questão, foi perguntado sobre a lei de indução de Faraday inserido no contexto da máquina de corrente contínua, vejamos:

A máquina de corrente contínua pode também ser ligada em corrente alternada em algumas situações, porém, é possível notar um aquecimento maior no seu núcleo magnético comparado ao funcionamento em corrente contínua. Por que isso acontece?

Vejamos a alternativa correta da pergunta:

Em corrente alternada, o campo magnético estabelecido dentro do circuito magnético será variante no tempo, desta forma, induzirá correntes parasitas no núcleo, causando aquecimento.

As turmas tiveram um desempenho semelhante, conforme apresentado na Figura 5.4. Tem-se uma evidência de que as turmas tenham um conhecimento prévio similar no contexto desta lei abordada, pois ambas turmas já tiveram aulas sobre eletricidade no ano anterior, devido às disciplinas técnicas do Instituto Federal. Espera-se que esse desempenho possa aumentar com auxílio da sequência didática.

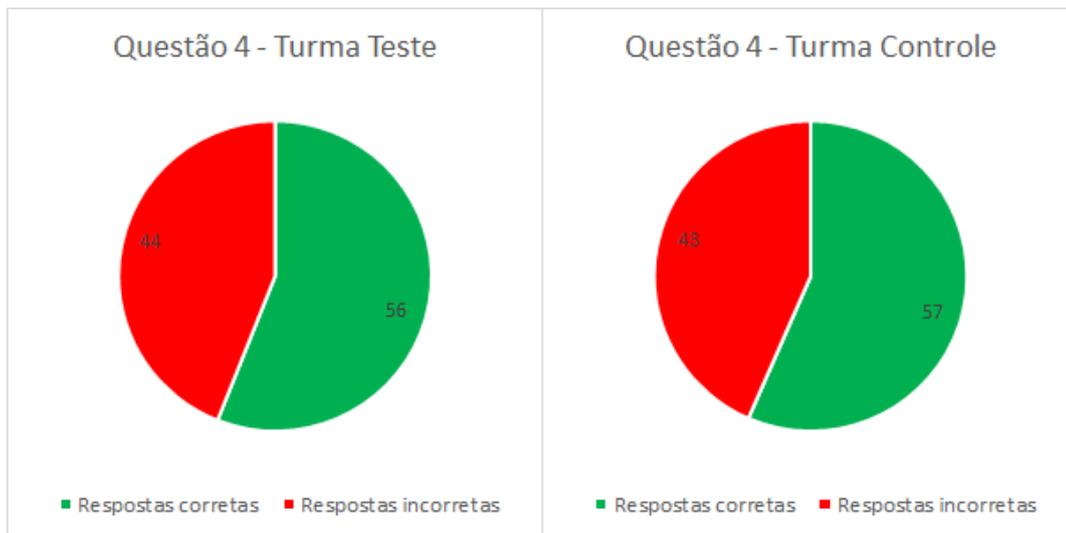


Figura 5.4: Resultados graficamente expressos acerca da questão 4 da sondagem inicial.

5.2 Sondagem Final

As questões escolhidas para compor esse teste tiveram situações análogas às questões da sondagem inicial. Foi realizado dessa maneira para avaliar a habilidade de extrapolar e inferir, características da aprendizagem significativa (MAYER, 2002). Dessa forma, foi possível concluir sobre o desempenho dos estudantes depois das aulas da sequência didática. Não foram realizadas exatamente as mesmas perguntas, pois os alunos poderiam lembrar de suas respostas anteriores, contaminar estes resultados e prejudicar a análise.

A análise das questões foi feita a partir da classificação das respostas, da mesma maneira realizada na sondagem inicial. Assim, podemos fazer uma comparação entre as respostas antes e depois das aulas.

Questão 1

Nesta questão, foi apresentado aos alunos uma situação que pode eventualmente acontecer no nosso cotidiano. O conteúdo foi o mesmo da questão 1 da sondagem inicial. Trata-se da sobrecarga mecânica aplicada no eixo do motor de corrente contínua, vejamos:

Dona Maria colocou uma roupa para bater em sua máquina de lavar estilo "tanquinho" e foi ao mercado comprar mantimentos. Cabe salientar que esta máquina de lavar operava com um motor de corrente contínua. Ao voltar, percebeu que o ciclo da máquina não estava finalizado, porém o motor não estava ligado e nem fazia nenhum tipo de ruído. Ela retirou as roupas de dentro da máquina e constatou que havia uma moeda de 25 centavos emperrada entre o eixo e o tambor do tanquinho. Dona Maria tentou movimentar o eixo, mas não teve êxito. Explique o que pode ter acontecido com o motor.

Na sondagem inicial, os alunos acertaram a questão quando disseram que o motor iria queimar, explicitando um certo conhecimento prévio. Esperou-se que, depois da sequência

didática, esse subsunçor poderia ser mais elaborado, tendo em vista que o motivo dessa determinada queima poderia ser explicado fisicamente. Para que houvesse evidência de aprendizagem significativa, seria importante que eles mencionassem o aumento de corrente para explicar esse acontecimento. Uma resposta ideal seria:

A moeda emperrada no eixo do motor fez com que a velocidade de rotação ficasse nula. Desta forma, a tensão induzida E_a seria drasticamente reduzida, e então, a corrente demandada pelo motor aumentaria. Esta corrente elevada geraria um maior aquecimento em seus enrolamentos, elevando a temperatura e danificando o enrolamento e conseqüentemente, o motor.

Ao observar a figura 5.5, podemos constatar que a turma teste conseguiu elaborar respostas mais próximas a ideal comparado à turma controle. Na turma teste, 61,9% das respostas mencionaram o aumento de corrente para explicar a queima do motor. Percentual maior que a turma controle que foi apenas 41%.

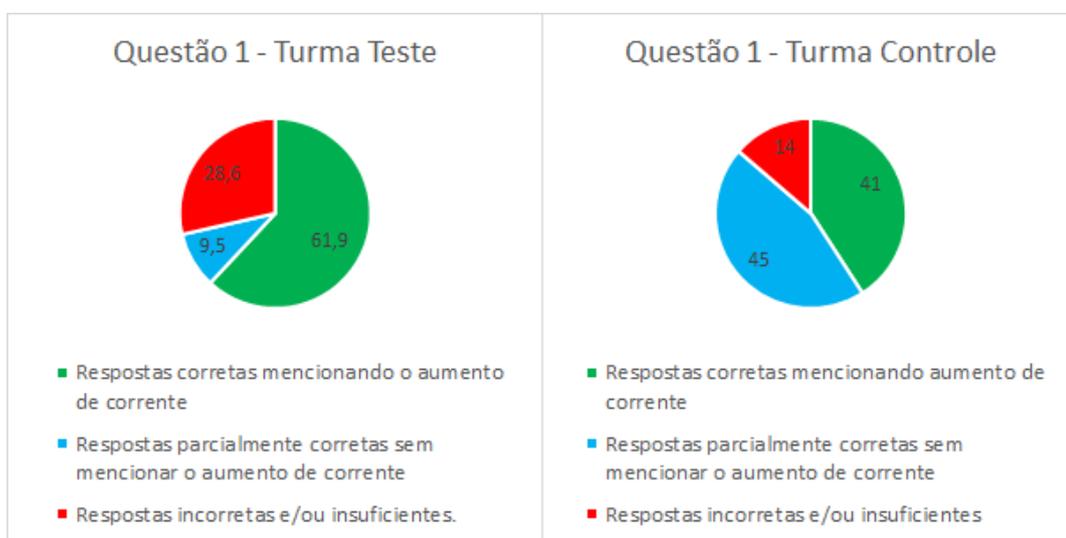


Figura 5.5: Resultados graficamente expressos acerca da questão 1 da sondagem final.

Entre as respostas da turma teste, vale destacar a seguinte:

O que pode ter acontecido foi algo bem comum, a chamada "queima do motor". Esse acontecimento é bastante simples de ser explicado, o que ocorre é que a corrente depende da velocidade de rotação quando a velocidade de rotação é reduzida, a corrente do motor aumenta. A corrente depende de quanto ele tem de velocidade de rotação. Quando a moeda ficou presa no eixo do tanquinho, ela causou um impedimento na rotação do eixo, dessa forma a velocidade de rotação diminuiu, aumentando a corrente que circula por esse motor. Já que o eixo não estava girando o motor solicita mais corrente para tentar fazê-lo funcionar. A corrente dessa forma, fica muito maior do que esse motor foi feito para suportar, se existe uma corrente muito grande, o próprio enrolamento esquenta muito, podendo fazer a resina carbonizar, caso o cobre coberto pela resina vier a carbonizar, se rompendo, ele irá interromper o circuito, fazendo-o parar de funcionar, já que esta em série. Desta forma é possível supor que este foi o caso da máquina de lavar.

Devido a extensa e detalhada descrição do fenômeno, há uma evidência robusta de que houve aprendizagem significativa. O conhecimento prévio que era apenas a “queima do motor” pôde ser mais elaborado, pois o discente menciona grandezas físicas e suas interações.

Outras respostas, também da turma teste, foram menos elaboradas, mas ainda sim mencionando o aumento de corrente. Vejamos um exemplo:

O motor pode ter queimado, pois com a moeda parada em seu eixo por um certo tempo, vai causar uma dificuldade dele rodar, e o motor acaba solicitando uma corrente elevada da fonte, o que causará a queima do motor.

Foi possível observar um refinamento de subsunçor na turma controle também, vejamos:

A moeda de 25 centavos ocasionou uma sobrecarga mecânica, ou seja, ela aumentou a carga mecânica feita sobre o motor, então diminuiu a velocidade de rotação do motor, fazendo isso, a tensão induzida também será diminuída, e ela é inversamente proporcional a corrente, então quando a tensão induzida diminui, a corrente irá aumentar. Fazendo com que mais corrente passe pelo motor, essa corrente maior irá dissipar mais calor, carbonizando o verniz que existe em volta do motor, queimando o motor. Esse calor também poderá romper o circuito.

Houve também respostas apenas mencionando a queima do motor, da mesma forma que na sondagem inicial, sem mencionar o aumento de corrente. Essas respostas, representadas pela cor azul no gráfico, não mostram uma melhoria importante no subsunçor do aluno. O que pode caracterizar a falta de aprendizagem significativa ou aprendizagem mecânica. Vejamos alguns exemplos:

Bom, a moeda caiu por acaso no eixo e ficou emperrada ocasionando na parada do eixo, o que pode ter ocasionado com o motor é a sua parada e fazendo o motor queimar por fazer muita força, por isso quando ela chegou o motor não estava fazendo ruído e Ligado.

O motor queimou por causa da força adicional que ele começa a fazer por causa do eixo emperrado pela moeda, como ele não foi projetado pra isso, ele começa a forçar demais e estraga.

Por conta da interrupção causada pela moeda de 25 centavos o motor tentou continuar o trabalho, o que causou o superaquecimento do mesmo, levando a parada total do motor (podemos dizer que o motor queimou).

Essas respostas foram mais numerosas na turma controle, representando 45% do total. Número maior comparado à turma teste, que teve apenas 9,5%. Entretanto, há de se observar um maior percentual de respostas incorretas e/ou insuficientes na turma teste. É possível, inclusive, notar uma certa proximidade entre as respostas destes alunos, observamos:

Por causa da eletro bomba da máquina, essa peça é muito importante, a moeda deve ter entrado na "bomba", estragando a peça, interrompendo o movimento do eixo.

As máquinas de lavar roupa têm uma peça chamada "electro bomba". É o pedaço principal da máquina, o que poderia ter acontecido foi que a moeda entrou nessa bomba, prejudicial ou dificultando a peça, em breve evitando o movimento do eixo.

As máquinas de lavar possuem uma peça que se chama "eletro bomba" ela é a principal peça da maquina junto ao eixo, o que pode ter acontecido foi esse moeda ter entrado nessa bomba, danificando ou entupindo a peça, logo impedindo o movimento do eixo.

A eletrobomba que esses estudantes se referem, trata-se de um equipamento responsável por bombear a água da máquina de lavar para fora. Entretanto, não foi a situação descrita na pergunta, não abordava essa possível problemática. E mesmo se essa moeda estivesse entrado na eletrobomba, o eixo da máquina de lavar ainda estaria livre para rodar, pois esta eletrobomba é independente do motor utilizado para rodar o eixo da máquina de lavar e agitar as roupas em seu interior. Portanto, essas respostas se mostraram incorretas diante da pergunta realizada. Nesta mesma turma, houve outras duas respostas consideradas inadequadas para essa questão e serão apresentadas a seguir:

A moeda deve ter desalinhado o eixo.

O eixo basicamente foi desalinhado pela moeda

Apesar da diferença entre as vozes verbais (voz ativa e voz passiva) presente nas frases, as duas questões expressam a mesma ideia. Poderia ser uma coincidência se esses mesmos alunos não tivessem respondido as outras demais questões da mesma forma, evidenciando uma possível cópia.

Questão 2

Nesta questão, foi perguntado sobre a solução técnica usada pelo secador de cabelo para variar sua potência de saída. Trata-se de uma situação análoga ao liquidificador de duas velocidades, vejamos:

Um secador de cabelo comum possui duas velocidades de operação. Na posição "1", este fornece uma vento menos rápido e menos quente quando comparamos com a posição "2".

Considerando que este secador de cabelo opera com um motor de corrente contínua e resistores elétricos, explique como é feita essa redução de potência desenvolvida por este eletrodoméstico tendo em vista que o mesmo fica submetido a mesma tensão elétrica.

Para constatar a existência da aprendizagem significativa, os alunos deveriam citar o uso do diodo para redução da potência de saída. Esta solução foi apresentada, no contexto do liquidificador, em ambas as turmas. Uma resposta considerada correta, seria:

A redução de potência é realizada através do uso de um diodo. Este dispositivo eletrônico permite a passagem de corrente elétrica apenas em um sentido, caso seja inversamente polarizado, este se torna um circuito aberto. Quando este é inserido em um circuito com corrente alternada, é capaz de reduzir a potência elétrica entregue a carga, pois só permite que um semiciclo de corrente seja conduzido. Assim, o secador de cabelo ligado na posição 1 entrega um vento mais fraco e menos quente quando comparado a posição 2. Na posição 2, o motor e os resistores são ligados em tensão nominal, recebendo ambos os semiciclos de corrente, desenvolvendo uma maior potência. Para realizar essa alteração, é utilizada uma chave de dois estados.

Podemos observar pelo gráfico apresentado na figura 5.6 que a turma teste teve uma quantidade maior de respostas corretas comparando com a turma controle. Trazendo evidências que houve mais aprendizagem significativa na turma que teve contato com a demonstração prática com a maleta didática.

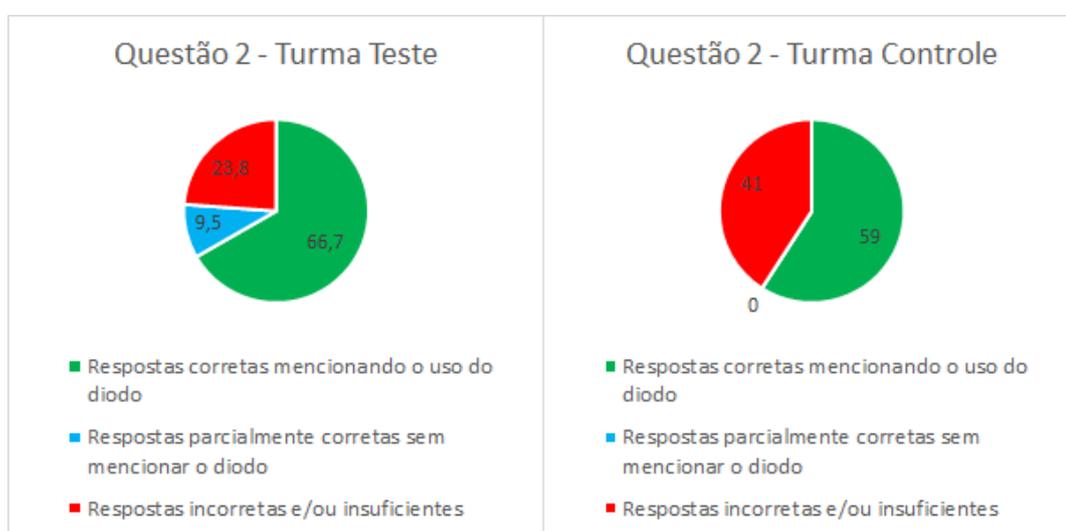


Figura 5.6: Resultados graficamente expressos acerca da questão 2 da sondagem final.

Uma resposta proveniente da turma teste se mostrou bastante interessante, vejamos: *Nesse tipo de circuito há uma chave seletora, que faz com que a corrente siga por dois ramos diferentes, um com diodo e outro sem diodo. Caso a velocidade seja a "1", o circuito será com diodo e por isso permitirá apenas a passagem de corrente em um dos sentidos, ou seja, um dos semiciclos da tensão, isso faz com que um dos semiciclos seja retirado e por isso a tensão eficaz (tensão capaz de gerar corrente) seja reduzida, deixando o motor mais devagar. Caso mude para a velocidade "2", o circuito selecionado é o sem diodo. onde não haverá ceifamento de nenhum semiciclo, assim a corrente eficaz não é reduzida e pode oferecer uma potencia maior para a resistência. Deixando o motor em questão mais rápido.*

Nota-se que o aluno utilizou do termo “tensão eficaz”, o que mostra um rigor conceitual importante. Na explicação do conteúdo, esse termo foi utilizado pelo professor para que a explicação pudesse ser a mais correta possível.

Os alunos da turma controle produziram respostas mais simples, em média, vejamos um exemplo:

É usado um diodo que altera a corrente que flui pela parte do circuito que movimenta o motor. Quando é fornecido menos energia, o giro do motor é lento, fazendo com que o secador sopra menos ar. Quando é liberada mais energia, sem a utilização do diodo, o motor acelera, puxando mais ar e aumentando a temperatura.

Na turma teste, os mesmos alunos que mencionaram o desalinhamento do eixo do motor na questão passada, responderam à essa questão da seguinte forma:

Isso porque ele contém receptores elétricos.

Deve ser por que eles contém receptores elétricos.

Essas respostas revelam a ausência de aprendizagem. Não é possível constatar nem aprendizagem mecânica, tendo em vista a incoerência evidente das respostas.

Os que mencionaram o termo “electro bomba” na questão anterior, responderam da seguinte maneira:

Um motor de corrente contínua só precisa apenas de uma mudança de tensão para que possamos variar a sua velocidade, e é isso que acontece com o secador de cabelo quando mudamos a posição do botão do secador de cabelo por exemplo.

Um motor atual contínuo só precisa de uma mudança de tensão para que possamos variar sua velocidade, e é isso que acontece com o secador de cabelo quando alteramos a posição do botão de velocidade.

No motor de corrente contínua temos que mudar a tensão para mudar a velocidade, e é a mesma coisa no secador de cabelo quando se aperta os botões para ajustar.

Foram consideradas como incorretas e/ou insuficientes. Colaborando para a fatia vermelha do gráfico. As respostas deixam perceptível um possível compartilhamento de respostas.

Ainda assim, o resultado em geral de ambas as turmas foram satisfatórios. Se compararmos à sondagem inicial, é notável uma progressão importante nos estudantes. Interessante notar também que a turma que assistiu às demonstrações práticas teve um desempenho ligeiramente superior, corroborando o importante papel das atividades práticas no processo de ensino-aprendizagem.

Questão 3

Essa questão abordou o campo magnético residual que pode perdurar em determinados materiais, principalmente nos ferromagnéticos. Dessa vez, esse assunto foi contextualizado no âmbito da bússola, vejamos:

A agulha da bússola analógica é capaz de se alinhar com o campo magnético da Terra, pois esta é imantada. Mesmo rotacionando o instrumento, a agulha continua com a tendência de apontar à direção magnética. João resolveu substituir esta agulha da bússola por uma outra haste metálica do mesmo tamanho, massa e material. Entretanto, João percebeu que essa haste não era capaz de se alinhar com o campo magnético terrestre. Esta se encontrava em uma situação inerte independentemente da posição do instrumento. Explique a João qual seria a diferença da agulha original da bússola e a haste metálica que ele substituiu.

Esperou-se que os alunos conseguissem responder de forma correta mencionando a magnetização do material. Uma resposta ideal seria:

A diferença é que a haste metálica que substituiu a agulha da bússola não era imantada, ou seja, o campo magnético residual era nulo. Para que haja o alinhamento entre a agulha e o campo magnético terrestre, é imprescindível que a agulha seja magnetizada.

Os resultados dessa questão estão apresentados na figura 5.7. Podemos observar que a turma teste, mais uma vez, teve um desempenho superior a turma controle.

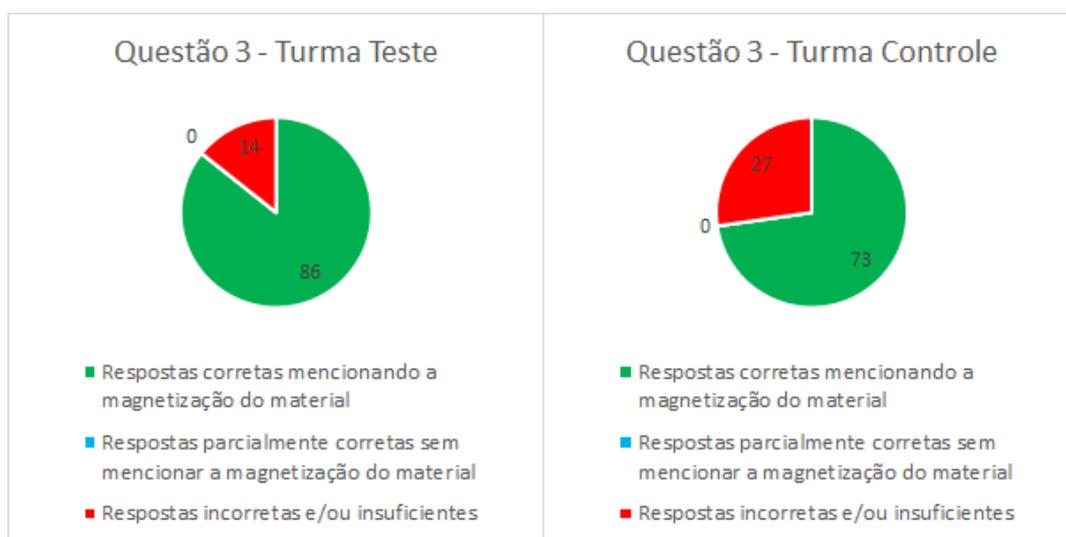


Figura 5.7: Resultados graficamente expressos acerca da questão 3 da sondagem final.

Uma resposta, proveniente da turma teste, se mostrou proeminente. Vejamos:

Isso ocorre porque a agulha da bússola está imantada, ou seja, seus domínios magnéticos estão orientados no mesmo sentido, fazendo com que ela tenha um campo magnético, que por sua vez interage com o da terra e faz com que a bússola funcione. Mas no caso

da haste de mesmo tamanho, material e massa, não houve uma imantação e por isso os domínios magnéticos estão desorganizados, fazendo com que ela não tenha campo magnético e por isso não interage com o campo da terra.

Outra resposta, da turma controle, também se mostrou interessante:

A agulha da bússola original é uma agulha magnetizada já a haste metálica que ele pegou não, pois a agulha magnetizada sempre aponta para o polo norte magnetizado da terra.

A agulha da bússola é um pequeno imã.

As respostas consideradas incorretas e/ou insuficientes foram menos numerosas em relação a sondagem inicial. Vejamos um exemplo proveniente da turma teste:

Considerando que a agulha que João colocou no lugar da original tenha o mesmo tamanho, massa e material, é possível que seu formato esteja alterado. Uma bússola precisa de uma agulha pontiaguda para que execute a sua função corretamente.

Podemos perceber nessa questão uma interpretação equivocada do fenômeno. A agulha não precisa necessariamente pontiaguda para apontar para o campo magnético terrestre. A condição *sine qua non* para que a agulha seja capaz de se alinhar com o campo magnético é que ela seja magnetizada, preferencialmente na mesma direção de seu comprimento.

Questão 4

Essa questão abordou o conteúdo da lei de indução eletromagnética de Faraday no contexto do motor de corrente contínua, vejamos:

A máquina de corrente contínua presente na maleta didática tem seu núcleo magnético laminado. Essa laminação serve para reduzir a intensidade das correntes parasitas geradas quando o motor é ligado em corrente alternada. Assim, é possível reduzir seu aquecimento e aumentar sua eficiência. Quando o motor de corrente contínua, em excitação série, é ligado através de uma fonte de tensão contínua, esse aquecimento no núcleo é pouco expressivo relativamente. Assinale a alternativa correta.

A alternativa correta da questão é:

Quando o campo magnético presente no núcleo magnético do motor é constante no tempo, não há indução eletromagnética, portanto, o motor esquenta relativamente menos.

Nessa questão, podemos encontrar um resultado imprevisto. A turma controle teve um desempenho superior à turma teste, conforme apresentado na figura 5.8.

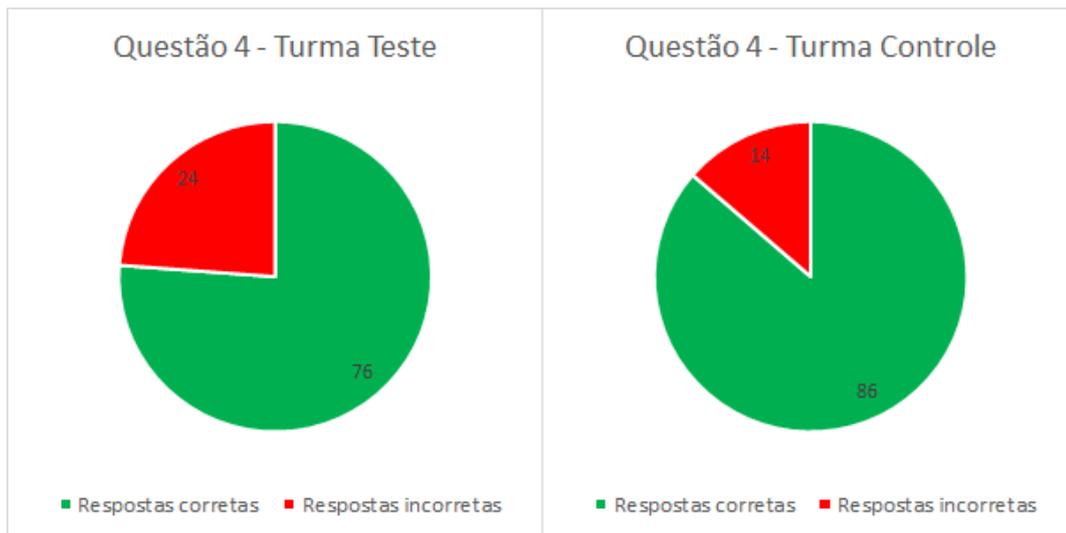


Figura 5.8: Resultados graficamente expressos acerca da questão 4 da sondagem final.

Pode ser que este assunto tenha ficado bastante claro para a turma controle, mesmo não assistindo as demonstrações práticas, mas um fato importante há de ser analisado. Todos os alunos da turma teste que erraram essa questão, são os mesmos que responderam utilizando o termo “electro bomba” e o desalinhamento do motor nas questões passadas. Tendo em vista essa e outras respostas apresentadas nas questões, esses alunos foram questionados acerca da dificuldade apresentada na aprendizagem deste conteúdo. Todos responderam de forma sincera que não assistiram às aulas e que entregaram qualquer resposta a fim de não ficarem com pendências no *Google Classroom*. Os alunos foram aconselhados a assistirem as aulas passadas que ficaram gravadas e disponibilizadas na sala virtual.

5.3 Síntese do capítulo

Na sondagem inicial, a maior parte dos alunos externalizou seus conhecimentos prévios sobre os assuntos do eletromagnetismo. Comparando as duas turmas, pode-se dizer que elas tiveram um desempenho similar nas questões. A primeira e última questão, os resultados foram muito similares. Na questão 2, a turma controle teve um desempenho melhor e na outra questão, a turma teste foi superior. Isso mostra que as duas turmas estavam em um nível próximo antes da aplicação da sequência didática. Caso tivéssemos um resultado díspare, o delineamento quase-experimental se tornaria inadequado nesta pesquisa. As duas turmas, apesar de serem turmas de cursos técnicos distintos, tiveram um mesmo conteúdo no ano anterior em relação a área de eletromagnetismo.

Na sondagem final, é possível notar uma certa diferença em relação às respostas. O desempenho foi avaliado pela habilidade de extrapolação dos alunos. Em se deparar com uma situação diferente, esperou-se que eles pudessem resgatar o subsunçor melhor elaborado e responder corretamente as questões. A turma teste, que teve a sequência didática com o produto educacional, teve um desempenho maior na maioria das questões.

A maleta didática pode ter colaborado na assimilação dos conteúdos pelos estudantes. A demonstração prática pôde também promover um interesse em relação a disciplina. Ao término da sequência didática, os alunos elogiaram a metodologia e disseram que a abordagem prática foi a primeira que tiveram. Será agendado com a turma controle as demonstrações práticas para que estes também possam usufruir do produto educacional.

Cabe aqui salientar também que ambas as turmas tiveram um desempenho maior na sondagem final quando comparado à inicial. A utilização de eletrodomésticos no ensino de física pode ser uma atividade cativante, tendo em vista os conhecimentos prévios desenvolvidos pelos alunos ao longo de sua vida. Assim, com as atividades propostas pelo professor, os alunos podem inserir mais significados neste subsunçor, tornando-o mais elaborado.

Capítulo 6

Considerações Finais

A atividade prática é uma ferramenta importante no processo de ensino-aprendizagem entre docentes e discentes. Experiências e demonstrações podem ser conduzidas como atividades colaborativas onde a troca de significados seja estimulada pelo professor a fim de facilitar a captação de significados que favoreçam a aprendizagem significativa. Desta forma, o subsunçor acerca de um determinado objeto acaba se tornando mais consolidado e robusto. Eventualmente, este conhecimento desenvolvido pode oferecer fundações a novos assuntos e assim colaborar com o progresso do discente. A aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa foi importante na elaboração deste produto didático. Principalmente na observância dos conhecimentos prévios do aluno, explorando situações do cotidiano.

O alto custo dos materiais didáticos e os eventuais entraves burocráticos prejudicam a execução de atividades práticas nas instituições de ensino. Diante desses problemas, chegou-se à solução de construir o próprio aparato experimental. A utilização de eletrodomésticos pode facilitar a aprendizagem significativa tendo em vista os subsunçores que foram construídos ao longo da vida.

Este trabalho mostra que é possível utilizar uma máquina de corrente contínua para realizar demonstrações acerca da área do eletromagnetismo. Conceitos de série e paralelo, aferição de grandezas elétricas como tensão e corrente, circuitos elétricos, características de funcionamento do motor e a lei de indução eletromagnética de Faraday podem ser trabalhados com auxílio da maleta didática. Assim, gradualmente, pode-se contribuir com a educação dos discentes para que consigam evoluir cognitivamente e prepará-los ao exercício da cidadania.

Referências Bibliográficas

AGARWAL, P. D. Eddy-current losses in solid and laminated iron. **Transactions of the American institute of electrical engineers, Part I: Communication and Electronics**, IEEE, v. 78, n. 2, p. 169–181, 1959.

ARAÚJO, M. S. T. d.; ABIB, M. L. V. d. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de ensino de física**, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.

BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A.; BLINI, R. B. Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, Universidade Estadual de Maringá, v. 31, n. 1, p. 43–49, 2009.

BEEKES, W. The "millionaire" method for encouraging participation. **Active learning in higher education**, v. 7, n. 1, p. 25–36, 2006.

BOYLESTAD, R. L.; NASHESKY, L. **Electronic devices and circuit theory**. [S.l.]: Prentice Hall, 2012.

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

CHANG, K.-E. *et al.* Effects of learning support in simulation-based physics learning. **Computers Education**, v. 51, n. 4, p. 1486–1498, 2008. ISSN 0360-1315. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131508000365>>.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013.

CROUCH, C. *et al.* Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? **American journal of physics**, American Association of Physics Teachers, v. 72, n. 6, p. 835–838, 2004.

GOMES, A. Energias cinética e potencial: fórmulas e resumos. 2020. Disponível em: <<https://descomplica.com.br/artigo/energia-cinetica-e-potencial-formulas-e-resumo/T4J/>>. Acesso em: 16 de Março de 2021.

HAYT, W. H.; BUCK, J. A. **Engineering Electromagnetics**. 8. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2020.

LEARN ENGINEERING. Dc motor, how it works? 2014. Disponível em: <<https://youtu.be/LAtPHANefQo>>. Acesso em: 25 mar. de 2021.

MAGTAAN, J. Dc motor. 2017. Disponível em: <<https://c15580367roboblog.wordpress.com/2017/11/28/dc-motor/>>. Acesso em: 11 fev. de 2021.

MAYER, R. E. Rote versus meaningful learning. **Theory into practice**, Taylor & Francis, v. 41, n. 4, p. 226–232, 2002.

MCMICHAEL, A. J.; WOODRUFF, R. E.; HALES, S. Climate change and human health: present and future risks. **The Lancet**, Elsevier, v. 367, n. 9513, p. 859–869, 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 1. ed. São Paulo: E.P.U., 1999. ISBN 85-12-32140-7.

_____. *¿ al final, qué es aprendizaje significativo?* **Revista Qurrriculum**, Universidad de La Laguna. Servicio de Publicaciones, p. 29–56, 2012.

OLIVEIRA, P. P. M. O youtube como ferramenta pedagógica. **SIED: EnPED-Simpósio Internacional de Educação a Distância e Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância**, 2016.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. Estados da matéria: Básico. 2020. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_pt_BR.html>. Acesso em: 20 mar. de 2021.

_____. Lei de faraday. 2020. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_pt_BR.html>. Acesso em: 20 mar. de 2021.

RITCHIE, H.; ROSER, M. Energy. **Our World in Data**, 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy>>.

ROSER, M. *et al.* Coronavirus pandemic (covid-19). **Our World in Data**, 2020. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/covid-deaths>>. Acesso em: 28 abr. de 2021.

SERAFIM, M. C. A falácia da dicotomia teoria-prática. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 1, n. 7, 2001.

STOJILOVIC, N.; ISAACS, D. E. Resistance of a digital voltmeter: teaching creative thinking through an inquiry-based lab. **Physics Education**, IOP Publishing, v. 53, n. 5, p. 053005, 2018.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa. **Revista conceitos**, v. 10, n. 55, 2004.

WIEMAN, C.; PERKINS, K. Transforming physics education. **Physics today**, American Institute of Physics, v. 58, n. 11, p. 36, 2005.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

Apêndice A

Sondagem Inicial

Problema 1 – Existem diversas receitas que podem ser feitas no liquidificador. São sucos, molhos, cremes, sobremesas e várias outras. O bolo de cenoura, muito comum no Brasil, frequentemente usa liquidificador no seu processo de fabricação. A cenoura é processada junto com outros ingredientes e essa mistura é levada ao forno. Dona Maria decidiu fazer duas receitas do bolo e adicionou o dobro de cenoura dentro do liquidificador. No momento que ela ligou, percebeu que o motor rodava com muita dificuldade. O motor apresentou um ruído incomum e o eixo das lâminas rodava devagar.

Se dona Maria tivesse deixado o liquidificador ligado operando com essa dificuldade, o que aconteceria com o motor?

Problema 2 – Os liquidificadores mais simples possuem duas velocidades de rotação. Tendo em vista que a tensão da tomada é praticamente constante, como é possível alterar essa velocidade?

Problema 3 É comum deixar um ímã dentro da caixa de ferramentas, próximo à chave de fenda e/ou phillips, por quê?

Problema 4 A máquina de corrente contínua pode também ser ligada em corrente alternada em algumas situações, porém, é possível notar um aquecimento maior no seu núcleo magnético comparado ao funcionamento em corrente contínua. Por que isso acontece?

- A corrente alternada promove uma vibração mais forte no motor e esse fato implica em um maior aquecimento.
- O aquecimento acontece apenas pela ação do atrito e da ventilação forçada.
- Em corrente alternada, o campo magnético estabelecido dentro do circuito magnético será variante no tempo, desta forma, induzirá correntes parasitas no núcleo, causando aquecimento.
- A corrente elétrica no enrolamento de armadura e de campo não estão em fase, portanto, o torque induzido será prejudicado resultando em aquecimento.

Apêndice B

Sondagem Final

Problema 5 – Dona Maria colocou uma roupa para bater em sua máquina de lavar estilo "tanquinho" e foi ao mercado comprar mantimentos. Cabe salientar que esta máquina de lavar operava com um motor de corrente contínua. Ao voltar, percebeu que o ciclo da máquina não estava finalizado, porém o motor não estava ligado e nem fazia nenhum tipo de ruído. Ela retirou as roupas de dentro da máquina e constatou que havia uma moeda de 25 centavos emperrada entre o eixo e o tambor do tanquinho. Dona Maria tentou movimentar o eixo, mas não teve êxito.

Explique o que pode ter acontecido com o motor.

Problema 6 – Um secador de cabelo comum possui duas velocidades de operação. Na posição "1", este fornece uma vento menos rápido e menos quente quando comparamos com a posição "2". Considerando que este secador de cabelo opera com um motor de corrente contínua e resistores elétricos, explique como é feita essa redução de potência desenvolvida por este eletrodoméstico tendo em vista que o mesmo fica submetido a mesma tensão elétrica.

Problema 7 A agulha da bússola analógica é capaz de se alinhar com o campo magnético da Terra, pois esta é imantada. Mesmo rotacionando o instrumento, a agulha continua com a tendência de apontar à direção magnética. João resolveu substituir esta agulha da bússola por uma outra haste metálica do mesmo tamanho, massa e material. Entretanto, João percebeu que essa haste não era capaz de se alinhar com o campo magnético terrestre. Esta se encontrava em uma situação inerte independentemente da posição do instrumento.

Explique a João qual seria a diferença da agulha original da bússola e a haste metálica que ele substituiu.

Problema 8 A máquina de corrente contínua presente na maleta didática tem seu núcleo magnético laminado. Essa laminação serve para reduzir a intensidade das correntes parasitas geradas quando o motor é ligado em corrente alternada. Assim, é possível reduzir seu aquecimento e aumentar sua eficiência. Quando o motor de corrente contínua, em excitação série, é ligado através de uma fonte de tensão contínua, esse aquecimento no núcleo é pouco expressivo relativamente. Assinale a alternativa correta.

- Em corrente contínua, a ventilação forçada do motor fica mais intensa, removendo mais calor e reduzindo sua temperatura.
- A corrente contínua alinha os domínios magnéticos presentes no material e isso faz com que o motor dissipe menos calor.
- Em corrente alternada, o campo magnético estabelecido dentro do circuito magnético será constante no tempo, desta forma, induzirá correntes parasitas no núcleo, causando aquecimento.
- Quando o campo magnético presente no núcleo magnético do motor é constante no tempo, não há indução eletromagnética, portanto, o motor esquenta relativamente menos.

Apêndice C

Produto Educacional

C.1 Apresentação

Prezado professor, este presente trabalho propõe a construção de uma maleta didática com uma máquina de corrente contínua que visa auxiliar o processo de ensino-aprendizagem dentro da área do eletromagnetismo clássico para o ensino médio.

Este trabalho foi embasado na teoria da aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel. Almeja-se que os alunos consigam aprender de forma significativa e que sejam capazes de transferir esse conhecimento para situações análogas. Para isso, foi trazido questões do cotidiano a fim de aproveitar os conhecimentos prévios que foram desenvolvidos ao longo da vida, possibilitando um refinamento desses subsunçores. Assim, permitindo que o conhecimento científico seja edificado na estrutura cognitiva do aprendiz.

Este produto didático aborda os conceitos de tensão e corrente elétrica, circuitos elétricos, a lei de indução eletromagnética de Faraday e semicondutores.

Inicialmente será apresentado como foi confeccionado a maleta didática para que outros professores de física possam desenvolver o produto e aplicar em suas turmas. E então, as possíveis abordagens utilizando a máquina de corrente contínua. Logo após, será apresentado um manual de procedimentos e propostas de aulas para que as demonstrações ocorram de forma segura.

C.2 Maleta Didática

A maleta didática é constituída por uma caixa retangular e, em seu interior, estão fixadas duas placas de acrílico, a máquina de corrente contínua e um bocal para lâmpadas. Nestas placas, estão embutidos os bornes e a chave de dois estados, conforme mostrado na Figura C.1. Esses bornes são utilizados para facilitar as conexões do circuito através de conectores “banana”.



Figura C.1: Foto da maleta didática.

A fim de se obter uma estética mais agradável, as alimentações elétricas provenientes das fontes de corrente contínua e alternada podem ser feitas através de terminais localizados na lateral direita da maleta didática.

Este produto é desenvolvido em forma de maleta com o intuito de ser prático e móvel. Desta forma, é possível levar o produto para diversas salas de aula, sem grandes dificuldades, mesmo para escolas que não possuam um laboratório disponível para auxiliar os estudantes. Para que as demonstrações possam ocorrer, é necessária a utilização de fontes de tensão contínua e alternada, um multímetro para mensurar os parâmetros elétricos como tensão e corrente elétrica e uma furadeira para servir como máquina primária na operação geradora.

A fonte de tensão contínua utilizada é fabricada pela INSTRUTHERM, modelo FA-3003. Possui uma tensão máxima de 32V e corrente elétrica de 3A, podendo fornecer no máximo 100W de potência. Essa tensão pode ser controlada através de dois seletores (ajuste fino e grosso). Já a fonte de tensão alternada é desenvolvida pela JNG, modelo TDGC2 de 1kVA. Sua tensão pode ser selecionada através do dial que vai de 0V a 140V e corrente elétrica máxima de 8A. A máquina de corrente contínua é fabricada pela Keli Motors, modelo HC5440M127-BD-CCA. Sua tensão nominal é de 127V e corrente de 4,72A, podendo oferecer no máximo 600W. Para demonstração da ação geradora, são utilizadas duas lâmpadas incandescentes de 12V (5W e 40W). A chave de dois estados e o

diodo são utilizados para demonstração do funcionamento de um liquidificador doméstico de duas velocidades, muito comum em domicílios brasileiros.

C.2.1 Passo a passo da construção

A construção da maleta conforme sugerida pelo autor está descrita passo a passo abaixo:

- Elaborar um projeto com desenhos da maleta didática, a fim de observar as dimensões necessárias da caixa e das placas em acrílico, bem como as identificações dos bornes. Uma sugestão desses desenhos está apresentada no final deste guia. (Nesta sugestão, as placas possuem 7mm de espessura e podem ser cortadas à laser. Não é indicado o uso de furadeiras com brocas para realizar os furos, pois estas podem trincar a placa de acrílico, danificando permanentemente o material.);
- Remover a película protetora da placa e inserir os bornes e a chave de dois estados;
- Com auxílio de um alicate de corte, descontinuar os terminais dos enrolamentos de campo e armadura da máquina de corrente contínua;
- Soldar os terminais à condutores de $1,5\text{mm}^2$ e então protegê-los eletricamente com fita isolante;
- Clipar esses condutores com um terminal do tipo “olhal” e então conectar aos respectivos bornes;
- Fixar as placas e a máquina no interior da maleta utilizando chapas metálicas de 90° e parafusos com porcas, comumente encontradas em lojas de marcenaria;
- Realizar o mesmo procedimento para efetuar a ligação do bocal da lâmpada incandescente (40W), o diodo, a chave de dois estados e a lâmpada incandescente de 5W.

C.2.2 Dicas para montagem da maleta

Sugiro que tercerize a montagem da caixa. Leve o desenho 01/03 localizado no final deste trabalho a um marceneiro. Peça que coloque um pistão a gás para auxiliar a abertura e uma alça para transporte. As placas de acrílico devem ser cortadas à laser, portanto, sugiro que encontre uma empresa especializada para fazer isso. Uma sugestão de *layout* está apresentado no final deste guia. Está presente também, no final do guia, etiquetas que podem ser utilizadas para identificação dos bornes referentes ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura, fonte de tensão contínua, fonte de tensão alternada, lâmpada, diodo e a chave de dois estados. Todos os desenhos estão em escala.

C.3 Possíveis abordagens

C.3.1 Conceitos de circuitos elétricos: série e paralelo

Geralmente, quando se trabalha com eletrodinâmica no ensino médio, os conceitos de série e paralelo são limitados à teoria. Sem a atividade prática, o aluno acaba não tendo uma oportunidade de relacionar esses conceitos com a prática.

A Figura C.8 mostra os terminais do enrolamento de campo e enrolamento de armadura e a fonte de tensão contínua presentes no interior da maleta didática. Para realizar a ligação paralela entre os enrolamentos e a fonte de tensão contínua, deve-se ligar o borne 1-3-5 e 2-4-6.

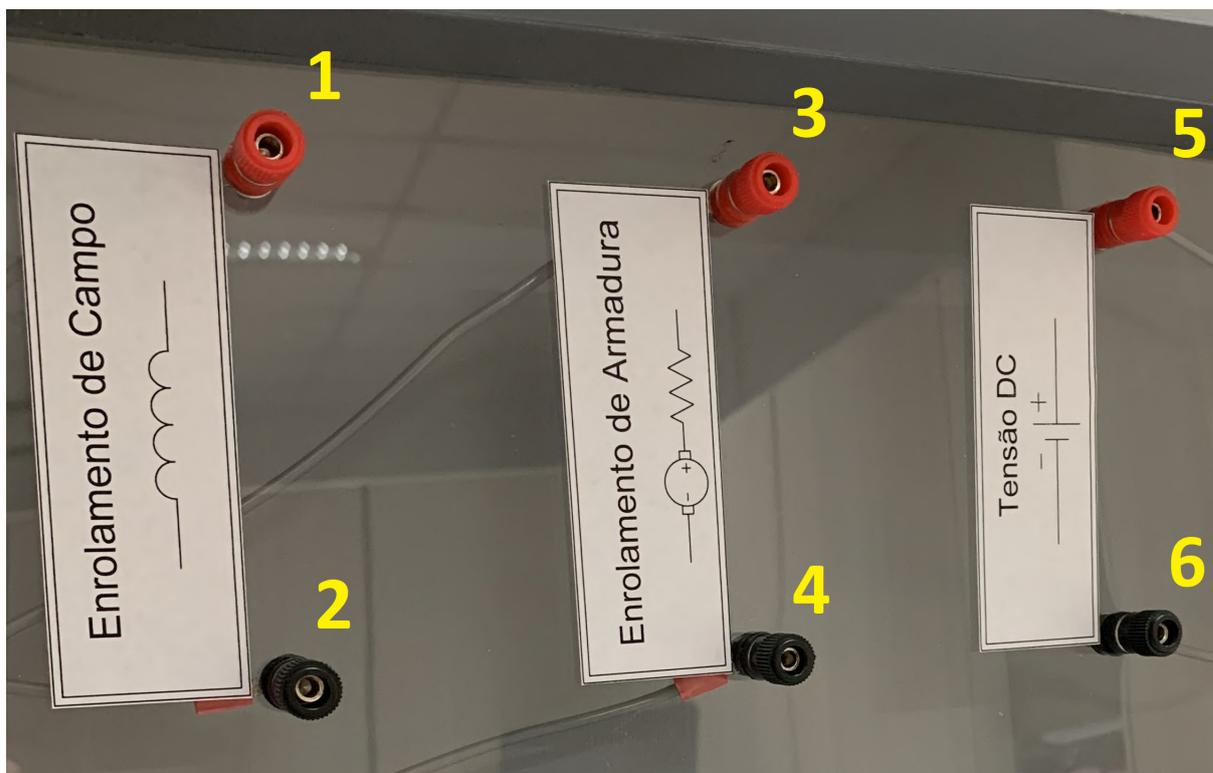


Figura C.2: Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.

Para energizar os enrolamentos do motor em série, ligam-se os terminais 5-3. A corrente flui por dentro do enrolamento da armadura e sai pelo borne 4 e então entra pelo borne 2, segue pelo enrolamento de campo e então sai pelo borne 1 até o outro terminal da fonte de corrente contínua. Essa ligação está demonstrada na Figura C.3.

C.3.2 Utilização do multímetro

É importante o correto manuseio de instrumentos de medição para aferir parâmetros elétricos como tensão e corrente elétrica. O posicionamento incorreto das pontes pode resultar em uma leitura errada ou até mesmo em um incidente.

O voltímetro possui uma resistência interna equivalente muito elevada, na ordem de $10^7 \Omega$ (STOJILOVIC; ISAACS, 2018) e deve ser ligado em paralelo com o ramo o qual se pretende medir a tensão elétrica. Caso esse instrumento seja conectado em série, o observador lerá uma determinada tensão equivocada, além de impossibilitar seu apropriado funcionamento.



Figura C.3: Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.

Já o amperímetro, que possui uma resistência elétrica interna equivalente muito baixa, deve ser conectado em série com o ramo para que uma correta mensuração da corrente elétrica seja realizada. Se esse instrumento for utilizado em paralelo com a fonte de tensão, ocorrerá um curto circuito, comprometendo a segurança do experimento e causando contratempos como a queima de fusíveis.

A utilização do alicate amperímetro também pode ser demonstrada com auxílio desta maleta didática. Este alicate não consegue medir correntes constantes no tempo, pois seu funcionamento depende de indução eletromagnética. O campo magnético emanado pelo condutor deve ser variante no tempo para que haja uma tensão induzida no circuito do multímetro e, posteriormente, traduzido em valores de corrente elétrica. O professor

poderá ligar a máquina em corrente contínua e alternada (discutido na subseção 3.3.5) para comparar as aferições realizadas.

Espera-se que o aluno possa, com auxílio do professor, aprender a manusear os equipamentos de medição e realizar aferições corretas de tensão e corrente elétrica. A lei de indução eletromagnética de Faraday também pode ser explorada tendo em vista a possibilidade de demonstração com o alicate amperímetro.

C.3.3 Tensão elétrica e velocidade de rotação do motor

Na excitação em série, a alteração da tensão de alimentação reflete diretamente na velocidade de rotação do motor. Seu circuito elétrico equivalente está representado na Figura C.4.

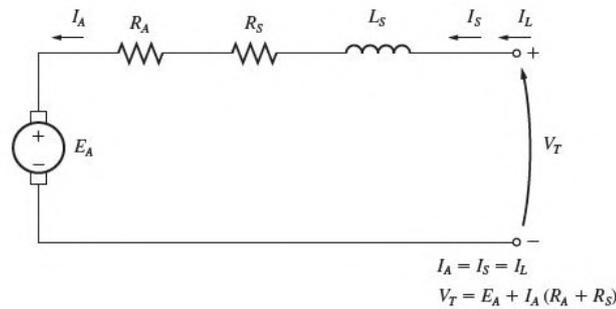


Figura C.4: Circuito elétrico equivalente da máquina de corrente contínua na excitação em série - retirado de (CHAPMAN, 2013).

Onde R_S e L_S representam a resistência e indutância do enrolamento de campo. Já o R_A representa a resistência elétrica do enrolamento de armadura. Esse acréscimo de velocidade devido ao acréscimo de tensão terminal pode ser analisado por uma abordagem qualitativa (CHAPMAN, 2013). Assumindo que o motor não possui carga mecânica útil no eixo (o que é o caso no motor presente na maleta didática), o torque de carga, τ_{carga} , corresponde apenas ao efeito do atrito. Suponhamos que o motor já esteja rodando com velocidade angular constante ($\omega > 0$), então temos que $\tau_{carga} = \tau_{ind}$.

A elevação de V_T implica num aumento da corrente I_L , o que leva a um aumento de torque induzido conforme a seguinte equação,

$$\tau_{ind} = K \phi I_L. \quad (C.1)$$

Esse aumento de τ_{ind} desequilibra a situação $\tau_{carga} = \tau_{ind}$, gerando um torque τ não nulo que provoca uma aceleração angular α a favor do movimento rotacional segundo

$$\tau = I_m \alpha. \quad (C.2)$$

Onde I_m é o momento de inércia dado em $kg.m^2$ e α é a aceleração angular dada em $rad.s^{-2}$. Esta aceleração resulta em um aumento da velocidade de rotação do eixo do motor e, conseqüentemente, aumento da tensão induzida no enrolamento da armadura.

Este fenômeno acontece devido à variação de fluxo magnético que atravessa as espiras do enrolamento do rotor. Essa tensão interna gerada é descrita no circuito elétrico por E_A como

$$E_A = K \phi_B \omega_m, \quad (\text{C.3})$$

onde K é uma constante que depende das características construtivas do motor, ϕ_B é o fluxo magnético dado em *weber* e ω_m é a frequência de rotação dada em rotações por minuto.

O aumento da tensão E_a ajuda a reduzir a corrente I_L . Esta diminuição de corrente I_L reduz o τ_{ind} até que $\tau_{ind} = \tau_{carga}$ estabilizando a rotação ω_m a uma velocidade mais alta.

Essa dinâmica pode ser apresentada aos alunos com auxílio da maleta didática. Através do monitoramento dos parâmetros de tensão e corrente, é possível constatar essas alterações. Com isso, o subsunçor da eletrodinâmica pode ser estimulado, pois aborda-se o assunto de uma forma não convencional, inserido em um contexto prático.

C.3.4 Carga mecânica no eixo do motor e corrente injetada

O motor de corrente contínua apresenta uma reação quando carga mecânica é adicionada ao seu eixo. Essa reação é observada na corrente que o motor solicita.

Para exemplificar esse fenômeno, será utilizado o motor de corrente contínua com o enrolamento de campo e de armadura ligados em série (excitação em série) conforme mostrado na subseção anterior (Figura C.4). A corrente é definida por (CHAPMAN, 2013),

$$I_L = \frac{V_T - E_A}{R_A + R_S}. \quad (\text{C.4})$$

Substituindo a Equação (C.3) em (C.4), temos,

$$I_L = \frac{V_T - K \phi_B \omega_m}{R_A + R_S}. \quad (\text{C.5})$$

Desta forma, pode-se observar que a rotação do motor tem influência na corrente que ele solicita. Quando ω_m diminui, a corrente aumenta e vice-versa. Por exemplo, um motor de 50HP a 250V demanda uma corrente 20 vezes a corrente nominal no momento de sua partida ($\omega_m = 0$) (CHAPMAN, 2013). Esta corrente de partida também é denominada por corrente de rotor bloqueado. Os enrolamentos não são dimensionados para suportar esta corrente por um tempo relativamente grande. No momento de sua partida, essa corrente elevada circula por um breve período de tempo, variando de acordo com a potência nominal do motor e a inércia da carga mecânica acoplada ao seu eixo, mantendo assim a temperatura dos condutores em um nível seguro.

No contexto do liquidificador, essa corrente pode ser superior à corrente nominal em algumas situações. Isso acontece quando são adicionadas cargas mecânicas difíceis de

serem processadas. A corrente elevada causa uma maior dissipação de energia nos condutores, aumentando sua temperatura. Se essa situação é mantida por um tempo razoável, o verniz que envolve os condutores pode carbonizar e liberar um odor de queimado característico. Além disso, o aumento de temperatura pode levar ao derretimento parcial das bobinas do motor resultando potencialmente em uma interrupção do circuito elétrico. Caso isso ocorra, o motor apresentará características de desempenho prejudicadas, ou até mesmo não funcionar.

Na perspectiva do processo de ensino-aprendizagem, esse fenômeno pode auxiliar a aprendizagem do aluno, tendo em vista que existe um certo conhecimento popular sobre a possibilidade do liquidificador queimar quando este opera com sobrecarga mecânica.

É possível demonstrar esse aumento de corrente utilizando a maleta didática. Primeiramente deve-se ligar o motor em uma tensão reduzida (neste caso, é sugerido utilizar 15V), o que implica em um torque induzido também baixo. Desta forma, é possível segurar o eixo do motor com as próprias mãos, simulando um aumento de carga mecânica, sem comprometer a segurança da demonstração. Ainda, com o auxílio de um amperímetro, pode-se visualizar esse aumento na corrente injetada no motor de corrente contínua.

C.3.5 Funcionamento do motor em corrente alternada

Para alterar o sentido de rotação do rotor, é necessária a inversão da corrente no enrolamento da armadura **ou** no enrolamento de campo do motor. Caso o sentido dos dois enrolamentos sejam alterados simultaneamente, o rotor permanecerá com o sentido de rotação inalterado.

Quando o motor é ligado em série, a corrente será a mesma nos dois enrolamentos. Na corrente alternada, a inversão do sentido da corrente acontece para os dois enrolamentos simultaneamente. Desta forma, o sentido do torque permanece inalterado. Seu funcionamento pode ser demonstrado utilizando a maleta didática e a sua velocidade de rotação pode ser controlada através do nível de tensão que se estabelece em seus terminais.

Este motor, quando ligado em série, também é chamado de **motor universal**, pois funciona adequadamente em corrente contínua ou corrente alternada.

C.3.6 Circuito retificador de meia onda

Sabe-se que a redução da tensão eficaz do motor de corrente contínua reduz sua velocidade de rotação. Os liquidificadores domésticos mais comuns possuem duas velocidades de rotação, representados pelas posições 1 e 2. Vale salientar que este motor é conectado à tensão nominal de 127V ou 220V (AC) dependendo da região no Brasil.

A Figura C.5 representa o esquema elétrico utilizado em liquidificadores domésticos. Têm-se, da esquerda para direita, a fonte de tensão alternada, chave de dois estados, o diodo e o motor.

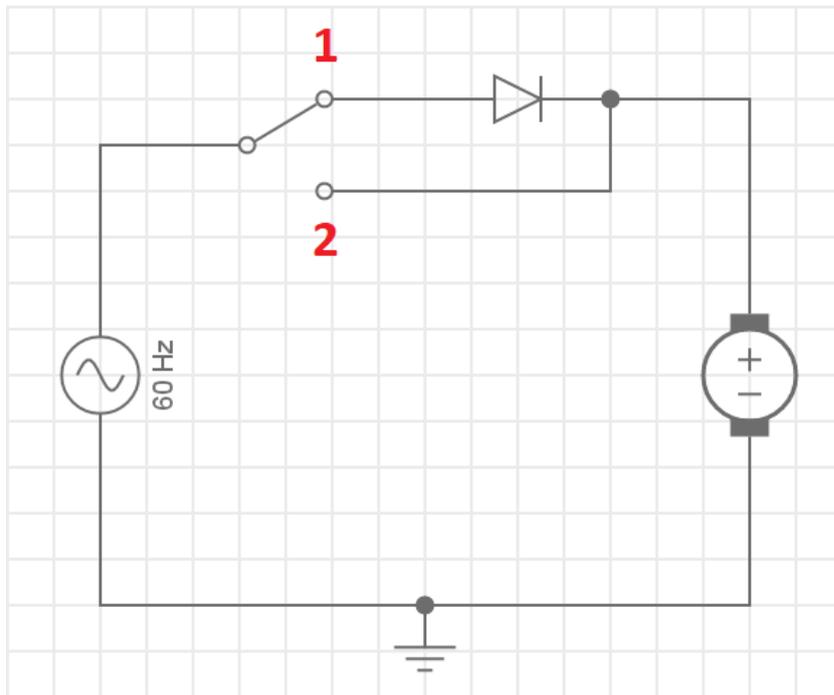


Figura C.5: Circuito elétrico equivalente de um liquidificador doméstico com duas velocidades de rotação.

Quando a chave é colocada na posição 1, o motor é alimentado através de um diodo conforme mostrado na Figura C.5.

O diodo é um dispositivo eletrônico geralmente composto por silício dopado com boro e fósforo que, resumidamente, permite a passagem de corrente apenas em um sentido (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2012). Quando é inversamente polarizado, este apresenta resistência elétrica equivalente muito elevada. Desta forma, o motor fica submetido a uma tensão eficaz inferior em comparação à ligação direta, sem diodo. Este circuito que utiliza o diodo para reduzir a tensão eficaz na carga também é denominado circuito retificador de meia onda.

Na posição 2, o motor é ligado em tensão nominal, o que acarreta uma maior velocidade de rotação e maior potência mecânica desenvolvida.

C.3.7 Correntes parasitas

Como visto na subseção C.3.5, este motor também pode trabalhar com corrente alternada. Na excitação em série, a corrente que flui no motor é a mesma tanto no enrolamento de campo, quanto no enrolamento de armadura. Esta corrente oscilará de acordo com a frequência da fonte de tensão. No Brasil, esta frequência é 60Hz .

A corrente alternada que flui no enrolamento de campo induzirá um campo magnético também alternado no circuito magnético do motor. Sabe-se que um campo magnético que varia no tempo gera um campo elétrico que varia no espaço conforme a seguinte equação de Maxwell,

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}. \quad (\text{C.6})$$

O estator dessa máquina é composto por ligas metálicas, nas quais os elétrons da camada de valência acabam por se desvincular do núcleo, ficando livres. Quando este campo elétrico age sobre esses elétrons livres, há a aparição da seguinte força elétrica,

$$\vec{F} = Q \vec{E}. \quad (\text{C.7})$$

Os elétrons então começam a circular de forma ordenada no núcleo magnético (rotor e estator) do motor, provocando aquecimento. Este processo é irreversível, diminuindo o rendimento e limitando a potência mecânica desenvolvida pela máquina.

No ensino médio, essas correntes induzidas podem ser explicadas através da lei de indução eletromagnética de Faraday,

$$Fem = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (\text{C.8})$$

onde Fem é a força eletromotriz dada em Volts, e $\frac{d\Phi}{dt}$ é a variação de fluxo magnético no tempo. Esse potencial elétrico presente nas chapas metálicas do motor geram corrente conforme a primeira lei de Ohm.

A laminação do núcleo magnético de máquinas elétricas, como motores e transformadores, diminui a intensidade da corrente parasita, acarretando menos perdas e elevando seu rendimento (AGARWAL, 1959). Essas correntes também são chamadas de correntes de Foucault. Desta forma, a corrente circulante fica suprimida, pois como há menos espaço para sua circulação, a mesma observa uma resistência elétrica equivalente maior, diminuindo a intensidade da corrente elétrica e conseqüentemente sua potência dissipada.

É possível observar este efeito utilizando a maleta didática. Ligando o motor no mesmo nível de tensão em corrente contínua e em corrente alternada verifica-se uma maior temperatura, em regime permanente, quando este é ligado em tensão alternada.

C.3.8 Campo magnético residual

Os átomos de materiais ferromagnéticos apresentam uma característica reativa quando expostos a campos magnéticos externos. Os elétrons desemparelhados sofrem torque e tendem a se alinhar com o campo magnético. Isso pode ser observado no funcionamento de bússolas. A agulha móvel precisa necessariamente estar imantada, ou seja, possuir um campo magnético interno para interagir com o campo magnético terrestre e indicar a direção magnética.

Em um outro exemplo, pode-se observar essa situação quando se coloca um ímã na caixa de ferramentas, próximo a chave de fenda. A chave de fenda se torna imantada e pode assim auxiliar a execução de trabalhos com parafusos.

Essa magnetização perdura por um certo tempo mesmo que a fonte de campo magnético seja removida. Essa magnetização diminui com o aumento da temperatura do material e eventuais choques mecânicos nele aplicado. Essa característica se deve ao chamado campo magnético residual ($\vec{B}_{residual}$). Esse fenômeno pode ser observado com a

utilização da maleta didática com a máquina funcionando no modo motor ou gerador.

Na função motor, deve-se ligar o enrolamento de campo com uma tensão contínua por alguns segundos. A corrente que fluirá pelo enrolamento será contínua, assim como seu campo magnético. Esse campo fará com que os momentos magnéticos dos átomos presentes no núcleo magnético da máquina também sejam alinhados. Cessa-se a alimentação elétrica do enrolamento de campo, levando sua corrente elétrica a zero. Entretanto, devido à questão inercial, o material ferromagnético que compõe o núcleo continua magnetizado com o $\vec{B}_{residual}$. Quando o enrolamento de armadura é alimentado com tensão contínua, é possível observar uma aceleração angular de seu eixo, implicando que o campo magnético no interior do motor seja necessariamente diferente de zero.

Na função geradora, em vez de alimentar o enrolamento de armadura, devemos conectar um voltímetro em seus terminais na menor escala. Ao rotacionar manualmente o eixo da máquina, pode-se observar uma pequena tensão induzida.

C.3.9 Função geradora

A máquina de corrente contínua pode ser utilizada como motor ou gerador. Vale salientar que não é necessária nenhuma alteração construtiva da máquina para isso. Basta observar o fluxo de potência, isto é, quando fornecemos alimentação elétrica a máquina nos fornece potência mecânica (motor). Quando fornecemos potência mecânica no eixo, podemos extrair uma tensão nos enrolamentos da armadura.

Pode ser demonstrado, através do uso da maleta didática, a função geradora da máquina de corrente contínua. Energiza-se o enrolamento de campo, gerando corrente elétrica e, conseqüentemente, campo magnético que permeará o rotor da máquina. Utilizando uma furadeira como máquina primária, podemos acoplá-la mecanicamente ao eixo da máquina através do mandril. Ao acionarmos a furadeira, o enrolamento de armadura também rotaciona dentro do campo magnético. Isso faz com que a variação de fluxo magnético no tempo seja diferente de zero, gerando uma tensão nos enrolamentos da armadura. Para uma visualização melhor por parte dos alunos, esse enrolamento de armadura é conectado a uma lâmpada incandescente de pequeno porte. É possível observar a relação direta entre a velocidade de rotação e a intensidade luminosa emitida pela lâmpada.

C.4 Sequência Didática

Será apresentado nessa seção algumas sugestões para abordagens no ensino do eletromagnetismo para o nível médio utilizando a máquina de corrente contínua. A duração das aulas depende do professor e da turma. Turmas que possuem mais dificuldades, provavelmente demandarão mais tempo para ter uma assimilação melhor. Nessas turmas, podem haver mais dúvidas e o professor despenderá mais tempo para saná-las. Caso seja uma turma com desempenho acadêmico superior, pode ser que essas atividades fluam melhor.

Portanto, as aulas apresentadas a seguir terão um tempo de aplicação sugerido de 60 a 90 minutos.

Para a realização das demonstrações práticas, alguns equipamentos e dispositivos serão necessários, são eles:

1. Máquina de corrente contínua (127V ou 220V com 600W);
2. Fonte de tensão contínua (Tensão variável de 0 a 30V)
3. Fonte de tensão alternada (Tensão variável de 0 a 100V);
4. Chave de dois estados;
5. Diodo (Tensão 220V e 2A);
6. Multímetro;
7. Alicates amperímetro;
8. Lâmpada incandescente de 12V (5W);
9. Furadeira.

Atenção! Nunca ligar o motor de corrente contínua em sua tensão nominal (127V ou 220V) sem carga mecânica. Esta máquina pode chegar a velocidades de rotações altíssimas e pode eventualmente danificar o enrolamento da armadura devido à força centrífuga. Para efeito de demonstração, tensões de no máximo 30V são suficientes. Desta forma, as demonstrações podem ocorrer de maneira segura.

C.4.1 Aula 1

Força elétrica e força magnética

Nesta aula é importante que o professor diferencie essas duas forças. Interessante salientar sobre a direção e sentido da força e do campo elétrico. Caso seja uma carga negativa, o que altera? Comentar sobre o sentido da força. Instigá-los a pensar sobre o surgimento desse campo elétrico e se possível, inserir o contexto real, mencionando um capacitor carregado. Executar um exercício onde uma carga seja arremessada dentro de um campo elétrico e debater sobre sua trajetória e sua variação de energia cinética.

No caso do campo magnético, o professor deve enfatizar a questão da direção da força magnética, que se difere da força elétrica. Neste caso, a força não fica na mesma direção do campo. Aliás, esta força é estabelecida de forma perpendicular ao plano que contém o vetor velocidade \vec{v} da carga e o vetor campo magnético \vec{B} . Para isso, seria interessante comentar brevemente sobre o produto vetorial e ensiná-los sobre a regra da mão direita ou a regra do “tapa”. O fato do vetor força \vec{F} , e conseqüentemente aceleração \vec{a} , aparecer sempre perpendicular ao movimento da carga implica em um fato importante: o módulo

do vetor velocidade \vec{v} permanece sempre constante. O vetor aceleração apenas descreve a mudança de direção do vetor velocidade da carga. Desta forma, não há variação de energia cinética na carga. Outra informação importante é sobre a inexistência de força magnética quando a carga se movimenta na mesma direção do campo magnético, seja no mesmo sentido ou sentido oposto. Se houver tempo, mostrar o vídeo conforme mostrado na figura C.6 que trata sobre a ação do campo magnético sobre um tubo de raios catódicos.



Figura C.6: Captura de tela do vídeo *Magnetic Forces and Magnetic Fields* - retirado de <https://youtu.be/RqSode4HZrE>.

Caso queira utilizar algum sistema de enquetes online, seja pelo *Telegram* ou outro *website*, segue alguns exemplos de perguntas:

- A energia cinética de uma carga elétrica varia quando estiver dentro de um campo elétrico. Certo ou Errado?
- A direção da força elétrica fica na mesma direção que o campo elétrico em uma carga dentro deste campo. Certo ou Errado?
- Quanto mais rápido uma carga atravessar um campo magnético, maior será a força magnética nela incidente. Certo ou Errado?
- Quanto mais intenso for o campo magnético, maior será a força incidente na carga. Certo ou Errado?
- Uma carga que atravessa um campo magnético necessariamente perceberá força. Certo ou Errado?
- A energia cinética de uma carga que corre dentro de um campo magnético sempre varia. Certo ou Errado?

C.4.2 Aula 2

Princípio de funcionamento do motor de corrente contínua e aspectos construtivos

Nesta aula, é interessante que o docente explique o princípio de funcionamento do motor e seus aspectos construtivos com auxílio de um vídeo. O recomendado é utilizar o vídeo apresentado na figura C.7.

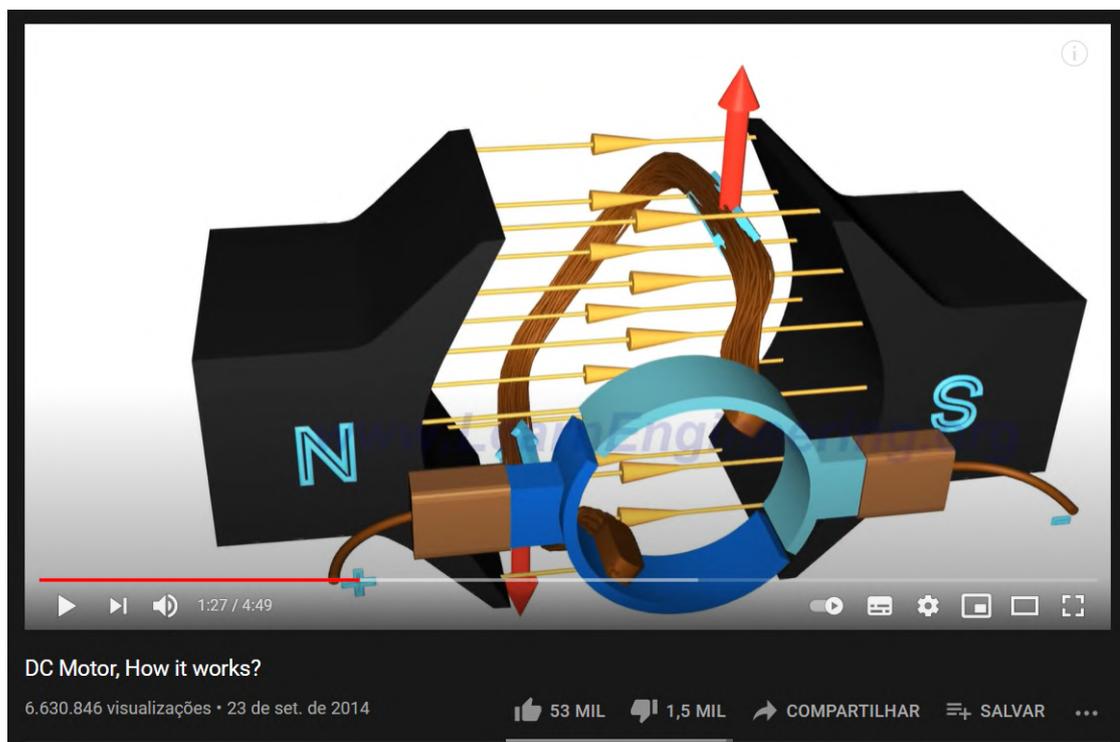


Figura C.7: Captura de tela do vídeo *DC Motor, How it works?* - Disponível em: <https://youtu.be/LAtPHANefQo>.

Não esqueça de falar sobre o enrolamento de armadura, presente no rotor do motor, e o enrolamento de campo, presente no estator da máquina. Alguns motores funcionam com ímã permanente, não necessitando do enrolamento de campo.

Muito importante salientar a importância do anel comutador para esse tipo de máquina. Sem ele, não seria possível o funcionamento contínuo. Enfatizar também a necessidade das escovas e suas desvantagens como as manutenções que devem ser realizadas com frequência devido ao desgaste provocado pelo atrito dessas com o anel comutador.

C.4.3 Aula 3

Circuitos série e paralelo

Com os enrolamentos disponíveis para a ligação, é possível realizar a ligação série e paralelo do motor.

A Figura C.8 mostra os terminais do enrolamento de campo e enrolamento de armadura e a fonte de tensão contínua presentes no interior da maleta didática. Para realizar a

ligação paralela entres os enrolamentos e a fonte de tensão contínua, deve-se ligar o borne 1-3-5 e 2-4-6 conforme mostrado na figura C.9.

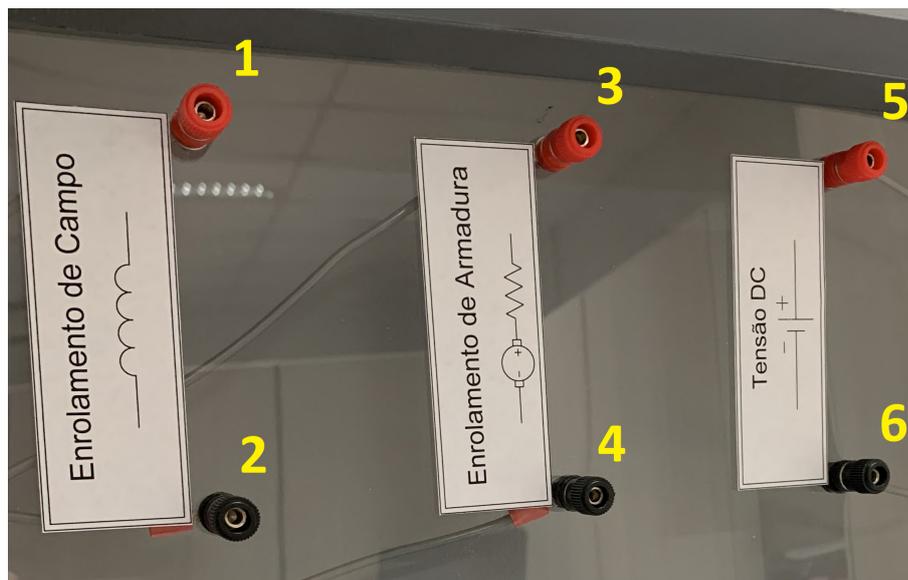


Figura C.8: Bornes relativos ao enrolamento de campo, enrolamento de armadura e da fonte de corrente contínua.



Figura C.9: Conexão paralela dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.

Para energizar os enrolamentos do motor em série, ligam-se os terminais 5-3. A corrente flui por dentro do enrolamento da armadura e sai pelo borne 4 e então entra pelo borne 2, segue pelo enrolamento de campo e então sai pelo borne 1 até o outro terminal da fonte de corrente contínua. Essa ligação está demonstrada na Figura C.10.



Figura C.10: Conexão série dos enrolamentos da armadura e de campo do motor alimentados pela fonte de corrente contínua.

Aqui é possível, com auxílio da lousa, desenhar o circuito elétrico equivalente dos enrolamentos e a fonte de tensão. No caso, da ligação série, é possível debater acerca da lei de Kirchhoff das malhas. Pois a tensão da fonte será dividida entre os enrolamentos. Na ligação paralelo, é possível debater sobre a lei de Kirchhoff dos nós. O procedimento para medir esses parâmetros elétricos serão discutidos no próximo tópico.

Medições com multímetro

Para realizar as medições, é necessário se atentar à ligação do instrumento ao circuito elétrico. Para medir a tensão elétrica, o multímetro deve estar com sua chave selecionada na tensão em escala apropriada. E então, os terminais do multímetro devem ser colocados em paralelo com o ramo que se pretende medir conforme mostrado na figura C.11.

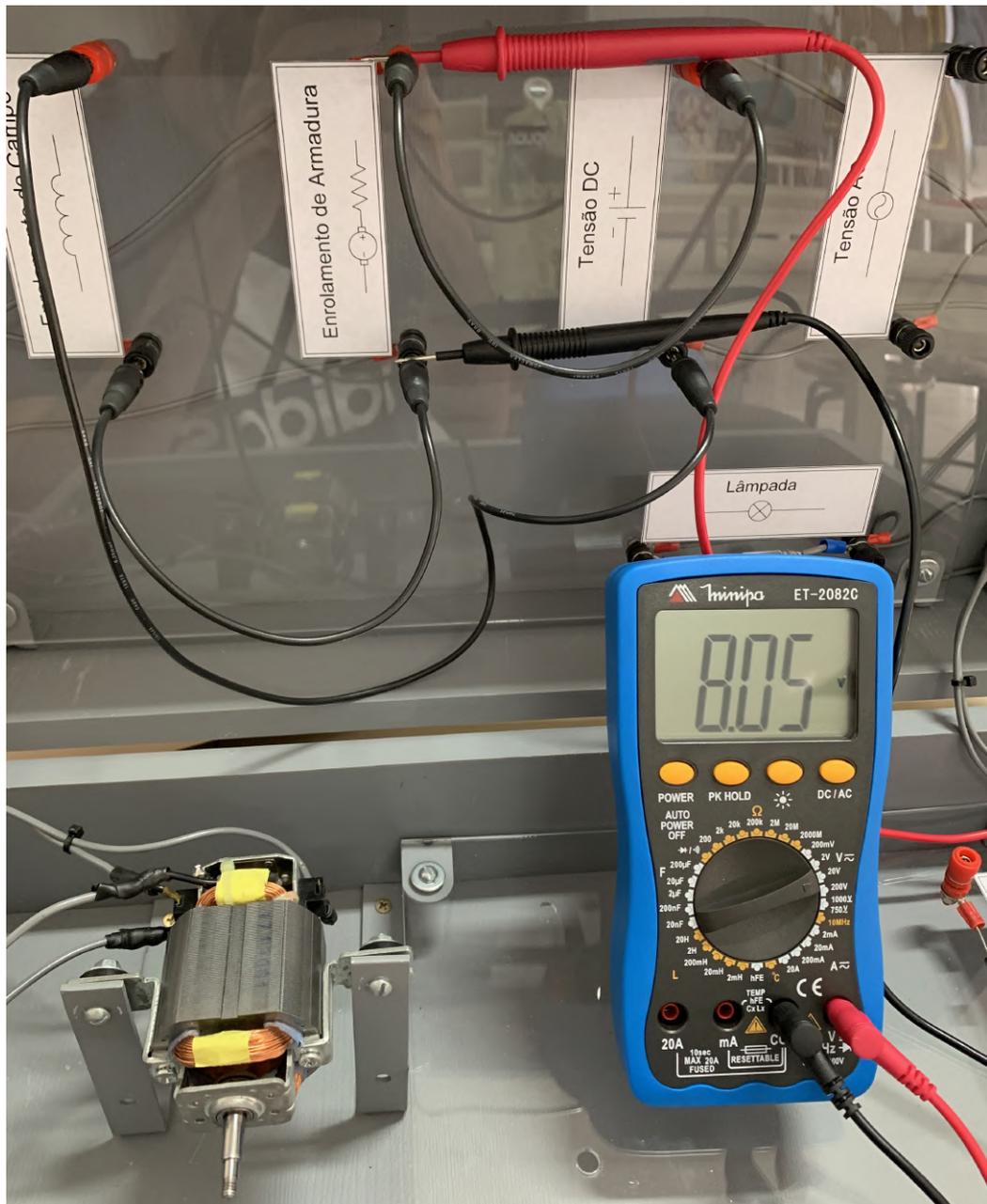


Figura C.11: Medição da tensão interna gerada do enrolamento da armadura.

Caso seja colocado em série com o ramo, o motor pode não funcionar corretamente tendo em vista que não haverá corrente circulante por esse ramo, pois o voltímetro possui uma alta resistência equivalente.

Para medir a corrente, o multímetro deve estar com sua chave selecionada em corrente elétrica e sua escala deve ser observada. A fim de se ter uma correta leitura da corrente elétrica naquele determinado ramo, o amperímetro deve ser colocado em série. Uma maneira interessante é remover o cabo banana e substituí-lo pelos terminais do amperímetro, desta forma a corrente será forçada a passar integralmente por dentro do equipamento de medição conforme mostrado na figura C.12.

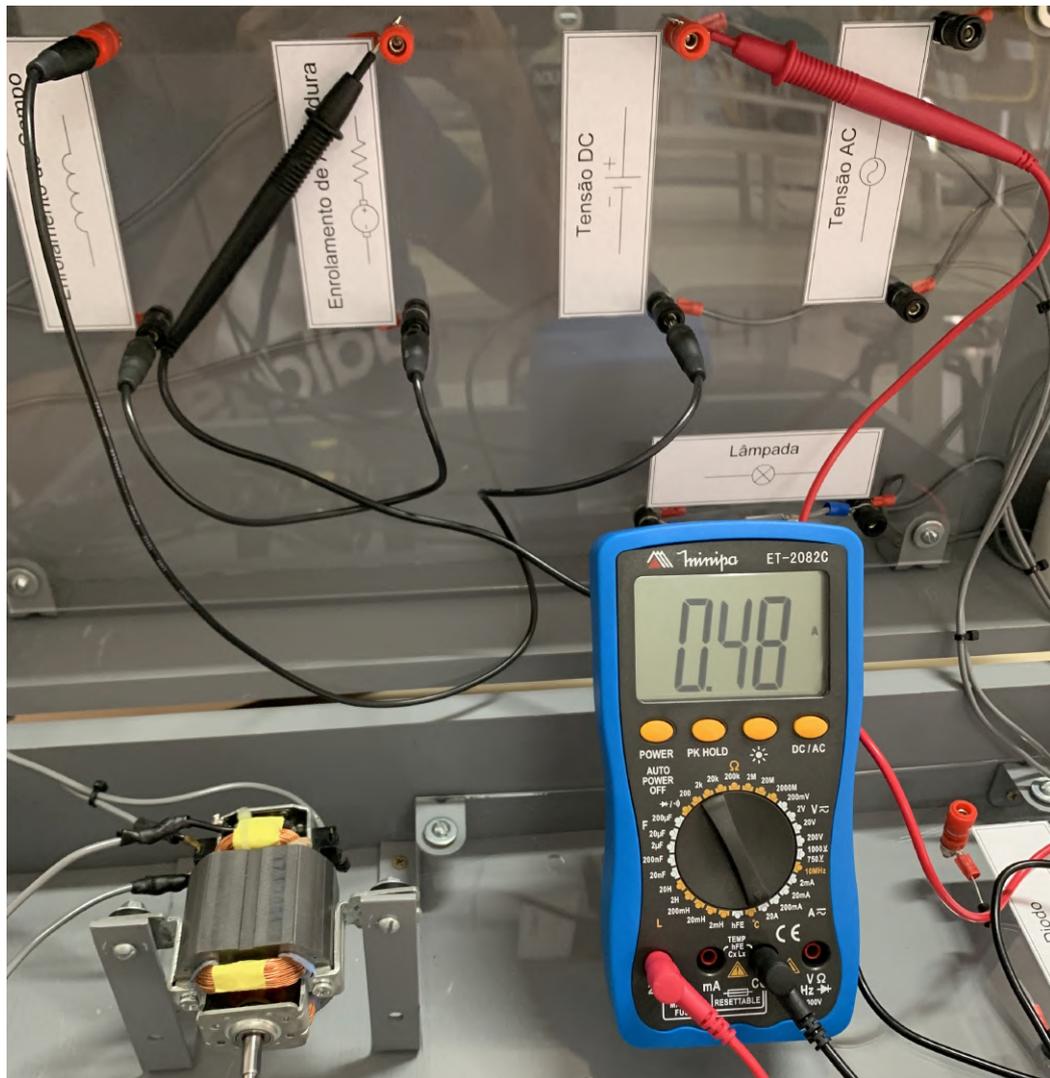


Figura C.12: Medição da corrente elétrica do circuito.

Importante salientar que o instrumento de medição precisa estar ajustado para ler corrente contínua ou corrente alternada.

Para utilizar corretamente o alicate amperímetro, a primeira condição a ser satisfeita é a existência de corrente alternada no circuito. Como este equipamento tem seu princípio de funcionamento pautado na lei de indução eletromagnética de Faraday, é condição *sine qua non* que a corrente seja variante no tempo para haver medição. Para realizar a leitura, o alicate amperímetro deve envolver o condutor do ramo em questão conforme mostrado na figura C.13.

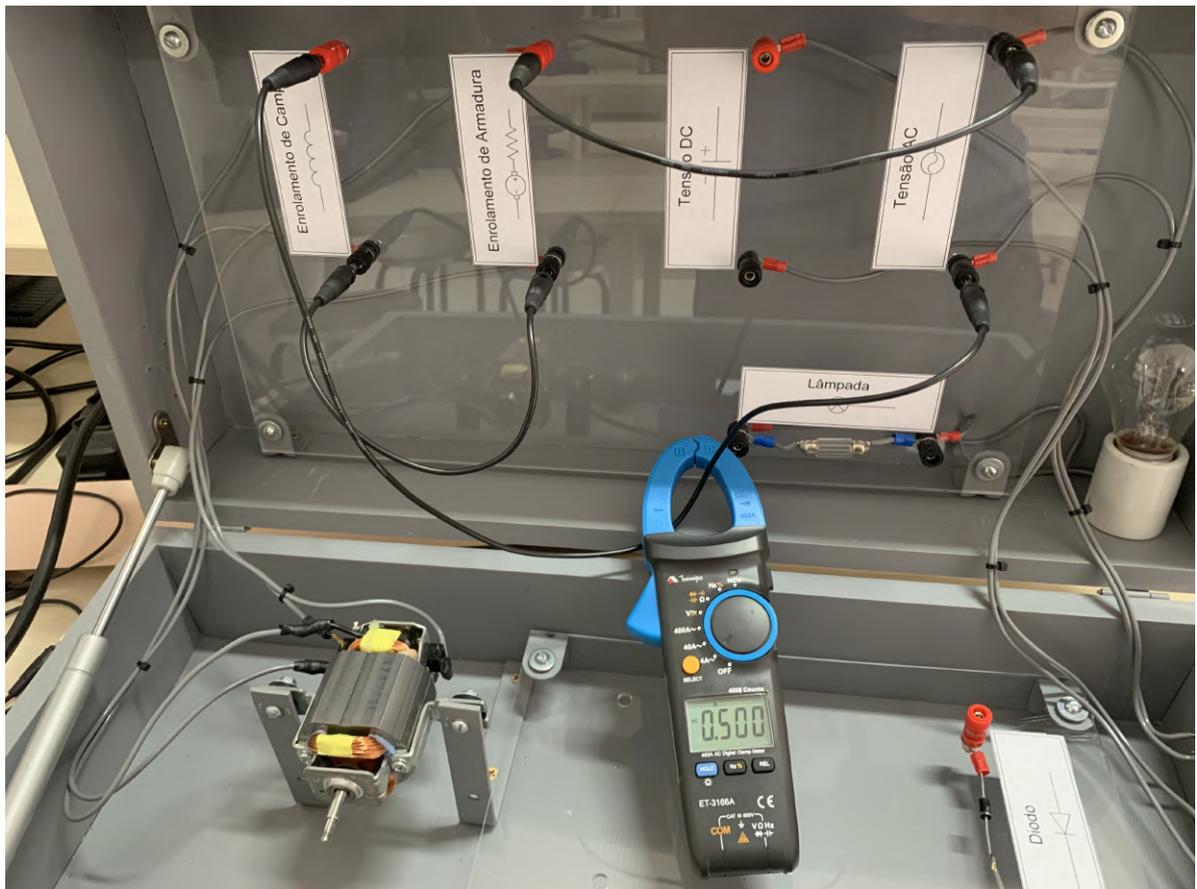


Figura C.13: Medição da corrente elétrica pelo alicate amperímetro.

Importante também salientar que se o alicate envolver dois condutores que possuem a mesma corrente em sentidos opostos, o fluxo magnético resultante no interior do alicate será nulo e não haverá indução. Portanto, a corrente mensurada será igual a zero conforme mostrado na figura C.14.



Figura C.14: Medição da corrente elétrica pelo alicate amperímetro.

Tensão e velocidade de rotação

Ligue o motor de corrente contínua na excitação série. Conecte este à fonte de tensão contínua primeiramente com sua tensão zerada. Vá aumentando a tensão gradualmente. Com pouca tensão, a potência elétrica fornecida será baixa. Podendo não ser suficiente para gerar um torque induzido superior ao torque de carga (atrito). Desta forma, o motor continuará parado. Ressaltar aos alunos que, neste momento, o torque de carga não será maior que o torque induzido, será igual. Caso o torque de carga fosse maior, o motor aceleraria no sentido contrário violando o princípio de conservação da energia.

A partir de uma determinada tensão, o torque induzido começa a ser maior que o torque de carga e o motor acelera. Discuta sobre os parâmetros elétricos e mecânicos envolvidos nessa aceleração e desaceleração conforme a seção C.3.3.

C.4.4 Aula 4

Carga mecânica e corrente injetada

Coloque o motor de corrente contínua na configuração série e alimente-o com a fonte de tensão contínua. Comece em 0V e vá aumentando até chegar na tensão suficiente para fazer o motor rodar, a menor possível. Dessa forma, o torque, a velocidade de rotação e,

consequentemente, a potência mecânica será reduzida. Desta forma, a demonstração será mais segura. Caso a fonte de tensão contínua tenha um amperímetro embutido, não será necessária a instalação de outro amperímetro.

Com as mãos, segure o eixo do motor. Aperte-o com os dedos, simulando um torque de carga. Caso prefira não utilizar a mão, é possível pressionar com um alicate. Se o torque de carga for maior que o torque induzido, haverá uma desaceleração do eixo do motor. Neste momento, é possível observar, através do amperímetro, uma maior corrente injetada pela fonte. Devido a menor tensão interna gerada nos enrolamentos da armadura. Inclusive, é possível medir essa queda na tensão conforme mostrado na figura C.15.

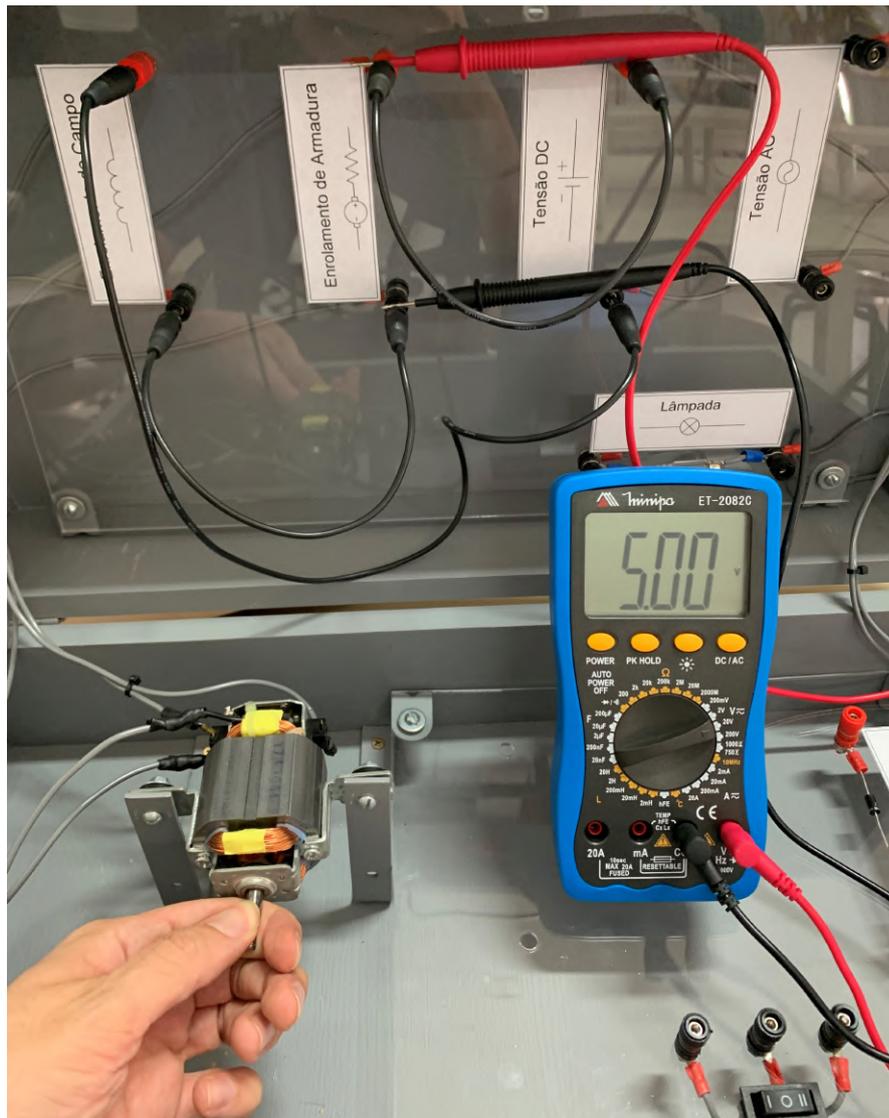


Figura C.15: Redução na tensão interna gerada ao simular a inserção de torque de carga. A tensão com o eixo livre era de 8.05V conforme mostrado na figura C.11.

Explique aos alunos que isso acontece também quando um liquidificador funciona com uma carga mecânica elevada. Porém, no caso do liquidificador, deve-se ressaltar que este se encontra em tensão nominal (127V ou 220V) e, portanto, este efeito é amplificado. A corrente nessa situação se torna exorbitante, maior que os condutores podem suportar.

Caso perdure por muito tempo, os condutores se aquecem excessivamente, devido ao efeito joule, e podem se romper, danificando o motor.

Funcionamento do motor em corrente alternada

Ligar os enrolamentos de campo e armadura em série e então ligá-los com a fonte de tensão alternada. Na corrente alternada, a inversão do sentido da corrente acontece para os dois enrolamentos simultaneamente. Desta forma, o sentido do torque permanece inalterado. Mantendo a rotação deste motor. Para inverter o sentido de rotação do motor, é necessário inverter a alimentação do enrolamento de campo ou enrolamento de armadura no circuito série. Caso seja invertido apenas a alimentação da fonte, mantendo a alimentação das bobinas, o motor não terá seu sentido alterado.

Explicar que este motor, quando ligado em série, também é chamado de **motor universal**, pois funciona adequadamente em corrente contínua ou corrente alternada.

Circuito retificador de meia onda

Para essa demonstração, é necessário que o motor seja ligado em corrente alternada, portanto, deve ser ligado em série. Importante ressaltar aos alunos que esse esquema é realizado em liquidificadores simples de duas velocidades.

Na demonstração, efetuar a ligação mostrada na figura C.16.

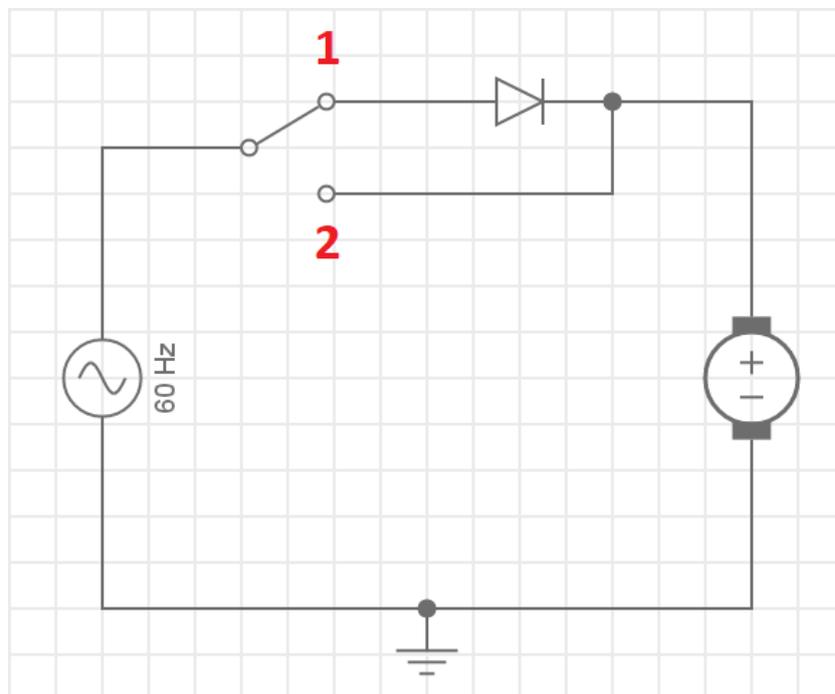


Figura C.16: Circuito elétrico equivalente de um liquidificador de duas velocidades.

Ajuste a fonte para que forneça em torno de 30V. A chave de dois estados controlará a potência mecânica desenvolvida pelo motor. Caso o motor seja alimentado através do diodo, sua velocidade de rotação será baixa. Caso seja ligado de forma direta, ele rodará mais rápido. A ligação deste circuito está apresentada na figura C.17

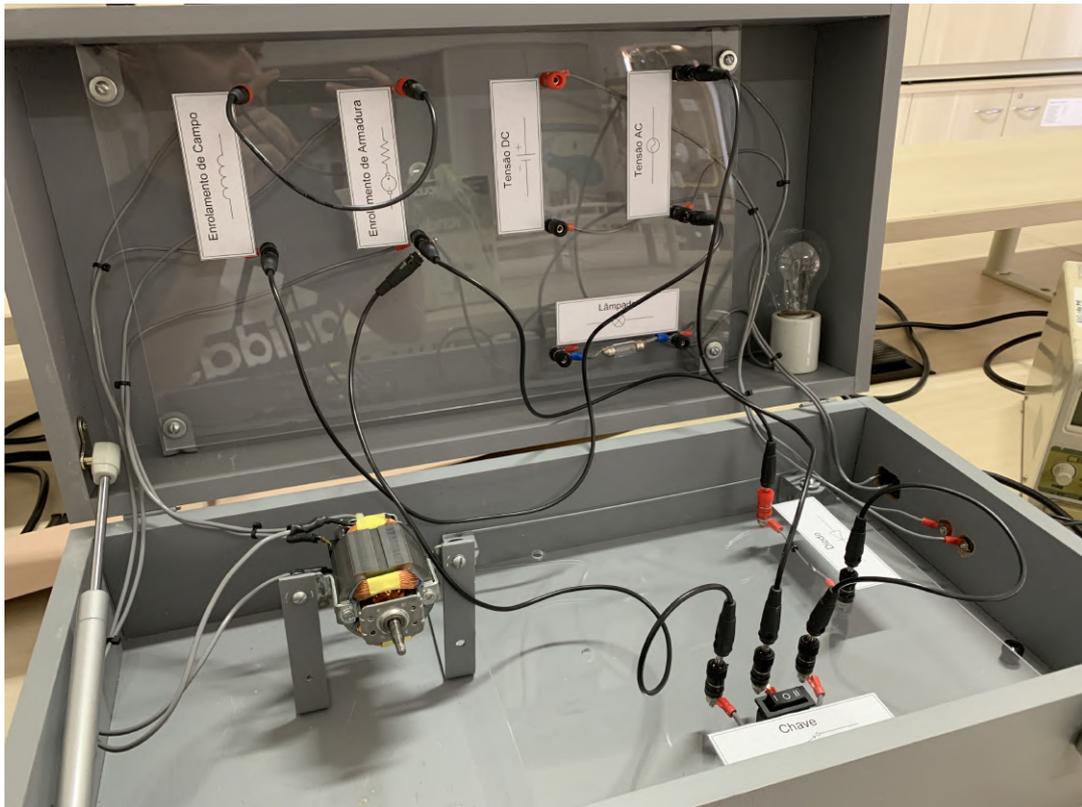


Figura C.17: Circuito elétrico de um liquidificador de duas velocidades.

C.4.5 Aula 5

Correntes parasitas

Essas correntes aparecem quando o campo magnético presente no núcleo magnético da máquina é variante no tempo, conforme já explicado. Na demonstração, o professor primeiramente deve ligar o enrolamentos de campo e enrolamento de armadura em série. E então ligar o motor em 30V em corrente contínua e deixar ele rodando por 10 minutos. Desligue o motor e sinta a temperatura do núcleo magnético com as mãos. Ele estará próximo a temperatura ambiente. haverá um certo aquecimento, pois os enrolamentos irão esquentar devido a corrente que circulará por eles e então o calor será transferido por condução ao núcleo magnético. Explique aos alunos que não há emissão de calor por parte do núcleo magnético. Espere alguns minutos para que a temperatura volte a a temperatura ambiente.

Então, ligue o motor em corrente alternada na mesma tensão e espere por 3 minutos. Logo em seguida, desligue o motor e encoste novamente no núcleo magnético dele. A temperatura percebida será mais alta comparada ao funcionamento em corrente contínua. Explique o motivo desse maior aquecimento. Cite a lei de indução eletromagnética de Faraday e as correntes parasitas. Ressalte a importância da laminação do núcleo magnético para reduzir essas correntes induzidas. Na confecção deste material, é adicionado impurezas que prejudicam sua característica elétrica, tornando-o mais resistivo, colaborando com a redução das correntes parasitas.

Neste experimento, seria interessante possuir um termômetro digital por infravermelho para medir a temperatura e mostrar ao alunos mais facilmente. Entretanto, caso não tenha, utilize o tato.

Campo magnético residual

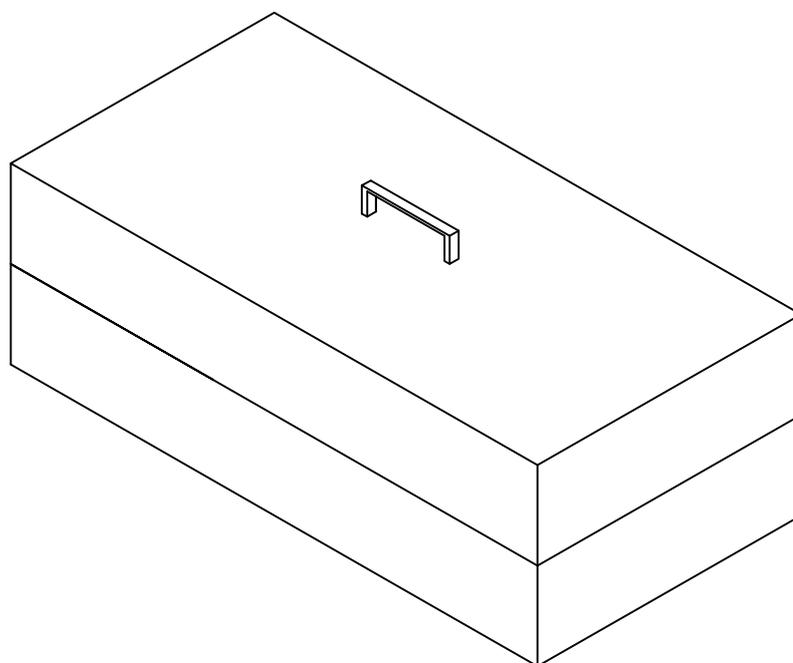
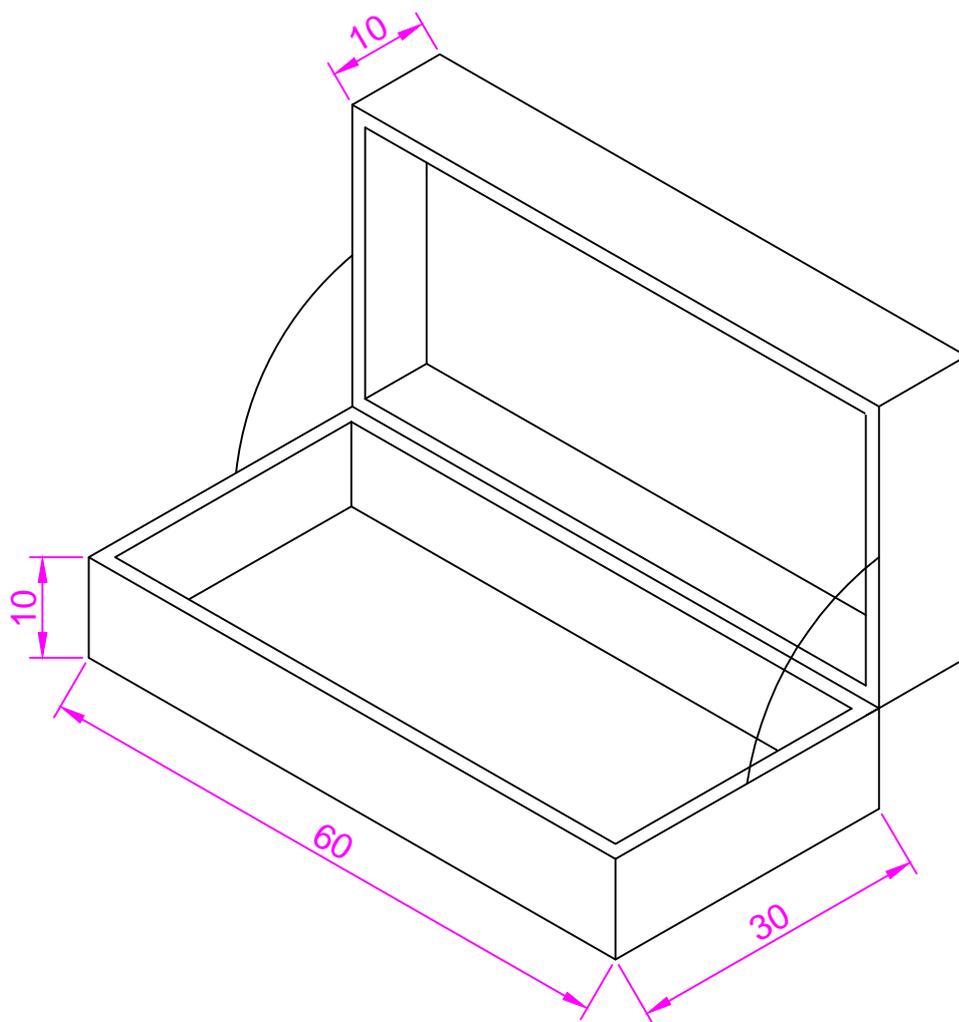
O professor poderá mostrar esse fenômeno com a ação motora e ação geradora da máquina. Neste experimento, você deve ligar o enrolamento de campo em corrente contínua. Insira 2,5A neste enrolamento e espere uns 30 segundos. Desligue a fonte. Na ação motora, com o enrolamento de campo desligado, ligue a fonte de corrente contínua no enrolamento da armadura. O motor pode iniciar a rotação. Caso não se movimente no primeiro momento, rode o eixo com a mão, fornecendo-o um pequeno torque de partida. E então o motor começará a se movimentar sozinho. Na ação geradora, depois de energizar o enrolamento de campo por 30 segundos, ligue um voltímetro na escala de milivolts e posicione seus terminais no enrolamento de armadura. Rode o eixo da máquina com as mãos e observe no display do voltímetro uma pequena tensão induzida.

Caso utilize o sistema de enquetes, segue algumas perguntas a serem realizadas antes da demonstração:

- O motor será capaz de funcionar sem a alimentação no enrolamento de campo?
- Ao rotacionar o eixo da máquina, haverá tensão induzida nos enrolamentos de armadura?
- (depois da demonstração, pergunte) Há campo magnético residual no núcleo magnético da máquina?

Função geradora

Nesta demonstração, é necessário energizar o enrolamento de campo com 2,5A. Ligue o enrolamento de armadura com a lâmpada incandescente. Neste caso, é preferível utilizar uma lâmpada de baixa potência e baixa tensão nominal, caso contrário, o brilho será pouco expressivo. Acople mecanicamente o mandril da furadeira no eixo da máquina e acione-a. Observe o brilho que surgirá na lâmpada. Explique a lei de indução eletromagnética de Faraday. Relacione a velocidade de rotação com o brilho da lâmpada, quanto mais rápido, maior a tensão induzida e, conseqüentemente, maior o brilho.



TÍTULO: Dimensões da Maleta

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Murilo Araujo Santos

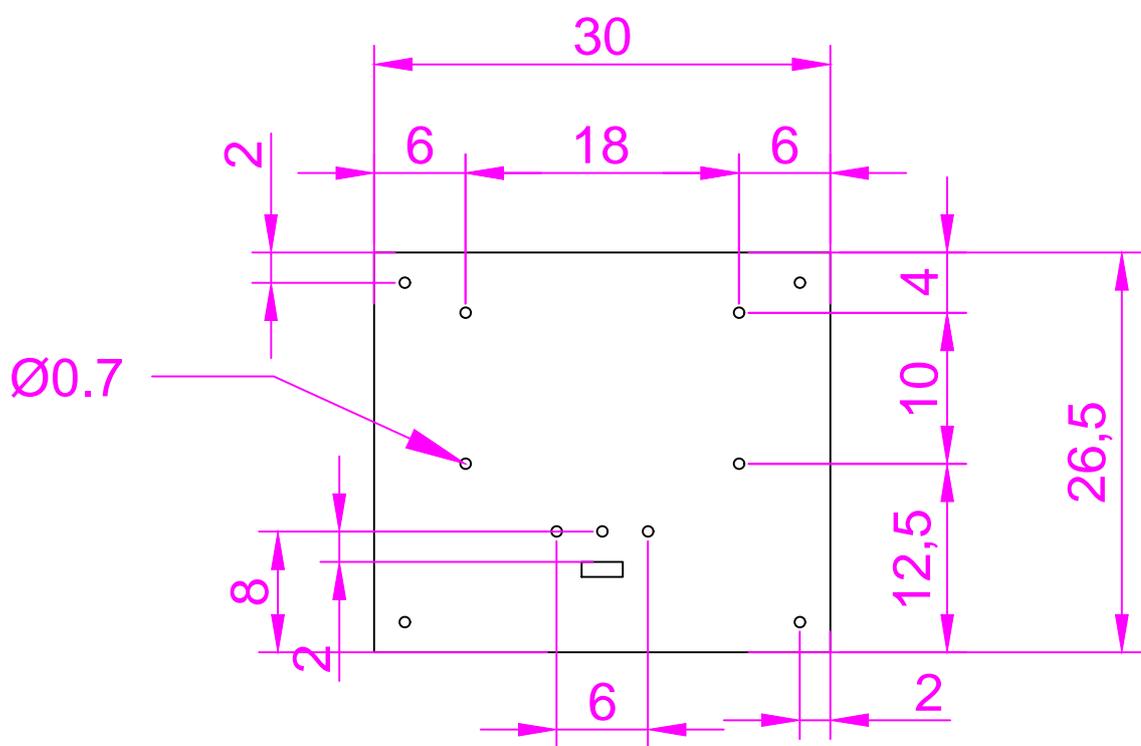
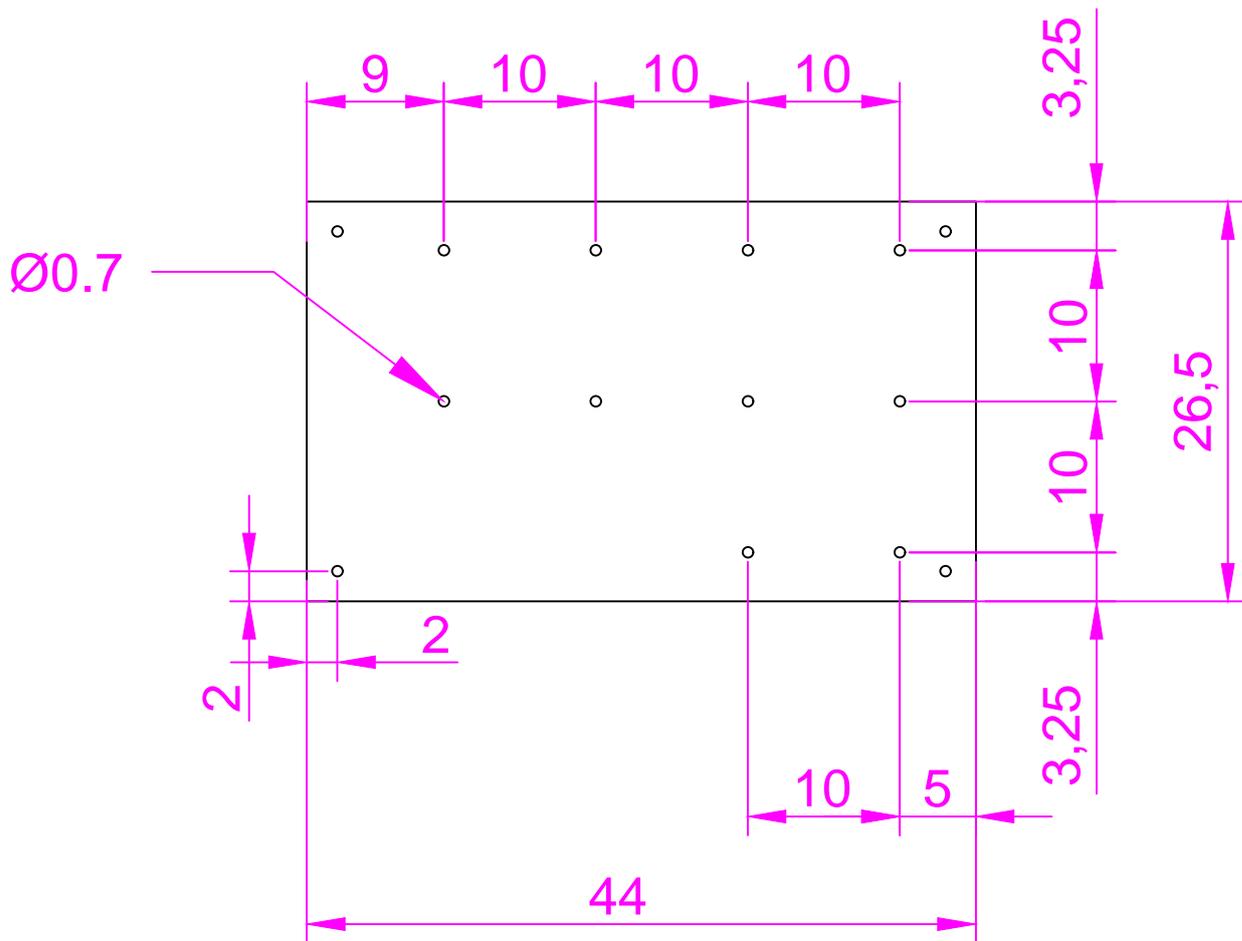
ASSUNTO: Produto Educacional

ESCALA: 1:75

FOLHA: 01/03

UNIDADES EM: Centímetros

DATA: 15/06/21



TÍTULO: Dimensões das Placas de Acrílico

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Murilo Araujo Santos

ASSUNTO: Produto Educacional

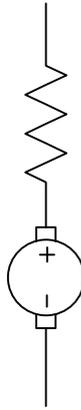
ESCALA: 1:50

FOLHA: 02/03

UNIDADES EM: Centímetros

DATA: 15/06/21

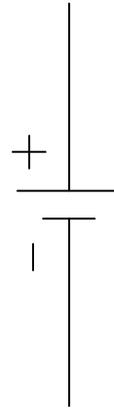
Enrolamento de Armadura



Enrolamento de Campo



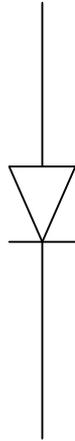
Tensão DC



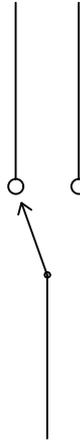
Tensão AC



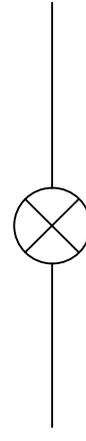
Diodo



Chave



Lâmpada



TÍTULO:

Etiquetas

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Murilo Araujo Santos

ASSUNTO:

Produto Educacional

ESCALA:

1:1

FOLHA:

03/03

DATA:

15/06/21