



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE

FÍSICA-LICENCIATURA

**O ESTUDO DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA POR MEIO DE UM PRODUTO
EDUCACIONAL COM BASE NO FUNCIONAMENTO DE TURBINAS EÓLICAS
PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA**

Saulo José de Barros Júnior

CARUARU

2018



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE

FÍSICA-LICENCIATURA

**O ESTUDO DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA POR MEIO DE UM PRODUTO
EDUCACIONAL COM BASE NO FUNCIONAMENTO DE TURBINAS EÓLICAS
PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA**

Saulo José de Barros Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física-licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciando em Física.

Orientador: Sérgio de Lemos Campello

CARUARU

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

B277e Barros Júnior, Saulo José de.
O estudo da indução eletromagnética por meio de um produto educacional com base no funcionamento de turbinas eólicas para gerar energia elétrica. / Saulo José de Barros Júnior. – 2018.
64 f. il. : 30 cm.

Orientador: Sérgio de Lemos Campello.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2018.
Inclui Referências.

1. Física – estudo e ensino. 2. Indução eletromagnética. 3. Energia eólica. I. Campello, Sérgio de Lemos (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-316)

SAULO JOSÉ DE BARROS JÚNIOR

O estudo da indução eletromagnética por meio de um produto educacional com base no funcionamento de turbinas eólicas para gerar energia elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física-licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciando em Física.

Aprovada em: 18 /12/2018.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Sérgio de Lemos Campello (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (1º Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Gustavo Camelo Neto (2º Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A instrumentação é uma metodologia muito atrativa para o ensino, pois exemplifica de forma mais concreta o que se é estudado. Entretanto, é importante saber adequar o conteúdo trabalhado com o meio no qual o indivíduo em processo de aprendizagem está inserido, levando em conta a sua regionalidade e os recursos que ali se encontram. Este trabalho apresenta uma ferramenta de estudo alternativa para o ensino de Física, contribuindo com as investigações sobre a experimentação no ensino, utilizando também dos modelos de laboratório aberto e laboratório fechado como estratégias metodológicas para o desenvolvimento do mesmo. Foi proposta a construção de um objeto educacional baseado nas turbinas de geração de energia eólica para auxiliar nos estudos das teorias e conceitos que regem os fenômenos da Indução Eletromagnética propostas por Faraday. A pesquisa, de natureza explicativa, coletou dados qualitativos por meio de observações a partir do funcionamento do experimento, expondo a relação da prática e teoria, os erros associados à construção e as melhores configurações para o experimento. Foram construídos três modelos de aerogeradores para o objeto educacional e, após a análise de resultados, onde o terceiro modelo foi selecionado como o que mais se adequou à proposta do projeto. A partir disso, conclui-se que utilizar recursos fundamentais para sociedade, como a geração de energia elétrica, para ensinar conteúdos de ciências, vêm a ser uma excelente estratégia para o ensino de Física.

Palavras-chave: Instrumentação para o ensino. Objeto educacional. Indução eletromagnética. Energia eólica.

ABSTRACT

Experimentation is a very attractive teaching methodology, since it turns possible to exemplify the studied subjects in concrete terms. However, it is also important to adapt those subjects regarding the student environment, taking regionalism and available resources into account. This work presents an alternative tool for physics teaching, contributing to the research on experimentation in the classroom, using open and closed laboratories models as methodological strategies. It was proposed the construction of an educational object, based on power generation wind turbines, to assist the studies on the theories and concepts that govern Faraday's Electromagnetic Induction phenomena. The research, of an explicative nature, collected qualitative data by means of observations about the experimental operation, exposing relationships between practice and theory, about errors associated to the construction of the object, and about the best experimental setup. Three wind turbine models were constructed for the educational object and, after an analysis of the results, the last model was selected as the one that best fits the project proposal. From this, it is concluded that using fundamental resources to the society, such as the generation of electric energy, for the teaching of sciences, are an excellent strategy for the teaching of physics.

Palavras-chave: Instrumentation for teaching. Educational object. Electromagnetic induction. Wind energy.

LISTA DE FIGURAS

	p
Figura 1 - Desenho representativo de uma bobina de cobre	19
Figura 2 - Representação das linhas de campo magnético produzido por um ímã permanente em forma de barra	20
Figura 3 - Esquema de variação de configuração de domínios magnéticos em um ímã permanente	21
Figura 4 - a) Representação da interação das linhas de campo produzidas por um ímã em barra à uma bobina de n espiras. b) Representação do fluxo do campo magnético atravessando a área da superfície de uma espira da bobina	23
Figura 5 - Ilustração do comportamento do sinal da força eletromotriz emitido por um gerador que trabalha a partir do princípio da indução eletromagnética	25
Figura 6 - Ilustração do arranjo simplificado de um sistema de cogeração de usinas de açúcar e álcool	27
Figura 7 - Ilustração simplificada dos principais componentes de uma usina hidroelétrica	28
Figura 8 - Ilustração simplificada dos principais componentes de um parque eólica	28
Figura 9 - Ilustração dos principais componentes do interior de um rotor do tipo hélice para geração de energia eólica	30
Figura 10 - Foto e ilustração, respectivamente, da 1ª configuração de ímãs. Os polos norte estão representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde .	34
Figura 11 - Ímã de neodímio em forma de cilindro utilizado como 2ª configuração para o gerador	35
Figura 12 - Imagem do pistão feito para 3ª configuração de ímãs	36
Figura 13 - Ilustração de como deve ser feito o experimento das linhas de campo para as configurações dos ímãs	36
Figura 14 - Imagem da bobina de carretel com 600 espiras, feito para o 1º modelo de bobina	37
Figura 15 - Imagem das bobinas de carretel com 800, 600 e 300 espiras, respectivamente, feito para 2º modelo de bobinas	38
Figura 16 - a) Diagrama do circuito utilizado para o experimento. b) Circuito montado para o experimento	39
Figura 17 - Placa de acrílico com o rolamento inserido	40

Figura 18 - Imagem da 1ª montagem para o gerador de energia eólica	40
Figura 19 - Imagem da 2ª montagem para o gerador de energia eólica	41
Figura 20 - a) Imagem do virabrequim após inserir o arame de ferro. b) Imagem do virabrequim inserido no eixo do experimento	42
Figura 21 - Imagens da 3ª montagem para o gerador de energia eólica	43
Figura 22 - Imagens de como o secador deve ser posicionado na hélice. Na imagem foi utilizada como exemplo a 3ª montagem para o gerador de energia eólica	44
Figura 23 - Perspectiva posterior da 3ª montagem do experimento para o gerador de energia eólica. Note que o arame do pistão está bem alinhado com o cilindro, para uma melhor movimentação	45
Figura 24 - Linhas de campo da 1ª configuração de ímã, com quatro domínios magnéticos. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'	47
Figura 25 - Linhas de campo da 1ª configuração de ímã, com dois domínios magnéticos. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'	47
Figura 26 - Linhas de campo da 2ª configuração de ímã. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'	48
Figura 27 - Linhas de campo da 3ª configuração de ímã. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'	49
Figura 28 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 1ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 20 ms e o vertical a tensão com escala de 0,1 V	50
Figura 29 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 2ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 20 ms e o vertical a tensão com escala de 0,1 V	51
Figura 30 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 300 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 2 s e o vertical a tensão com escala de 1 V.....	51
Figura 31 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 0,2 s e o	52

vertical a tensão com escala de 1 V	
Figura 32 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 800 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 0,2 s e o vertical a tensão com escala de 1 V	52
Figura 33 - Fotografias do acúmulo de pó de aço sobre a superfície do ímã de cilindro para demonstrar que há uma maior intensidade do campo magnético devido a uma quantidade maior de linhas de campo nessa região do ímã	54
Figura 34 - Ilustração da posição e do movimento do ímã com relação a bobina. Os polos norte são representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde. Foi representado 8 momentos específicos (Figura 34a, 34b, 34c, 34d, 34e, 34f, 34g e 34h) para ilustrar o comportamento do sinal da tensão gerada, representada na Figura 28 e 29	55
Figura 35 - Ilustração do sinal de tensão referente as montagens 1 e 2 do gerador de energia (Figuras 28 e 29, sessão 5.2). Os pontos marcados no diagrama são referentes as posições descritas na Figura 34. Os pontos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) estão diretamente ligados as posições dos ímãs descritos nas figuras 34a, 34b, 34c, 34d, 34e, 34f, 34g e 34h, respectivamente	56
Figura 36 - Ilustração da posição e do movimento do ímã com relação a bobina. Os polos norte são representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde. Foi representado 8 momentos específicos (Figura 36a, 36b, 36c, 36d, 36e, 36f, 36g e 36h) para ilustrar o comportamento do sinal da tensão gerada, representada nas Figuras 30, 31 e 32	57
Figura 37 - Ilustração do sinal de tensão referente a montagem 3 do gerador de energia (Figuras 7, 8 e 9, sessão 5.2). Os pontos marcados no diagrama são referentes as posições descritas na Figura 12. Os pontos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) estão diretamente ligados as posições dos ímãs descritos nas figuras 37a, 37b, 37c, 37d, 37e, 37f, 37g e 37h, respectivamente	58
Figura 38 - Imagem com foco na perturbação causada nos sinais de tensão da 3ª montagem extraída nas Figuras 30, 31 e 32, respectivamente, da sessão 5.2	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	A UTILIZAÇÃO DOS MODELOS DE LABORATÓRIO ABERTO E LABORATÓRIO FECHADO PARA O ENSINO DE FÍSICA	14
2.1	MODELOS DE LABORATÓRIO	14
2.2	EXPERIMENTAÇÃO PARA O ENSINO	15
2.3	O USO DE OBJETOS EDUCACIONAIS.....	16
3	ELETROMAGNETISMO	18
3.1	UMA BREVE HISTÓRIA DA INDUÇÃO.....	18
3.2	ÍMÃS E BOBINAS	19
3.2.1	Bobina	19
3.2.2	Linhas de campo	19
3.2.3	Domínio Magnético.....	21
3.3	INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	22
3.3.1	Variação do fluxo do campo magnético	22
3.3.2	Lei de Faraday	24
3.3.3	Lei de Lenz	26
3.4	O ELETROMAGNETISMO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ...	26
3.4.1	Tipos de usinas	26
3.4.2	Surgimento e primeiras utilizações dos aerogeradores	29
3.4.3	Geração de energia eólica	30
4	A CONSTRUÇÃO DO OBJETO EDUCACIONA	32
4.1	MATERIAL UTILIZADO PARA MONTAGEM	32
4.1.1	Configuração dos ímãs	34
4.1.2	As linhas de campo dos ímãs	36
4.1.3	Configurações das bobinas	37
4.1.4	Circuito elétrico	39

4.2	MONTAGEM DO EXPERIMENTO	39
4.2.1	Ajuste do experimento	43
5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	46
5.1	RESULTADOS DAS CONFIGURAÇÕES DOS ÍMÃS	46
5.2	OBSERVAÇÕES FEITAS COM O USO DO OSCILOSCÓPIO	49
5.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
5.3.1	Lei da indução eletromagnética no funcionamento do gerador	53
5.3.2	5.3.2 Linhas de campo e sinal de tensão	54
5.4	A MELHOR CONFIGURAÇÃO ENCONTRADA PARA O EXPERIMENTO	59
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	60
	REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

Com o propósito de buscar e disseminar estratégias de ensino que resultem no aprendizado significativo (Ausubel, 1978), é comum no ensino da Física levantar a discussão da utilização de experimentos e objetos educacionais como ferramenta de ensino, principalmente em uma época em que as metodologias de ensino carecem de inovação. Além disso, é notável a falta de aplicação das ciências em projetos que busquem não só a eficácia do aprendizado do aluno, como também uma significância ao que se é estudado. Portanto, o professor deve aproveitar os recursos disponíveis para promover e incorporar sua metodologia de forma que aproxime os “objetos fundamentais” da sociedade para os alunos em sala de aula, de forma a se relacionar com a área da ciência em questão, nesse caso, a Física.

A utilização de experimentos ou produtos educacionais para o ensino de Física, não é nenhuma novidade, pois há um número razoável de estudiosos que apontam o uso dessa metodologia em sala de aula, como por exemplo Araújo e Abib (2003), Cavalcante (1999), Pacheco (1997) e Francisco (2007). Entretanto, é sempre importante trazer formas novas de abordar esses produtos, pois apresentar apenas um experimento após (ou antes) da explicação de um determinado conteúdo, é apenas uma forma de buscar o aprendizado. É necessário, portanto, apresentar novas propostas e metodologias de ensino.

Nesse sentido, é importante que o uso de produtos educacionais e experimentos para concretizar o aprendizado do aluno venha de forma à integrar conceitos, teorias e princípios, com algo que seja relevante e importante para sua vida ou para vida da sociedade, de forma que ele possa estabelecer pontes entre um conhecimento novo e outro que já conhece. Dessa forma, os experimentos são capazes de exercer a principal função dos organizadores prévios que, de acordo com Ausubel (2003), preencheriam a lacuna entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta, permitindo oferecer uma metodologia diferenciada para um melhor desenvolvimento do conteúdo a ser estudado.

A dificuldade no ensino de Física é notável, principalmente quando falamos de fenômenos dos quais são estudados por meio de conceitos abstratos atuando, como por exemplo os campos magnéticos abordados no *Eletromagnetismo Clássico*, soma-se essas dificuldades as limitações dos alunos em saberem quais as aplicações daquele estudo para sua vida. É comum ver, em sala de aula, conteúdos sendo ministrados por professores de forma a

cumprir prazos estabelecidos pelos parâmetros estaduais e dificilmente buscando despertar o interesse do aluno para com o que é estudado. Uma boa estratégia para isso é tentar mostrar formas mais simples de estudo, metodologias que busquem melhorar a compreensão do aluno, aplicações e utilização do conteúdo ministrado no mundo em que vivemos, e até mesmo na região em que o sujeito (aluno, professor e sociedade no geral) está inserido. Trazendo as palavras de Santos e Schnetzler (1996), sobre o ensino de Química, mas ao mesmo tempo estabelecendo uma relação de suas palavras com o que foi dito em função do ensino de Física.

A função do ensino de química deve ser a de desenvolver a capacidade de tomada de decisão, o que implica a necessidade de vinculação do conteúdo trabalhado com o contexto social em que o aluno está inserido (p. 28).

Se for levado em conta que esse projeto está sendo realizado na cidade de Caruaru, no estado de Pernambuco, na região Nordeste, pode-se assim trazer a importância desse tema a ser trabalhado em salas de aulas de diversos níveis. É de suma importância que o ensino de jovens seja voltado para o meio ao qual está inserido (Ricardo 2003), pois é buscando viabilidade nos conteúdos que é possível estabelecer uma relação entre o que é visto dentro de sala de aula e o que é vivenciado na realidade daquele sujeito.

No Nordeste, na última década, a produção de energia eólica ganhou uma importância fundamental no desenvolvimento da região. O Brasil, de acordo com a Revista Amazônia (2016), é o quarto país em que a energia eólica mais cresce no mundo. Élbria Gannoum, presidenta executiva da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), disse:

Em termos de matriz, atualmente, nós somos a fonte mais competitiva e com diferença razoável para a segunda ou terceira fonte, tendo em vista que não falamos mais em grandes projetos hidrelétricos, que são os mais competitivos. Então, hoje alcançamos o patamar da primeira fonte mais competitiva do país. Hoje, já estamos partindo para chegar em 2020 como a segunda fonte de energia do país e somos o setor da economia que mais cresce. O quarto país do mundo que mais investe, o oitavo que mais gera energia eólica e o décimo país em capacidade instalada. (Gannoum, 2016)

Se tal informação for filtrada, para região onde o projeto está sendo executado, é possível ver que é algo muito interessante a ser usado como ferramenta de ensino. Isso se deve ao fato de o Nordeste, de acordo com a Revista Amazônia (2017), ser responsável por

aproximadamente 80% da produção de energia eólica do Brasil (dos 430 parques eólicos brasileiros, 342 estão no Nordeste).

A geração de energia elétrica por meio do princípio de turbinas é alvo das grandes empresas de hidrelétricas e de parques eólicos. Sabendo disso, o produto educacional em questão teve a finalidade de utilizar os recursos oferecidos pelos estudos do Eletromagnetismo para simular o funcionamento da geração de energia elétrica com a utilização de turbinas.

Para este trabalho, foi escolhido o modelo de turbinas eólicas para construção de um produto educacional de baixo custo voltado para o estudo de leis do eletromagnetismo, pois apesar das hidrelétricas serem a principal fonte de distribuição de energia elétrica do país, o crescimento e investimento na construção de parques eólicos vem crescendo cada vez mais no Brasil e principalmente na região Nordeste, onde está sendo executado esse projeto. A escolha do objeto de estudo está também diretamente ligada com o fator de usar a Física para aproximar o leitor de um recurso tão bem explorado, mas pouco reconhecido pelos alunos e professores das escolas nessa região do país.

Algo tão importante para o povo nordestino deveria ser utilizado como ferramenta dentro das escolas, não apenas para difundir a importância desse recurso, mas também para debater a ciência que o possibilita. Logo, esse trabalho busca um método de analisar a geração de energia elétrica em uma abordagem experimental, com ênfase na produção de energia eólica.

O Capítulo 2 aborda as práticas de ensino voltados à experimentação. Logo depois, no Capítulo 3, será explicado todos os conceitos físicos do eletromagnetismo que envolvem esse trabalho. A construção do produto educacional será descrita no Capítulo 4. Sucedendo a construção, os resultados e discussões serão feitos em seguida, no Capítulo 5.

2. A UTILIZAÇÃO DOS MODELOS DE LABORATÓRIO ABERTO E LABORATÓRIO FECHADO PARA O ENSINO DE FÍSICA

O ensino científico – incluindo o universitário – reduziu-se basicamente à apresentação de conhecimentos já elaborados, sem dar ocasião aos estudantes de se aproximarem das atividades características do trabalho científico. (PEÑA, A.V. 2005. p. 38)

O ensino de Física e das ciências no geral ao longo dos anos vem passando por transformações, pois as novas gerações não estão mais condicionadas a estudar e aprender passivamente. Por esse motivo, esse capítulo é dedicado a explicar as ideias que dão base aos modelos de ensino de laboratório aberto, laboratório fechado e da experimentação no geral.

2.1 Modelos de laboratório

Os modelos de laboratório, que serviram de ideia para atividade experimental desse trabalho, tiveram como base os modelos de Problemas Fechados e Problemas Abertos de Greca e Moreira (2003), os quais adotam também as ideias de Zylbersztajn e de Gil Pérez.

Para Zylbersztajn (1998), problemas fechados, problemas tradicionais como também são chamados, são conhecidos na literatura como problemas de lápis e papel, utiliza-se, geralmente, nas provas e listas de exercícios. Considera-se que estes problemas induzem a uma aprendizagem repetitiva e mecânica, que tem como característica a aplicação de fórmulas. Dessa forma, o modelo de laboratório fechado se assemelha a esses tipos de problemas, pois tem como característica exercitar a parte analítica do aluno, a capacidade de utilizar os modelos e modelagens propostos. Quando se trata de atividades experimentais, espera-se que para sua execução seja seguido um roteiro experimental pré-definido, com o passo a passo para uma verificação.

Para Pérez (1988), os problemas abertos provocam situações que colocam dificuldades para as quais não há soluções prontas, incentivando a investigação por parte do solucionador do problema. Têm como características principais a elaboração de hipóteses e de caminhos de resolução diferentes. Carvalho (Carvalho e cols.,1999) ainda descreve: “Os alunos podem propor a hipótese a ser investigada e o procedimento experimental, sendo essas atividades denominadas Laboratório Aberto”.

Assim, foi estabelecido uma relação com o modelo de laboratório aberto que estimula a autonomia, a capacidade de utilizar o que já conhece para adaptar a novas propostas, pensar nos seus próprios problemas, e contribuir para construção do próprio conhecimento do aluno. É importante ressaltar que nenhum dos modelos descritos são considerados melhor do que outro nesse trabalho, partindo assim das ideias de Greca e Moreira (2002), os problemas fechados e os problemas abertos podem ser entendidos como espaços de aprendizagem diferentes, ambos necessários e complementares, no ensino de ciências.

Nessa perspectiva, há espaço (e necessidade!) para os dois tipos de situações (típicas, exemplares e abertas), porém quando usar uma e outra certamente não implica uma sequência temporal rígida. É a situação didática, o nível de conceitualização já atingido, a percepção do professor, a predisposição do aluno, que vão dar pistas para isso. O importante é que os dois tipos de problemas são essenciais para a conceitualização em Física. Greca e Moreira (2003. p. 13).

Nesse sentido, cabe ao professor definir, qual o melhor tipo de laboratório a ser trabalhado, levando em conta o modelo teórico físico estudado, a disposição dos alunos, a disposição do professor, o tempo disponível, ou seja, todo o meio e a situação envolvida em que os sujeitos estão inseridos.

A partir dessas considerações é possível ver que os problemas tradicionais e os problemas abertos, apesar de metodologias diferentes, não podem ser considerados como metodologias opostas e enfrentadas, como é sempre discutido nos últimos tempos, e sim como metodologias necessárias, complementares e igualmente válidas no ensino de Física (Greca e Moreira, 2003). Mas, ainda assim o modelo de laboratório fechado leva a uma aprendizagem mecânica.

2.2 Experimentação para o ensino

O ensino de Física há muito tempo vem deixando de ser um ensino resumido à simplesmente descrever fenômenos por meio de equações, leis e linguagem puramente matemática. Nos últimos anos, a experimentação vem sendo uma ferramenta fundamental, indispensável e bastante utilizada pelos novos e velhos docentes, presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física (BRASIL, 2002).

Desse modo, a experimentação no ensino de Física vem sendo apontado como uma ótima estratégia para diminuir as dificuldades e aumentar o interesse do aluno significativamente. Entretanto, como usar e empregar essas atividades experimentais não é algo trivial a se definir, como por exemplo, o que foi discutido na sessão anterior sobre os modelos de laboratório geralmente utilizados nessas atividades.

A forma como se vai trabalhar as atividades experimentais precisam ser avaliadas pelo professor/orientador, pois cabe ao docente julgar as propostas a serem investigadas e os modelos físicos a serem estudados e analisados. Assim, é possível definir qual a melhor metodologia a ser empregada para determinadas situação.

Nesta pesquisa, foi construído um objeto educacional, por meio do modelo de laboratório aberto, com o intuito de empregar e estimular os processos na área de Física experimental, demonstrando a importância das atividades experimentais para o ensino da Física. Apesar do laboratório aberto ter sido a atividade que originou o desenvolvimento deste trabalho, o objeto educacional construído foi feito com o propósito semelhante ao que é proposto pelas atividades de laboratório fechado, ou seja, este projeto foi feito a partir do modelo de laboratório aberto, resultando em um produto educacional voltado à atividade de laboratório fechado.

2.3 O uso de objetos educacionais

Continuando as ideias das sessões anteriores, é possível ver que a atividade experimental que foi elaborada nesse trabalho está diretamente ligada ao que muitos chamam de objetos educacionais. Segundo Tarouco (2003), existem muitas divergências na concepção do que pode ou não ser classificado como um objeto educacional.

Para este projeto, foi entendido como objeto educacional as definições oferecidas por Tarouco, Fabre e Tamusiunas (2003), que alegam que um objeto de aprendizagem (educacional) é qualquer recurso complementar ao processo de aprendizagem, ou seja, qualquer recurso que tem como objetivo a educação. Também é entendido como necessidade que os objetos educacionais sejam produzidos em pequenas unidades, com o propósito de aumentar as possibilidades da sua utilização, maximizando assim as situações de aprendizagem onde o recurso pode ser utilizado.

Estabelecendo uma relação com as sessões anteriores é possível ver que um experimento, assim como o que está sendo desenvolvido neste trabalho, pode ser caracterizado como objeto educacional, que tem como finalidade contribuir para o ensino da Física, possibilitando aulas mais proveitosas, dinâmicas e contextualizadas.

3. ELETROMAGNETISMO

Neste capítulo será introduzido e discutido os conceitos e leis do Eletromagnetismo que fizeram parte do desenvolvimento deste trabalho, assim como um pouco da história e dos modelos de energia que utilizam de algum desses princípios para seu funcionamento.

3.1 Uma breve história da indução

A produção de energia elétrica em larga escala teve início em aproximadamente 1831, a partir de uma das mais importantes descobertas de Michael Faraday (1791 – 1867): a *indução eletromagnética* (Nussenzveig. 1997. ed. 1. p. 161. v. 3). Faraday era britânico e foi um dos mais importantes cientistas experimentais do século XIX. Apesar das suas inúmeras contribuições, tanto para Química quanto para Física, a mais notável de suas pesquisas foi a descoberta da geração de corrente elétrica a partir da movimentação de um ímã no interior de uma bobina (HEWITT. 2011. ed. 11. p. 445).

Faraday tinha apenas o ensino básico, educou-se também por meio dos livros que ele mesmo encadernava no seu trabalho em uma oficina de encadernador (Nussenzveig. 1997. ed. 1. p. 161. v. 3). Por esse motivo, ele possuía algumas limitações matemáticas, expressando, assim, suas ideias por meio de diagramas e desenhos e utilizando uma linguagem simples (HEWITT. 2011. ed. 11. p. 445), o que não o impediu de ser um dos grandes nomes do eletromagnetismo.

Para elaborar a lei da indução eletromagnética, Faraday progrediu, muito mais, por meio de suas pesquisas, leituras, estudos e principalmente do seu interesse e esforço, do que pela sua superioridade intelectual incomum (Dias e Martins, 2004). Foram muito mais de 30 anos de estudo e pesquisa, dentre esse tempo, cerca de 12 anos de pesquisas dedicadas ao eletromagnetismo (Dias e Martins, 2004).

Faraday passou por diversos processos de estudos e principalmente de construção de experimentos para, enfim, chegar no experimento de maior sucesso mencionado no primeiro parágrafo desta sessão.

Até a descoberta de Faraday, a única forma de gerar corrente elétrica de forma substancial era por meio de baterias (HEWITT. 2011. ed. 11. p. 445), ou seja, por meio de reagentes químicos. A partir da descoberta de Faraday, as aplicações do eletromagnetismo revolucionaram toda a tecnologia para geração de energia elétrica em grande escala (Nussenzveig. 1997. ed. 1. p. 2. v. 3), contribuindo para o desenvolvimento e crescimento de toda sociedade.

3.2 Ímãs e bobinas

3.2.1 Bobina

Bobina, ou como também é chamado, solenoide ou indutor, é um condutor longo e enrolado de modo que forma um tubo constituído de espiras como é visto na Figura 1. Essas espiras geralmente são compostas, na maioria das vezes, de um material condutor (nesse trabalho, iremos considerar o cobre).

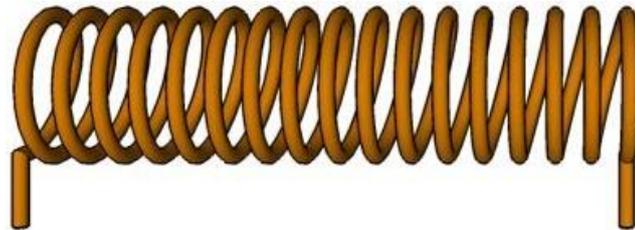


Figura 1 – Desenho representativo de uma bobina de cobre. Fonte: <http://probtiumlight.info>

3.2.2 Linhas de campo

As linhas de campo, conhecidas por Faraday como *linhas de forças*, são uma representação geométrica de um campo vetorial. Essas linhas imaginárias hoje servem para representar o comportamento das linhas de campos magnéticos, de campos elétricos, e até mesmo de campos gravitacionais, ou seja, geralmente servem para indicar a presença de tais campos.

Os materiais ferromagnéticos que são submetidos a um campo magnético e continuam magnetizados mesmo depois da retirada do campo magnético externo são chamados de ímãs permanentes. Dessa forma, são capazes de produzir o próprio campo magnético.

Podemos relacionar, por meio da Figura 2, o que foi dito em ambos os parágrafos anteriores para estabelecer uma relação onde um ímã permanente em forma de barra gera um campo magnético externo, e esse campo é representado por meio de linhas de campos que saem do seu polo norte, escolhido arbitrariamente, ao polo sul do ímã.

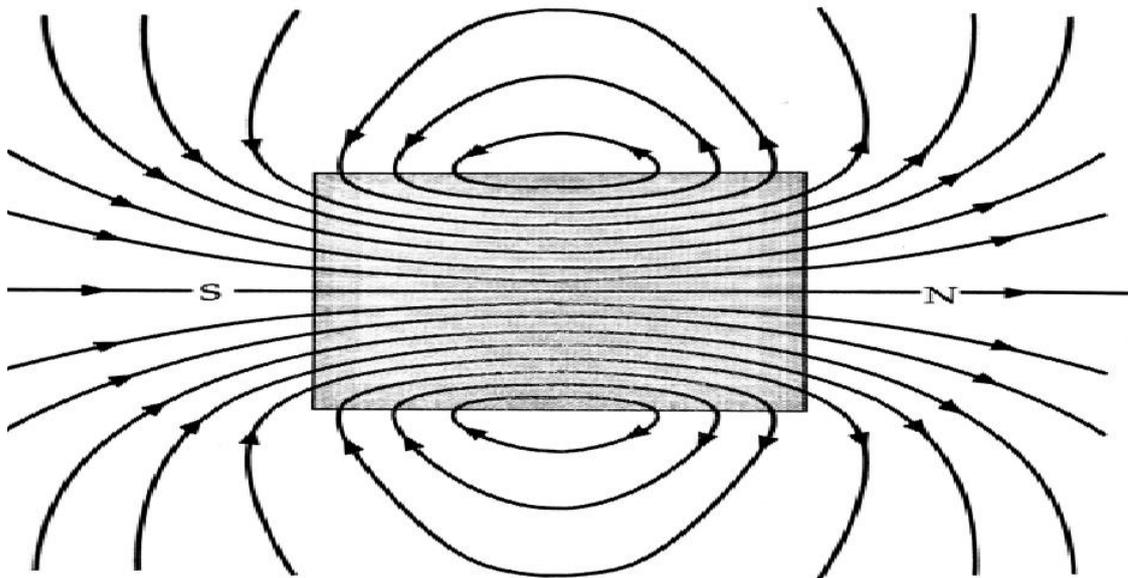


Figura 2 – Representação das linhas de campo magnético produzido por um ímã permanente em forma de barra. Fonte: Física para cientistas e engenheiros, Paul A. Tipler e Gene Moscap. 2008. P. 195. v. 2.

Também é possível definir que a intensidade do campo magnético de um ímã permanente depende da distância entre o objeto no meio externo e o ímã. Isso é fácil de visualizar, por exemplo, se pusermos uma bússola próximo a um ímã, vemos que o ponteiro da bússola irá apontar para o ímã, se afastarmos essa bússola do ímã, vemos que a bússola volta a funcionar normalmente. Assim, podemos concluir que a interação do objeto com as linhas de campo diminui se o ímã estiver se distanciando do objeto.

Outro fenômeno curioso é que a quantidade de linhas de campo de um ímã também interfere na sua intensidade. Se observarmos as linhas de campo de um ímã em barra (como será visto posteriormente no Capítulo 5), vemos que a concentração de linhas de

campo em um ímã em barra é maior próximo dos polos Norte e Sul. Assim, a intensidade do campo magnético também é maior próximo aos polos, ou seja, quanto maior a concentração de linhas de campo de um ímã, maior é sua intensidade.

3.2.3 Domínio magnético

Quando juntamos dois ímãs de forma que os polos opostos fiquem paralelos um ao outro, visualizamos as regiões chamadas de *Domínio magnético*. Esse fenômeno está diretamente ligado a energia e intensidade produzida por um campo magnético. A energia associada ao campo magnético produzido por um ímã permanente é reduzida com a formação de domínios magnéticos (FARIA e LIMA, 2005. p. 35). Para visualizar melhor o que está descrito nesse paragrafo veja a Figura 3.

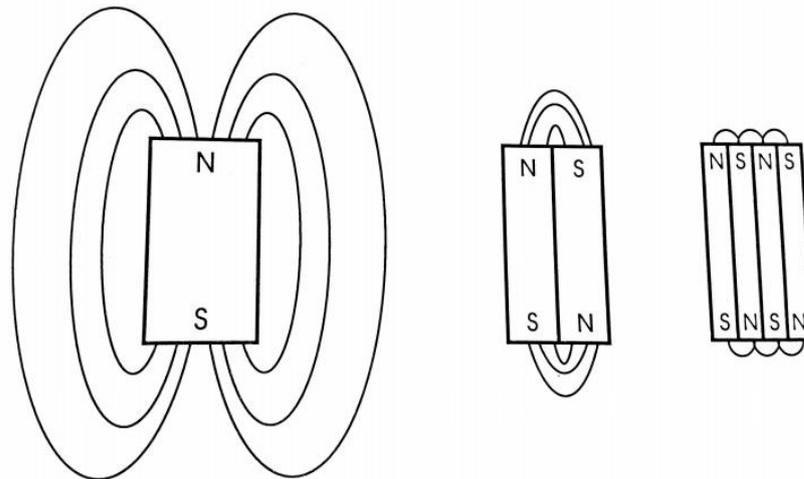


Figura 3 – Esquema de variação de configuração de domínios magnéticos em um ímã permanente. Fonte: Introdução ao Magnetismo dos Materiais, FARIA, R.N; LIMA, L.F.C.P. 2005 .p.35.

Vemos que quanto mais domínios magnéticos, menor é a energia associada ao campo magnético produzido pelo ímã permanente. Então, se o objetivo é ter um campo magnético em um estado preferencialmente de maior energia, é necessário diminuir a interação entre os polos magnéticos opostos dos ímãs para que o número de domínios magnéticos diminua.

3.3 Indução eletromagnética

Na sessão 3.1 foi citado superficialmente do que se trata a *indução eletromagnética* descoberta por Faraday, que consiste em produzir uma diferença de potencial (ddp) ou corrente por meio da variação do fluxo do campo magnético através de espiras de fio compondo uma bobina. Esse fenômeno não depende apenas da taxa de variação do campo magnético no interior de uma bobina. A intensidade da ddp produzida também dependerá da quantidade de espiras que a bobina será constituída, do comprimento da bobina, do material do fio que constitui a bobina, da intensidade do campo magnético e da velocidade com que o fluxo do campo magnético varia.

As características citadas serão exemplificadas e demonstradas com formulação matemática nas próximas sessões. Veremos também, mais detalhadamente, as propriedades referentes a essa lei e a contribuição de outros cientistas para com a descoberta feita por Faraday.

3.3.1 Variação do fluxo do campo magnético

Algo muito comentado no decorrer deste trabalho será o termo *taxa de variação do fluxo do campo magnético* ou *variação do fluxo do campo magnético*, assim, se tornando necessário definir do que se trata essa variação para um melhor esclarecimento das discussões. O fluxo magnético em si é uma medida da quantidade de campo magnético que atravessa uma área específica (Halliday. 2009. ed.9. p. 249. v. 3). Por exemplo, na Figura 4 as linhas de campo de um ímã em barra que atravessam a superfície de uma espira de cobre. Assim, o fluxo magnético é proporcional ao número de linhas de campo que atravessam uma determinada área (Tipler. 2008. ed. 6. p. 262. v. 2).

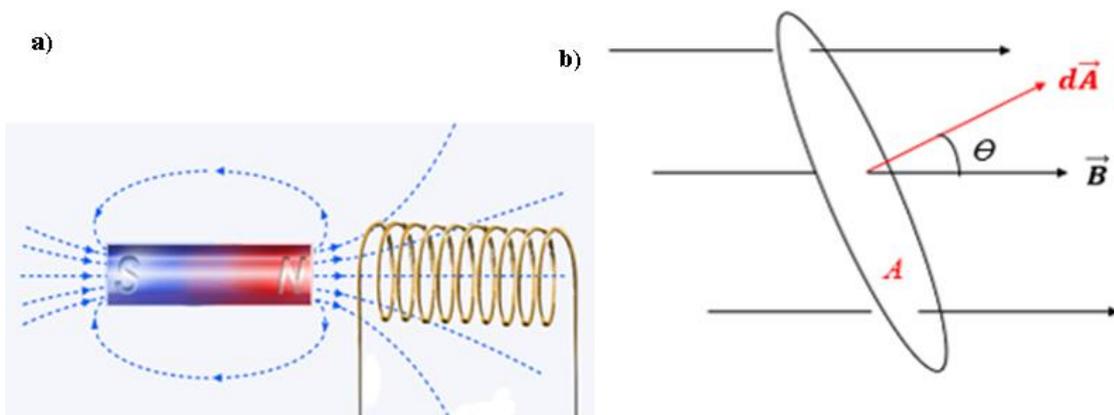


Figura 4 – a) Representação da interação das linhas de campo produzidas por um ímã em barra à uma bobina de n espiras. b) Representação do fluxo do campo magnético atravessando a área da superfície de uma espira da bobina. Imagem a), fonte: <http://efisica.if.usp.br>. Imagem b), fonte: Autoral.

A superfície, pela qual essas linhas de campo passam, tem uma área (A) onde o campo magnético total (\vec{B}) forma um ângulo (θ) com o vetor área ($d\vec{A}$). Por meio disso, o fluxo de qualquer vetor, nesse caso do campo magnético, através de uma superfície é dado por:

$$\Phi_m = \int_s \vec{B}_n \cdot d\vec{A} \quad \text{Eq. 1}$$

Se o campo magnético for uniforme, apresentando a mesma magnitude e direção, podemos reescrever a Eq. 1 como:

$$\Phi_m = BA \cos \theta \quad \text{Eq. 2}$$

Geralmente as situações de indução magnética trazem problemas com bobinas de várias espiras. Então, podemos definir a Eq. 2 de forma que o fluxo do campo magnético esteja agindo através de uma bobina de N espiras, obtendo:

$$\Phi_m = NBA \cos \theta \quad \text{Eq. 3}$$

Ou seja, se a bobina tiver N espiras, o fluxo magnético através da superfície é simplesmente o número de voltas multiplicado pelo fluxo do campo em cada volta. Da mesma forma, podemos dizer que o aumento do número de espiras resultaria em um aumento do fluxo.

Até então vimos do que se trata o fluxo magnético. Então, podemos fazê-lo variar, ou seja, o fluxo (Φ_m) é capaz de variar com o ângulo (θ) entre o vetor normal à superfície ($d\vec{A}$) e o vetor \vec{B} . Por exemplo, se fizermos o ímã da Figura 4 girar e a bobina ficar parada (ou o inverso), causaremos uma variação no ângulo, ou seja, o que importa é o movimento relativo entre o ímã e a bobina, desde que resulte numa variação do fluxo do campo magnético que atravessa a superfície dos fios que compõem a bobina.

3.3.2 Lei de Faraday

Conceitualmente, a lei de Faraday, ou como também podemos chama-la *lei da indução* ou simplesmente *indução eletromagnética*, foi bastante mencionada nesse capítulo, consistindo em produzir uma ddp em uma bobina, que depende do número de espiras, da resistência da bobina e do circuito ao qual a bobina está ligada, mas principalmente da taxa com a qual o fluxo do campo magnético varia no interior dessa bobina.

Na experiência feita por Michael Faraday em 1831, ele aproximou um ímã a um solenoide que estava ligado a um galvanômetro. Quando ele aproximava o ímã das espiras do solenoide o galvanômetro acusava uma passagem de corrente. Quando ele afastava esse ímã das espiras, o galvanômetro também acusava uma corrente, só que, dessa vez, no sentido contrário à corrente gerada anteriormente (Nussenzveig. 1997. ed. 1. p. 162. v. 3)

Faraday também observou que a velocidade com que variamos o fluxo do campo magnético interfere na ddp produzida. Analisando que, se o sistema ímã-bobina se mantiver igual, ou seja, B , A e N não aumentarem ou diminuïrem, a tensão produzida pelo sistema dependerá da variação do ângulo (θ). Quanto mais rápido esse fluxo variar no interior da bobina, maior será a ddp produzida pelo sistema.

A geração de energia elétrica, por meio da lei de indução, é resultado da variação do fluxo magnético através de uma bobina de N espiras que induz uma força eletromotriz (f.e.m) (Halliday. 2009. ed.9. p. 250. v. 3). A fem, por sua vez, gera uma diferença de potencial elétrico, medido em Volts, que está associado à movimentação das cargas elétricas do qual o formato do sinal de tensão emitido por essa ddp (Figura 5) assemelha-se aos sinais de corrente alternada, semelhantes às curvas senoidais. A partir disso podemos definir a lei de Faraday como:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_m}{dt} \quad \text{Lei de Faraday} \quad \text{Eq. 4}$$

onde \mathcal{E} é a força eletromotriz, $d\Phi_m$ é a variação de fluxo do campo magnético atravessando uma determinada área (A) da superfície de uma espira e dt é o intervalo de tempo em função da variação $d\Phi_m$. O sinal negativo que aparece na Eq 4 e consequentemente a justificativa para que \mathcal{E} observada na Figura 5 assume valores positivos e negativos, será discutida na sessão seguinte.

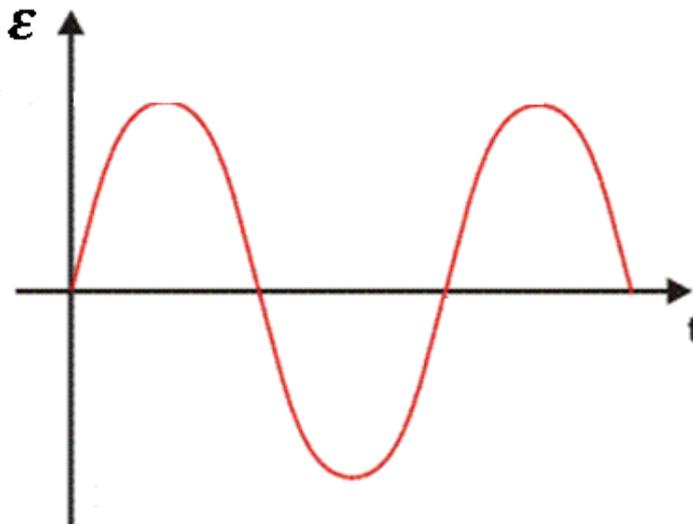


Figura 5 – Ilustração do comportamento do sinal da força eletromotriz emitido por um gerador que trabalha a partir da lei da indução eletromagnética. Fonte: alfaconnection.pro.br

Outra característica que podemos observar é a relação entre a Equação 3 e a Equação 4, onde o a variação do fluxo pode acontecer de quatro formas diferentes: variando o ângulo (θ), e mantendo B , N e A constantes; variando a área (A) e mantendo B , N e θ constantes; variando o campo (B), e mantendo A , N e θ constantes; variando o número de espiras (N), e mantendo B , A e θ constantes; (Tipler. 2008. ed. 6. p. 263. v. 2). Vemos também que ao manter todas as quatro grandezas da Eq. 3 constantes, não haverá variação do fluxo e consequentemente, observando a Eq. 4, não será induzida uma f.e.m.

3.3.3 Lei de Lenz

Para entendermos o motivo do sinal negativo na Equação 4, é necessário o entendimento da lei proposta pelo cientista Heinrich Lenz, o qual propôs que a f.e.m tem sentido oposto ao sentido da variação que a gerou inicialmente (Tipler. 2008. ed. 6. p. 267. v. 2). Essa lei não especifica o tipo de variação que produz a f.e.m, isto é, se quem varia é θ , B , N e A , desde que haja uma variação no fluxo.

Lenz observou que quando há variação de fluxo magnético em uma espira, o campo magnético devido a qualquer corrente induzida produz um fluxo próprio, que atravessa a mesma superfície, porém com o sinal oposto à variação inicial do fluxo (Tipler. 2008. ed. 6. p. 267. v. 2). Justificando assim o sinal presente na Equação 4.

3.4 O eletromagnetismo na geração de energia elétrica

Essa sessão foi dedicada a apresentar e exemplificar os tipos de usinas mais comuns, responsáveis por gerar energia elétrica. Também foi feita uma breve explicação sobre o funcionamento das usinas que utilizam da lei da indução eletromagnética para sua produção.

3.4.1 Tipos de usinas

Há uma lista extensa de modelos de usinas voltadas para geração de energia elétrica, cada uma utiliza de um recurso natural diferente para sua produção. As mais

populares são: usinas hidrelétricas, usinas movidas a gás natural, usinas movidas a petróleo, usinas movidas a carvão, usinas nucleares, usinas movidas a biomassa, usinas eólicas, usinas movidas a energia solar, usina geotérmica, usina marítima e usinas movidas a biogás. Como o intuito desse trabalho não é detalhar os tipos e modelos de geradores de energia elétrica, foram selecionados três modelos de geradores de energia que tem em comum o princípio de turbinas para sua produção.

A biomassa é a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, como madeira de florestas, e a cana-de-açúcar. Para produção de energia, esse tipo de usina (Figura 6) conta com a utilização de combustão em fornos e caldeiras, queimando a matéria orgânica e utilizando os gases emitidos na queima para mover turbinas a vapor para gerar energia elétrica.

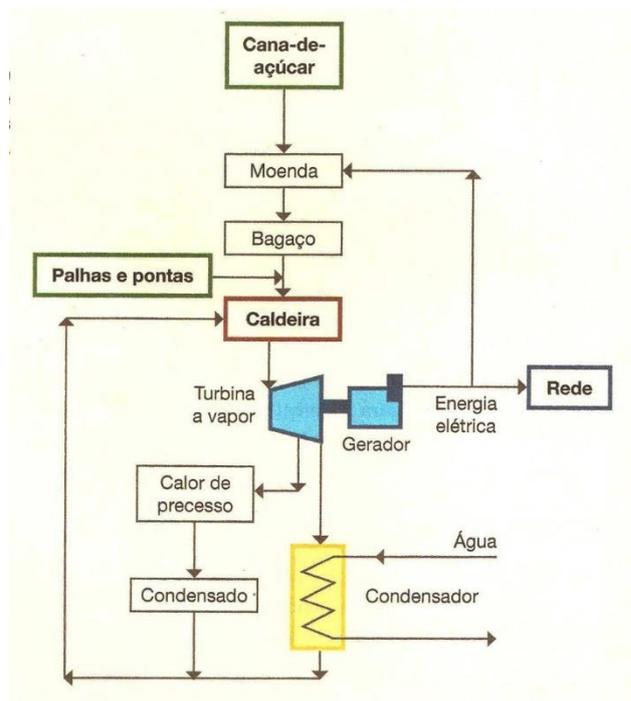


Figura 6 - Ilustração do arranjo simplificado de um sistema de cogeração de usinas de açúcar e álcool. Fonte: Fontes Renováveis de Energia1, SILVA, E.P. 2014. p. 134.

As hidrelétricas utilizam do fluxo de água vindas de quedas d'água de rios, ou reservatórios artificiais que utilizam de dutos para desviar o fluxo da água de rios e lagos para encher suas reservas. Simplificando o funcionamento (Figura 7), tem-se que em algum ponto

entre esses dutos ou entre a queda d'água são inseridas turbinas para que as massas de água causem sua movimentação e resulte na geração de energia elétrica.

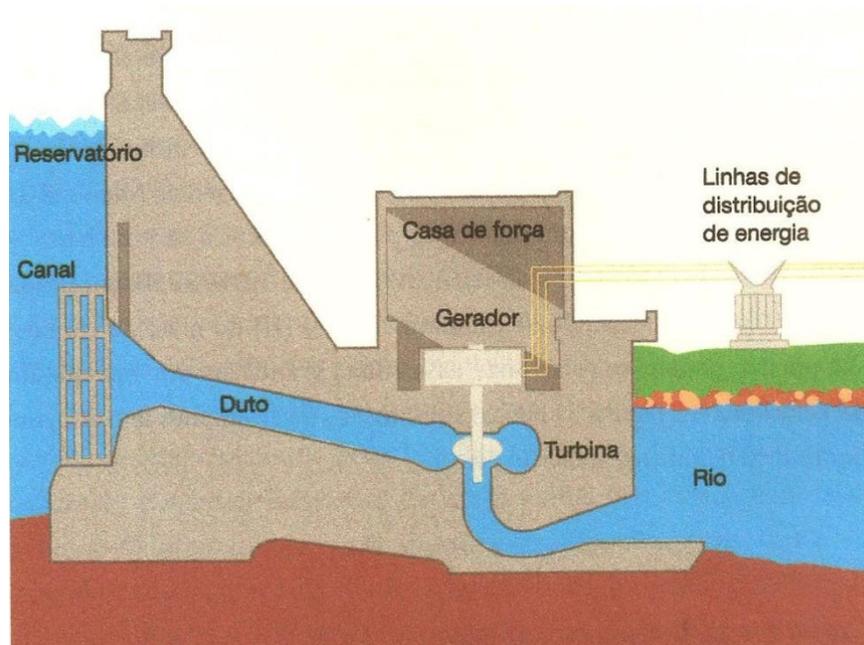


Figura 7 – Ilustração simplificada dos principais componentes de uma usina hidroelétrica. Fonte: Fontes Renováveis de Energia1, SILVA, E.P. 2014. p. 183.

Semelhante às usinas anteriores, os aerogeradores (Figura 8) presentes nos parques eólicos, consistem em utilizar as correntes de ar para movimentar turbinas para geração de energia elétrica.

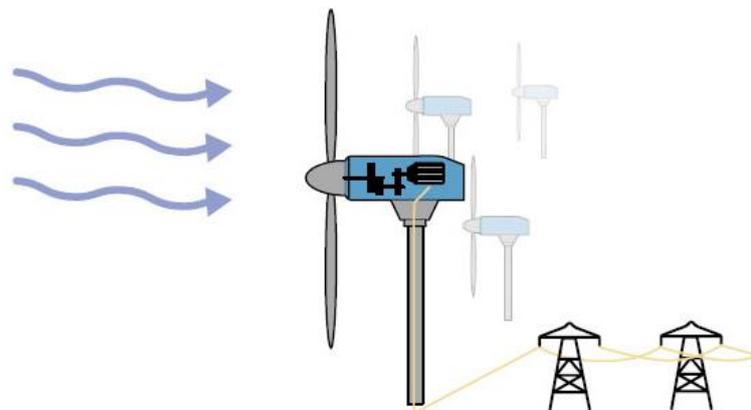


Figura 8 – Ilustração simplificada dos principais componentes de um parque eólico. Fonte: <https://smartenergy.org.br>

Podemos estabelecer uma relação entre esses três modelos de geradores de energia elétrica, todos eles utilizam do movimento de turbinas para atingir sua finalidade, ou seja, utilizam da conversão da energia mecânica, proveniente do movimento das turbinas, em energia elétrica que utilizam do princípio da lei da indução eletromagnética descrita por Faraday.

Como já foi dito em capítulos anteriores o produto educacional construído neste trabalho utilizou do modelo de energia eólica para o seu desenvolvimento. Por esse motivo, as próximas duas sessões serão dedicadas a história e o funcionamento desse modelo, tendo em mente que outros modelos também trabalham em cima dos mesmos princípios.

3.4.2 Surgimento e primeiras utilizações dos aerogeradores

A ideia de utilizar “cata-ventos” para gerar energia elétrica veio, na verdade, muito tempo antes do ser humano imaginar que a energia elétrica poderia vir a existir. Os primeiros registros do uso da energia eólica foram em 200 A.C, quando os povos persas utilizavam de cata-ventos (ou moinhos) para bombeamento de água e moagem de grãos (Dultra, 2008).

Esses cata-ventos foram realmente utilizados na geração de energia elétrica aproximadamente 57 anos após a descoberta de Faraday sobre indução magnética, quando em Cleveland, Ohio, um industrial chamado Charles F. Brush ergueu o primeiro cata-vento destinado a carregamento de baterias que eram utilizadas para fornecer energia para 350 lâmpadas incandescentes (Dultra, 2008).

Um dos primeiros registros de geração de energia elétrica em grande escala por meio de turbinas eólicas foi na Rússia com um aerogerador chamado de Balaclava (Dultra, 2008). Depois, na segunda guerra mundial, acabou contribuindo para produção de aerogeradores de grande e médio porte, pois os países priorizavam a economia de combustíveis fósseis, assim, surgiu o aerogerador Smith-Putnam, nos Estados Unidos. (Dultra, 2008) Até hoje o modelo de geradores eólicos são inspirados nas concepções tecnológicas utilizadas nos aerogeradores produzidos na Alemanha entre 1955 e 1968 (Dultra, 2008).

3.4.3 Geração de energia eólica

A construção de uma turbina eólica possui uma complexibilidade e um nível de compreensão, não só de Física, mas também de Engenharia. Por esse motivo, é importante esclarecer que neste trabalho será construído um modelo simplificado de um aerogerador. Não será discutido a melhor ou pior tipo de hélice, sistema elétrico, terrenos ou correntes de ar para a construção de um parque eólico ou aerogerador. Não queremos aqui desenvolver uma réplica, e sim demonstrar o princípio da indução de Faraday que está por trás dos geradores de energia elétrica, mais especificamente nas turbinas eólicas.

Na Figura 9 temos o interior de uma turbina eólica de três pás. Todos os componentes têm sua função específica para melhorar desempenho e eficiência, diminuindo perdas de energia e aumentando o aproveitamento dos ventos para a movimentação da turbina.

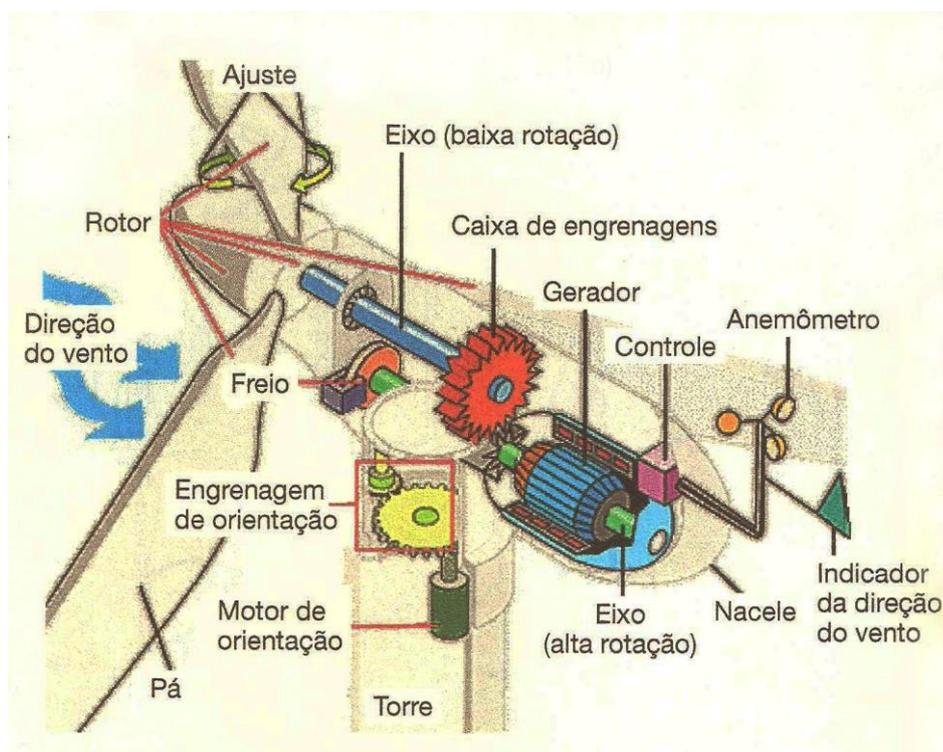


Figura 9 - Ilustração dos principais componentes do interior de um rotor do tipo hélice para geração de energia eólica. Fonte: Fontes Renováveis de Energia1, SILVA, E.P. 2014. p. 234.

Em termos simples, o rotor transfere a energia mecânica às engrenagens que por sua vez, passa por um sistema multiplicador composto de vários outros componentes, transferindo essa energia para o gerador, onde é transformada em energia elétrica. No gerador é onde acontece o fenômeno da indução eletromagnética, onde ímãs e bobinas são postos em movimento relativo (sessão 3.4.2). Esse movimento é o que causa a variação no fluxo do campo magnético produzindo uma força eletromotriz.

4. A CONSTRUÇÃO DO OBJETO EDUCACIONAL

Nas sessões deste capítulo serão descritos todos os processos envolvidos na construção do projeto, desde a sua viabilidade, passando pela sua construção até o funcionamento final do objeto educacional.

4.1 Material utilizado para montagem

A montagem do experimento passou por diversas etapas. Durante o processo foram feitos vários melhoramentos ao produto. Por esse motivo, foram utilizados diversos materiais que serão listados e caracterizados de acordo com suas finalidades. Deixando claro que nenhum material utilizado nesse projeto foi comprado, todos foram reutilizados de outros objetos.

A descrição dos materiais vai ser dividida entre a lista de *Material geral*, que representa os materiais obrigatórios para o funcionamento do experimento, como por exemplo o LED vermelho não pode ser substituído por um LED azul, pois a tensão para acender um LED azul é maior que a do LED vermelho. O *Material específico*, que representa os materiais que estavam à disposição do experimentador, mas que são materiais que podem ser substituídos por algo semelhante e de mesma função, como por exemplo as peças de acrílico e o aquário poderiam ser substituídas por peças de madeira e um bloco de madeira, respectivamente. Por último as *Ferramentas* utilizadas para auxiliar nas montagens.

Tabela 1 – Material Geral

1	LED vermelho	2	100 m de fio de cobre esmaltado AWG 27	3	Ímãs de neodímio; (sessão 4.2.1)
----------	--------------	----------	--	----------	----------------------------------

Tabela 2 – Material Específico

1	Protoboard	11	Bloco de acrílico (25 x 90 x 30) mm
2	1 Hélice; (retirada de um cooler de impressora)	12	Suporte em forma de paralelepípedo; (foi usado um aquário de vidro, pois é

			necessário um suporte com uma massa grande para manter a estabilidade quando o experimento estiver funcionando, o aquário tinha 125x160x250 mm
3	Rolamentos; (retirada de rodas de skate)	13	Bancada; (Foi construída uma mesa para organizar o experimento, e sempre o deixar alinhado)
4	2 Placas de acrílico de (100 x 100 x 10) mm com um furo central no mesmo diâmetro do rolamento	14	Folha de cartolina
5	Eixo rígido com mesmo diâmetro do furo que há no rolamento e 220 mm de comprimento; (foi usado um canudo de plástico muito rígido)	15	Carretel (20 x 25) mm ; (retirada de esparadrapo (Comprimento x Diâmetro))
6	Virabrequim; (peça retirada de um carro de brinquedo para simular o movimento de um virabrequim de um motor)	16	Duas tampas de plástico de (40 x 10) mm; (Diâmetro x Espessura)
7	2 arruelas de plástico; (retirado de um carro de brinquedo)	17	Secador de cabelo; (ou um ventilador)
8	120 mm Arame de cobre; (retirado de um transformador)	18	Esponja de Aço
9	Tubo de tinta de uma caneta	19	Quadro branco (80 x 70) cm
10	50 mm arame ferro; (retirado de um cabide)		

Tabela 3 – Ferramentas

1	Supercola	5	Cola adesiva Durepoxi
2	Fita isolante	6	Estilete
3	Fita dupla face	7	Osciloscópio (opcional)
4	Fita adesiva comum		

4.1.1 Configuração dos ímãs

Os ímãs escolhidos para confecção do experimento foram ímãs de Neodímio, porque são aproximadamente três vezes mais fortes que ímãs de Ferrite, o que contribui para o funcionamento do experimento. Foram feitos testes para três tipos diferentes de configuração dos ímãs. O intuito era investigar a forma mais efetiva de atingir os objetivos experimentais esperados, tais como amplitude e forma do sinal.

1ª Configuração: Tampa com ímãs

Materiais: 4 ímãs de neodímio em forma de disco (15 x 5) mm; (Diâmetro x Espessura)

A supercola (*Ferramenta 1*) foi utilizada para colar as duas tampas (*Material específico 16*), formando um cilindro, de forma que as superfícies das tampas fossem os extremos do cilindro. Ainda utilizando a supercola, os ímãs foram fixados de acordo com o diagrama da Figura 10. Por último, foi feito um furo no centro do cilindro de tampas, no mesmo diâmetro do eixo (*Material esp. 5*), conforme representado na Figura 10.

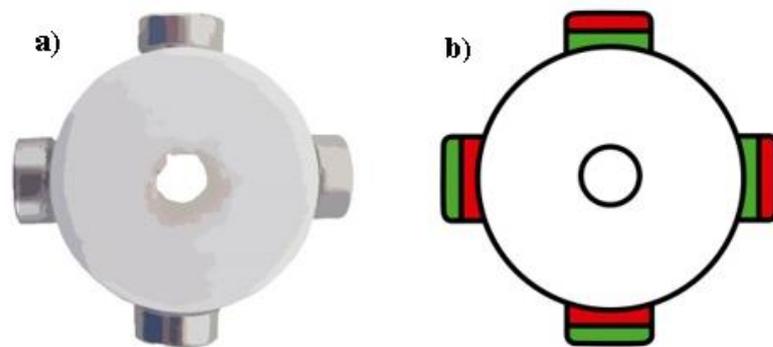


Figura 10 - Foto e ilustração, respectivamente, da 1ª configuração de ímãs. Os polos norte são representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde. Fonte: Autoral

Os ímãs foram colocados para variar em forma de disco com o intuito de aumentar a variação do fluxo magnético em função do tempo, ou seja, aumentar a velocidade com que os ímãs variam sobre a bobina, de acordo com o que foi visto no Capítulo 3.

2ª Configuração: Ímã em barra

Materiais: 1 ímã de neodímio em forma de cilindro (50 x 10) mm; (Comprimento X Diâmetro)



Figura 11 - Ímã de neodímio em forma de cilindro utilizado como 2ª configuração para o gerador. Fonte: Autoral.

O ímã em barra ((Figura 11) foi utilizado com o propósito de aumentar a massa e o tamanho do ímã, e dessa forma aumentar a densidade magnética do ímã, assim aumentando a intensidade do campo magnético com relação as demais configurações.

3ª Configuração: Pistão de ímãs

Materiais: 1 ímã de neodímio em forma de cilindro (15 x 20) mm; (Diâmetro x Comprimento)

Utilizando a supercola (*Fer. 1*), foi colada uma das arruelas de plástico (*Material esp. 7*), em uma das extremidades do cilindro de neodímio. O arame de cobre de 120 mm (*Material esp. 8*) foi colocado por dentro do tubo da caneta (*Material esp. 9*). Em uma das extremidades foi colada a outra arruela de plástico (*Material esp. 7*). A extremidade que o fio de cobre ficou sobrando foi curvada passando a ponta por dentro da arruela que foi ligada ao ímã. Veja na Figura 12.



Figura 12 - Imagem do pistão feito para 3ª configuração de ímãs. Fonte: Autoral

O pistão de ímãs foi construído para aumentar a interação entre o campo magnético do ímã e as espiras das bobinas que foram construídas.

4.1.2 As linhas de campo dos ímãs

Após as configurações dos ímãs estarem prontas, foi proposto um experimento, para visualizar as linhas de campo de cada um. Para cada uma das configurações foi feito o que está descrito no parágrafo a seguir.

A esponja de aço (*Material esp. 18*) foi triturada de forma a parecer um pó de aço. Em seguida, colocou-se o ímã fixado na parte escura do quadro branco (*Material esp. 19*), o quadro foi colocado na horizontal em cima de uma superfície de forma que os ímãs permanecem por trás/embaixo do quadro. Com cuidado o pó de ferro foi jogado sobre toda a superfície branca do quadro. Veja a Figura 13.



Figura 13 - Ilustração de como deve ser feito o experimento das linhas de campo para as configurações dos ímãs. Fonte: Autoral

Feito isso, foi visto que o pó de aço toma formas diferentes de acordo com cada tipo de configuração de ímã. Essas formas foram fotografadas e serão discutidas e apresentadas na sessão 5.1 deste trabalho.

4.1.3 Configuração das bobinas

O fio de cobre escolhido para confecção das bobinas foi o AWG 27 (*Material geral 2*), que é um fio muito fino, para que fosse possível fazer bobinas pequenas e com muitas espiras. É necessário que seja um fio esmaltado ou encapado para que não haja curto circuito no sistema. Cada um dos modelos foi criado para satisfazer a configuração dos ímãs escolhidos. Ao final deste capítulo será possível ver como cada um desses modelos de bobinas foram utilizadas com relação a cada configuração dos ímãs.

Foram construídas dois modelos de bobinas, são elas:

1^o modelo de bobina: carretel

Construiu-se uma bobina utilizando o carretel (*Material esp. 15*). Foram utilizadas 600 voltas com o fio de cobre em torno do carretel, fazendo assim uma bobina de 600 espiras (Figura 14). As extremidades do fio das bobinas são deixadas para fora do carretel com aproximadamente 200 milímetros. Com o auxílio do estilete (*Fer. 6*), as pontas do fio de cobre foram descascadas para retirar o esmalte do fio.



Figura 14 - Imagem da bobina de carretel com 600 espiras, feito para o 1^o modelo de bobina.
Fonte: Autoral.

2^a modelo de bobina: cilindro de pistão

Foram construídas três bobinas utilizando a folha de cartolina (*Material esp. 14*). Foram cortadas três tiras da cartolina com (200 x 70) mm. Enrolou-se as tiras em semelhante a um cilindro, de forma que o cilindro tivesse 18 mm de diâmetro e o seu comprimento fosse de 70 mm. Uma fita adesiva (*Fer. 4*) foi utilizada para manter as tiras de papel no formato de um canudo.

No centro dos canudos de papel, enrola-se o fio de cobre (*Material g. 2*), assim foram construídas três bobinas. A primeira com 300 voltas, a segunda com 600 voltas e a terceira com 800 voltas (Figura 15). As extremidades do fio das bobinas foram deixadas para fora do carretel com aproximadamente 200 milímetros. Utilizando o estilete descascou-se as pontas do fio de cobre para retirar o esmalte do fio. Ao final, foi utilizada a supercola (*Fer. 1*) na superfície das bobinas para que o fio de cobre não desenrolasse.

Para finalizar a estrutura das bobinas, com ajuda da supercola, fixou-se as três bobinas, uma ao lado da outra, na superfície do bloco de acrílico (*Material esp. 11*).

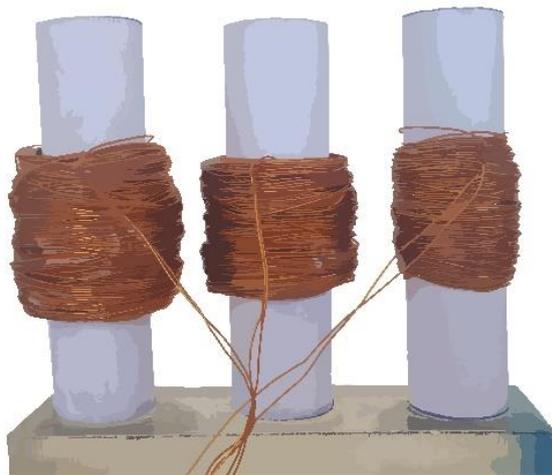


Figura 15 - Imagem das bobinas de carretel com 800, 600 e 300 espiras, respectivamente, feito para 2^a modelo de bobina.
Fonte: Autoral.

4.1.4 Circuito elétrico

O LED vermelho (*Material g. 1*) e a fonte foram ligados a Protoboard (*Material esp. 1*) e a fonte do circuito será o gerador de energia, dessa forma as saídas das bobinas sempre foram ligadas em série para alimentar o circuito elétrico. Para esse experimento foi construído o circuito apresentado no diagrama da Figura 16.

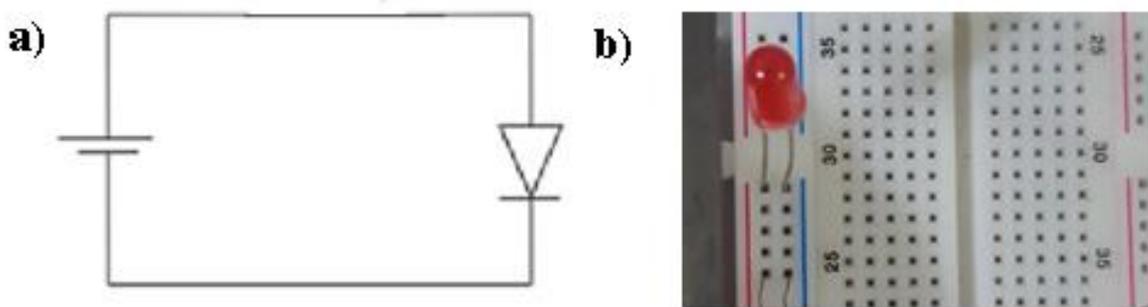


Figura 16 – a) Diagrama do circuito utilizado para o experimento. b) Circuito montado para o experimento. Fonte a): <https://www.resumov.com.br>. Fonte b): Autoral.

4.2 Montagem do experimento

O objeto educacional passou por três diferentes montagens, auxiliando na avaliação de diferentes comportamentos do projeto. Todas as montagens foram construídas sobre a bancada (*Material esp. 13*).

1ª montagem

Utilizando a Durepox (*Fer. 5*) os rolamentos (*Material esp. 3*) foram fixados nas placas de acrílico (*Material esp. 4*) como mostrado na Figura 17.



Figura 17 - Placa de acrílico com o rolamento inserido. Fonte: Autoral

Com a supercola, o eixo (*Material esp. 5*) foi fixado no centro da hélice (*Material esp. 2*). E por sua vez, o eixo da hélice foi inserido no furo do rolamento da primeira placa de acrílico. Em seguida, a 1ª configuração de ímãs foi inserida no centro do eixo. O eixo com a hélice e a 1ª configuração de ímãs foram inseridos na segunda placa de acrílico, de forma que as duas placas ficaram perpendicular ao eixo.

Para finalizar essa montagem, as placas de acrílico foram fixadas com a fita dupla face na bancada. O primeiro modelo de bobina (*Carretel*) foi inserido embaixo da tampa com ímãs de forma que os ímãs variassem em cima do centro das espiras. A bobina foi ligada na protoboard, como indicado na sessão 4.1.4.

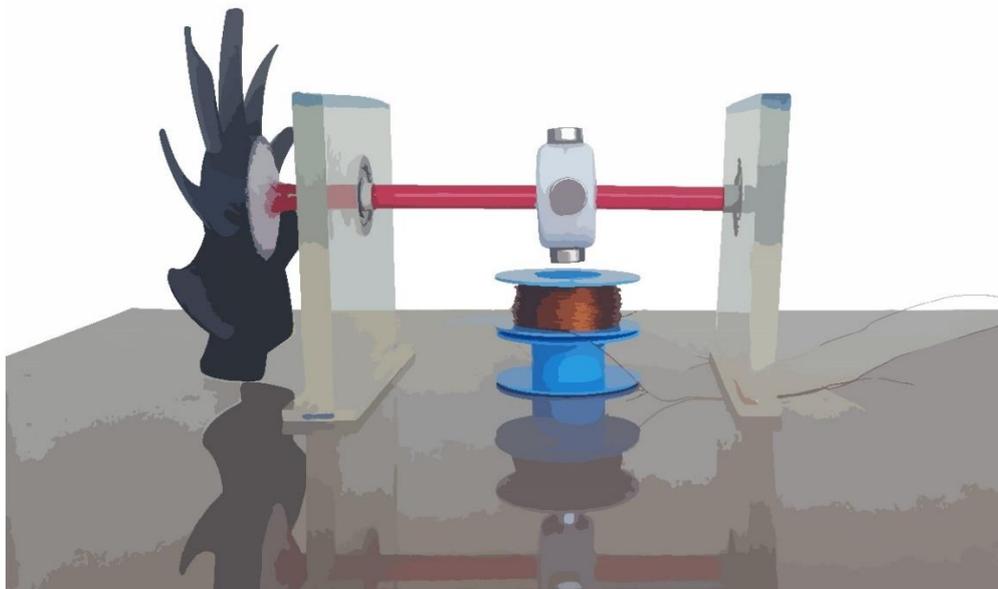


Figura 18 - Imagem da 1ª montagem para o gerador de energia eólica. Fonte: Autoral

2ª montagem

A partir da montagem anterior, foi retirado a 1ª configuração de ímãs, o eixo foi dividido em dois, aproximadamente no centro do eixo. Utilizando a supercola, foi fixado a 2ª configuração de ímãs entre os dois pedaços do eixo que foi partido.

Para finalizar essa montagem as placas de acrílico foram fixadas com a fita dupla face na bancada. O primeiro modelo de bobina (*Carretel*) foi inserido embaixo do cilindro de ímã. De forma que o ímã variasse em cima do centro das espiras. A bobina foi ligada na protoboard, como indicado na sessão 4.1.4.

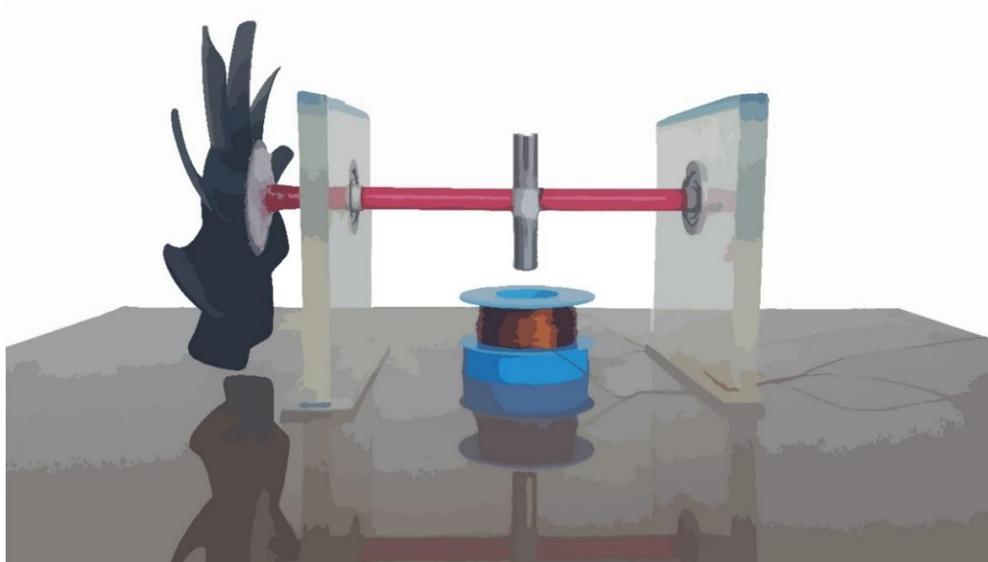


Figura 19 - Imagem da 2ª montagem para o gerador de energia eólica. Fonte: Autoral

3ª montagem

Utilizando a montagem anterior, o ímã em barras foi retirado. Assim, foi utilizado apenas a parte do eixo que está fixa na hélice e presa em uma das placas de acrílico. O arame de ferro (*Material esp. 10*) foi inserido na ponta do virabrequim (*Material esp. 6*) e, com a ajuda de um alicate, foi curvado formando um gancho, utilizando supercola e fita isolante para que o arame ficasse bem estável. Para finalizar, a supercola e a fita isolante foram usadas para fixar o virabrequim na outra extremidade do eixo. A qual mostra na Figura 20.

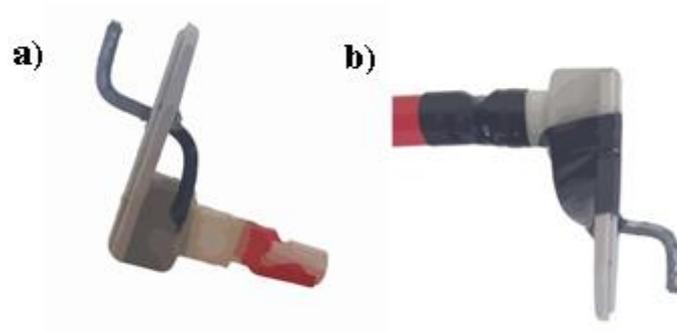


Figura 20 – a) Imagem do virabrequim após inserir o arame de ferro. b) Imagem do virabrequim inserido no eixo do experimento. Fonte: Autoral.

Utilizando a fita dupla face, o suporte (*Fer. 3*) foi fixado em cima da bancada. A placa de acrílico que estava com a hélice e o virabrequim foi fixada com fita dupla face sobre o suporte de forma que o eixo ficasse “para fora” do suporte. A 3^a configuração de ímãs foi inserida à 3^a montagem do experimento. A arruela do pistão foi inserida no arame de ferro do virabrequim. O pistão de ímã foi inserido no 2^o modelo de bobina, dentro de uma das bobinas (há 3 bobinas, cada uma foi testada separadamente). A bobina foi ligada na protoboard como indicado na sessão 4.1.4.

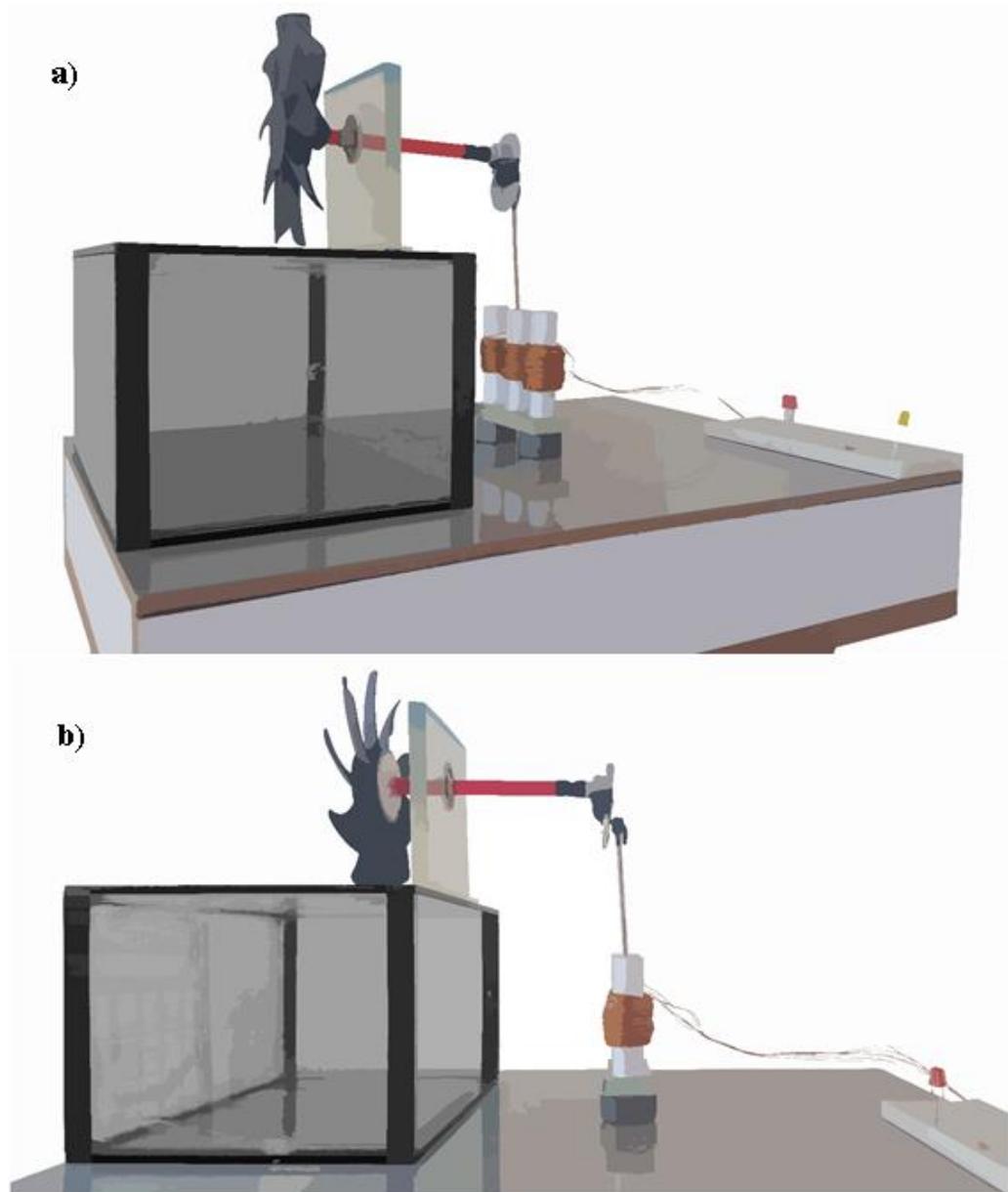
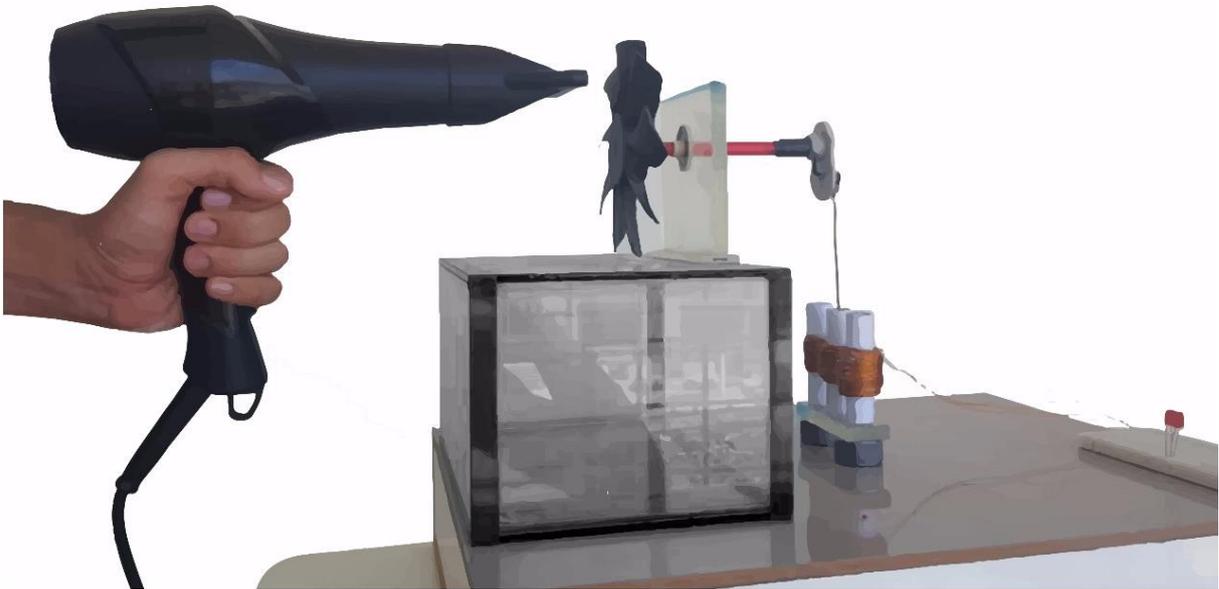


Figura 21 - Imagens da 3^a montagem para o gerador de energia eólica. Fonte: Autoral

4.2.1 Ajuste do experimento

Para iniciar o funcionamento do experimento, o secador (*Material esp. 17*) foi ligado e o vento direcionado de forma perpendicular a hélice do gerador, como indicado na Figura 22.

a)



b)

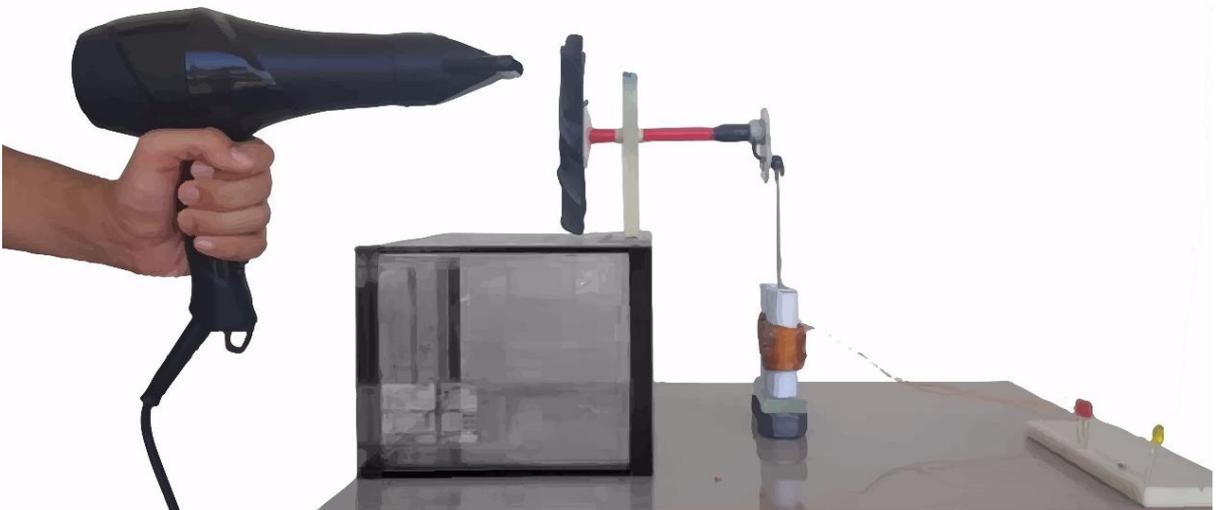


Figura 22 - Imagens de como o secador deve ser posicionado na hélice. Na imagem foi utilizada como exemplo a 3ª montagem para o gerador de energia eólica. Fonte: Autoral

Para a 1ª e 2ª montagem tomou-se o cuidado para que a variação dos ímãs fique a uma distância segura da bobina para que os ímãs não batam na bobina, mas ao mesmo tempo que as linhas de campo obtivessem uma boa interação com as espiras, foi proposta uma distância aproximada de 10 mm.

Para a 3ª montagem, o eixo do pistão precisou estar bem centralizado com o centro da bobina, veja na Figura 23, de forma que o pistão variasse no interior do cilindro sem travar seu movimento. Foi repetido o processo do funcionamento do experimento em todas as três bobinas inseridas no 3º modelo de montagem.

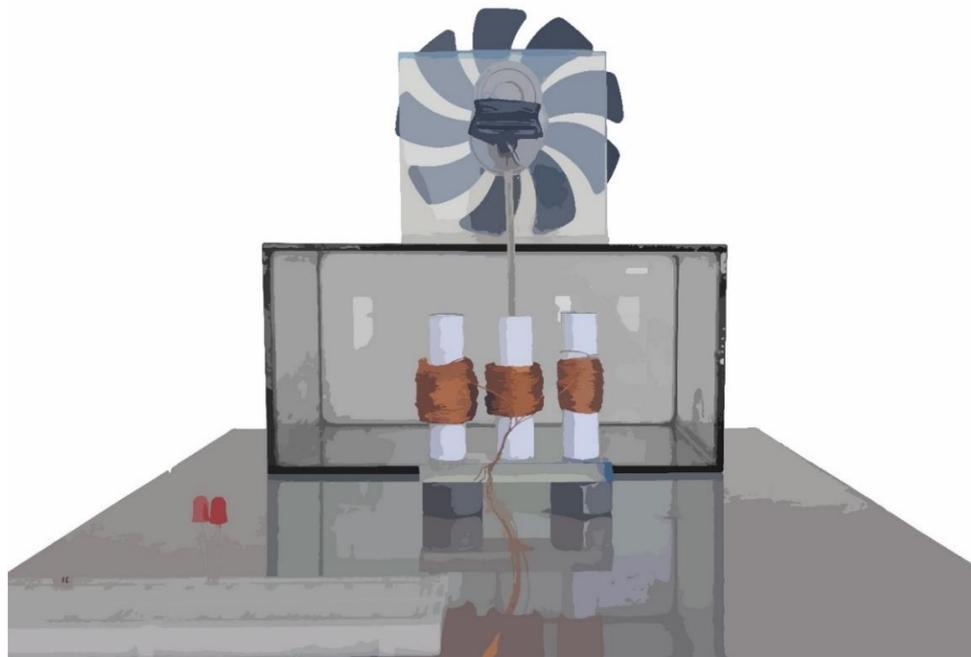


Figura 23 - Perspectiva posterior da 3ª montagem do experimento para o gerador de energia eólica. Note que o arame do pistão está bem alinhado com o cilindro, para uma melhor movimentação. Fonte: Autoral

Em todas as montagens também houve a utilização do osciloscópio (*Fer. 7*) no sistema do experimento. Para que fosse possível observar o comportamento do sinal tensão produzida pelo gerador. O osciloscópio utilizado pertence ao laboratório de Física do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, é um instrumento caro e sofisticado, tornando a sessão 5.2 no próximo capítulo útil apenas para somar dados quantitativos à pesquisa e, assim, tornar a discussão do trabalho mais interessante. Dessa forma, não é obrigatório o uso desse instrumento de medição para reprodução desse trabalho em sala de aula.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Seguindo os processos do capítulo anterior, chegamos na sessão que descreve as observações e os dados colhidos das diferentes montagens do objeto educacional. Nesse capítulo, será discutido e justificado qual das construções atende melhor ao que o modelo de energia eólica sugere.

A finalidade e objetivo do experimento não era apenas gerar corrente elétrica, mas que o gerador obtivesse uma tensão suficientemente capaz de acender um LED, não só por questões visuais, mas também é o que vai auxiliar a compreensão dos resultados experimentais de forma qualitativa.

5.1 Resultados das configurações dos ímãs

A primeira observação feita foi a partir das linhas de campo dos ímãs escolhidos, para saber como seria a interação dos campos magnéticos desses ímãs com relação as espiras das bobinas utilizadas.

De acordo com os estudos de domínio magnético (sessão 3.3.3) e o que foi feito na sessão 4.1.2, que indica que quanto maior a quantidade de domínios menor é a energia associada ao campo magnético de ímãs permanentes. A 1ª configuração dos ímãs foi escolhida a partir das linhas de campo analisadas na Figura 24 e 25. Assim, para 1ª configuração, foi escolhida a que está representada na Figura 25.

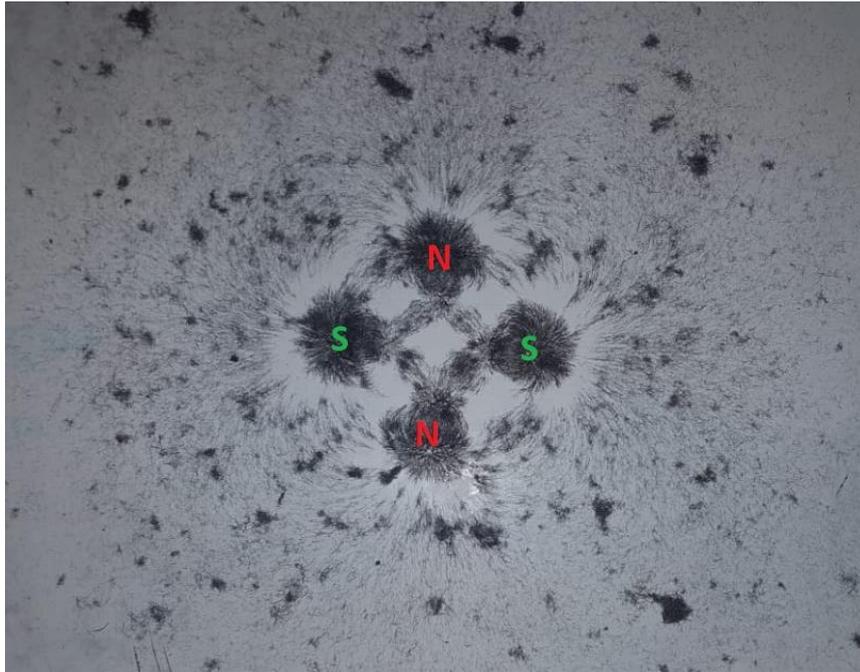


Figura 24 - Linhas de campo da 1^a configuração de ímãs, com quatro domínios magnéticos. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'. Fonte: Autoral

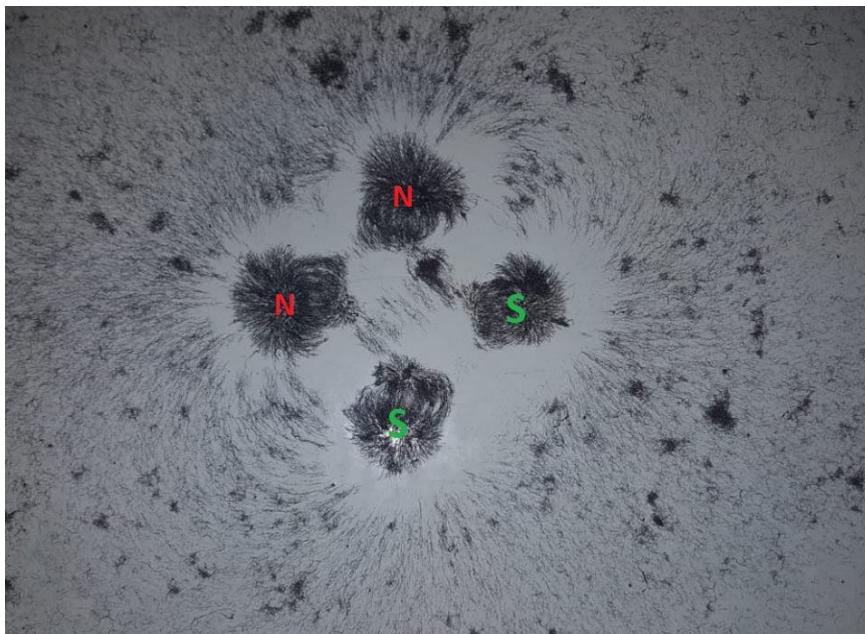


Figura 25 - Linhas de campo da 1^a configuração de ímãs, com dois domínios magnéticos. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'. Fonte: Autoral

A Figura 26 indica que a intensidade do campo gerado pelo ímã em forma de cilindro da 2^a configuração é maior que a intensidade gerada pela 1^a configuração. Isso

acontece por causa do aumento da densidade magnética do cilindro em comparação aos ímãs em forma de disco utilizados na configuração anterior.

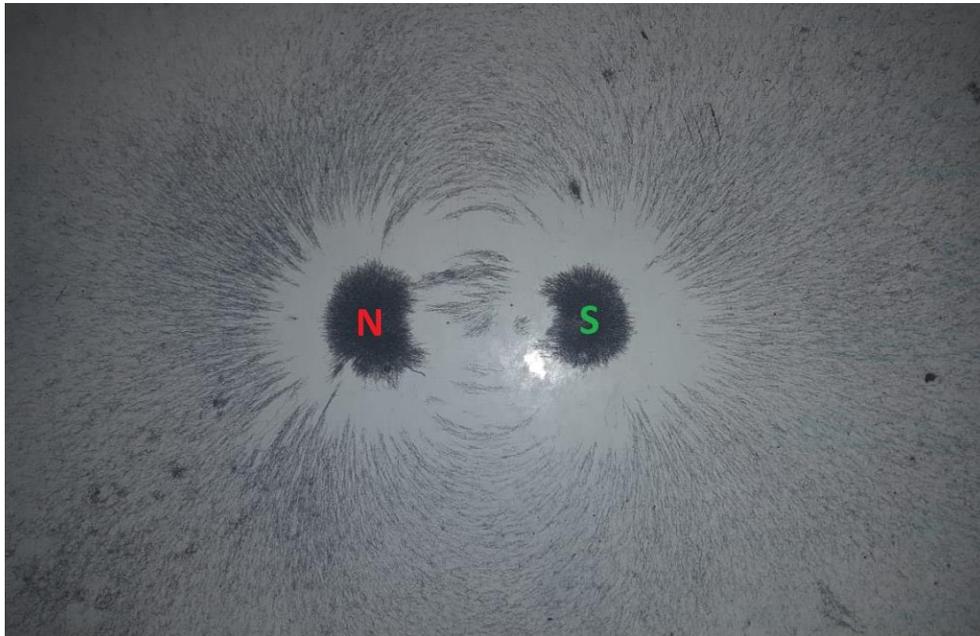


Figura 26 - Linhas de campo da 2ª configuração de ímã. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'. Fonte: Autoral

A Figura 27 mostra as linhas de campo da 3ª configuração, a qual se assemelha as linhas de campo, da 2ª configuração. Mesmo sendo semelhantes, elas tiveram uma finalidade diferente, pois a finalidade da 2ª configuração foi aumentar a intensidade do campo magnético. Por sua vez, a 3ª configuração foi utilizada de forma a aumentar a interação entre o campo magnético e as espiras das bobinas.

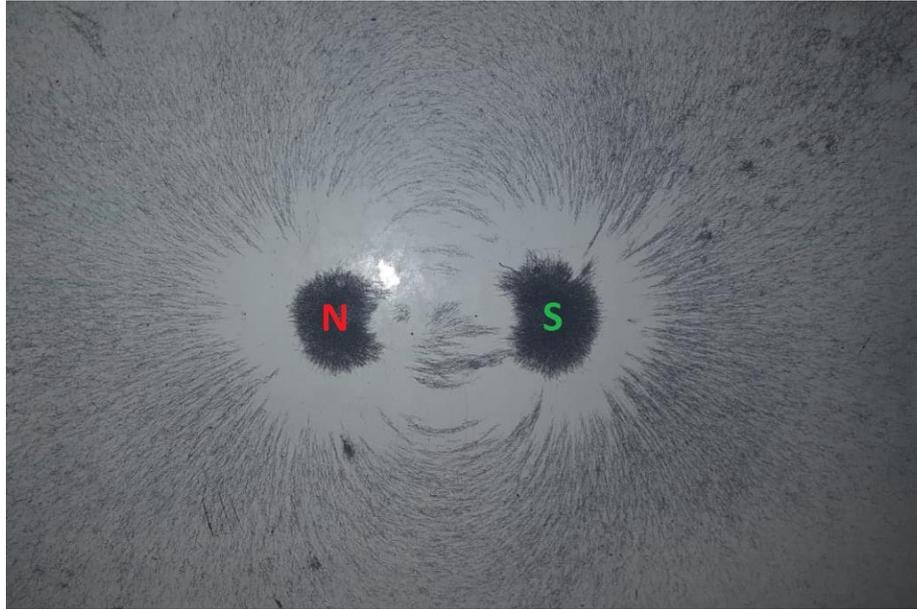


Figura 27 - Linhas de campo da 3^a configuração de ímã. Os polos norte estão representados pela cor vermelha e a letra 'N' e os polos sul pela cor verde e a letra 'S'. Fonte: Autoral

A segunda observação foi a partir do próprio funcionamento do experimento. Quando o secador foi posto para funcionar na hélice do gerador, é esperado que com o aumento da variação do fluxo do campo magnético seja gerada uma corrente diretamente proporcional a essa variação. Assim, a tensão gerada deva ser suficiente para acender um LED.

Após o funcionamento de todos os 3 tipos das montagens do gerador, apenas a 3^a montagem foi capaz de acender o LED. Mais precisamente as bobinas de 600 e 800 espiras em forma de cilindro foram capazes de gerar uma tensão suficiente para acender um LED vermelho, que necessita aproximadamente de 1,8 V – 2,0 V e 0,02 A para ser aceso.

Também foi observado a diferença no brilho do LED, pois quando o pistão é posto no cilindro com 800 espiras, o LED acende com uma facilidade e com um brilho maior que quando o pistão está no cilindro com 600 espiras.

5.2 Observações feitas com o uso do osciloscópio

Para identificar quais eram os problemas com as montagens 1 e 2 do experimento que não acendiam o LED, mesmo que o fluxo do campo magnético com relação a bobina fosse aumentado consideravelmente, o experimento foi submetido ao estudo por

meio do equipamento *osciloscópio*. O osciloscópio é um instrumento de medida de sinais elétricos/eletrônicos que apresenta gráficos em duas dimensões. O eixo vertical do monitor representa a intensidade do sinal (tensão) e o eixo horizontal representa o tempo, tornando o instrumento útil para mostrar sinais periódicos.

Após o osciloscópio ser inserido na análise das montagens descritas no capítulo anterior, para cada uma foi possível fotografar e assim extrair o comportamento do sinal emitido pelo gerador. Os dois primeiros gráficos estão com um intervalo muito pequeno de medida, pois a intensidade do sinal emitido pelas montagens 1 e 2 do gerador eram muito baixas, diferente dos três últimos gráficos da 3ª montagem. Veja nas Figuras 28, 29, 30, 31 e 32.

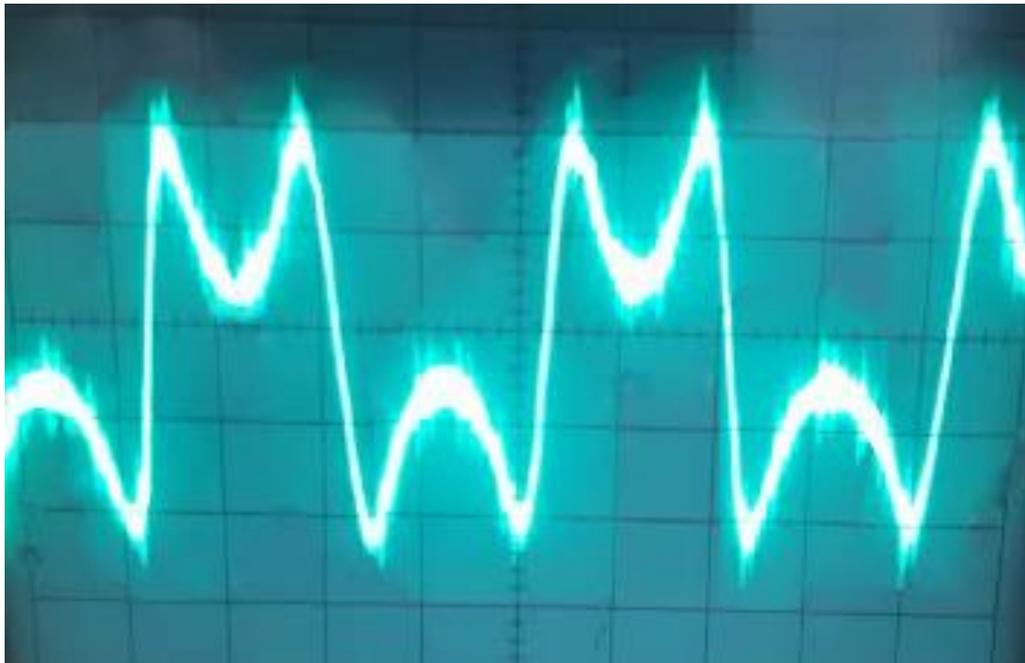


Figura 28 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 1ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 20 ms e o vertical a tensão com escala de 0,1 V. Fonte: Autoral



Figura 29 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 2ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 20 ms e o vertical a tensão com escala de 0,1 V. Fonte: Autoral

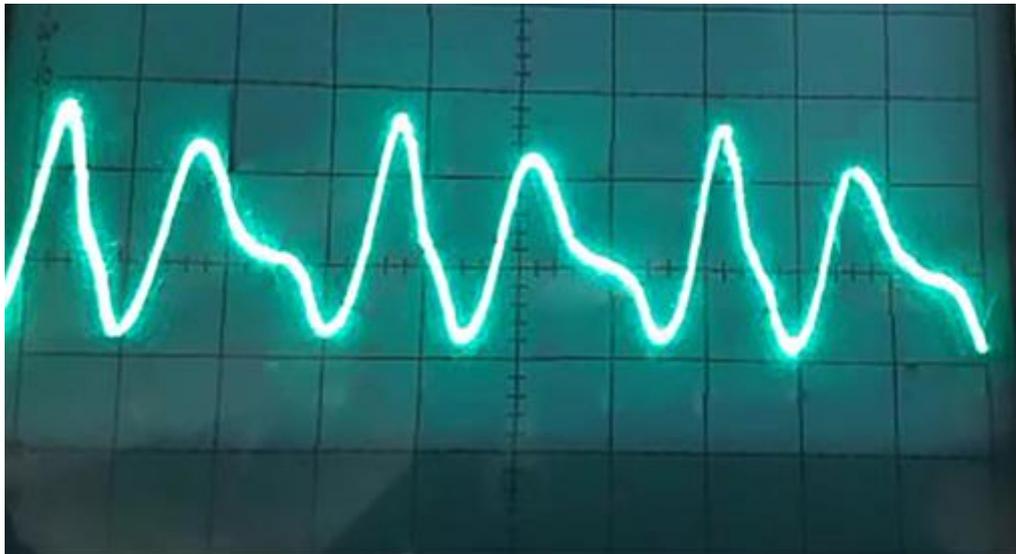


Figura 30 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 300 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 2 s e o vertical a tensão com escala de 1 V. Fonte: Autoral



Figura 31 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 600 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 0,2 s e o vertical a tensão com escala de 1 V. Fonte: Autoral

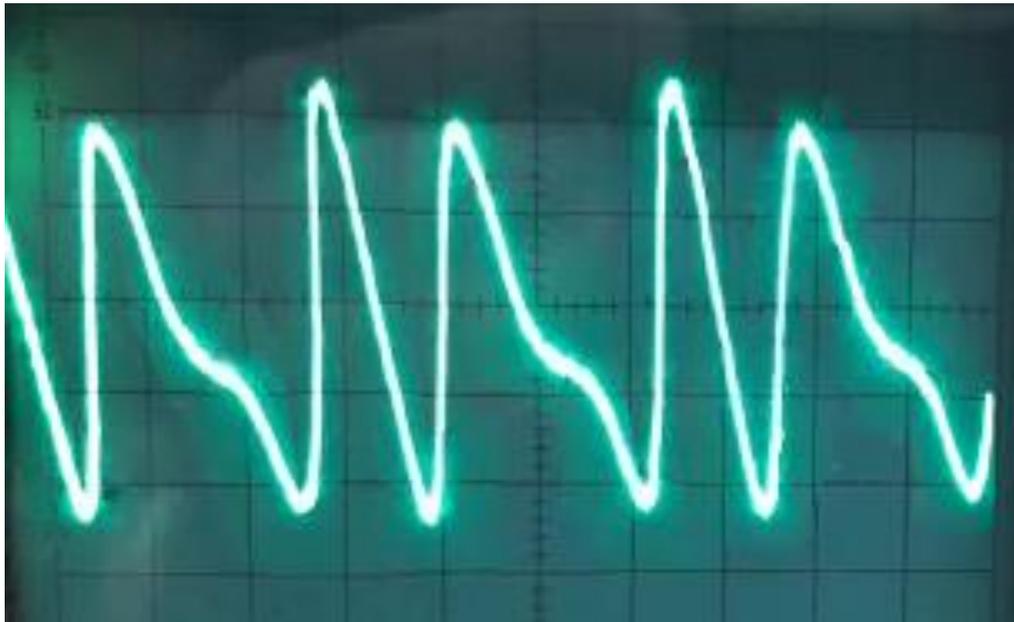


Figura 32 - Fotografia do monitor do osciloscópio representando o gráfico de TENSÃO por TEMPO da 3ª montagem do gerador com a bobina de 800 espiras. O eixo horizontal representa o tempo com escala de 0,2 s e o vertical a tensão com escala de 1 V. Fonte: Autoral

5.3 Discussão dos resultados

Nessa sessão será discutido os dados e observações descritas na sessão 5.1 e 5.2, de forma a se relacionarem com as teorias do eletromagnetismo e com a finalidade do funcionamento do objeto educacional.

5.3.1 Lei da indução eletromagnética no funcionamento do gerador

Para os 3 tipos de montagem do gerador de energia eólica, apenas um deles gerou uma diferença de potencial suficiente para que o fenômeno da lei da indução de Faraday, descrito no Capítulo 3, fosse visto sem a necessidade de nenhum equipamento eletrônico. Apesar da 3ª montagem do experimento ter sido mais eficaz, a partir do uso do osciloscópio foi possível ver que todas as montagens foram condizentes com o que é proposto pela lei da indução de Faraday, ou seja, aplicamos um campo magnético (ímã) à um conjunto de espiras (bobina) feitas de um material (cobre) condutor de eletricidade e variarmos o fluxo do campo magnético com relação a essa bobina. Fazendo isso, foi registrada uma diferença de potencial, como é possível ver nas figuras da sessão 5.2.

Outro aspecto previsto pela interação do campo magnético pela matéria, descrita também pela Equação 3, foi o aumento da variação a partir do aumento do número de espiras, e assim, de acordo com a Equação 4, houve um aumento na ddp produzida, observado nas Figuras 30, 31 e 32. Com o aumento do número de espiras, na bobina, maior foi a quantidade superfícies atravessadas pelas linhas de campo e também foi maior o próprio fluxo do campo magnético que é diretamente proporcional a ddp produzida por essa taxa de variação de campo magnético, a qual, por sua vez, é diretamente proporcional a ddp gerada.

Foi possível ver que para 3ª montagem do experimento, 300 espiras produziram aproximadamente 1 V, 600 espiras produziram aproximadamente 1,8 V e 800 espiras produziram aproximadamente 2 V, aproximando-se do que é sugerido pelas teorias revisadas no parágrafo anterior.

5.3.2 Linhas de campo e sinal de tensão

Essa sessão foi dedicada apenas para explicar a relação entre a variação do campo magnético e o sinal registrado pelo osciloscópio. Primeiro vamos começar pelo sinal das montagens 1 e 2 do gerador de energia eólica.

Diferente dos demais sinais registrados, os sinais das Figuras 28 e 29, se comportaram de forma inesperada, pois há dois pontos máximos de tensão a cada meio período. Esse efeito acontece por causa do formato do ímã. Como foi discutido no Capítulo 3, no magnetismo, isso acontece, pois nos materiais magnéticos permanentes, no caso desse trabalho um ímã em barra de neodímio, há uma concentração maior de linhas de campo próximos aos polos norte e sul, aumentando assim a intensidade e a quantidade de linhas de campo próximos aos polos. No caso do ímã em forma de cilindro há uma concentração maior nas “bordas” do ímã.

Para demonstrar esse efeito, o pó de aço que foi usado para obter as linhas de campo que estão na sessão 3.1 foi despejado sobre a superfície do ímã de cilindro, em seguida foi fotografado (Figura 33) e comprovado que há uma intensidade maior de linhas de campo nas bordas do ímã.



Figura 33 - Fotografias do acúmulo de pó de aço sobre a superfície do ímã de cilindro para demonstrar que há uma maior intensidade do campo magnético devido a uma quantidade maior de linhas de campo nessa região do ímã. Fonte: Autoral

Por esse motivo, os pontos máximos e o decaimento do sinal entre os pontos de máximo que são vistos nos sinais de tensão das Figuras 28 e 29 é o resultado do formato do ímã escolhido e a forma como suas linhas de campo variam no interior da bobina.

Nas Figuras 34a à 34h, foi ilustrado uma representação de como o ímã varia com relação a bobina, onde cada posição do ímã foi definida para justificar o comportamento da forma que o sinal tomou durante o funcionamento do gerador.

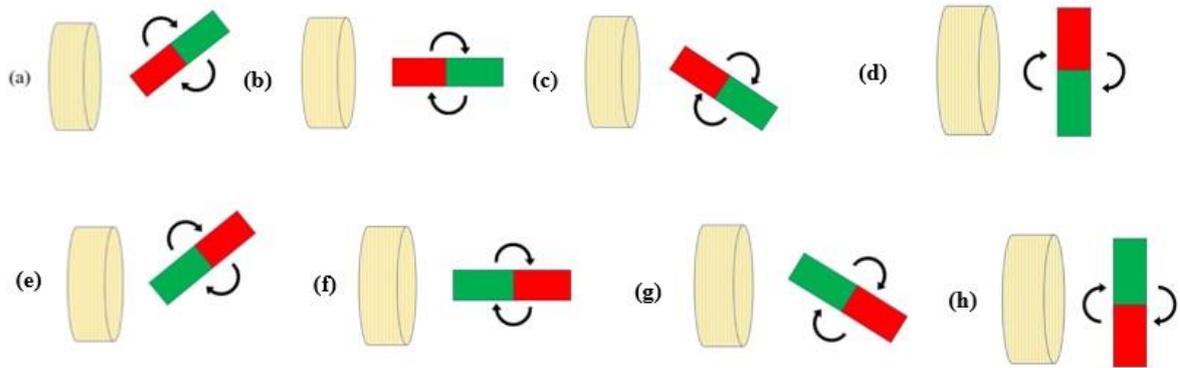


Figura 34 - Ilustração da posição e do movimento do ímã com relação a bobina. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde. Foi representado 8 momentos específicos (Figura 34a, 34b, 34c, 34d, 34e, 34f, 34g e 34h) para ilustrar o comportamento do sinal da tensão gerada, representada na Figura 28 e 29. Fonte: Autoral

A Figura 35 foi correlacionada com as ilustrações contidas na Figura 34, de forma que cada posição (a, b, c, d, e, f, g e h) foram postas na ilustração do sinal de tensão obtidos das Figuras 28 e 29, ou seja, cada posição do ímã está diretamente relacionada com as curvas do sinais tensão.

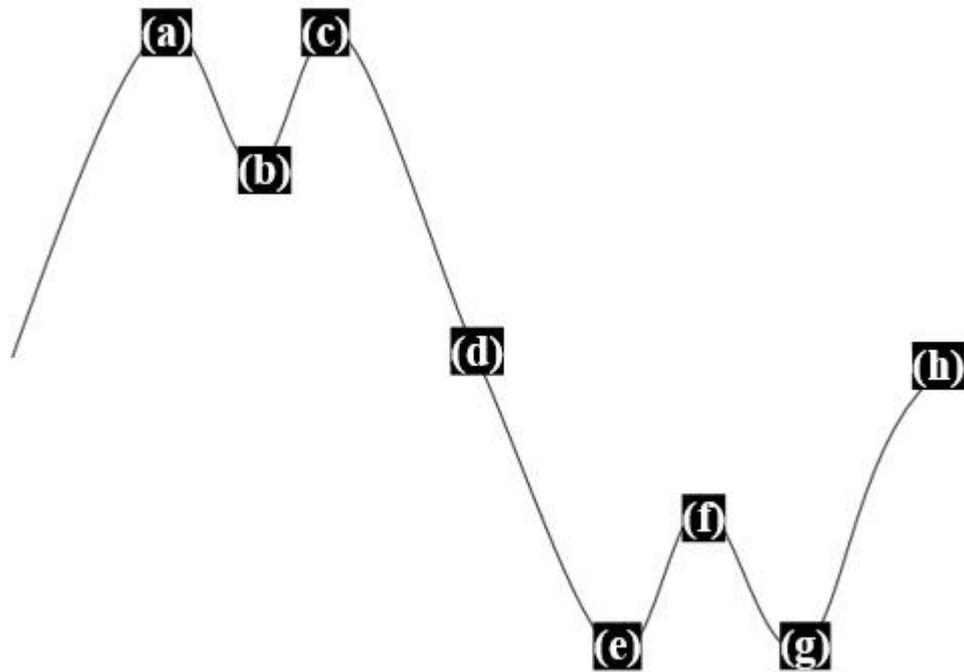


Figura 35 - Ilustração do sinal de tensão referente as montagens 1 e 2 do gerador de energia (Figuras 28 e 29, sessão 5.2). Os pontos marcados no diagrama são referentes as posições descritas na Figura 34. Os pontos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) estão diretamente ligadas as posições dos ímãs descritos nas Figuras 34a, 34b, 34c, 34d, 34e, 34f, 34g e 34h, respectivamente. Fonte: Autoral

Agora, tratamos dos sinais obtidos por meio da montagem 3 do gerador de energia eólico construído, sinais esses que foram captados pelo osciloscópio e estão registrados nas Figuras 30, 31 e 32 da sessão 5.2. Diferente dos sinais analisados anteriormente os sinais da montagem 3 se comportam de forma mais aproximada do esperado, um sinal de forma senoidal, semelhante ao sinal da força eletromotriz (\mathcal{E}) exemplificada no Capítulo 3.

Nesse caso em particular, os pontos de máximos se restringem há apenas um por cada meio período, diferente do sinal anterior. Isso acontece porque a interação do ímã com a bobina se dá de forma diferente do caso anterior. Nesse, o ímã passa por dentro da bobina, fazendo assim com que as “bordas” do cilindro de neodímio atravessem as espiras juntas, ou seja, as linhas de campo vindas das “bordas” do ímã interagem com as espiras da bobina no mesmo instante que as linhas de campo da superfície do cilindro.

Nas Figuras 36a à 36h, foi ilustrado uma representação de como o ímã varia com relação a bobina, onde cada posição do ímã foi definida para justificar o comportamento da forma que o sinal tomou durante o funcionamento do gerador. A Figura 37 foi correlacionada com as ilustrações contidas na Figura 36, de forma que cada posição (a, b, c, d, e, f, g e h) foram postas na ilustração do sinal de tensão obtidos das Figuras 30, 31 e 32, ou seja, cada posição do ímã está diretamente relacionada com as curvas dos sinais de tensão.

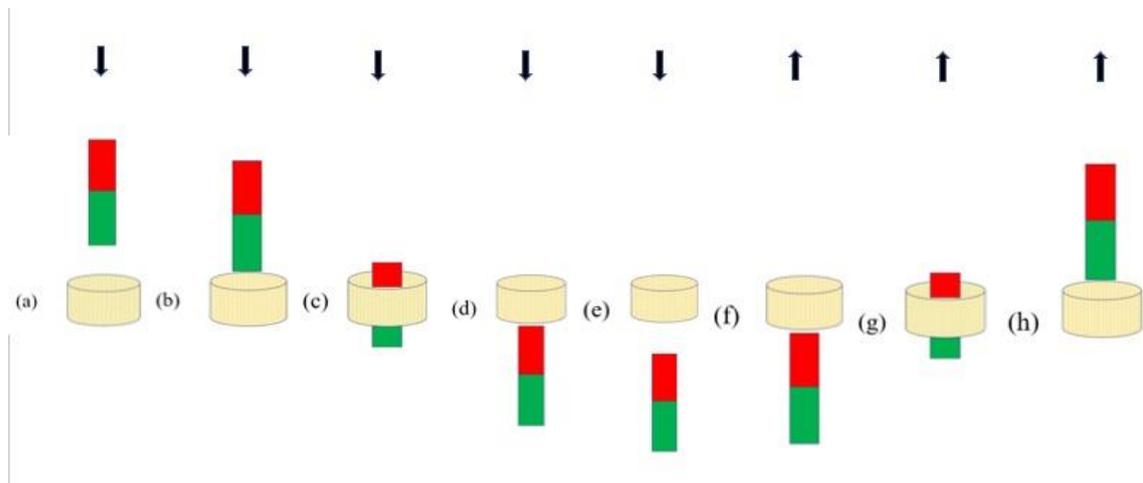


Figura 36 - Ilustração da posição e do movimento do ímã com relação a bobina. Os polos nortes estão representados pela cor vermelha e os polos sul pela cor verde. Foi representado 8 momentos específicos (Figura 36a, 36b, 36c, 36d, 36e, 36f, 36g e 36h) para ilustrar o comportamento do sinal da tensão gerada, representada nas Figuras 30, 31 e 32. Fonte: Autoral

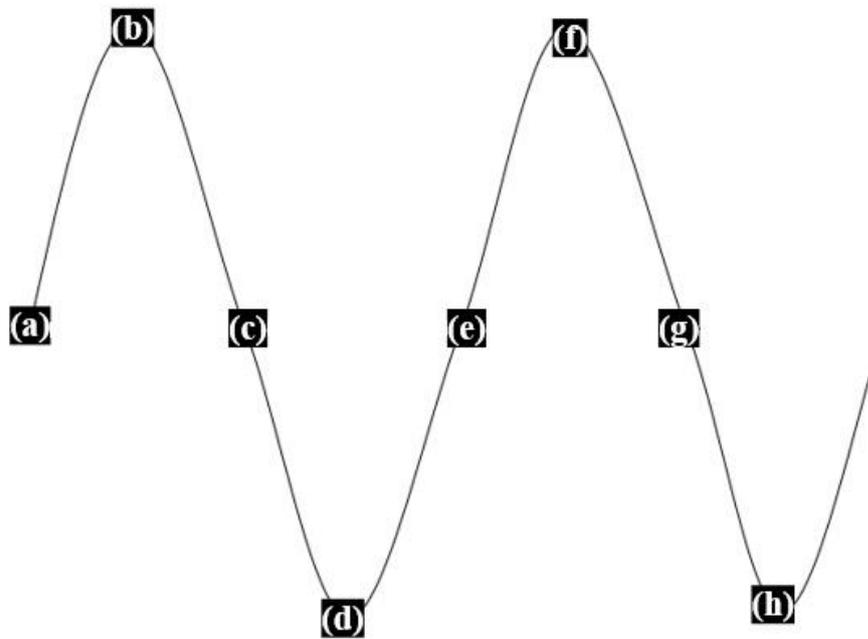


Figura 37 - Ilustração do sinal de tensão referente a montagem 3 do gerador de energia (Figuras 7, 8 e 9, sessão 5.2). Os pontos marcados no diagrama são referentes as posições descritas na Figura 12. Os pontos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h) estão diretamente ligadas as posições dos ímãs descritos nas Figuras 37a, 37b, 37c, 37d, 37e, 37f, 37g e 37h, respectivamente. Fonte: Autoral

Continuando a análise dos sinais de tensão extraído do osciloscópio, é inevitável não notar uma pequena distorção nos sinais de tensão nas Figuras 30, 31 e 32. Na Figura 38 é possível ver com mais detalhes essa perturbação no sinal.

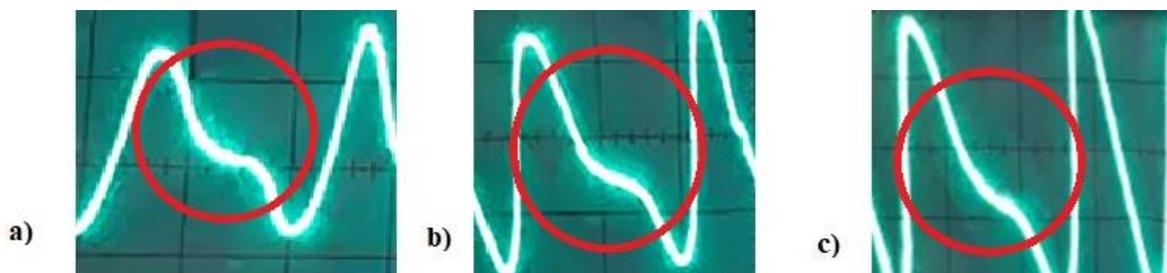


Figura 38 - Imagem com foco na perturbação causada nos sinais de tensão da 3ª montagem extraída nas Figuras 30, 31 e 32, respectivamente, da sessão 5.2. Fonte: Autoral

Foi possível ver que o comportamento do sinal de tensão está diretamente ligado as interações entre as linhas de campo dos ímãs com as espiras das bobinas. Por isso, a

partir das observações foi possível concluir que essa pequena distorção possivelmente ocorre devido as imperfeições na movimentação de “entra e sai” do ímã na bobina, pois, na prática, o ímã não tem uma movimentação uniforme, como é representado na ilustração da Figura 36, isto é, o ímã não entra e sai alinhado perpendicularmente com a bobina, na verdade, o pistão sofre inclinações durante a movimentação no interior da bobina .

O pistão da 3ª montagem tem muitas imperfeições no instante do seu funcionamento, entretanto atinge os objetivos experimentais, sendo assim, erros dispensáveis para o trabalho, mas deixando claro a importância da discussão de cada fenômeno que venha a alterar o comportamento do experimento.

5.4 A melhor configuração encontrada para o experimento

A partir das observações, o tipo de montagem que mais se adequa ao exigido pelo objetivo experimental, foi a 3ª montagem, pois nela é possível verificar sem a necessidade de equipamentos a Lei de Faraday sendo posta em prática e funcionando.

Também é importante ressaltar que um equipamento como o osciloscópio não é simples de se obter. Por esse motivo, a utilização da 3ª montagem é a mais adequada para se utilizar, principalmente visando a finalidade desse trabalho que seria ensinar leis do eletromagnetismo por meio de um modelo de laboratório semiaberto em uma sala de aula utilizando matérias de baixo custo, onde na maioria das situações não terá acesso a equipamentos sofisticados.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Uma característica muito forte da metodologia utilizada na execução desse trabalho, presente nos conceitos de modelo de laboratório aberto, são as tentativas e erros contidos na construção de um experimento. O projeto surgiu da ideia de construir um objeto educacional para estudar leis que regem a indução eletromagnética e, a partir disso, foi posto em prática as ideias de utilizar um modelo de produção de energia elétrica associado à região que estava sendo executado o projeto. Mas, como todo projeto de laboratório aberto, as primeiras tentativas de construção não saíram como esperado.

De acordo com as leis de indução de Faraday, foi proposto um modelo de experimento que, ao variar um ímã sobre uma bobina de N espiras, já seria o bastante para o propósito do projeto. O objetivo que era a construção de um experimento para analisar o comportamento da lei de indução. Entretanto, a intensidade da corrente gerada pela variação do fluxo do campo magnético com relação as espiras da bobina não eram suficientes para analisar o fenômeno descrito por Faraday sem que houvesse a necessidade de um equipamento (osciloscópio) para isso.

Outro modelo foi proposto, o qual consistia na mesma configuração do primeiro, porém com um aumento do tamanho do ímã, aumentando assim o fluxo do campo magnético que iria interagir com a bobina. Mesmo com a mudança do ímã, a interação, do fluxo de campo magnético e bobina, ainda estava pequena para que o fenômeno pudesse ser observado sem equipamentos.

A fim de aumentar consideravelmente a interação ímã e bobina, foi proposto um terceiro modelo onde o ímã passaria por dentro da bobina, do qual, seu interior teria aproximadamente o mesmo diâmetro do ímã, fazendo assim com que o fluxo do campo magnético produzido tivesse um aumento considerável na interação com a área dos fios de espiras que compõem a bobina. Assim como os outros dois modelos a lei de Faraday era obedecida, entretanto com o terceiro modelo de experimento foi possível ver a lâmpada funcionar sem a ajuda de equipamentos sofisticados.

Ter em mãos um experimento ou um trabalho explicando como montar um experimento, nem sempre é o bastante. É necessário saber como usá-lo e quando usá-lo. Esse projeto foi pensado principalmente para ser executado e trabalhado na região do Nordeste, devido a grande produção de energia eólica que há nessa região, possibilitando os docentes de Física que nela vivem aproximem os alunos de um recurso fundamental para o desenvolvimento da sociedade local.

Utilizar esse objeto educacional; consiste em uma atividade de laboratório fechado, pois apesar do experimento ter sido construído a partir de uma atividade de laboratório aberto, a metodologia resultante não seguiu exatamente a mesma linha da qual a originou. Entretanto, cabe ao professor/orientador definir quais as atividades que serão trabalhadas em sala de aula. Isto é, o objeto educacional que foi construído desse trabalho não é algo imutável, é possível substituir elementos que constitui o experimento para trabalhar uma investigação a partir das variáveis contidas nas leis da indução eletromagnética.

Como exemplo ao que foi dito, o professor pode propor a modificação do número de bobinas a serem construídas de forma que os alunos tenham que encontrar o número exato de espiras necessárias para acender um LED. Também pode ser proposto a alteração do ímã de neodímio para um de ferrite, para que seja analisada a diferença na intensidade do fluxo do campo magnético gerado por ambos os ímãs. É possível modificar o tipo de bobina, a forma com que o ímã varia ou até mesmo a espessura do fio de cobre.

A possibilidade da eliminação ou diminuição dos erros sistemáticos que aconteceram durante a construção do experimento, como o movimento do pistão da 3ª montagem do experimento e outros que foram comentados nesse trabalho, podem vir a ser também uma atividade extra ao reproduzir esse experimento.

Para estudos futuros, recomenda-se que todas essas propostas vêm a ser útil em uma atividade elaborada em sala de aula, mas que seja levado em conta o tempo, a disponibilidade dos alunos e professores, o interesse dos alunos, e vários outros aspectos que cabem ao professor/orientador que irá ministrar a atividade julgar e adequar a sua proposta.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.S.T e Abib, M.L.V.S. Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, no. 2, Junho, 2003.
- AUSUBEL, D.P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. 1. ed. Lisboa: Paralelo Editora, LTDA, 2000. 215 p.
- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. (2nd ed) Nova York, Holt, Rinehart and Winston, 1978. 733 p.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2^a edição, 1980.
- ALVES, M.F. *ABC do Osciloscópio*, 2^a Edição. Instituto Superior de Engenharia. Departamento de Engenharia Eletrotécnica, 1998. Disponível em < <https://www.ft.unicamp.br/~leobravo/TT%20305/O%20Osciloscopio.pdf> >. Acesso em 06/12/2018.
- BRASIL, MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- CARVALHO, A.M.P.; SANTOS, E.I.; AZEVEDO, M.C.P.S.; DATE, M.P.S.; FUJII, S.R.S. e NASCIMENTO, V.B. *Termodinâmica: um ensino por investigação*. São Paulo: FEUSP, 1999.
- CAVALCANTE, M. A.; BENEDETTO, A. Instrumentação em física moderna para o ensino médio: uma nova técnica para a análise quantitativa de espectros. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 437-446, 1999.
- DIAS, V.S; MARTINS, R.A. *Micael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética*. 2004. 14 p. Artigo (Pós-Graduação em Educação para a Ciência)- Universidade Federal Paulista, [S.l.], 2004.
- DUTRA, R.M. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Salvo de Brito – CRESESB. *Energia Eólica Princípios e Tecnologia*. Revisão, 2008.
- FARIA, R.N e LIMA, L.F.C.P. *Introdução ao Magnetismo dos Materiais*. 1. Ed. São Paulo – SP. Editora Livraria da Física. 2005.
- FRANCISCO JR, W. E. Uma proposta metodológica para o ensino dos conceitos de pressão e diferença de pressão. *Ensaio*, v. 9, n. 1, 2007.

GIL PEREZ, D., TORREGROSA, J.M., RAMÍREZ, L., CARRÉE, A.D., GOFARD, M., e CARVALHO, A.M.P. (1992). Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 9(1), pp. 7- 19.

GRECA, I.M; MOREIRA, M.A., Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual de Física. 2003. 16 p. Artigo (Pós-Graduação em Educação em Ciência)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasília, 2003.

GRIFFITHS, D.J. *Eletrodinâmica*. 3. ed. São Paulo: Editora Afiliada, 2011. 421 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3;

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 9. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LOPES, I.L.S; MARQUES; J.R; VAZ, C.R.O. Análise de concepções dos alunos do curso de licenciatura em Física do IFPI submetidos às oficinas de óptica. VII-CONNEPI: Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas, Tocantins. 2012.

MARDUQUESE, Max. 10 fatos sobre energia eólica brasileira que você talvez não saiba. 2017. Disponível em: <<http://revistaamazonia.com.br/10-fatos-sobre-energia-eolica-brasileira-que-voce-talvez-nao-saiba/>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

MOREIRA, M. A. *Teorias da Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, LTDA, 1999. 186 p.

MOREIRA, M.A. O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? 2010. 27 p. Dissertação (Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais)- Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Eletromagnetismo, curso de Física básica 3*. 1. Ed. São Paulo – SP. Editora Edgard Blucher LTDA. 1997. 333 p. v. 3.

PACHECO, D. A experimentação e o ensino de ciências. *Ciência & Ensino*. V. 2, 1997

PEÑA, A.V et al. *A necessária renovação do ensino das ciências*. 1. ed. [S.l.]: Cortez Editora, 2005. 264 p.

REVISTA AMAZÔNIA. Brasil é o quarto maior país em que energia eólica mais cresce do mundo, Edição 54. Disponível em <<http://revistaamazonia.com.br/brasil-e-o-quarto-pais-em-que-energia-eolica-mais-cresce-no-mundo/>> . Acesso em: 21 abr. 2016.

REVISTA AMAZÔNIA. Em 2016, energia eólica no Brasil passou a ter condições de produzir 10 GW. 2016. Disponível em: <<https://revistaamazonia.com.br/em-2016-energia-eolica-no-brasil-passou-a-ter-condicoes-de-produzir-10-gw-2/>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

RICARDO, E.C. A PROBLEMATIZAÇÃO E A CONTEXTUALIZAÇÃO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS: ACERCA DAS IDÉIAS DE PAULO FREIRE E GÉRARD FOUREZ. 2003. 12 p. Artigo (Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica)- Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.

SILVA, E. L; CAFÉ, L; CATAPAN, A. H. Os objetos educacionais, os metadados e os repositórios na sociedade da informação. Revista Ciência da Informação (Ci. Inf.), Brasília, DF, v. 39, n. 3, p.93-104, 2010

SILVA, E.P. Fontes Renováveis de Energia1. 1. ed. Campinas – SP. LF Editorial, 2014.

SANTOS, W.L.P e SCHNETZLER, R.P. Função social: o que significa ensino de química para formar cidadão? Química Nova na Escola, n. 4, p. 28-34, 1996.

TAROUCO, L. M. R.; FABRE M.-C. J. M.; TAMUSIUNAS, F. R. Reusabilidade de objetos educacionais. Novas Tecnologias na Educação, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2003.

TIPLER, P.A; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade Magnetismo, Óptica. 6. ed. [S.l.]: LTC, 2008. 514 p. v. 2.

ZYLBERSTAJN, A. (1998). Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. Atas do VI ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, Florianópolis.. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Física, (CD-ROM).