

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS  
POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE  
ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS  
AUSUBELIANOS**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte**

Brasília- DF  
Setembro de 2019



## **GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS**

### **PRODUTO EDUCACIONAL**

**Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte**

Produto Educacional elaborado sob orientação do professor Dr. Antony Marco Mota Polito e coorientação da professora Dra. Adriana Pereira Ibaldo com requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília.

Brasília- DF  
Setembro de 2019

# **Produto Educacional**

## **Apresentação**

Caro (a) professor (a),

Apresento-lhe uma proposta de sequência de didática construída em torno de um experimento que inclui a maior parte dos temas associados com o eletromagnetismo

A proposta aborda os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através da geração e detecção de campo eletromagnético produzido pela Bobina de Tesla. Para o desenvolvimento do projeto, nos utilizamos da teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel que parte dos conhecimentos prévios dos estudantes para o estudo do eletromagnético, especificamente, indução eletromagnética e campos eletromagnéticos. Além disso, nos baseamos em diversas referências voltadas para o ensino com utilização de atividades prático-experimentais, os quais foram tomados, por nós, como organizadores avançados. Como marco legal, nos utilizamos da Lei de Diretrizes e Bases e das Diretrizes Curriculares Nacionais.

A ênfase é toda qualitativa, de modo a evitar aspectos do assunto cuja abordagem quantitativa está para além dos requisitos esperados e já possuídos por alunos do ensino médio.

A implementação dessa sequência busca oportunizar aos estudantes não só uma experiência de caráter exibicionista, mas também a visualização de fenômenos que possa contribuir para a compreensão dos conceitos físicos como também despertar para uma cultura científica.

Assim, esse produto fornece elementos mediadores para auxiliar o professor na abordagem do estudo do Eletromagnetismo, em especial, a Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da Bobina de Tesla.

Saudações,

**Prof<sup>a</sup> Ingrid de S. R. Duarte**

# **GERAÇÃO E DETECÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DA BOBINA DE TESLA: UMA PROPOSTA DE ENSINO A PARTIR DE ORGANIZADORES AVANÇADOS AUSUBELIANOS**

Ingrid de Sousa Rodrigues Duarte

O material apresentado nesse apêndice é o produto educacional que faz parte da dissertação de mestrado intitulada “Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos por meio da Bobina de Tesla”, apresentada ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), do polo 1, da Universidade de Brasília.

O nosso produto educacional consiste em uma sequência didática, constituída de sete etapas, para abordar os conceitos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético, através da geração e detecção de campo eletromagnético produzido em um experimento histórico que ficou conhecido como Bobina de Tesla. Para isso, construímos uma Bobina de Tesla, elaboramos planos de aula e roteiros experimentais, selecionamos textos de apoio, simulações e vídeos, como elementos facilitadores de aprendizagem, e produzimos atividades que subsidiaram a análise das etapas de aplicação do produto. A ênfase é toda qualitativa, de modo a evitar aspectos do assunto cuja abordagem quantitativa está para além dos requisitos esperados e já possuídos por alunos do ensino médio.

No quadro, a seguir, apresentamos os objetivos de aprendizagem, para cada etapa, acompanhados das atividades realizadas na sequência didática proposta<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Cada etapa pode corresponder a uma ou mais aulas. Isso deve depender do aplicador. Em nosso caso, optamos por fazer corresponder a cada etapa uma aula dupla de 90 minutos de duração.

**Quadro 1 - Organização da sequência didática**

<b>Número da etapa</b>	<b>Atividades a serem realizadas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Instrumentos e indicadores</b>
(A1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aplicação de questionário de avaliação prévia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Levantar os conhecimentos prévios para o encaminhamento das etapas seguintes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Questionário</li> </ul>
(A2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realização de atividades práticas (demonstrativa e de verificação) com o experimento do gerador de van de Graaff.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar, através de atividades prático-experimentais com o gerador (real), os conceitos de carga elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, campo eletrostático, diferença de potencial, força eletrostática, corrente elétrica e resistência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Experimento de van de Graaff;</li> <li>➤ Diagrama de conceitos e esquema do gerador;</li> <li>➤ Eletroscópio de folhas ou de pêndulo;</li> <li>➤ Placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm<sup>2</sup>;</li> <li>➤ Papel de seda picotados;</li> <li>➤ Canudos de plásticos;</li> <li>➤ Palito de madeira;</li> <li>➤ Fita crepe;</li> <li>➤ Régua plástica;</li> <li>➤ Borracha;</li> <li>➤ Lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro;</li> <li>➤ Roteiro experimental.</li> </ul>
(A3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realização de atividades práticas com o simulador - Phet<sup>2</sup> Colorado e com o experimento do eletroímã (atividade demonstrativa e de verificação).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o eletroímã (real e simulado), os conceitos de campo magnetostático, geração de campo magnético por corrente elétrica estacionária, força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de reduzir magnetos a correntes microscópicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Experimento do eletroímã: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), moedas, cliques, tachinha, bússola;</li> <li>➤ Diagrama de conceitos do eletroímã;</li> <li>➤ Roteiro de experimental;</li> <li>➤ Simulador Colorado-Phet – Laboratório de Faraday.</li> </ul>
(A4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentação da Lei de Faraday – Campo elétrico induzido por variação de fluxo de campo magnético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com o experimento de Faraday (real e simulado), os</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Experimento de Faraday: 1 bobina de aproximadamente 400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios</li> </ul>

<sup>2</sup>Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp)>. Acesso em 5 out. 2017.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realização de atividades práticas com auxílio do simulador Phet<sup>3</sup> Colorado e do experimento de Faraday (demonstrativa e de verificação).</li> </ul>	<p>conceitos de fluxo magnético e variação do fluxo magnético, força eletromotriz induzida, campo elétrico induzido, corrente elétrica induzida (indução eletromagnética).</p>	<p>conectores, 1 ímã de neodímio;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Simulador Colorado-Phet – Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday.</li> <li>➤ Roteiro experimental.</li> </ul>
(A5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentação pelo professor do aparato experimental da Bobina de Tesla (atividade demonstrativa)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), os conceitos de campos elétrico e magnético variáveis no tempo, gerados pelo acoplamento entre as bobinas e explicados pela indução eletromagnética (Lei de Faraday).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bobina de Tesla;</li> <li>➤ Um par de pêndulos físicos acoplados</li> <li>➤ Vídeo simulador-comportamento dos campos eletromagnéticos da bobina de Tesla;</li> <li>➤ Diagramas de conceitos e esquema da bobina de Tesla.</li> </ul>
(A6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentação comparativa do funcionamento da bobina de Tesla e do Gerador de Van de Graaff (atividade demonstrativa).</li> <li>➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campos magnéticos induzidos por corrente de deslocamento e não por correntes reais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Comparar o Gerador de Van de Graaff com a Bobina de Tesla.</li> <li>➤ Diferenciar corrente contínua de corrente alternada.</li> <li>➤ Diferenciar campos estáticos de campos dinâmicos.</li> <li>➤ Introduzir a noção de corrente de deslocamento e a geração de campo magnético induzido, a partir do campo elétrico oscilante, como um efeito que o gerador carregado não pode produzir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gerador de van de Graaff;</li> <li>➤ Bobina de Tesla;</li> <li>➤ Roteiros de atividades;</li> <li>➤ Diagrama de conceitos e esquema dos aparatos.</li> <li>➤ Roteiro experimental.</li> </ul>
(A7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentação da Lei de Ampère-Maxwell – campo magnético induzido por variação de fluxo do campo elétrico.</li> <li>➤ Atividade de detecção do campo eletromagnético através de antenas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar, através das atividades prático-experimentais com a bobina de Tesla (real), o modo como a corrente de deslocamento, ou seja, a variação do campo elétrico, produz campo magnético induzido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bobina de Tesla;</li> <li>➤ 1 antena linear;</li> <li>➤ 1 antena circular;</li> <li>➤ 1 multímetro;</li> <li>➤ Diagramas da bobina e das antenas;</li> <li>➤ Roteiro experimental.</li> </ul>

<sup>3</sup> Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp)>. Acesso em 5 out. 2017.

	(atividade de verificação).	(Lei de Ampère-Maxwell).	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Apresentar o campo eletromagnético (campos elétrico e magnético dinâmicos) como a soma total de todos os efeitos conjuntos envolvidos na lei de Faraday e Ampère-Maxwell.</li> <li>➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena linear para detecção de campo elétrico dinâmico.</li> <li>➤ Apresentar e explicar o funcionamento da antena circular para detecção de campo magnético dinâmico.</li> </ul>	
(A8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Revisão dos conceitos envolvidos na sequência e avaliação dos estudantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Revisar os conceitos vistos em cada etapa.</li> <li>➤ Aplicar uma avaliação escrita.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Questionário.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pela autora

## ***A. Etapa 1- Questionário Inicial***

### ***A.1. Objetivo***

O questionário inicial é composto de 10 questões que buscam verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes sobre alguns conceitos do eletromagnetismo fundamentais para o entendimento dos fenômenos de indução eletromagnética e de campo eletromagnético. Esses conceitos são, principalmente, os de carga e corrente elétricas, campo elétrico e magnético estáticos, força eletromotriz direta e corrente alternada. Eles devem servir de ancoragem para os novos conceitos a serem desenvolvidos, ao longo das etapas correspondentes à geração e detecção do campo eletromagnético, com a Bobina de Tesla.

O resultado do levantamento dos subsunçores é, aliás, fundamental para decidir se as etapas dois e três serão ou não necessárias. As etapas dois e três, somente devem ser aplicadas se o professor constatar que os estudantes não possuem o conjunto de subsunçores necessários para seguir a sequência didática a partir da etapa 4.

### ***A.2. Tempo de duração***

2 aulas<sup>4</sup>

### ***A.3. Organização da turma***

Nesta etapa inicial, apresente aos estudantes o objetivo do questionário inicial e peça para que eles resolvam individualmente as questões.

Reserve um tempo para que os estudantes analisem e busquem possíveis soluções para as questões sozinho. Em seguida, analise coletivamente as questões para que todos possam envolver no debate e cheguem a conclusões comuns.

### ***A. 4. Questionário Inicial***

---

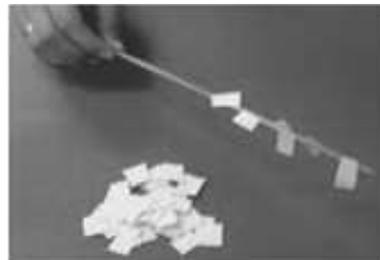
<sup>4</sup> Uma aula simples corresponde a duração de 45 minutos e uma aula dupla 1h30 minutos de duração

Nome do aluno: \_\_\_\_\_ Série/turma: \_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_

Esta atividade tem por objetivo investigar seu conhecimento sobre alguns fenômenos elétricos e magnéticos. Procure responder com cuidado e atenção cada questão.

**Questão 01-** Um canudo de plástico é atritado contra um maço de algodão. A seguir, ele é aproximado de pedaços de papel, que estão sobre uma mesa. Observa-se que os pedaços de papel são atraídos e acabam grudados ao canudo, como mostra a figura abaixo. Explique essa situação, utilizando em seus argumentos os conceitos de campo elétrico e de força elétrica.

Figura 1- Eletrizção do canudo de plástico



Fonte: autora.

*R: Ao esfregar dois corpos temos o processo de eletrização por atrito. Com o atrito, elétrons são transferidos de um material para o outro, surgindo assim um campo elétrico (experimento de eletrização) no qual a região positiva de um material atrai a região negativa do outro.*

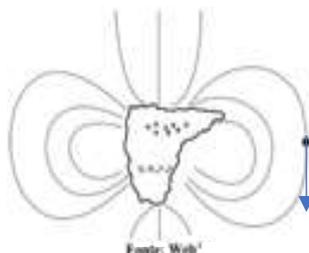
*Ao aproximar o canudo dos pedaços de papel, observa-se a ação de uma força de origem elétrica.*

**Questão 02-** Em uma sala de espera, na qual as pessoas ali estão há um bom tempo, um senhor, não aguentando os sapatos apertados, tira-os, ficando só de meias, que, além de furadas, não eram lavadas há mais de uma semana. Logo tomou conta de todo o ambiente uma espécie de “campo de mau-cheiro”, que permaneceu inalterável devido às más condições das meias. Um físico, que estava ao lado do senhor, se afasta desesperadamente. Percebe, no entanto, pelo odor, que a intensidade do mau-cheiro, com relação à sua fonte (as meias fedorentas), apresenta um comportamento idêntico à intensidade do campo elétrico de uma carga puntiforme. Dessa forma, à medida que se afasta da fonte, o que você acha que acontece com a intensidade do campo de mau-cheiro?

*R: A intensidade do campo de mau-cheiro diminui na razão inversa do quadrado da distância às meias.*

**Questão 03-** O esquema abaixo representa a distribuição das cargas elétricas no interior de uma nuvem de tempestade e as linhas de seu campo elétrico. Web<sup>5</sup>

Figura 2- Distribuição das cargas elétricas numa nuvem



- Indique, com um vetor, a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P.
- O que aconteceria com uma gota de água, carregada com carga positiva, ao ser colocada no ponto P,

<sup>5</sup> Unicastelo SP- Adaptada-Osmar Pinto Jr. e Iara de Almeida Pinto. *Relâmpagos*, 1996.

desconsiderando as interações gravitacionais?

*R: Observa-se a ação de uma força elétrica agindo sobre a gota e empurrando-a para baixo.*

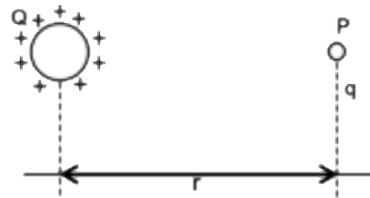
---

---

**Questão 04-** Uma certa quantidade de carga elétrica  $Q > 0$ , colocada em um corpo esférico, gera um campo elétrico  $E$ . Num ponto  $P$ , imerso nesse campo, coloca-se uma carga puntiforme  $q$ , a uma distância  $r$  de  $Q$ , que fica sujeita a uma força elétrica  $\vec{F}$ . Considerando a figura abaixo, responda:

- a) O que acontece com a intensidade do campo elétrico  $E$ , no ponto  $P$ , se afastarmos a carga  $q$  dali? Justifique.

**Figura 3** Carga elétrica ( $Q$ ) a uma distância da carga puntiforme ( $q$ )



*R: O campo elétrico não haverá mudança, ou seja, permanecerá o mesmo, porque o campo não depende da carga puntiforme  $q$ .*

- b) O que acontece com a intensidade do campo elétrico  $E$  se aumentarmos o valor da carga  $q$ ? Justifique.

*R: O campo elétrico só dependerá do valor da carga geradora ( $Q$ ), ou seja, independe do valor da carga puntiforme ( $q$ ).*

---

---

---

- c) O que acontece com a intensidade do campo elétrico  $E$  se aumentarmos a carga  $Q$ ? Justifique.

*R: A intensidade do campo elétrico aumentará proporcionalmente devido ao aumento do módulo da carga  $Q$ .*

---

- d) Indique, na figura, a direção e o sentido do campo elétrico e da força elétrica sobre a carga  $q$ .

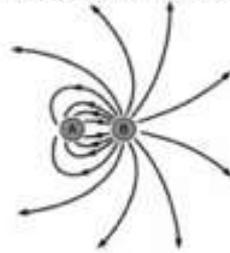
**Questão 05-** A figura abaixo representa as linhas de campo elétrico de duas cargas puntiformes, sobre um eixo horizontal.

Com base na análise da figura, responda aos itens a seguir:

- a) Quais os sinais de cada carga? Explique seu raciocínio

R.: Como as linhas de força saem das cargas positivas e chegam nas negativas, conclui-se que A (+) e B (+)

Figura 4 - Representação das linhas de campo elétrico



b) Seria possível às linhas de campo elétrico se cruzarem? Justifique.

R.: Não, pois o caso fosse possível haveria diferentes  $E$  em cada ponto de cruzamento das linhas de força.

**Questão 06-** Explique a diferença entre corrente contínua e corrente alternada. Uma bateria fornece uma corrente de que tipo?

*Corrente contínua: produzida por um campo elétrico cujo sentido permanece sempre o mesmo. Daí, o sentido da corrente também se manterá inalterado, isto é, as cargas se deslocarão sempre em um mesmo sentido, ao longo do fio. Por exemplo: bateria.*

*Corrente alternada: produzida por um campo elétrico que muda periodicamente de direção. Daí, as cargas elétricas oscilam, deslocando-se ora em um sentido, ora em sentido contrário. Então, a corrente muda periodicamente de sentido.*

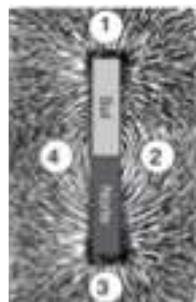
**Questão 07-** Novos modelos de baterias possibilitam aos usuários explorarem diferentes funções dos celulares, além de proporcionar intervalos maiores entre as recargas. A bateria é um dispositivo que consome energia química para realizar um trabalho sobre as cargas elétricas, elevando a diferença de potencial entre os dois pontos em que se acumulam. Como é chamada a relação entre essas duas grandezas: trabalho e carga elétrica?

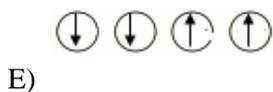
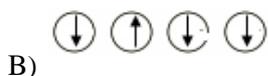
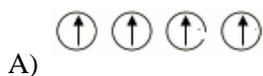
R.: *Força eletromotriz (fem)*

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

**Questão 08-** Você pode observar o efeito de um objeto magnético ao colocar um ímã sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Além disso, ao aproximar uma bússola de um ímã, o efeito também é percebido. Então, vamos distribuir 4 (quatro) pequenas bússolas ao redor de um ímã. Desconsidere a influência do campo magnético terrestre. Escolha a alternativa que indica as orientações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, na situação descrita.

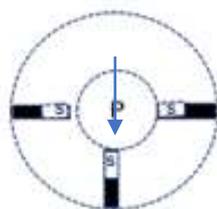
Figura 5 Representação do campo magnético





**Questão 09-** Três ímãs iguais, em forma de barra, com as polaridades indicadas, estão apoiados sobre uma mesa horizontal, vistos de cima, conforme a figura abaixo.

Figura 7 - Representação de três ímãs iguais sobre a mesa.



Uma pequena bússola é também colocada na mesa, no ponto central P, equidistante dos ímãs. Desenhe a orientação da agulha da bússola.

**Questão 10-** Compare os campos elétrico e magnético quanto às seguintes características:

- a) Como são gerados os campos elétricos e magnéticos?

*O campo elétrico é gerado pela simples presença de cargas elétricas, estejam elas em movimento ou não. Já o campo magnético é gerado apenas quando as cargas elétricas estão em movimento*

- b) Como são as configurações das linhas de força do campo elétrico e das linhas de força do campo magnético? Diga se há diferenças e, se existirem, por quê?

*As linhas de força do campo elétrico podem ser abertas, já as linhas de força do campo magnético são sempre fechadas.*

## ***B. Etapa 2 - Campo Eletrostático: o Gerador de van de Graaff***

### ***B.1. Objetivo***

A segunda etapa consiste em utilizar o Gerador de van de Graaff para realizar atividades experimentais e discutir os conceitos de carga elétrica, campo eletrostático, força elétrica, condutor, isolante, força eletromotriz direta, eletrização, diferença de potencial, corrente elétrica, condutividade e resistência.

Para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados no gerador, deve-se utilizar conjuntamente do experimento e do seu diagrama de conceitos, os quais servem como organizadores avançados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas, para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm um duplo objetivo. Primeiro, ajudar na direção da prática. O segundo objetivo é de fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

### ***B.2 Materiais utilizados***

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: gerador de Van de Graaff; placa de isopor ou outro isolante com cerca de 50 cm<sup>2</sup>; papel de seda picotado; eletroscópio de folhas ou de pêndulo<sup>6</sup>; canudos de plástico; palitos de madeira (para churrasco); isopor para ser picotado; fita crepe; régua plástica e borracha.

### ***B.3 Tempo de duração***

2 aulas

---

<sup>6</sup> O eletroscópio de pêndulo consiste em uma pequena esfera metálica, suspensa por um fio. O eletroscópio de folhas consiste em dois segmentos de folha metálica, conectados a um condutor em formato de esfera. Os eletroscópios neutros podem ser usados para detectar a presença de campo eletrostático, mesmo sem um contato com nenhum objeto carregado, por efeito de indução eletrostática. Nesse caso, o pêndulo é atraído pela fonte do campo e as folhas se separam. Tocar os eletroscópios neutros em materiais carregados tem como efeito uma transferência de cargas para o eletroscópio. Essa eletrização por contato (ou seja, condução) se evidencia pela repulsão entre o pêndulo e a fonte de campo ou pelo afastamento das folhas. Portanto, um eletroscópio é sempre um detector da presença de cargas elétricas.

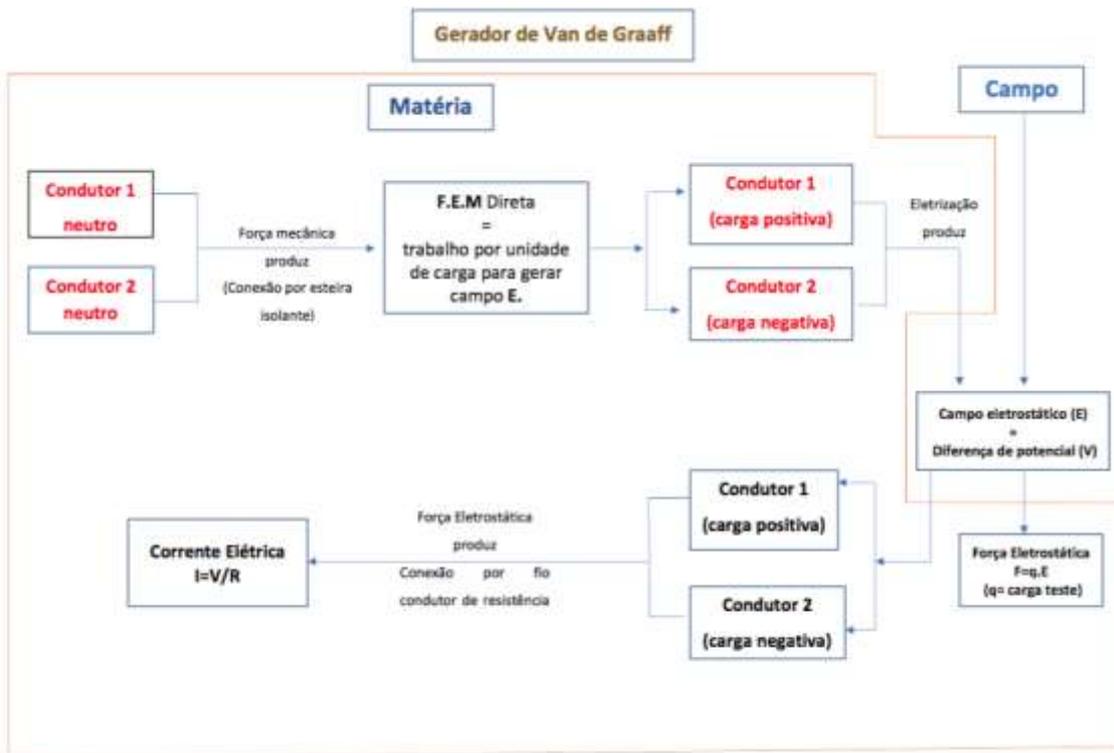
#### *B.4 O Gerador de van de Graaff*

O gerador de van de Graaff é descrito como uma máquina eletrostática, idealizada pelo engenheiro Robert Jemison Van de Graaff (1931), com o objetivo de acumular cargas e constituir um campo eletrostático de elevada intensidade. Ele é constituído de um motor capaz de movimentar uma correia, feita de material isolante (figura 1).

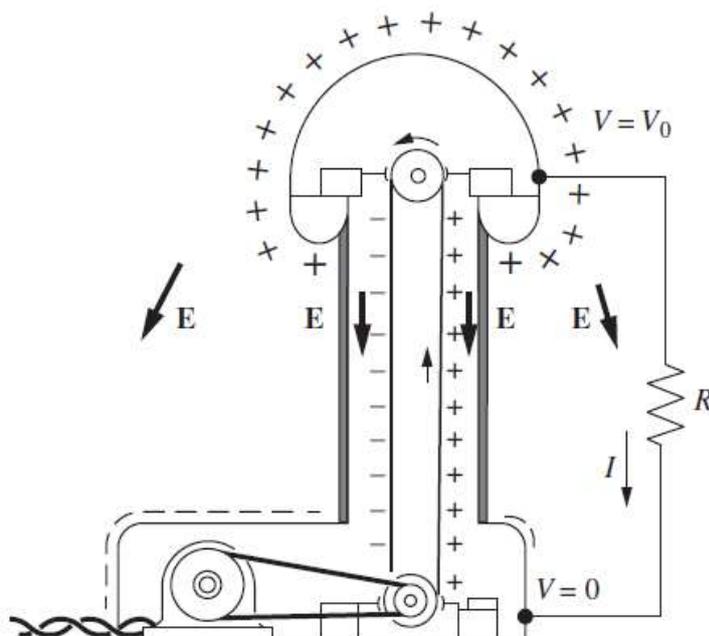
A correia é atritada, na parte inferior, por uma escova metálica ligada a um eletrodo (positivo ou negativo). O movimento da correia a eletriza, pelo atrito, e eleva as cargas até o topo do gerador. O trabalho mecânico da correia, por unidade de carga, para levar as cargas elétricas até a esfera do topo do gerador, é chamado de força eletromotriz (ver mapa na figura 2). Ao chegar na parte superior, a correia encontra uma polia, que se encontra dentro da esfera oca. Através de pontas metálicas, a correia eletrizada transfere as cargas para o interior da esfera metálica. Ao se conectar um fio condutor ao topo do gerador, a força eletrostática produzirá uma corrente elétrica (figura 3).



**Figura 1-** Gerador de van de Graaff  
Fonte: Fotografia da autora



**Figura 2-** Diagrama de conceitos sobre Gerador de van de Graaff  
 Fonte: Elaboração conjunta entre autora e orientador



**Figura 3-** Movimento das cargas no Gerador de Van de Graaff  
 Fonte: PURCEL, 2013, p. 209

## *B.5 Passos de Execução*

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Antes de acionar o gerador, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos.
- 2°. Acione o gerador e ajuste os parâmetros para uma carga eficiente. Ele deve permanecer ligado durante todas as atividades, para que a carga em sua cúpula seja mantida.
- 3°. Após carregado, o professor ou o estudante deverão colocar uma das mãos sobre o capacete (cúpula) e, em seguida, com a palma da outra mão, tentar atrair papéis picotados sobre a mesa. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de carga elétrica, processos de eletrização (atrito, contato e indução eletrostática), força elétrica e campo eletrostático.
- 4°. Repita o terceiro passo, mas, nesse momento, com os pés sobre uma plataforma isolante (pedaço de isopor ou madeira)<sup>7</sup>.
- 5°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam à pergunta: “por que é necessário estar com os pés sobre um isolante para realizar o experimento?”. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores e isolantes.
- 6°. O professor ou os próprios alunos deverão colocar a mão sobre a cúpula e com a outra mão segurar e tocar diversos materiais (canudinho de plástico, papel, palito para churrasco de madeira, pedaço de isopor, régua plástica e borracha) no eletroscópio de folhas ou de pêndulo. Os conceitos a serem abordados aqui devem ser os de condutores, isolantes, força elétrica, campo elétrico e condutividade. Deve ser explicado que mesmo os materiais considerados isolantes têm algum grau de condutividade e é por isso que os materiais utilizados se eletrizam. Na verdade, são dois os efeitos que podem levar a um acionamento do eletroscópio e eles sempre acontecem juntos. O primeiro é justamente a corrente real. O segundo efeito é o de polarização do material isolante, submetido ao campo eletrostático. Contudo, em nenhum caso os materiais utilizados acionam o eletroscópio se a

---

<sup>7</sup> A espessura do material deverá ser considerada.

mão não for colocada sobre a cúpula. Portanto, o efeito mensurável é devido, na sua maior parte, à eletrização por condução.

- 7°. Solicite aos estudantes que reflitam, discutam e respondam às perguntas: “de acordo com os resultados obtidos no experimento, quais são os materiais condutores e quais isolantes?”; “que considerações pode-se fazer acerca do conceito de material isolante?”
- 8°. O professor ou estudante deverão aproximar, sem tocar, o eletroscópio da cúpula do gerador ligado e carregado. Os estudantes devem discutir sobre o fenômeno observado e registrar o resultado de suas análises. Os conceitos a serem abordados, aqui, são os de campo e força eletrostática e o de eletrização por indução eletrostática.
- 9°. Desligue o gerador e coloque um cata-vento elétrico na cúpula do aparato. Ligue-o e observe o que ocorre. O cata-vento elétrico deverá começar a rodar. Solicite aos estudantes que tentem explicar o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de eletrização por contato e uma propriedade dos condutores, conhecida popularmente como o “poder das pontas”. Na verdade, a propriedade é a de que a densidade de cargas, em certas regiões de um condutor de formato arbitrário, é sempre maior quanto mais agudas forem as protuberâncias, em sua superfície.
- 10°. Segure uma lâmpada fluorescente compacta de tubo de vidro e aproxime-a da cúpula eletrizada. Ela deverá acender. Explique o fenômeno, com base na ideia de ionização do gás no interior da lâmpada, a partir de sua exposição ao campo eletrostático. (O campo elétrico gerado pela esfera carregada decai com a distância. As extremidades da lâmpada ficam sujeitas a uma diferença de potencial, necessária para o seu funcionamento. O gás no interior da lâmpada incandesce.) Os conceitos a serem abordados aqui são o de potencial e diferença de potencial elétrico e de ionização.
- 11°. Fixe, com fita crepe, tiras de papel seda, em torno do gerador de Van de Graaff. Ligue-o e discuta, com os estudantes, o fenômeno observado. Os conceitos a serem abordados aqui são o de campo elétrico e linhas de força elétrica.
- 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema do Gerador de Van de

Graaff, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

### *B.6. Roteiro Experimental*

#### **Atividade: Campo Eletrostático: o Gerador de Van de Graaff**

**Objetivo:** Entender o funcionamento do gerador de van de Graaff relacionando-o com os conceitos de eletrização, campo elétrico, força elétrica e força eletromotriz direta.

- Eletrização por atrito – A correia do gerador de van de Graaff se eletriza por atrito com os roletes inferiores e transporta as cargas para a esfera oca de metal.
- Eletrização por contato – Colocar a mão sobre a esfera (ou tocá-la com um condutor), em seguida, tentar atrair papel picotado com a palma da mão.

**Questão 1-** Por que é preciso estar com os pés sobre um pedaço de isopor para realizar esse experimento?

---

---

---

Aproxime uma esfera, ou disco metálico, do domo eletrizado. Toque, com um dedo, o lado oposto do disco ou da esfera. Verifique a eletrização com o eletroscópio.

**Questão 2-** Explique o mecanismo de eletrização ocorrido no disco (ou na esfera).

---

---

---

- Coloque uma mão sobre o domo (ou toque-a com um condutor). Com a outra mão, toque o eletroscópio, com cada um dos materiais relacionados. Anote o que você observou com cada material abaixo:

Canudinho plástico

Madeira

Régua de plástico

Papel

Isopor

Borracha

**Questão 3-** De acordo com os resultados acima, quais são os materiais que se mostraram como condutores e quais os que se mostraram como isolantes?

Condutores:

---

---

Isolantes:

---

---

**Questão 4** - Que consideração você pode fazer acerca do conceito de material isolante?

---

---

---

- Coloque sobre a esfera eletrizada um cata-vento elétrico.

**Questão 5-** O que você observa?

---

---

---

**Questão 6-** Qual a explicação para o fenômeno observado?

---

---

- Segure uma lâmpada fluorescente compacta pelo tubo de vidro e aproxime-a da esfera eletrizada.

**Questão 7-** Que fenômenos podem ser observados?

---

---

**Questão 8-** Qual a explicação para os fenômenos que você observou?

---

---

- Troque o domo cinza do gerador pelo domo cromado, onde foram coladas tiras finas de papel seda. Ligue o gerador.

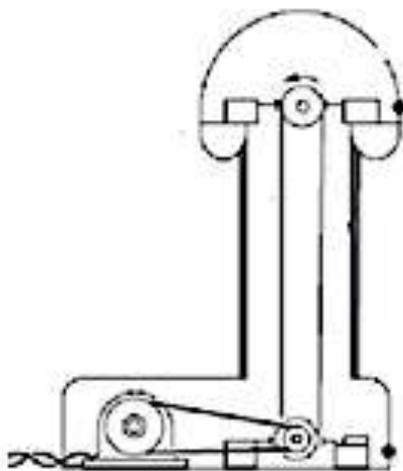
**Questão 9-** Qual é a direção do campo elétrico criado em torno da esfera, observado com as tiras de papel? Por que as tiras se movimentaram?

---

---

**Questão 10** - O trabalho mecânico da correia, por unidade de carga, para levar as cargas elétricas até o domo é chamado de \_\_\_\_\_.

**Questão 11-** Indique o sentido do campo elétrico e a corrente elétrica quando o gerador estiver nesta configuração.



### ***C. Etapa 3 - Campo Magnetostático: o Eletroímã***

#### ***C.1 Objetivo***

A terceira etapa consiste em utilizar o experimento do eletroímã e o simulador disponível no *Phet* Colorado (Laboratório de Faraday) para realizar as atividades prático-experimentais e discutir os conceitos de campo magnético e de sua geração por corrente elétrica, bem como de força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes e a ideia de Ampère de redução de magnetos a correntes microscópicas.

Da mesma forma que no caso do gerador de Van de Graaff, o experimento do eletroímã e seu diagrama de conceitos são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na

atividade prática<sup>8</sup>. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

## C.2 Materiais utilizados

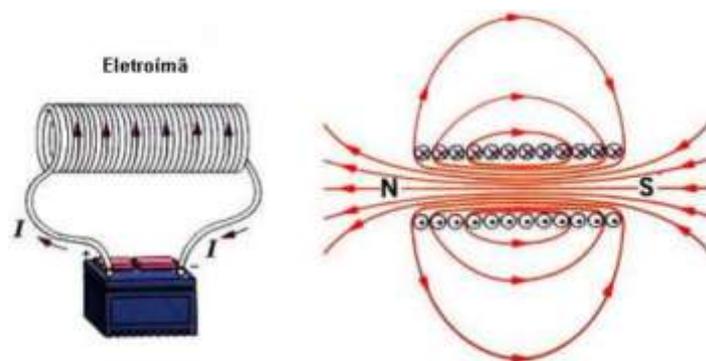
Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 2 pilhas, 1 metro de fio de cobre (AVG 24 ou 26), lápis, moedas, cliques, tachinha, bússola e o aplicativo Phet Colorado - Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday.

## C.3. Tempo de Duração

2 aulas

## C.4 O Eletroímã

O eletroímã é uma bobina<sup>9</sup> (solenóide) que, quando percorrida pela corrente elétrica, gera campo magnético (figuras 4 a 6). No interior do solenóide, o campo magnético é aproximadamente uniforme e o seu sentido é determinado pela regra da mão direita.

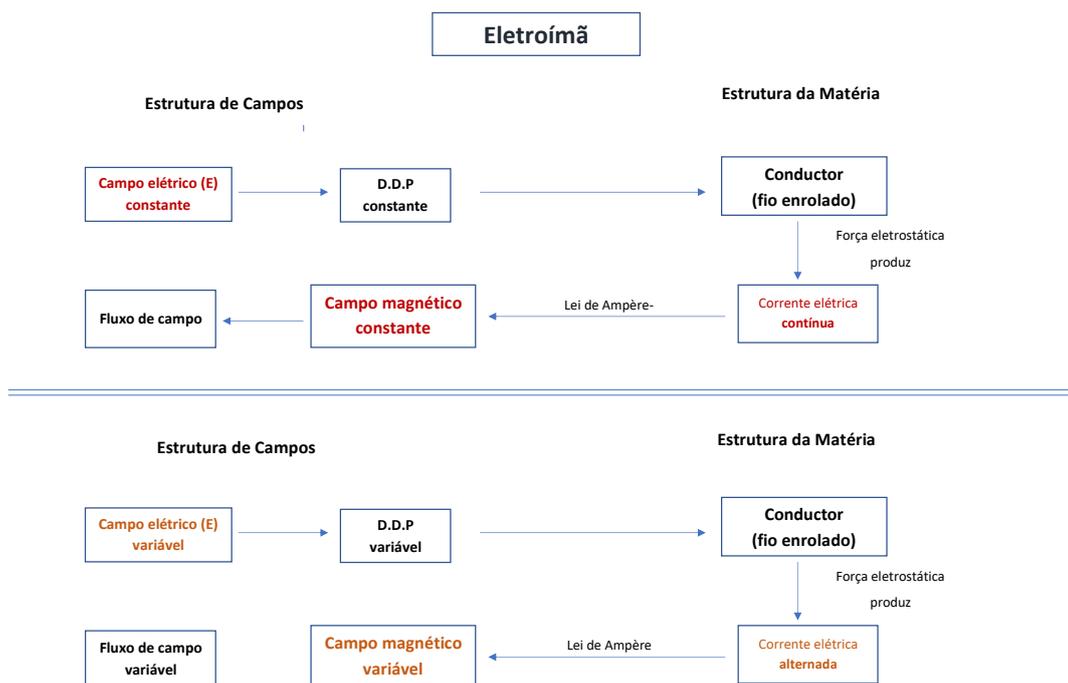


**Figura 4-** Um modelo de eletroímã  
Fonte: Web<sup>10</sup>

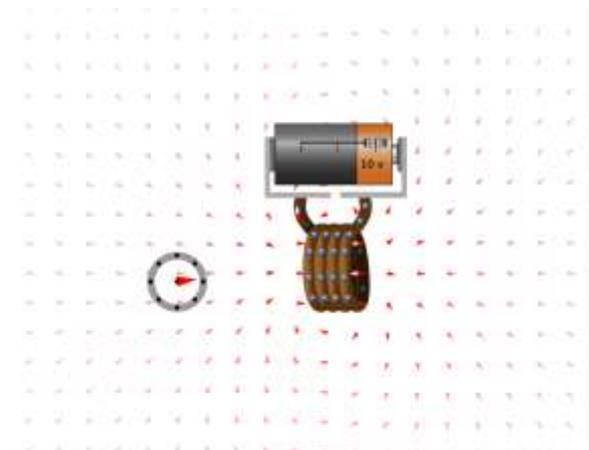
<sup>8</sup> De fato, o roteiro experimental que foi elaborado possui, também, uma introdução à ideia de campo magnético variável, mais precisamente, oscilante, pois a simulação também permite o uso de corrente alternada. Esse tema é considerado, por nós, opcional, pois a etapa não prevê a abordagem desse conceito, nesse momento.

<sup>9</sup> É um fio condutor esmaltado enrolado em sucessivas espiras, em forma de hélice. As espiras estão muito próximas uma da outra.

<sup>10</sup> Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAAGxkAH-0.jpg>> Acesso em 2 de agosto de 2018.



**Figura 5-** Diagrama de conceitos do eletroímã  
 Fonte: Elaboração conjunta entre autora e orientador



**Figura 6–** Eletroímã – Laboratório de Eletromagnetismo virtual  
 Fonte: Phet Colorado

Também utilizamos o simulador disponível no *Phet Colorado* (Laboratório de Faraday) para simular esse experimento (figura 6). Cada estudante deverá fazer tentativas e avaliar as possibilidades a fim de perceber as grandezas que estão influenciando o funcionamento do eletroímã em dois momentos: ligado à corrente contínua e à corrente alternada.

O primeiro momento da atividade consiste em manusear a bússola ao redor do eletroímã ligado à corrente contínua e, em seguida, manter a bússola em repouso e movimentar o eletroímã e registrar as conclusões feitas após a observação. O segundo momento da atividade consiste em utilizar o eletroímã ligado à corrente alternada e observar o comportamento do campo magnético e da bússola nessa situação.

Dentre o que se espera alcançar com essas atividades, encontram-se duas ideias fundamentais, devidas a Ampère: que o solenoide eletroímã se comporta de forma idêntica a um magneto e que, baseado nessa constatação, pode-se conjecturar que um magneto interage com uma corrente porque ele mesmo é constituído de correntes elétricas (microscópicas). A verdadeira natureza da força magnética seria, portanto, a de força entre correntes elétricas.

### *C.5 Passos de Execução*

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Para realizar esta atividade, primeiramente, deve-se construir um eletroímã. Enrole 5 voltas do fio de cobre no lápis, deixando 15 cm de comprimento de fio nas extremidades. Raspe as pontas do fio para obter os contatos.
- 2°. Inicie a etapa apresentando o fenômeno ação mútua entre corrente e magneto, envolvido no experimento de Oersted. Os conceitos a serem abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.
- 3°. Mostre aos estudantes que é possível reproduzir um efeito semelhante, criando um ímã, a partir da corrente elétrica, utilizando o eletroímã.
- 4°. Antes de utilizar o eletroímã, explique o seu funcionamento, apontando as partes que o constituem e suas funções concomitantemente e com ajuda do seu diagrama de conceitos. Nesse momento, deve-se explicar o conteúdo de duas ideias de Ampère: que a força magnética é, na verdade, uma força entre correntes e que um magneto pode ser explicado em como um conjunto de correntes microscópicas.
- 5°. Antes de ligar o eletroímã, aproxime a bússola do solenoide na posição perpendicular ao eixo da bobina. Em seguida, ligue as extremidades do solenoide à pilha e observe o movimento da agulha da bússola. Os conceitos a serem

abordados devem ser os de corrente elétrica estacionária, campo magnetostático gerado por corrente estacionária e força magnética.

- 6°. Uma atividade complementar, e optativa, consiste em inserir uma barra de ferro (prego, etc.) dentro do solenoide. Aproxime a bússola das extremidades do prego. Conecte a pilha e observe o fenômeno. Use a barra para atrair clips, moedas e tachinhas. Explique a função da barra de ferro apenas como um reforçador da intensidade do campo magnético, produzido pelo eletroímã, através do efeito de imantação. (Não é previsto entrar em detalhes sobre o comportamento de materiais ferromagnéticos.)
- 7°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Eletroímã”.
- 8°. No aplicativo, solicite aos alunos que realizem a atividade com o auxílio do roteiro da atividade, para reflexão, discussão e tomada de conclusões. Os conceitos de campo magnético estático, linhas de campo magnético, correntes elétricas contínua e alternada devem ser abordados. (O simulador apresenta também a opção de corrente alternada. Logo, uma primeira introdução ao conceito de campo magnético variável já pode ser feita, nesse momento.)
- 9°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do eletroímã, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

## *C.6 Roteiro Experimental*

### **Atividade: Campo Magnetostático: o Eletroímã**

**Objetivo:** explorar o fenômeno de geração de campos e forças magnéticas, a partir de correntes contínua e alternada, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

**Conceitos abordados:** campo magnético e de sua geração por corrente elétrica, força magnética entre correntes e materiais magnéticos, força magnética entre correntes.

Vamos explorar livremente a simulação do eletroímã. A tela deve ser semelhante a essa figura 01, que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado<sup>11</sup>.



**Figura 1-** Demonstração do fenômeno do Eletroímã.  
Fonte: Phet Colorado

Selecione a aba *Eletroímã*.

Selecione a *fonte de corrente contínua (DC)*.

Selecione, inicialmente, apenas “*mostrar bússola*” e “*mostrar elétrons*”.

- 1) Marque na fonte 0 V e movimente a bússola. Observe se ocorrem mudanças na posição da agulha magnética. Anote as suas observações e conclusões.

---

- 2) Agora, aumente a tensão para 7 V (para a esquerda) e movimente a bússola. Observe a agulha da bússola e o movimento dos elétrons. Registre suas observações.

---

- 3) Mude a chave da fonte para 7 V (para a direita). O que aconteceu com o movimento dos elétrons? O que ocorreu com a bússola?

---

- 4) Explique a mudança na posição da agulha magnética da bússola.

---

- 5) Desenhe a representação do campo magnético gerado pelo eletroímã.

- 6) Agora selecione “*mostrar campo*”. Sua representação do campo magnético corresponde ao que você está observando?

---

<sup>11</sup> Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp)>. Acesso em 5 out. 2017.

Agora selecione a *fonte de corrente alternada (AC)*.

Selecione, inicialmente, apenas “*mostrar bússola*”.

- 1) Observe o que ocorre com a posição da agulha magnética, para cada posição escolhida para a bússola. Anote as suas observações e conclusões.

---

---

---

- 2) Selecione agora “*mostrar elétrons*”. Observe e registre suas conclusões.

---

---

- 3) Coloque o “*medidor do campo magnético*”. Compare com as medidas de campo magnético na fonte contínua e registre suas conclusões.

---

---

- 4) Explique as mudanças na posição da agulha magnética da bússola.

---

---

- 5) Desenhe uma representação do campo magnético gerado pelo eletroímã, nessa condição de corrente alternada. Qual é a diferença, quando se compara com o caso da corrente contínua?

---

---

- 6) Agora selecione “*mostrar campo*”. Sua representação do campo magnético corresponde ao que você está observando?

---

---

## ***D. Etapa 4- Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday***

### ***D.1 Objetivo***

A partir da etapa quarta, inclusive, todas as demais etapas da sequência didática são obrigatórias. É na quarta etapa que o conceito de indução eletromagnética será apresentado pela primeira vez aos alunos. Ela consiste em utilizar o experimento de Faraday de indução eletromagnética por movimentação relativa e o simulador disponível no *Phet Colorado*<sup>12</sup> (Laboratório de Faraday).

Da mesma forma que nos casos do gerador de Van de Graaff e do eletroímã, o experimento de indução por movimentação relativa e seu diagrama de conceitos (figuras 7 a 9) são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

### ***D.2 Materiais utilizados***

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: 1 bobina de aproximadamente 400 espiras, 2 leds de cores diferentes, fios conectores, 1 ímã de neodímio e o aplicativo *Phet Colorado- Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday*.

### ***D.3 Tempo de Duração***

2 aulas

### ***D.4 O experimento de Faraday***

Essa etapa consiste em utilizar o experimento de Faraday de indução eletromagnética por movimentação relativa e o simulador disponível no *Phet Colorado*<sup>13</sup> (Laboratório de Faraday) para descrever duas situações aparentemente distintas: indução

---

<sup>12</sup> Disponível em: < [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday) > Acesso em: 5 out. 2017.

<sup>13</sup> Disponível em: < [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday) > Acesso em: 5 out. 2017.

eletromagnética por movimentação do magneto (e eletroímã) em relação a um circuito em repouso e indução eletromagnética por movimentação do circuito em relação a um magneto (e eletroímã) em repouso.

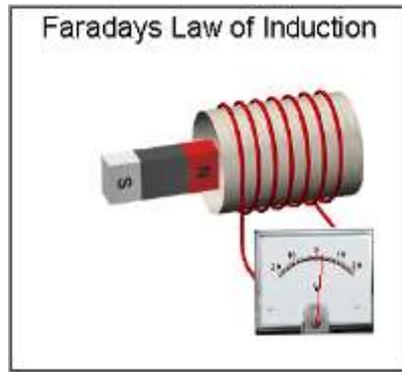
O experimento não é desenhado para medir as intensidades das correntes induzidas, mas apenas para indicar sua passagem, ora em um sentido, ora no sentido oposto. A intensidade das correntes induzidas, medidas com um voltímetro, será abordada com o uso da simulação.

A essência dessa etapa consiste em apresentar a Lei de Faraday como uma regra que descreve como ocorre a geração de corrente elétrica num condutor por meio de um recurso diferente daquele que já era conhecido pelos alunos, ou seja, por meio de “baterias”. Os estudantes devem entender que se pode gerar corrente elétrica apenas pela movimentação relativa entre um condutor e um campo magnético.

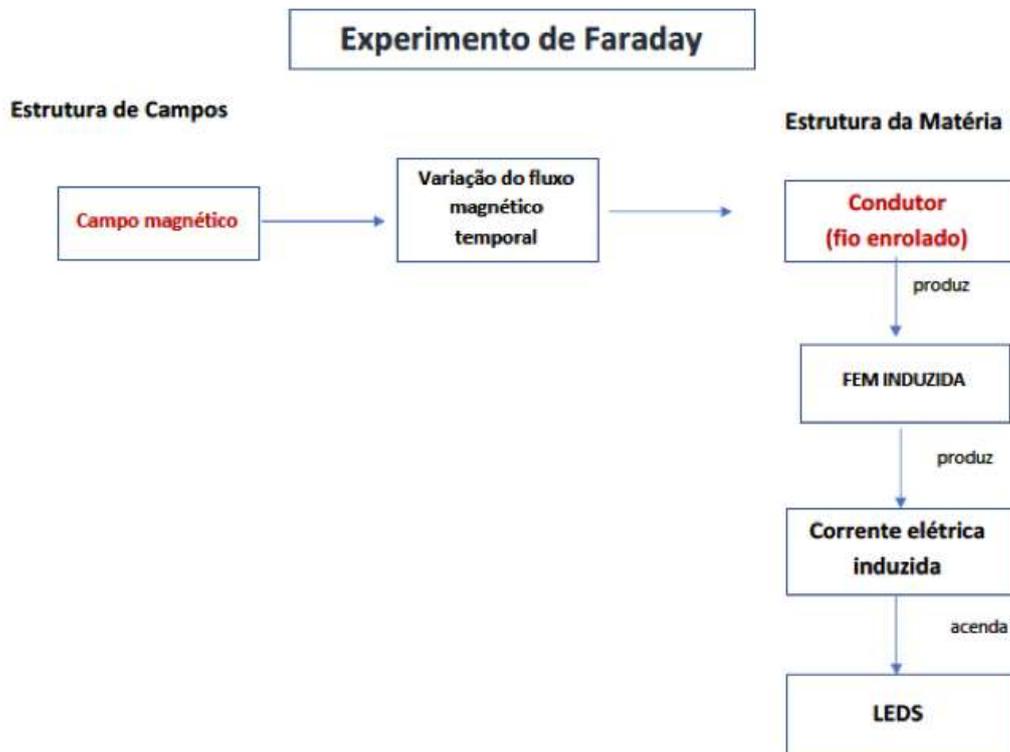
Nesse experimento, se mostrará aos estudantes uma bobina retangular, ligada apenas a dois leds de cores diferentes, e um ímã de neodímio, para representar a lei de Faraday e se discutirá o motivo dos leds acenderem (figura 7).



**Figura 7-** Uma bobina retangular e cinco ímãs de neodímio  
Fonte: Fotografia da autora



**Figura 8** - Esquema do circuito de Faraday  
Fonte: Web<sup>14</sup>



**Figura 9** - Diagrama de conceitos para o experimento de Faraday  
Fonte: Elaborado conjuntamente pela autora e orientador

### D.5 Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://way2science.com/faradays-laws-of-electromagnetic-induction/>>. Acesso em: 05 out. de 20

- 1°. Primeiramente, deve-se construir a bobina e conectá-la a um circuito em que dois leds, de cores diferentes, permitam a passagem da corrente nos dois sentidos da bobina. Explique que a função dos leds é a de permitir a passagem de corrente elétrica apenas em uma direção do circuito, de modo que apenas um dos leds se acenderá: um deles detecta a aproximação e o outro detecta o afastamento entre magneto e bobina.
- 2°. A etapa se inicia com a apresentação do fenômeno de indução eletromagnética. Posicione a bobina e o ímã, ambos em repouso, dentro e fora da bobina. Observe que, enquanto permanecem em repouso relativo, os leds permanecem apagados. Introduza, nesse momento, o conceito de fluxo magnético, observando que as linhas de campo magnético do ímã passam por dentro da bobina e que isso, por si só, não provoca nenhum efeito.
- 3°. Em seguida, aproxime e afaste o ímã da bobina em repouso. Observe o acendimento de um dos leds. Chame a atenção de que não há nenhuma fonte externa para explicar a corrente elétrica gerada pelo movimento do ímã.
- 4°. Em seguida, chame a atenção de que o fluxo de campo magnético através da bobina muda somente quando o ímã é movido. Por fim, introduza os conceitos de campo elétrico induzido, força eletromotriz e corrente elétrica induzidas pela variação de fluxo de campo magnético, denominando o fenômeno completo de indução eletromagnética.
- 5°. Execute movimentos do ímã, em sentidos opostos, com a bobina em repouso, observando que o acendimento alternante dos leds de cores diferentes indica a passagem de corrente ora em um sentido, ora no sentido oposto. Nesse momento, deve-se abordar novamente o conceito de corrente elétrica alternada.
- 6°. Repita todo o procedimento, dessa vez, com o ímã em repouso e a bobina em movimento, para que fique claro que a origem do fenômeno de indução eletromagnética é o movimento relativo.
- 7°. Explique que as correntes induzidas também produzem campos magnéticos e que sua direção (regra da mão direita) é tal que a reação da bobina é sempre no sentido de manter o fluxo magnético original (lei de Lenz), ou seja, zero.

- 8°. Acesse o site do Phet Colorado e instale o aplicativo “Eletromagnetismo de Faraday”, disponível livremente pela Universidade do Colorado. Acesse o experimento virtual “Solenóide”.
- 9°. Com o uso do experimento virtual, será possível, agora, “verificar”, além do sentido, também a intensidade das correntes induzidas por movimentação relativa, pois ao circuito estará conectado um voltímetro.
- 10°. Solicite aos alunos que verifiquem, discutam e reflitam sobre a influência das condições envolvidas, tais como distância, posição, orientação e velocidade relativas, entre ímã e bobina, nos valores observados das correntes induzidas. Solicite também que alterem a área da seção reta do solenóide e verifique o que ocorre. Por fim, solicite que façam a relação entre o número de voltas, a área da bobina e a força eletromotriz induzida.
- 11°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio das simulações, do diagrama de conceitos e do esquema do experimento de Faraday, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

## *D.6 Roteiro Experimental*

### **Atividade: Indução Eletromagnética: o Experimento de Faraday**

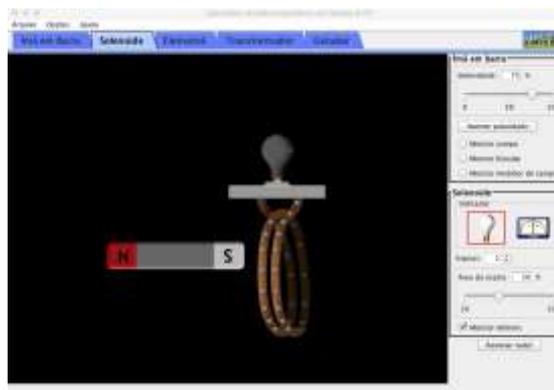
**Objetivo:** Explorar, qualitativamente, os fenômenos de indução eletromagnética, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

**Conceitos abordados:** campo magnético, fluxo de campo magnético, variação de fluxo de campo magnético, campo elétrico induzido e indução eletromagnética.

Vamos explorar livremente a simulação da lei de Faraday. A tela deve ser semelhante a essa figura 01 que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday\\_pt\\_BR.jnlp](https://phet.colorado.edu/sims/faraday/faraday_pt_BR.jnlp)>. Acesso em 5 out. 2017.



**Figura 1-** Demonstração do fenômeno de indução eletromagnética

Fonte: Phet Colorado

Selecione Solenoide.

Clique em lâmpada.

➤ Indicador- Lâmpada

A. Ímã em movimento

1. Você dispõe de um ímã de barra e uma bobina de fio conectada a uma lâmpada incandescente. Encontre uma maneira de acender a lâmpada. Anote sua conclusão.

---

2. A bobina ou ímã de barra parecem estar criando corrente elétrica? Como você pode verificar isso? Explique.

---

3. Você primeiro irá movimentar o ímã para dentro do solenoide e observar o que acontece com o brilho da lâmpada. Como se explica o acender da lâmpada associado ao movimento do ímã?

---

Agora, retire o ímã de dentro do solenoide e observe o que acontece com o brilho da lâmpada? Como se explica esse fenômeno?

4. Após mover-se o ímã, ele é levado novamente ao repouso. O que ocorre com o brilho da lâmpada? Registre sua conclusão.

---

B. Ímã em repouso e o solenoide em movimento.

5. Movimente o solenoide, com o ímã em repouso. O que acontece com o brilho da lâmpada? Explique essa situação e compare com a situação anterior.

---

➤ Indicador - Tensão.

C. Ímã em movimento e o solenoide em repouso.

6. Mova a barra de ímã na direção do solenoide e verifique a variação de tensão enquanto você movimentava o ímã.

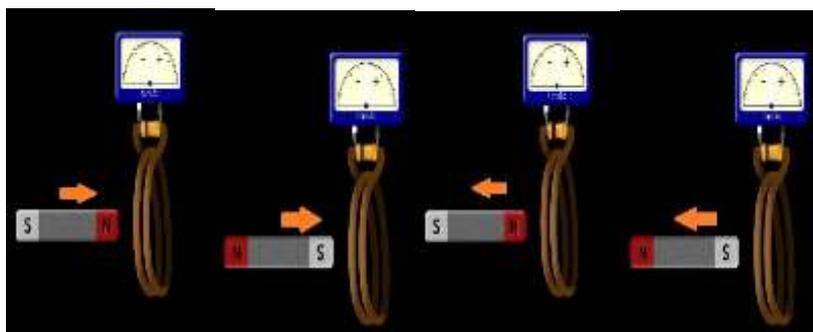
a) Como se explica o movimento do ponteiro da tensão associado ao solenoide?

---

b) Aumente e diminua a velocidade de movimento do ímã de barra dentro do solenoide. Ocorre alguma mudança ao se mover o ímã de forma lenta ou rápida? Explique.

---

c) Indique, nas situações das figuras (a), (b), (c) e (d), o que acontece com o ponteiro da tensão e o sentido da corrente no fio do solenoide.



(a)

(b)

(c)

(d)

d) Aumente o número de espiras para 3 e repita o procedimento com o ímã de barra. Verifique se ocorre alguma mudança nos resultados. Qual seria a relação entre o número de voltas e o valor medido da tensão?

---

e) Agora, vamos aumentar o tamanho da área da espira e repetir o procedimento com o ímã de barra ao aproximá-lo para dentro do solenoide. Registre o que aconteceu e anote as suas conclusões.

---

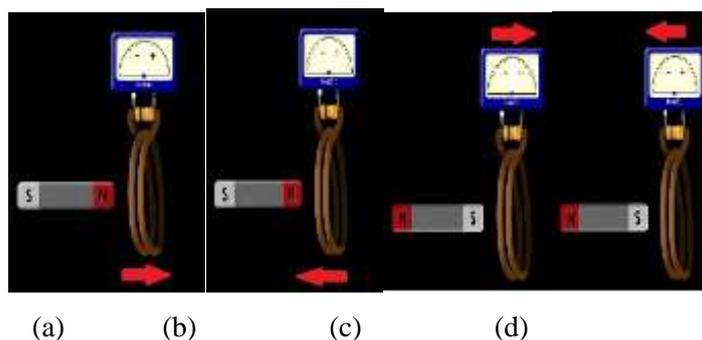
D. Ímã em repouso e solenoide em movimento.

7. Considere agora o ímã parado e o solenoide em movimento. Aproxime o solenoide do ímã de barra. Explique o que ocorre no solenoide.

---

---

8. Indique, nas situações das figuras (a), (b) (c) e (d) o que ocorre com o ponteiro da tensão e o sentido da corrente no fio do solenoide.



9. Relacione esse fenômeno com alguma aplicação do nosso cotidiano.

---

---

## ***E. Etapa 5 – Indução Eletromagnética: Apresentação dos Efeitos Imediatos do Acoplamento Indutivo na Bobina de Tesla***

### ***E.1 Objetivo***

A etapa cinco consiste em apresentar o experimento e a simulação<sup>16</sup> da bobina de Tesla, de forma demonstrativa, em nível introdutório, levando em conta os aspectos mais gerais do eletromagnetismo com as seguintes perguntas gerais a serem respondidas: “Como é a geração de energia eletromagnética na bobina de Tesla? De onde ela vem?”

O aparato experimento é um instrumento que servirá como exemplo no qual os conceitos a serem ensinados, a saber, indução e campo eletromagnético, serão observados experimentalmente.

---

<sup>16</sup> Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4>>. Acesso em: 6 out. 2017.

Da mesma forma que nos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla e seus diagramas de conceitos e de circuito (figuras 10 a 16), acompanhados da simulação, são considerados por nós como organizadores avançados e devem ser utilizados conjuntamente para organizar e integrar de forma preliminar os fenômenos observados.

A essência dessa etapa consiste em mostrar que a Lei de Faraday age, no experimento de Tesla, promovendo geração de corrente alternada na bobina secundária, por acoplamento indutivo com a bobina primária.

Os efeitos imediatos produzidos na e pela bobina secundária são os seguintes. Primeiramente, ocorre a produção de um campo magnético variável, dentro e fora da bobina secundária, em virtude da corrente alternada percorre a bobina primária. Em seguida, em razão da indução eletromagnética, um campo elétrico induzido é gerado, em todo o espaço. Esse efeito é devido somente à bobina primária. Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica induzida, cuja direção é dada pela reação à variação de fluxo magnético original. A corrente elétrica induzida na bobina secundária, por sua vez, possui dois efeitos. O primeiro é o de gerar um campo magnético variável que reage e produz o acoplamento com a bobina primária. O segundo efeito é a produção de uma acumulação alternada de cargas na carapaça condutora do topo da bobina secundária e a consequente geração de um campo elétrico oscilante, em torno da carapaça.

A primeira parte dessa etapa é a apresentação demonstrativa do funcionamento do experimento, acompanhado do seu diagrama de conceitos. Uma ideia do tipo de fenômeno que está envolvido no acoplamento indutivo pode ser fornecida pela apresentação do fenômeno análogo de acoplamento entre dois pêndulos.

Na segunda parte, apresenta-se o padrão dinâmico de comportamento dos campos elétrico e magnético, na bobina de Tesla, utilizando o vídeo simulador. Nesse vídeo, é apresentada uma aproximação do comportamento dos campos elétrico e magnético, nas proximidades da bobina secundária.

## *E.2 Materiais utilizados*

Para execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: uma bobina de Tesla, um par de pêndulos físicos acoplados e o vídeo simulador.

### *E.3 Tempo de Duração*

2 aulas

### *E.4. A Bobina de Tesla*

A bobina de Tesla, foi criada por Nikola Tesla por volta de 1890. Ela é, na verdade, um conjunto de duas bobinas, acopladas pela sua indutância mútua, que funcionam conjuntamente como um transformador ressonante, com um núcleo de ar, cuja principal função era a de permitir a produção de altas tensões, capazes de romper a rigidez dielétrica do ar e formar descargas elétricas que variam de acordo com a configuração das bobinas (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

#### *E.4.1 Elementos Estruturais da Bobina de Tesla*

Na figura 10, vê-se o artefato montado pela autora e utilizado neste trabalho. A seguir, faremos uma descrição sucinta de cada um dos seus elementos, mostrando os detalhes mais significativos que têm interesse com relação aos conceitos físicos.

O sistema ressonante da Bobina de Tesla pode ser descrito esquematicamente como um sistema oscilante RLC – conjunto de circuitos cujas grandezas essenciais que desempenham papel dinâmico são resistências, indutâncias e capacitâncias. Ele é composto por dois circuitos básicos: o circuito primário e o circuito secundário (BRUNS, 1992; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000; SILVA, 2012; TESLA e CHILDRESS, 1993; LABURU e ARRUDA, 1991).

Observa-se que o circuito primário é composto pelos seguintes elementos: um transformador (T1), um centelhador ou “spark gap” (SG), um capacitor primário (C1) e a bobina primária (L1) cilíndrica. O circuito secundário é composto por uma bobina secundária (L2) cilíndrica. Ela possui número de espiras consideravelmente maior que o da bobina primária. A bobina secundária é montada de modo a estar concêntrica e interna, com relação à bobina primária. A bobina secundária ressona com sua própria capacitância distribuída e com a capacitância de um terminal secundário no topo da bobina (CT) e da conexão à terra (Barreto, 2014; Bruns, 1992).

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito primário é composta por quatro componentes. O transformador – que foi adquirido, por ser de difícil construção – possui as seguintes características: uma tensão de saída de 12kV, com uma corrente nominal de 30 mA. O objetivo do transformador primário é elevar a tensão originalmente fornecida pela rede da edificação.

O capacitor primário (C1) é, na verdade, um banco de capacitores usado para armazenar, em cada ciclo de operação, uma grande quantidade de energia elétrica, proveniente da rede e que passa através do transformador. Cada ciclo de operação é constituído por uma carga do capacitor primário, seguido de uma súbita descarga. Essa súbita descarga gera um pulso de corrente que passa pela bobina primária (indutor primário).

A técnica utilizada para construir o banco de capacitores é denominada de multi-mini-capacitores (MMC). Esse processo consiste no uso de vários capacitores colocados em série e em paralelo, até que a tensão de isolamento necessária e a capacitância sejam alcançadas. Em nosso caso, são 10 capacitores associados em série (2,2nF x 20kV) e 10 associados em paralelos (22nF x 20 kV). A capacitância equivalente do banco é de 22nF, para uma tensão máxima de 20kV. A cada um dos capacitores foram associados resistores de 10MΩ.

O centelhador ou spark gap (SG) é uma espécie de interruptor. Ele é desenhado para permitir a passagem de corrente, por quebra da rigidez dielétrica do ar, apenas quando a diferença de potencial, no capacitor primário, atinge a intensidade máxima suficiente para a produção de tal efeito. No nosso caso, o centelhador consiste em dois parafusos de latão, presos a um suporte isolante (de madeira), sendo um deles fixo e o outro móvel. Quando ocorre a centelha, o circuito primário se fecha e uma grande quantidade de energia, armazenada em um ciclo de carga do capacitor, é despejada subitamente, em forma de um pulso de corrente, para a bobina primária (indutor).

A bobina primária ou indutor primário ( $L_p$ ) foi construída com algumas voltas (aproximadamente, nove) de um condutor de grosso calibre (tubo de cobre, usado em equipamentos de refrigeração), enrolados em uma forma de cone.

Para o cálculo da indutância, podemos usar a seguinte expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{8R + 11W} \quad (2)$$

onde  $L$  é a indutância da bobina, em microhenries e  $R$  é o raio da bobina, em polegadas. A resistência é calculada pela expressão (TILBURY, 2008, p. 26):

$$R \text{ (inch)} = \frac{\frac{(DE)-(DI)}{2} + (DI)}{2} L \quad (3)$$

sendo  $DE$  o diâmetro externo e  $DI$  o diâmetro interno,  $N$  é o número de espiras e  $W$  é a largura do enrolamento, em polegadas, que pode ser calculada pela expressão:

$$W = R / \cos \theta \quad (4)$$

sendo  $\theta$  o ângulo de inclinação com a horizontal.

A parte da bobina de Tesla correspondente ao circuito secundário é formada por uma bobina (ou indutor) secundária ( $L_s$ ), aterrada. Este componente é simples de ser construído e, no aparato experimental apresentado, utilizamos um tubo de PVC, de 10 cm de diâmetro e 71 cm de altura, com um número de aproximadamente 1800 voltas de fio de cobre (26 AWG).

Para o cálculo da indutância da bobina secundária foi usada a expressão (TILBURY, 2008, p. 76):

$$L(\mu H) = \frac{R^2 N^2}{9R + 10H} \quad (5)$$

onde  $N$  é o número de espiras,  $R$  e  $H$  são, respectivamente, o raio e o comprimento do indutor. Para o indutor primário e secundário encontramos a indutância

$$L(p) = 20,05 \mu H$$

$$L(s) = 42,23 mH$$

Deve-se levar em consideração toda a extensão da bobina secundária para a capacitância distribuída (auto-capacitância). Esta capacitância pode ser escrita como (CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 2000):

$$C(s) = 0,29H + 0,41R + 1,94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} \quad (6)$$

$$C(s) = 9,44pF$$

A frequência de oscilação da bobina secundária pode ser calculada por

$$f(s) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (7)$$

A frequência obtida, através da equação 7, para o indutor secundário é de  $f(s) = 252\text{kHz}$ .

#### *E.4.2 Conceitos Físicos*

Esse quarto experimento utilizado, na nossa sequência didática, serve para introduzir, pela primeira vez, o fenômeno de produção de campos eletromagnéticos variáveis no tempo. Para entender esse fenômeno, é necessário levar em consideração a lei que é expressa pela última das equações de Maxwell, que completa a lei de Ampère introduzindo uma nova “fonte” para a geração de campos magnéticos: a variação temporal de campos elétricos.

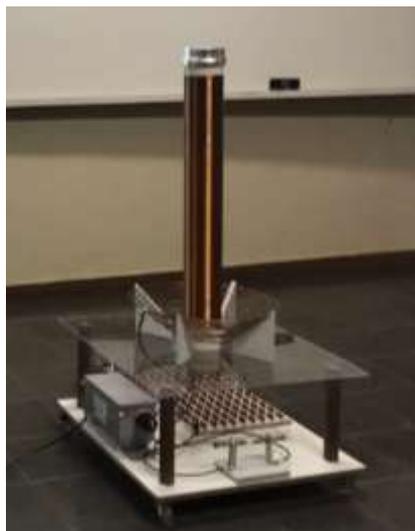
O experimento da Bobina de Tesla pode ser compreendido, conceitualmente, como sendo dividido em três partes. A primeira parte refere-se ao fenômeno de acoplamento entre as bobinas primária e secundária, para cujo entendimento é suficiente invocar a indução eletromagnética (lei de Faraday), complementada pelas leis de Coulomb e Ampère. Todo o fenômeno é dirigido pelo circuito primário. Conceitualmente, tudo começa com a geração de um campo elétrico – para os nossos fins, considerado estático – pela acumulação de cargas no capacitor (lei de Coulomb). Esse campo elétrico, quando suficientemente intenso, quebra a rigidez dielétrica do ar, fechando o circuito e produzindo uma corrente variável no tempo, na forma de um pulso de elevada intensidade, a cada ciclo de descarga.

A corrente variável, ao percorrer a bobina primária, gera um campo magnético variável no tempo, que cresce de zero até um valor máximo e, em seguida, decresce a zero novamente (lei de Ampère), a cada ciclo de descarga. O campo magnético variável no tempo, produzido no interior da bobina primária, gera um campo elétrico induzido em todo o espaço e, em particular, na região ocupada pela bobina secundária (Lei de

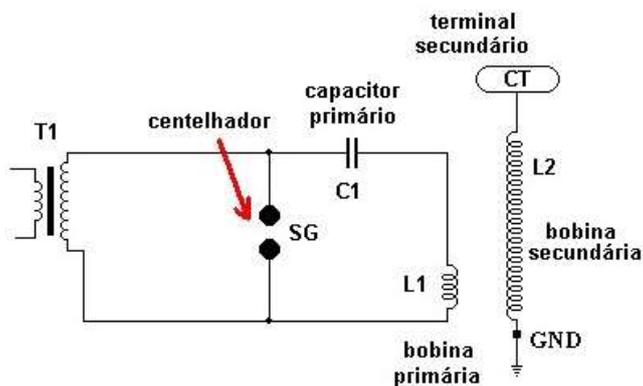
Faraday). Esse campo elétrico induzido gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada. O campo elétrico induzido pela bobina primária gera, na bobina secundária, uma corrente elétrica alternada que produz dois efeitos. O primeiro efeito é o de gerar, no interior da bobina secundária, um campo magnético alternado, que reage contra a bobina primária, através da indução eletromagnética, completando o acoplamento.

A segunda parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla, contudo, é nova e só depende, de fato, do segundo efeito associado ao comportamento da bobina secundária. O segundo efeito da corrente alternada imposta sobre a bobina secundária é uma acumulação alternada de cargas – ora cargas negativas, ora cargas positivas – no topo da bobina, onde se encontra uma carapaça condutora, de formato aproximadamente esférico, que serve exclusivamente para esse fim de acumulação das cargas. O mais importante, contudo, é que essa acumulação dinâmica de cargas gera, em todo o espaço, um campo elétrico variável no tempo, oscilante, cujo formato é aproximadamente “monopolar”, ou seja, esféricamente simétrico, centrado na carapaça condutora do topo. Esse campo elétrico, “monopolar” é possível justamente porque a bobina secundária está aterrada. Isso significa que os efeitos de uma configuração que, mais acuradamente, deveria ser considerada “dipolar” estejam suficientemente afastados das circunvizinhanças da bobina secundária. Finalmente, entra em cena a lei de Ampère-Maxwell. O campo elétrico variável no tempo produz, em cada ponto do espaço, em torno da bobina secundária, um campo magnético induzido, também variável no tempo. Juntos, os campos elétricos e magnéticos gerados pela bobina secundária formam um verdadeiro campo eletromagnético, cuja natureza é, essencialmente, dinâmica.

Da mesma forma que no caso dos experimentos anteriores, o experimento da bobina de Tesla serve como organizador avançado, no sentido ausubeliano. Nesse caso, ele é uma ponte entre o que o aluno já, presumivelmente, conhece – as leis de Coulomb, Gauss magnetostática, Ampère e Faraday – e algo que ele ainda não conhece, a saber, a lei de Ampère-Maxwell.



**Figura 10-** Bobina de Tesla montada e desligada  
 Fonte: Fotografia da autora



**Figura 11 -** Circuito Tesla convencional.  
 Fonte: Web<sup>17</sup>

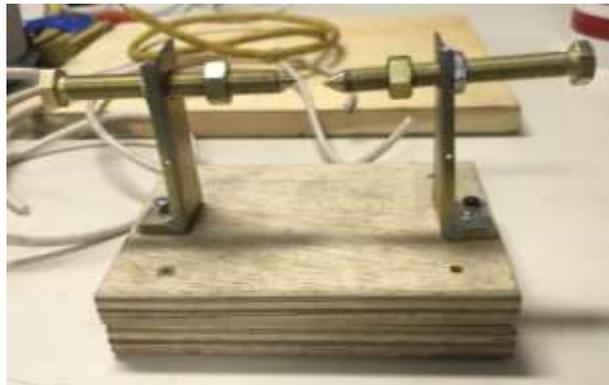


**Figura 12-** Transformador Gás neon de 12kV usado no artefato.  
 Fonte: Fotografia da autora.

<sup>17</sup>Disponível em: <[http://www.geocities.ws/lemagicien\\_2000/tcpage/teslamania/teoria/circuitotesla.gif](http://www.geocities.ws/lemagicien_2000/tcpage/teslamania/teoria/circuitotesla.gif)>. Acesso em: 24 ago. 2017.



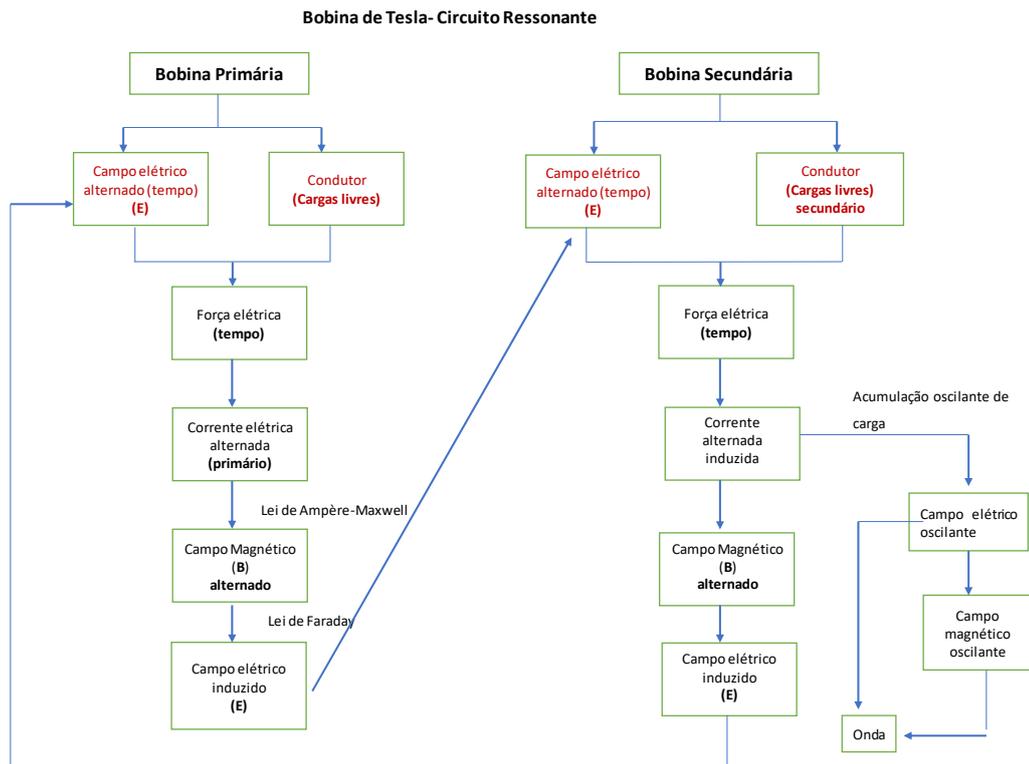
**Figura 13-** Banco de capacitores- total de 100 capacitores associados  
Fonte: Fotografia da autora.



**Figura 14-** Centelhador ou Spark Gap de parafusos de latão  
Fonte: Fotografia da autora



**Figura 15-** Bobinas primária e secundária  
Fonte: Fotografia da autora

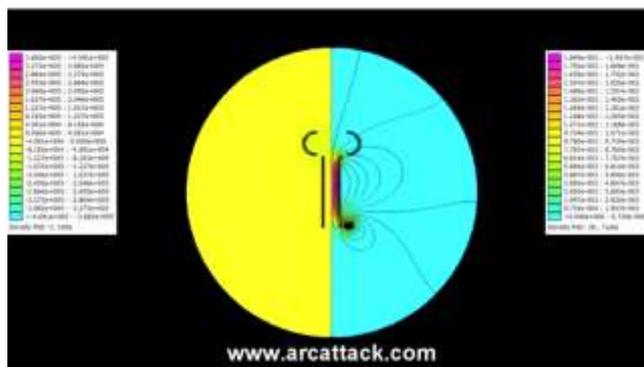


**Figura 16-** Diagrama de conceitos da Bobina de Tesla- Circuito Ressonante  
 Fonte: Elaborado conjuntamente a autora e o orientador

### E.5. A Simulação

A simulação mostra, na sua metade esquerda, o modo como o campo elétrico (de fato, a diferença de potencial) oscila em torno da carapaça da bobina secundária. Na sua metade direita, ela mostra o modo como o campo magnético se comporta dinamicamente em virtude da corrente alternada que percorre a bobina secundária.

É importante que se entenda que essa simulação é apenas uma aproximação, construída utilizando uma metodologia de cálculo que monta, passo a passo, no tempo, apenas a configuração estática dos campos elétrico e magnético, a partir das configurações de carga e corrente verificadas na bobina secundária, em sucessivos instantes congelados de tempo (figura 17). Como é apenas uma aproximação, ela só representa uma parte dos fenômenos envolvidos na bobina, ou seja, apenas mostra os efeitos imediatos, aos que nos referimos acima, envolvidos no acoplamento indutivo. A outra parte dos fenômenos, que não está representada, tem a ver com a geração de campo eletromagnético, por meio da ação conjunta das leis de Faraday e Ampère-Maxwell. Essa parte será tratada nas etapas seis e sete.



**Figura 17** - Simulação do Campo elétrico e magnético na Bobina de Tesla  
Fonte: Vídeo simulador<sup>18</sup>

### E.6. Passos de Execução

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. Coloque a bobina de Tesla em funcionamento por algum tempo. Mostre o efeito de produção de raios, a partir de sua calota, e explique que a origem do fenômeno como acumulação de cargas até o rompimento da rigidez dielétrica do ar. A explicação do efeito de acumulação de cargas, na calota

<sup>18</sup>Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=VrUQjQEMho4&list=TLGGUBVIIwA1kYgxMDA5MjAxOQ&index=10>>. Acesso em 25 jun. 2017.

da bobina secundária, deve ser a motivação para iniciar a explicação detalhada do funcionamento da bobina de Tesla.

- 2°. Com a bobina desligada, explique detalhadamente suas partes constituintes usando, para isso, o diagrama de circuitos, com cuidado na identificação de cada um dos símbolos. Enfatize que a bobina secundária não está em contato mecânico com a bobina primária e que sua interação (acoplamento) acontece exclusivamente pelo fenômeno de indução eletromagnética.
- 3°. Explique o funcionamento da bobina de Tesla como um “transformador ressonante”, com o auxílio dos seus diagramas de conceitos e de circuito. Os conceitos que devem ser abordados são, na sequência, os de corrente elétrica alternada (variável), campo magnético variável gerado por corrente elétrica variável, campo elétrico induzido (variável) por variação de campo magnético, força eletromotriz induzida, corrente elétrica induzida, distribuição de cargas variável, campo elétrico variável gerado por distribuição de cargas variável.
- 4°. Utilize os pêndulos acoplados para ilustrar, por analogia, o acoplamento indutivo entre as bobinas do experimento de Tesla.
- 5°. Mostre o vídeo simulador e discuta o comportamento dos campos elétrico e magnético, gerado como efeito exclusivo do acoplamento indutivo, na bobina de Tesla.
- 6°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos e do esquema da bobina de Tesla, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

## ***F. Etapa 6- Indução Eletromagnética e Campos Eletromagnéticos: Apresentação Comparativa entre a Bobina de Tesla e o Gerador de van de Graaff***

### ***F.1 Objetivo***

A etapa seis consiste em reapresentar aos estudantes a bobina de Tesla como um modo de gerar campos elétricos e magnéticos que dependem do tempo, devido a duas razões distintas: a indução eletromagnética (Lei de Faraday) e a corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell).

Para tanto, a ideia geral é fazer uma comparação entre os princípios de funcionamento e os efeitos produzidos no gerador de van de Graaff e na bobina de Tesla.

Deve-se iniciar com a apresentação comparativa entre os respectivos diagramas de conceitos e circuitos, salientando as analogias e as diferenças que existem entre a geração de um campo eletrostático, no gerador de van de Graaff, e a geração de um campo elétrico dinâmico (alternante), por acumulação de cargas na cúpula da bobina de Tesla.

Deve-se salientar que o gerador de van de Graaff é um dispositivo que, ao chegar ao seu estágio final de operação, acumula cargas elétricas estáticas na carapaça condutora do topo do dispositivo, produzindo um campo elétrico cuja forma geométrica é (aproximadamente) polar, mas que permanece constante no tempo. Por isso o campo é eletrostático.

Por sua vez, a bobina se comporta (em parte) como se fosse o gerador de van der Graaff, só que em cada instante isolado de tempo. Contudo, à medida que o tempo passa, a quantidade e, eventualmente, o sinal das cargas presentes na carapaça vão mudando, de modo que o campo elétrico produzido pelas cargas acumuladas, ainda que possua forma geométrica (aproximadamente) polar, já não é mais constante, e passa a ser oscilante, acompanhando a oscilação das cargas, ora apontando em um sentido, ora em sentido oposto, gerando um campo eletrodinâmico.

Deve-se ressaltar, ainda, que as correntes produzidas nos aparelhos são, respectivamente, contínua – no gerador, enquanto carrega – e alternada, na bobina. E que o gerador, enquanto carrega, é mais similar à bobina justamente porque ele também produz um campo elétrico variável no tempo (mas apenas crescente) e, devido ao fato de

apresentar uma corrente contínua, também gera um campo magnético, embora este seja (aproximadamente) estacionário.

A segunda parte dessa etapa consiste em salientar ainda mais a diferença entre os dois experimentos, mostrando um fenômeno que o gerador de van der Graaff (carregado) não pode produzir. Nesse ponto, deve-se explicar que a geração de campos elétricos dinâmicos, via acoplamento indutivo, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todo os pontos do espaço, através da lei de Ampère-Maxwell.

Tais campos magnéticos induzidos não são aqueles produzidos pelas correntes nos circuitos, mas sim aqueles produzidos pela variação, em cada ponto do espaço livre, do campo elétrico gerado pela carapaça da bobina secundária. Deve-se salientar que esse efeito é análogo à indução eletromagnética, de modo que se perceba que campos magnéticos que variam no tempo produzem campos elétricos induzidos e vice-versa.

Esses campos elétricos e magnéticos dinâmicos, mutuamente produzidos, são o que se denomina por campos eletromagnéticos. Por fim, deve-se salientar que esses campos podem, em princípio, ser detectados e que fornecem a base para o entendimento do fenômeno da onda eletromagnética.

Os estudantes devem realizar as atividades práticas e experimentais dirigidos por um roteiro com perguntas, para que eles possam discutir e refletir sobre os conceitos envolvidos na atividade prática. As perguntas do roteiro têm, igualmente, o duplo objetivo de ajudar na direção da prática e fornecer ao professor material para verificar se a atividade foi bem-sucedida.

## *F.2 Materiais utilizados:*

Gerador de van de Graaff e Bobina de Tesla.

## *F.3 Tempo de Duração*

2 aulas.

## *F.4 Passos de Execução*

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1°. Apresente os aparatos e os esquemas conceituais do gerador de van der Graaff e da bobina de Tesla, todos em conjunto. Deve-se enfatizar a analogia estrutural entre os dois aparatos, principalmente o fato de que

ambos possuem uma calota superior, onde ocorrerá uma acumulação de cargas que é a origem do campo elétrico, em ambos.

- 2°. Em seguida, aborde a primeira diferença fundamental: o gerador de van der Graaff gera um campo eletrostático e a bobina um campo elétrico oscilante.
- 3°. Enfatize que a forma geométrica dos campos elétricos produzidos é bastante semelhante, já que ambos têm uma forma aproximadamente polar, centrada nas respectivas calotas.
- 4°. Aborde a segunda diferença fundamental: no gerador, após carregado, não há correntes, enquanto, na bobina, as correntes existem e são alternantes. Isso implica que, no gerador, não há campo magnético, enquanto, na bobina, há campo magnético, também oscilante, devido às correntes induzidas alternadas.
- 5°. Ressalte que, durante o procedimento de carga do gerador, existe, de fato, uma corrente, mas ela é contínua. Isso implica que o campo elétrico do gerador, durante a carga, é um campo também variável, embora não oscilante. Isso implica também que há um campo magnético produzido, durante esse período de carga.
- 6°. Em seguida, aborde a terceira diferença fundamental. Esse é o momento de apresentar a lei de Ampère-Maxwell. Explique que a geração de campos elétricos dinâmicos, na bobina, tem como efeito a formação de campos magnéticos dinâmicos induzidos, em todos os pontos do espaço. Deve-se enfatizar bastante a diferença entre a origem do campo magnético induzido (corrente de deslocamento) e a origem do campo magnético produzido por correntes reais.
- 7°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos na comparação entre os experimentos, com o auxílio dos diagramas de conceitos e dos esquemas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

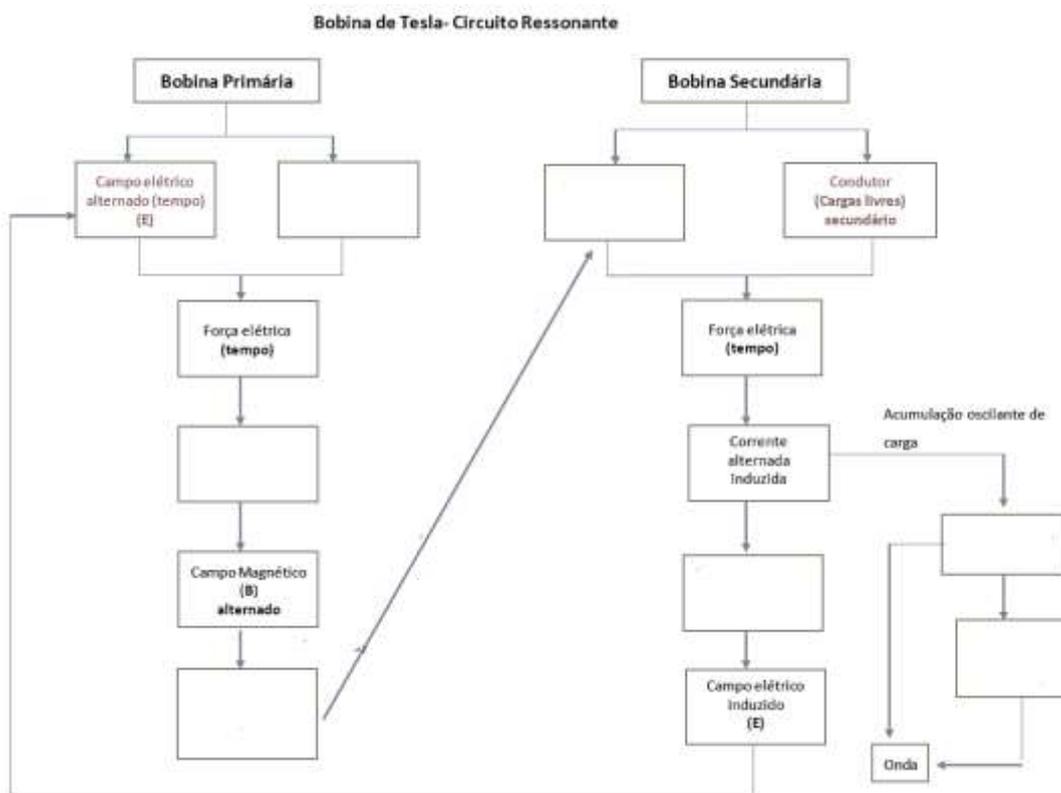
### *F.5 Roteiro Experimental*

#### **Atividade: Gerador de van de Graaff e Bobina de Tesla**

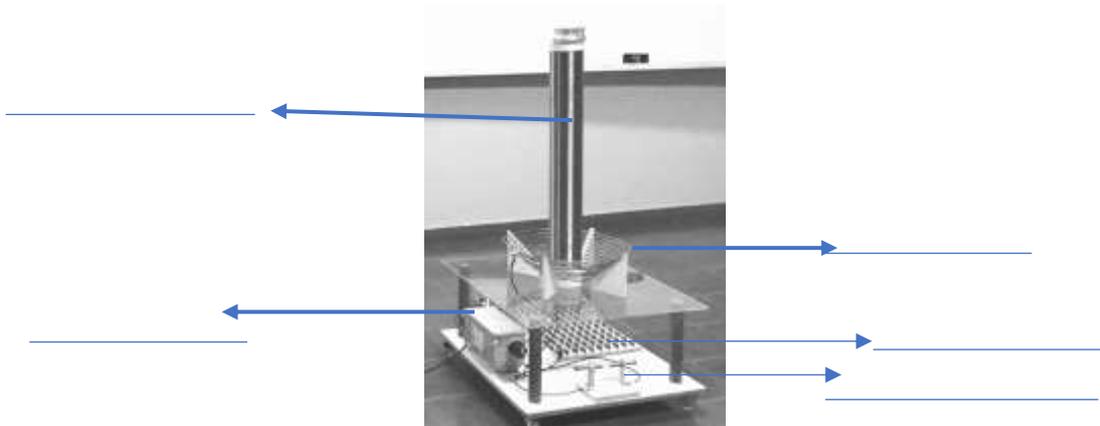
**Objetivos:**

- Observar através dos aparatos experimentais os fenômenos elétricos e magnéticos e comparar os elementos estruturais existentes na bobina de Tesla e no gerador de van der Graaff e suas respectivas funções.
- Compreender o fenômeno da indução eletromagnética na Bobina de Tesla.

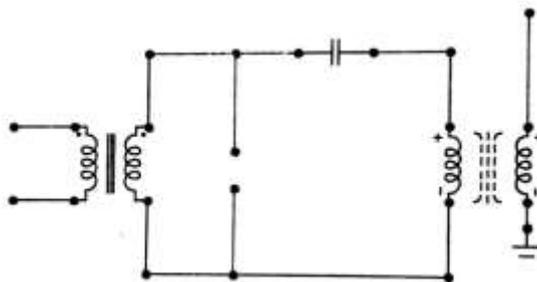
1) Observe, abaixo, o diagrama conceitual da bobina de Tesla e complete com os quadros vazios com os conceitos corretos.



2) Observe, abaixo, a fotografia da bobina de Tesla. Identifique cada uma das partes da bobina que estão indicadas. Em seguida, explique o que são essas partes e como elas contribuem para o funcionamento da bobina. Para isso, você deve utilizar os conceitos de carga e corrente elétrica, campos elétrico e magnético, fluxo magnético e indução eletromagnética.



- 3) Observe, abaixo, o diagrama do circuito da bobina de Tesla e identifique cada uma das partes da bobina. Compare suas identificações com aquelas que você fez na questão anterior.



- 4) Compare a estrutura física e o funcionamento do gerador de Van de Graaff e da bobina de Tesla. Explique quais são as semelhanças e as diferenças entre os funcionamentos do gerador de van der Graaff e da bobina de Tesla.

- 5) Nas colunas do quadro abaixo, identifique quais são os elementos físicos que apresentam função análoga e explicar que função é essa.

Gerador de van der Graaff

Bobina de Tesla

## ***G. Aula 7- Geração e Detecção de Campos Eletromagnéticos***

### ***G.1 Objetivo***

A etapa sete consiste em uma atividade experimental (de verificação) destinada à detecção do campo eletromagnético, através de antenas, produzido pela bobina de Tesla. Os objetivos dessa etapa são abordar novamente os conceitos de corrente de deslocamento e campo magnético induzido por corrente de deslocamento (Lei de Ampère-Maxwell), explicar que os campos eletromagnéticos podem ser observados, por meio de instrumentos, e explicar que tais instrumentos – as antenas – funcionam através das mesmas leis do eletromagnetismo que já foram apresentadas.

Devem ser utilizadas duas antenas. Uma antena deve ser linear, para detecção do campo elétrico dinâmico, e seu princípio de funcionamento é baseado na acumulação de cargas de sinais contrários, conduzidas pelo campo elétricos, em duas extremidades da antena, de modo que se possa medir uma diferença de potencial com um voltímetro. A outra antena deve ser circular, para a detecção do campo magnético dinâmico e seu princípio de funcionamento é baseado na geração de corrente alternada, pelo campo elétrico induzido que é gerado pela ação da variação local de fluxo magnético. Tal corrente induzida pode ser medida com um amperímetro.

Os alunos podem ser divididos em grupos, para realização da prática experimental verificativa. Cada grupo terá uma trena para medir a distância da bobina à antena e observar o brilho do LED e anotar os valores, no multímetro. A ideia é que os alunos possam observar que os valores apontados no multímetro possuem, pelo menos, duas características em comum: eles sempre diminuem, à medida que as distâncias da bobina de Tesla aumentam, e eles são aproximadamente invariáveis, se as medidas são realizadas sempre a uma mesma distância, independentemente da direção em que são tomadas. Ou seja, os campos produzidos pela bobina secundária apresentam uma simetria cilíndrica, de rotação, em torno do eixo da bobina secundária.

É importante frisar, nessa etapa, dois pontos. Primeiro, que os campos eletromagnéticos que estão sendo observados são uma mistura de efeitos que dependem das configurações de carga e de corrente, tanto na bobina secundária quanto na primária, e que esses efeitos não podem ser separados, dado o fato de que as medidas são grosseiras e são tomadas muito próximas às bobinas. Portanto, os efeitos cujas origens são apenas a

lei de Faraday (indução eletromagnética), que acopla as bobinas, e os efeitos que são produzidos pela lei de Ampère-Maxwell (corrente de deslocamento), devidos apenas à bobina secundária, encontram-se misturados.

Segundo, que o efeito devido à lei de Ampère-Maxwell pode ser visto separadamente, mas para isso deve-se tomar medidas a distâncias muito grandes da bobina, o que é inviável, no contexto da sala de aula. A grandes distâncias, os campos eletromagnéticos passam a comportar-se cada vez mais como aquilo que denominamos uma onda eletromagnética, que poderia, a depender da intensidade da fonte, ser detectada, na faixa de comprimento de onda das ondas de radiofrequência.

Os procedimentos para a realização das atividades foram descritos em um roteiro experimental para realizar a atividade. Após as observações realizadas, os alunos devem discutir as questões solicitadas na atividade proposta.

## *G.2 Materiais utilizados:*

Para a execução dessa etapa, são necessários os seguintes materiais: bobina de Tesla, 1 antena linear, 1 antena circular e 1 multímetro.

## *G.3 Tempo de Duração*

2 aulas

## *G.4 Antenas*

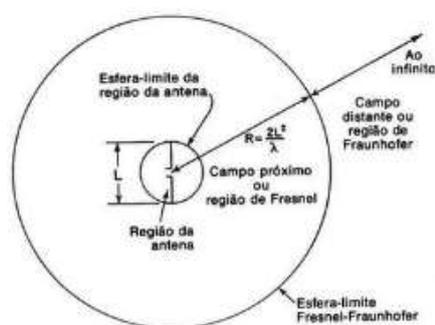
A terceira parte da estrutura conceitual do experimento da bobina de Tesla consiste na explicação de como se procede à detecção dos campos eletromagnéticos produzidos. As equações dos rotacionais de Maxwell ( $\nabla \times E$  e  $\nabla \times B$ ) significam que os campos elétricos e magnéticos variam no tempo de maneira interdependente, sendo o campo elétrico variável capaz de gerar campo magnético variável e vice-versa. Assim, o campo eletromagnético variando no tempo propaga energia através do espaço vazio, na velocidade da luz, pois a luz nada mais é do que um campo eletromagnético (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Observe que não falamos, em nenhum lugar, até agora, do conceito de onda eletromagnética. De fato, a noção de onda como um fenômeno de oscilação de alguma grandeza, espaço-temporalmente extensa e contínua, caracterizada de modo simples por intensidade, comprimento de onda e frequência, não se aplica bem ao campo

eletromagnético produzido nas imediações da bobina de Tesla. As irregularidades, aí, são muitas e aos campos eletromagnéticos produzidos pelo efeito Ampère-Maxwell devem ser somados o campo magnético variável produzido pela bobina secundária e os campos magnéticos e elétricos produzidos pela bobina primária. De modo que, falar de onda, nessas condições, é impossível. De fato, o que se espera é que um campo eletromagnético ondulatório seria, a depender de sua intensidade, detectável apenas a alguns quilômetros da bobina de Tesla. Isso, evidentemente, está fora de nossas cogitações.

Porém, isso não significa que o altamente irregular campo eletromagnético nas circunvizinhanças da bobina não possa ser detectado. Para isso, utiliza-se de antenas. Conforme, geralmente, se as entende, antenas são dispositivos, acoplados a circuitos, que servem tanto para irradiar quanto para captar, de forma controlada, uma onda eletromagnética, no comprimento de onda do espectro de radiofrequência. A geometria e o tamanho são fatores predominantes no desempenho de uma antena (BALANIS, 1997; COLLIN, 1985).

Em geral, pode-se falar em duas regiões do campo eletromagnético gerado por antenas: o campo próximo e o campo distante (figura 18). O campo próximo, ou zona de Fresnel, é a região em torno da antena onde os campos magnéticos e elétricos são irregulares. Esses campos não são ondas de rádio. O campo distante ou zona de Fraunhofer é a região de campo na qual os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares e somente nessa região podemos falar de onda eletromagnética. No nosso caso, quem faz o papel de antena transmissora é a própria bobina de Tesla e o campo que é detectado está na zona de Fresnel (MARTINS, 2016; MOURA, 2018).

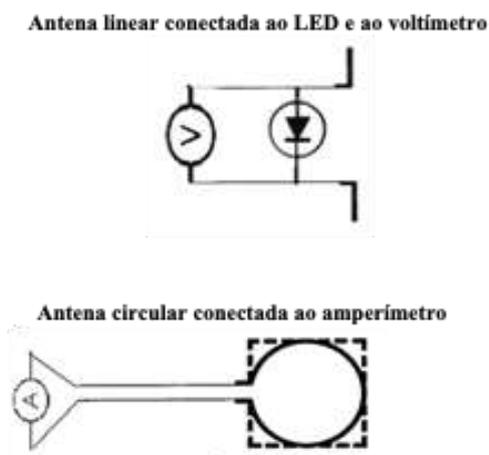


**Figura 18-** Regiões de Fraunhofer e Fresnel  
Fonte: IFSC<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Notas do Prof. Ramon Mayor Martins. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/73070038-Antenas-e-propagacao.html>> Acesso em: 06 de outubro de 2018.

Muito embora não seja o caso de falarmos em onda, antenas são utilizadas da mesma maneira também para detectar campo eletromagnético na zona de Fresnel. Neste trabalho, utilizou-se de dois tipos de antenas – linear (dipolo) e circular (“loop”) – como receptoras do sinal eletromagnético.

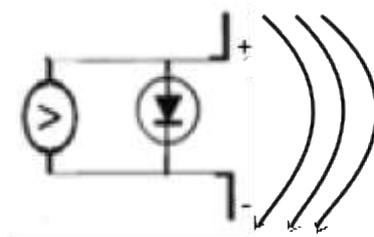
A antena linear (dipolo) consiste em duas hastes condutoras retas, curtas, de igual tamanho, dispostas colinearmente, com um pequeno espaço entre elas<sup>20</sup>. As duas hastes são ligadas por um fio condutor, onde se encontra um diodo, que pode ser um LED, como mostra a figura 19.



**Figura 19-** Diagramas esquemáticos das antenas linear e circular  
Fonte: Elaborado pela autora

O princípio de funcionamento da antena linear é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo elétrico é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes nas hastes (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica que também as dirige ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Porém, o diodo só permite a passagem de cargas em um único sentido, de modo que o efeito total, depois de alguns ciclos de oscilação, é a formação de um acúmulo de cargas de sinais opostos, nas extremidades de cada uma das hastes. Assim, uma das hastes da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas, produzindo uma diferença de potencial que pode ser detectada por um voltímetro (figura 20) (BALANIS, 1997).

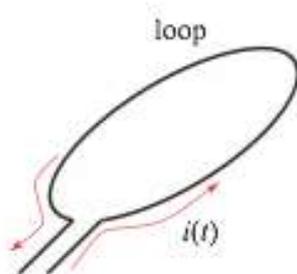
<sup>20</sup> CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. *Antenas* – cap. III. Disponível em: < [http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A\\_C3.pdf](http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf) >



**Figura 20** – Antena linear receptora conectada ao LED e ao voltímetro

Fonte: Elaborado pela autora

A antena circular (“loop”) consiste em um único circuito condutor, disposto em formato aproximadamente circular (figura 21).



**Figura 21.** - Antena circular

Fonte: UFPe<sup>21</sup>

O princípio de funcionamento da antena circular é o seguinte. Uma vez colocada em uma região onde o campo magnético é oscilante e caracterizado por uma certa frequência, as cargas livres presentes no condutor (elétrons) ficam submetidas à ação de uma força elétrica induzida também oscilante (lei de Faraday), e que também dirige essas cargas ora em um sentido da antena, ora no sentido oposto. Essa corrente alternada na antena pode ser medida através de um amperímetro conectado diretamente à antena receptora. No circuito da antena, apresenta-se também um LED. Porém, ao contrário do caso da antena linear, onde sua presença é essencial para o funcionamento da antena, no caso da antena circular, o diodo serve para indicar a passagem da corrente alternada, ao iluminar-se.

<sup>21</sup> FONTANA, Eduardo. Eletromagnetismo. Parte II. 2017. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap11.htm>>

## *G.5 Passos de Execução*

Os passos de execução dessa etapa da sequência didática são os que se seguem.

- 1º. A partir do diagrama conceitual da bobina de Tesla, deve-se reapresentar os efeitos produzidos pela bobina secundária. Primeiramente, os efeitos diretos do acoplamento indutivo.
- 2º. Em seguida, deve-se abordar os efeitos secundários, explicando que o campo elétrico oscilante produz campo magnético induzido, em todo o espaço (Lei de Ampère-Maxwell).
- 3º. Em seguida, deve-se explicar que o campo magnético induzido, por ser variável, também produz campos elétricos induzidos, em todo o espaço (lei de Faraday). Deve-se explicar que esses efeitos acontecem em cascata, distanciando-se cada vez mais da bobina secundária. A isso se denomina campo eletromagnético.
- 4º. Em seguida, deve-se explicar que, próximo à bobina secundária, os efeitos diretos do acoplamento se misturam com os efeitos secundários. Isso significa que, próximo à bobina (zona de Fresnel), o campo eletromagnético é uma soma de campos elétricos e magnéticos produzidos pelas distribuições de corrente e de carga das bobinas, e dos campos elétrico e magnético induzidos.
- 5º. Por fim, deve-se explicar que os campos induzidos podem ser observados a uma distância muito grande da bobina (Zona de Fraunhofer). Nessa região, é possível detectar o que se denomina onda eletromagnética, que oscila com uma frequência igual à frequência de oscilação da bobina secundária.
- 6º. Passa-se à atividade de detecção dos campos elétricos, próximos à bobina. Para detectar o campo elétrico, utiliza-se uma antena linear.
- 7º. A antena linear deve estar conectada a um voltímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena linear, baseado em simples separação de cargas de sinais opostos, nas extremidades da antena, pela presença do diodo. Isso gera uma diferença de potencial que, em condições ideais, deve estabilizar-se em um valor máximo.
- 8º. As medidas do campo elétrico devem ser tomadas em diversas posições e orientações da antena. É necessário demarcar duas ou mais distâncias, cada

vez mais afastadas (por exemplo, 0,5 m e 1,0 m de distância da bobina), duas ou mais alturas (por exemplo, 1,0 m e 2,0 m) e, pelo menos, quatro posições, ao redor da bobina, de acordo com as instruções do roteiro de experimento.

- 9°. Em cada uma das distâncias escolhidas, deve-se verificar que as medidas são relativamente compatíveis, em valor, de modo também relativamente independente da altura, da posição ao redor da bobina e da orientação da antena. Deve-se explicar que esse comportamento é esperado, em virtude das intensidades dos campos decrescerem com a distância da fonte.
- 10°. Passa-se à atividade de detecção dos campos magnéticos, próximos à bobina. Para detectar o campo magnético, utiliza-se uma antena circular. A antena circular deve estar conectada a um amperímetro. Deve-se explicar o princípio de funcionamento da antena circular, baseado na indução eletromagnética. A alteração do fluxo do campo magnético, através da antena, gera uma corrente elétrica induzida.
- 11°. Repete-se os procedimentos já efetuados com a antena linear.
- 12°. Por fim, deve-se retomar todos os conceitos discutidos no experimento, com o auxílio do diagrama de conceitos da bobina e dos diagramas das antenas, de modo a realizar uma integração de todos eles em torno da ideia do experimento (organizador avançado).

## *G.6 Roteiro Experimental*

### **Atividade: Detecção do Campo Eletromagnético na Bobina de Tesla**

Objetivos:

- Detectar, através de antenas, o campo eletromagnético produzido pela bobina de Tesla, nas suas proximidades.
- Compreender a onda eletromagnética como um fenômeno associado com a produção de campos elétrico e magnético por mútua indução.

Atividade em grupo.

- ❖ Antena Linear

A antena linear funciona da seguinte forma. A antena linear é simplesmente um par de hastes condutoras desconectadas. O campo elétrico oscilante produzido pela bobina de Tesla aciona os elétrons nas hastes condutoras da antena, de modo que eles serão movidos pela força elétrica de um lado para outro (movimento de vai-e-vem). Mas as hastes estão separadas por um LED, que permite que os elétrons de um lado da haste passem para o outro lado, mas impede que os elétrons desse lado passem (ou retornem). Assim, uma das hastes da antena ficará com excesso de cargas positivas e a outra com excesso de cargas negativas (como um capacitor). Essa separação das cargas produz uma diferença de potencial que pode ser medido usando um voltímetro.

Procedimento:

1. Utilize a trena e posicione a antena a uma distância de cerca de 1m da bobina secundária e a cerca de 1,5m de altura com relação ao solo.
2. Fixe a orientação da antena.
3. Ligue a bobina de Tesla.
4. Observe o brilho do LED na antena e os valores mostrados no voltímetro.
5. Varie um pouco a orientação da antena.
6. Registre as suas observações.

Figura 1- Antena Linear

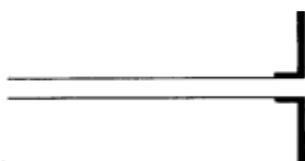
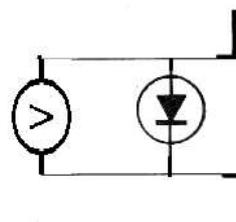


Figura 2- Antena linear conectada ao LED e ao voltímetro



#### ❖ Antena Circular

A antena circular funciona da seguinte forma. A antena circular é simplesmente um circuito condutor fechado. O campo magnético oscilante produzido pela bobina de Tesla produz uma oscilação do fluxo magnético através do circuito fechado. Pela lei de indução de Faraday, isso produzirá uma fem induzida, também oscilante, nesse circuito fechado. Essa fem induzida oscilante aciona os elétrons presentes na antena, de modo que eles serão movidos pela força

elétrica induzida de um lado para outro (movimento de vai-e-vem), produzindo, portanto, uma corrente alternada. Essa corrente alternada pode ser medida usando um amperímetro. Observe que também se colocou um LED, mas, nesse tipo de antena, ele só serve para indicar a passagem de corrente alternada, ao acender.

Procedimento:

1. Utilize a trena e posicione a antena circular a uma distância de cerca de 0,5m da bobina secundária e a cerca de 1,5m de altura com relação ao solo.
2. Fixe a orientação da antena.
3. Ligue a bobina de Tesla.
4. Observe o brilho do LED na antena e os valores mostrados no amperímetro.
5. Varie um pouco a orientação da antena.
6. Registre as suas observações.

Figura 1- Antena Circular

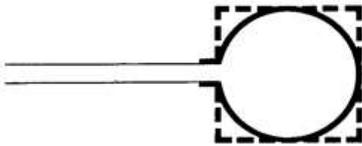
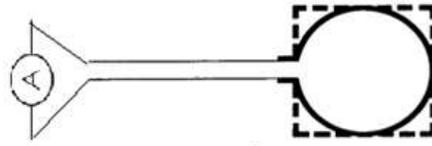


Figura 2- Antena circular conectada ao amperímetro



Responda as seguintes questões:

- a) Explique, com suas próprias palavras, como funcionam as antenas, usando desenhos que permitam entender o que acontece.
- b) Por que o LED é desnecessário na antena circular?
- c) Os LEDs acendem em ambas as antenas. Mas, embora você não perceba, ele não fica permanentemente aceso, mas sim pisca em uma frequência muito alta. Você conseguiria deduzir que frequência é essa?
- d) O que acontece com um rádio comum, quando ele é aproximado da bobina de Tesla em funcionamento? Você seria capaz de explicar por que isso acontece?

## *H. Etapa 8- Revisão e avaliação - Questionário Final*

### *H.1. Objetivo*

A etapa oito consiste em revisar os conceitos discutidos durante as etapas anteriores e, em seguida, submeter os alunos ao questionário final, correspondente às atividades e conceitos discutidos no decorrer da sequência aplicada.

Uma característica importante do questionário de avaliação é que as questões são todas contextualizadas nas atividades prático-experimentais que os estudantes realizaram. Isso cumpre dois objetivos interconectados: o primeiro é o de evitar respostas mecânicas (automáticas) que são tipicamente fornecidas quando as questões são construídas como perguntas teóricas a respeito de definição de conceitos. O segundo é procurar fazer com que os alunos, testados dessa forma contextualizada, deem oportunidade ao avaliador de verificar indícios de aprendizagem significativa.

### *H.2. Tempo de duração*

2 aulas

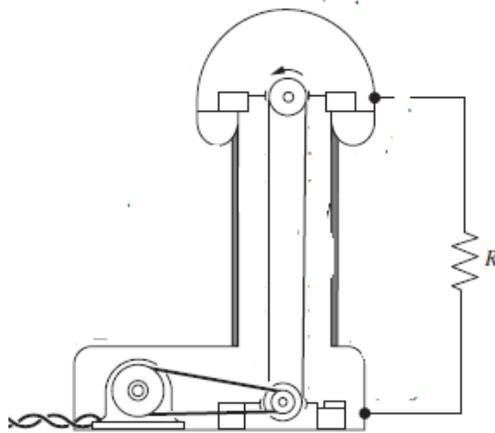
### *H.3. Organização da turma*

Nesta etapa inicial, apresente aos estudantes o objetivo do questionário final e peça para que eles resolvam individualmente as questões.

### *H. 4. Avaliação Final*

#### **Avaliação Final**

1. Explique o funcionamento do gerador de van der Graaff, indicando, na figura, as localizações das cargas elétricas e a forma do campo elétrico produzido depois que o gerador estiver completamente carregado. Nessa situação, o que acontece quando o domo e a base são ligados por um fio de resistência  $R$ ?



**Figura 1-** Gerador de van der Graaff conectado a um resistor  
 Fonte: Purcell

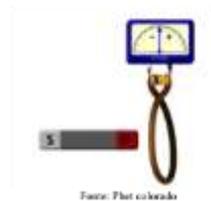
- Como vimos, podemos obter um eletroímã se enrolarmos um fio condutor e fizermos passar uma corrente elétrica (contínua ou alternada) pelo fio, conforme a figura abaixo. Suponha que você não saiba se a bateria está carregada ou descarregada. Como você faria para determinar isso?



**Figura 2-** Eletroímã conectado à uma bateria.  
 Fonte: Phet colorado

- A figura abaixo mostra um ímã nas proximidades de uma espira ligada a um voltímetro. O zero desse voltímetro está no centro de sua escala. Explique como você utilizaria o ímã para fazer o voltímetro acusar uma ddp positiva.

**Figura 3-** Um ímã e uma espira condutora conectada a um voltímetro



Fonte: Phet colorado

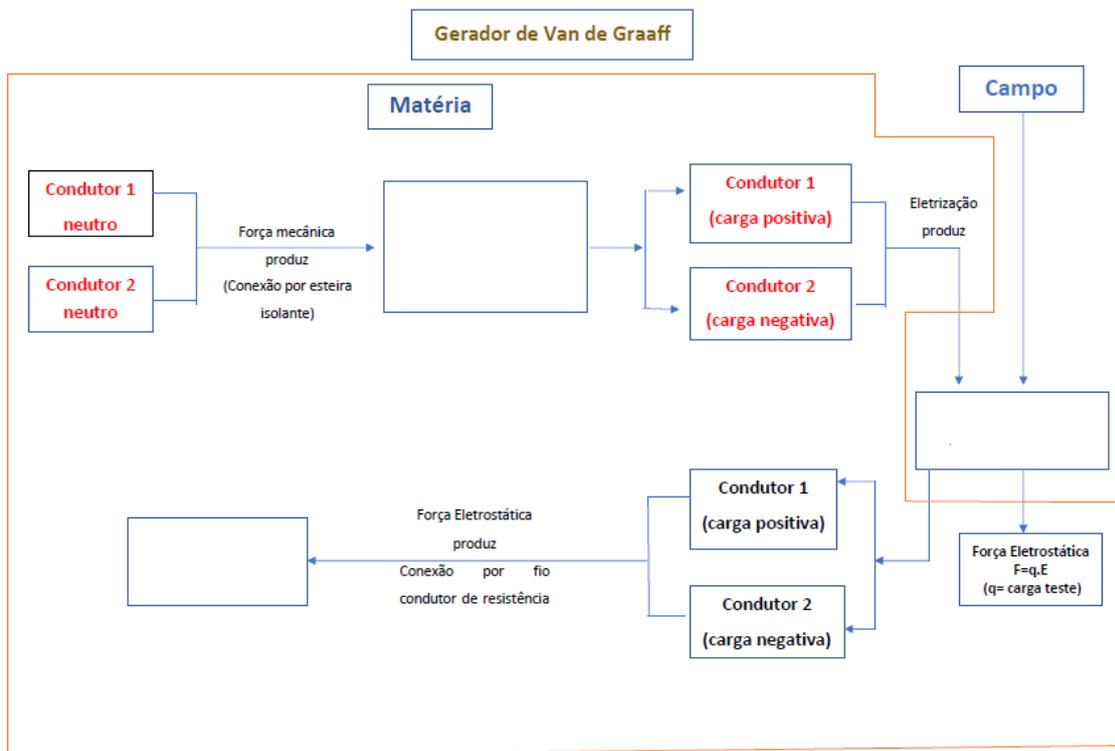
- A bobina de Tesla é, essencialmente, um conjunto de duas bobinas posicionadas concêntricamente, sem nenhum contato entre elas. A bobina interna, chamada de secundária, produz um campo eletromagnético oscilante. Explique, detalhadamente, como isso acontece. Faça um ou mais desenhos que permitam entender sua explicação.

Em uma das nossas aulas, utilizamos as antenas linear e circular para detectar o campo eletromagnético produzido pela bobina de Tesla, nas suas proximidades.

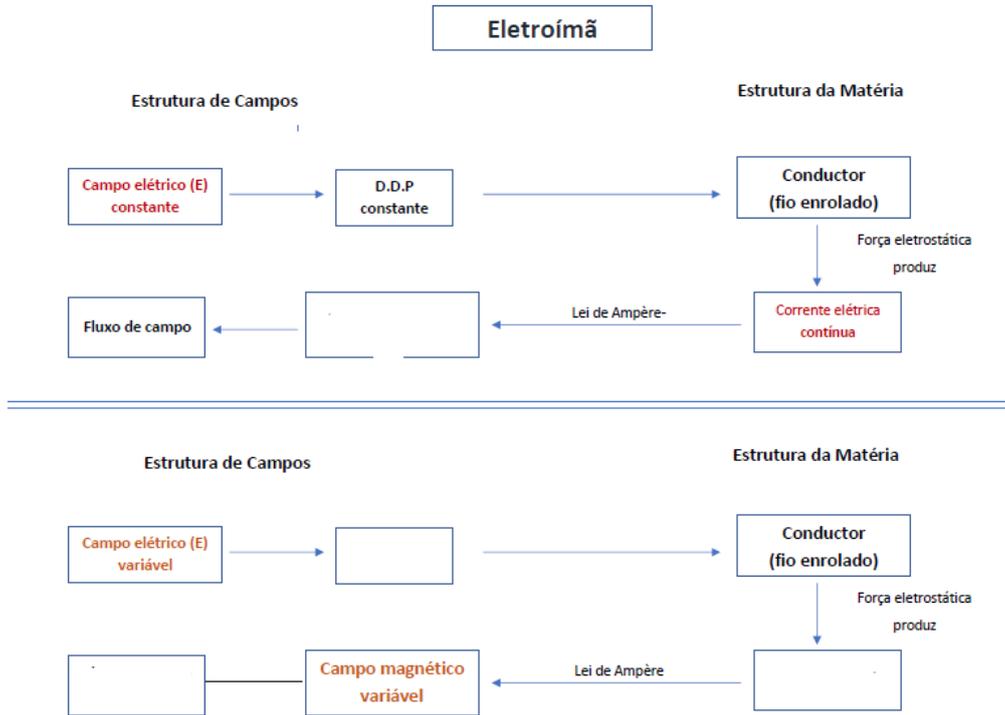
5. Explique, com suas próprias palavras, como funcionam as antenas, usando desenhos que permitam entender o que acontece.

6. Complete os mapas abaixo de acordo com os conceitos correspondentes em cada quadro:

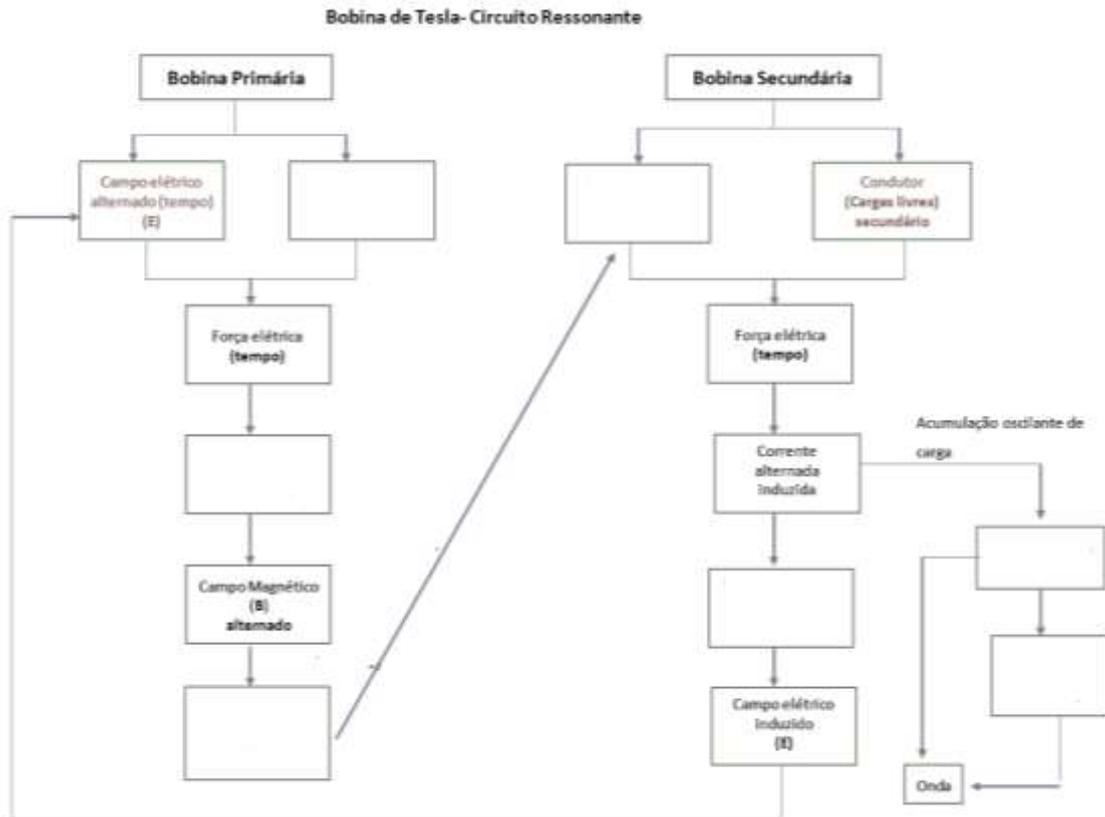
a) Diagrama de conceitos do gerador de van der Graaff



b) Diagrama de conceitos do eletroímã



c) Diagrama de conceitos da bobina de Tesla



## Referências

ALL ABOUT CIRCUITS. (s.d.). Disponível em:

<<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-3/importance-electrical-safety/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ARAÚJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. D. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, 25, June 2003. 176-194.

ARRUDA, S. M.; LABURU, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998. p. 53-60.

ARRUDA, S. M.; LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, R. (Org.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998, p.53-60.

ARTIGUE, M. Engenharia Didática. In: BRUN, J. **Didática das Matemáticas**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 193-2017.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003. Disponível em: <[http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel\\_2000\\_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf](http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf)>. Acesso em 15 de mar 2017.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. D.; (ORG.) **Ensino de Ciências**: Unindo a pesquisa e a prática. [S.l.]: Cengage Learning, 2004. p. 19- 34.

BALANIS, C. A. **Antenna theory**: analysis and design. 2a.ed. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. Disponível em: <[https://cds.cern.ch/record/1416310/files/047166782X\\_TOC.pdf](https://cds.cern.ch/record/1416310/files/047166782X_TOC.pdf)>. Acesso em: 3 agos. 2018.

BARRETO, J. R. A. **Uma Nova Proposta de recurso didático**: A bobina de tesla para uso em temas do eletromagnetismo. [S.l.]: [s.n.], 2014. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/8144/1/2014\\_JessicaRayaneAlvesBarreto.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/8144/1/2014_JessicaRayaneAlvesBarreto.pdf)>. Acesso em 5 agos. de 2017.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, jan. 2002. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>>. Acesso em 05 de fev 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/%x>.

BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 71-94, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6394>> Acesso em 6 agos. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica. Brasília: MEC/SENTEC, 2013. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em 5 abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SENTEC, 1999.

BRUNS, D. G. A solidstate lowvoltage Tesla coil demonstrator. **American Journal of Physics**, Colocado, p. 797- 803, september 1992. Disponível em: <[http://r9.webtuyau.com/wp-content/uploads/2014/06/AJP609\\_797\\_1992\\_Bruns.pdf](http://r9.webtuyau.com/wp-content/uploads/2014/06/AJP609_797_1992_Bruns.pdf)>. Acesso em 6 mai 2017.

CASTRO, Fernando Comparsi; FRANCO, Paulo Roberto Girardello. **Antenas** – cap. III. Disponível em: < [http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A\\_C3.pdf](http://www.epo.pucrs.br/~decastro/pdf/A_C3.pdf)>. Acesso em 05 mai. 2018

CARVALHO, A. M. P. D. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. D. O Ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. D. ( . ). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

CARVALHO, M. P. D. et al. **Ciências no Ensino Fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 2005. 199 p.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR., F. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 22, março 2000. 69-77. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22a09.pdf>>. Acesso em 5 mai. 2017.

COILS, F. F. T. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **teslaresearch.jimdo.com**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 2 fev. 2018.

COLLIN, R. E. **Antennas and radiowave propagation**. New York: McGraw-Hill Book, 1985. 508 p. Disponível em: <<https://electrobian.files.wordpress.com/2016/07/antennas-and-radiowave-propagation-collin.pdf>>. Acesso em 05 mai. 2018.

FORMULAS FOR NIKOLA TESLA. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **Teslaresearch**. Disponível em: <<https://teslaresearch.jimdo.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>>. Acesso em 5 abr. 2018.

GALIAZZI, M. C. et al. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, v.7, n.2, p.249-263, 2001.

GALIAZZI, M. D. C.; GONCALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Química Nova**, 27, n. n.2, 2004. 326-331. ISSN 0100-4042. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-4042200400020002>> Acesso em 25 jun. 2018.

GASPAR, A. **Experiências de ciências para o ensino fundamental**. São Paulo: Ática, 2003.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencia da teoria de Vigotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.10, n.2, p. 227-254, 2005.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. São Paulo. Bookman, 2001, p. 387.

HODSON, D. **Experimentos na ciência e no ensino de ciências**. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 53 -66, 1988.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, 12, n. n.3, 1994. 299-313.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the twenty-first century. **Science Education**, jan. 2004. 28-54. Disponível em: <<http://gpquae.iqm.unicamp.br/gtexperimentacao.pdf>> Acesso em 5 de agos. 2018.

LABURU, C. E.; ARRUDA, S. D. M. A construção de uma bobina de Tesla para uso em demonstrações na sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Londrina, abril 1991. 217-226. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10008/14550>>. Acesso em 6 mai 2017.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; KANBACH, B. G. **A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 305-320, 2007. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/462/266>> Acesso em 5 agos. 2018.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. Disponível em: <[https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2431625/mod\\_resource/content/1/Pesquisa%20](https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2431625/mod_resource/content/1/Pesquisa%20)

em%20Educação%20Abordagens%20Qualitativas%20vf.pdf>. Acesso em 5 mar. 2018.

MARTINS, R. D. A. Orsted e a descoberta do Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, outubro 1986. 89-114. Disponível em: <<https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/1226>>. Acesso em 05 mar. 2018.

MARTINS, R. M. ANT- Antenas e Propagação, 2016. Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5\\_0IFSC\\_Engenharia\\_ANT\\_2016\\_1.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1f/5_0IFSC_Engenharia_ANT_2016_1.pdf)> Acesso em 5 mar. 2018.

MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A.; GASPAR, A. Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de física. **ATas-IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, 25-29 novembro 2003. 1-11. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Orais/ORAL044.pdf>>. Acesso em 5 agos. 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2015.

MOREIRA, M. A. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em sala de aula**. Brasília: UnB, 2006.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. Sao Paulo: Moraes, 1982.

MOURA, A. Antenas e Propagação. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~amoura/APROWEB/AAM\\_Param\\_Fundamentais.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~amoura/APROWEB/AAM_Param_Fundamentais.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2018.

NOVAK, J. D.; CANÃS, A. J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, jan.- jun. 2010. 9- 29. Disponível em: <[https://www.betterevaluation.org/en/resources/guides/concept\\_mapping/theory\\_underlying\\_concept\\_maps](https://www.betterevaluation.org/en/resources/guides/concept_mapping/theory_underlying_concept_maps)>. Acesso em 5 mai. 2017.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, Canoas, 12, jan./jun 2010. 139-153. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wp-content/uploads/2015/03/contribuicoes-e-abordagens-de-atividades-experimentais.pdf>>. Acesso em 3 set. 2017.

ORSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, outubro 1986. 115-122.

PENA, F. L. A.; RIBEIRO FILHO, A. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas brasileiras

publicados em periódicos nacionais da área (1971-2006). *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, n. 1, 2009.

PEREIRA, Marcus Vinicius; MOREIRA, Maria Cristina do Amaral. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 265-277, maio 2017. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p265>>. Acesso em 26 set. 2018. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p265>.

POLITO, A. M. M. **A construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

PURCELL, E. M.; MORIN, D. J. **Electricity and Magnetism**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2013.

ROCHA, J. F. M. O conceito de campo em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 31, n. n.1, abril 2009. 1604.1-1604.17. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a13.pdf>>. Acesso em 6 mai. 2017.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R (org). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. Porto Alegre, EdPUCRs, 2008.

SILVA, D. S. D. S. **A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do eletromagnetismo**. Fortaleza: Centro de Ciências e Tecnologia, 2012. 66 p. Disponível em: <[http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc\\_details/138-a-versatilidade-da-bobina-de-tesla-na-pratica-docente-do-ensino-de-fisica](http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_details/138-a-versatilidade-da-bobina-de-tesla-na-pratica-docente-do-ensino-de-fisica)>. Acesso em 6 set. 2017.

SILVA, R.T. da; CARVALHO, H.B. de. A indução eletromagnética: análise conceitual e fenomenológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4314-6, dez. 2012.

SKELDON, K. D.; GRANT, A. I.; SCOTT, S. A. A high potential Tesla coil impulse generator for lecture demonstrations and science exhibitions. **American Journal of Physics**, v. 65, p. 743-754, august 1997. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.18645?class=pdf>>. Acesso em 5 set. 2017.

TESLA, N.; CHILDRESS, D. H. **The fantastic inventions of Nikola Tesla**. Illinois: Adventures Unlimited Press, 1993. 224 p.

TILBURY, M. **The ultimate Tesla Coil design and construction guide**. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008.

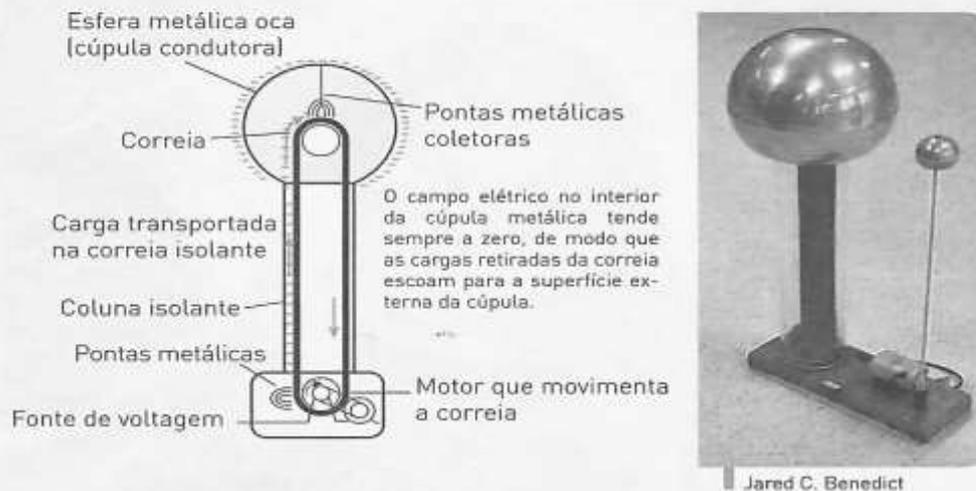
TOMPSON. Indutance Calculation Techniques- Part I: Classical Methods Power Control and Intelligent Motion, vol. 25, no. 12, December, 199, p. 40-45. Disponível em: <<https://thompsonrd.com/OSEE-inductance.pdf>>. Acesso em 05 out. 2017.

TYNDALL, J. **Faraday as a discoverer**. Toronto: London Longmans, Green, 1870. Disponível em: <<http://www.gutenberg.org/files/1225/1225-h/1225-h.htm>>. Acesso em 5 abr.2018.

VILLALBA, J. M. et al. Estudio experimental de la inducción electromagnética entre dos bobinas: dependencia con la corriente eléctrica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 37, 2015. 1313-1 -113-7. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v37n1/0102-4744-rbef-37-01-1313.pdf>>. Acesso em 8 mai. 2018.

## Anexo I- Texto- O gerador de Van de Graaff

Um aparelho utilizado em laboratório para obter altas voltagens é o gerador de Van de Graaff. Essa é uma das maneiras de produzir os raios usados pelos cientistas malucos nos antigos filmes de ficção científica. Um modelo básico de gerador de Van de Graaf é mostrado na figura:



Uma grande esfera metálica oca é sustentada por um cilindro isolante. Uma esteira de borracha movimentada por um motor, localizada no interior do suporte cilíndrico, passa friccionando-se num conjunto de farpas de metal, como se formasse um pente, que são mantidas a um grande potencial negativo com respeito ao solo. Através das descargas que ocorrem nessas pontas metálicas, um suprimento contínuo de elétrons se deposita sobre a esteira, que circula pelo interior da cúpula oca condutora. Uma vez que o campo elétrico no interior do condutor é nulo, as cargas sobre a esteira acabam escapando por outro conjunto de farpas metálicas (minúsculos para raios), transferindo-se para o interior da cúpula. Os elétrons, então, se repelem mutuamente, dirigindo-se para a superfície exterior da cúpula condutora. A carga estática sempre fica na superfície externa de qualquer condutor. Isso mantém o interior descarregado, capaz de receber mais elétrons trazidos pela esteira. O processo é contínuo e a carga na cúpula aumenta até que o potencial negativo da cúpula seja muito maior do que na fonte de voltagem na parte inferior do aparelho – da ordem de milhões de volts.

Uma esfera com raio de 1 m pode ser levada a um potencial de 3 milhões de volts antes que ocorra uma descarga elétrica através do ar.

A voltagem pode ser elevada ainda mais, aumentando-se o raio da cúpula ou colocando o aparelho todo dentro de um recinto preenchido com gás a uma alta pressão. Geradores de Van de Graaf podem produzir voltagens tão altas quanto 20 milhões de volts. Essas voltagens aceleram partículas carregadas que são usadas como projéteis para penetrar nos núcleos atômicos. Tocar um desses geradores pode ser uma experiência de arrepiar os cabelos.

Fonte: HEWITT, Paul. Física Conceitual. São Paulo. Bookman, 2001, p. 387. [Fragmentos]

Esse texto sobre gerador de Van de Graaff apresentam inúmeros fenômenos físicos já estudados anteriormente e outros fenômenos que serão estudados. Discuta sobre o texto com seus colegas e responda às questões. Dois conceitos novos são trazidos pelo texto: voltagem e potencial elétrico.

1) Identifique as frases em que essas palavras aparecem (no primeiro e segundo parágrafos do texto) e procure compreender os seus significados.

---

2) Ainda no segundo parágrafo do texto, foi mencionada uma nova unidade de medida do SI. Qual é esta unidade? Ela mede qual grandeza física?

---

3) No gerador de Van de Graaff, a geração de cargas elétricas se deve a um processo de eletrização já conhecido por você. Explique como isso é feito.

---

4) Você vê alguma relação entre a situação descrita acima e o poder das pontas.

---

5) Como as cargas elétricas circulantes na esteira se transferem para a grande esfera metálica oca?

---

6) O texto se refere a “descargas elétricas” nas farpas de metal. Explique melhor o que significa esse fenômeno

---

## Anexo II- Atividade Extra: Indução Eletrostática: Transformadores

Nome: \_\_\_\_\_ N°: \_\_\_\_\_

Série/ Turma: \_\_\_\_\_ Disciplina: Física Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Professor(a): \_\_\_\_\_ Bimestre: \_\_\_\_\_ Turno: \_\_\_\_\_

### Atividade: Indução Eletrostática: Transformadores

1. Título da atividade: Transformadores

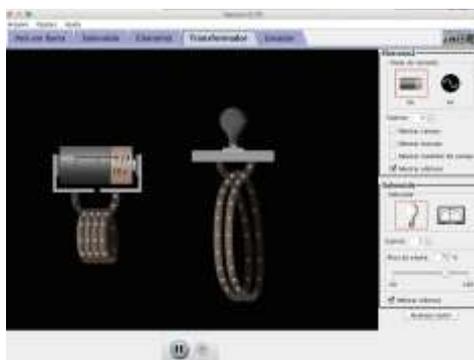
2. Objetivo:

- Explorar qualitativamente o funcionamento do transformador, por meio da realização de experimentos virtuais em sala de aula.

3. Conceitos abordados: corrente elétrica, campo magnético, fluxo magnético e indução eletromagnética.

Vamos explorar a simulação Transformador. A tela deve ser semelhante a essa figura 01 que pode ser encontrada no site do Laboratório de Eletromagnetismo de Faraday, Phet Colorado<sup>22</sup>.

Figura 1- Demonstração do Transformador



Fonte: Phet Colorado

- Clique no ícone Transformador e selecione a fonte de corrente contínua (DC)
- Ajuste a fonte para 0V e verifique se a lâmpada acende. Explique.
  - Ajuste a fonte para 4V. A lâmpada acendeu? Em quais espiras você percebe movimentação de elétrons? Por quê?
  - Pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. Teste suas ideias. Registre uma.

<sup>22</sup> [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/faraday](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/faraday)

- *Selecione a fonte de corrente alternada (AC).*
- a) O que aconteceu com o brilho da lâmpada? Explique.
  - b) Selecione o indicador de tensão e verifique se ocorre variação no seu ponteiro.
  - c) Aproxime o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão aumenta ou diminui? Por quê?
  - d) Altere o número de espiras do primário para três e quatro e verifique ocorre variação de tensão no secundário do transformador. Existe uma relação entre o número de espiras do primário e a tensão medida? Explique.