



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE**

**Centro de Ciências Biológicas e  
da Natureza**

**ISRAEL HERÔNCIO RODRIGUES DE OLIVEIRA HADAD**

**Utilização da bobina de Tesla para o ensino de  
ondas eletromagnéticas**

Rio Branco - AC

Março 2018



Israel Herôncio Rodrigues de Oliveira Hadad

## **Utilização da bobina de Tesla para o ensino de ondas eletromagnéticas**

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

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da  
Silva

Rio Branco - AC

Março 2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

H117u Hadad, Israel Herônimo Rodrigues de Oliveira, 1985 -  
Utilização da bobina de Tesla para o ensino de ondas eletromagnéticas /  
Israel Herônimo Rodrigues de Oliveira Hadad; orientador: Dr. Marcelo  
Castanheira da Silva. – 2018.  
93 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de  
Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).  
Rio Branco, 2018.

Inclui referências bibliográficas, anexo e apêndice.

1. Ensino de Física. 2. Bobina de Tesla do Estado Sólido. 3. Ondas  
Eletromagnéticas. I. Silva, Marcelo Castanheira (orientador). I. Título.

CDD: 530

---

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11/882.

UTILIZAÇÃO DA BOBINA DE TESLA PARA O ENSINO DE ONDAS  
ELETROMAGNÉTICAS

Israel Herôncio Rodrigues de Oliveira Hadad

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva

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

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva - UFAC

---

Prof. Dr. José Carlos da Silva Oliveira - UFAC

---

Prof. Dr. Maria de Fátima da Silva Verdeaux - UnB

---

Prof. Dr. Miguel Justiniano Abanto Peralta - UFAC

Rio Branco - AC  
Março de 2018

# Agradecimentos

Ao Eterno.

À minha esposa Leylane pelo apoio em todos os momentos. À minha mãe Lúcia, pelos ensinamentos.

Ao professor Gilberto Hadad, Diretor do Curso Aprovação.

Aos meus amigos do Centro Eletrônico do Acre e Eletrônica Virtual.

Ao pastor e professor Me. Cid Mauro Araujo de Oliveira e família. Muito obrigado!

Aos amigos da Igreja Congregacional do Manoel Julião.

Ao meu orientador, prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva, pelo apoio dentro da Universidade.

Aos professores Dr. Miguel Justiniano Abanto Peralta, Dr. Eduardo de Paula Abreu, Dr. Aontônio Romero da Costa Pinheiro, Dr. Jorge Luis López Aguilar, Dr. George Chaves da Silva Valadares, Dr. Isaac Dayan Bastos da Silva e Dr. José Carlos da Silva Oliveira.

Aos meus colegas do mestrado, Wendel, Helison, Edilucio, Lourivaldo, Tadeu e Hemila.

À Sociedade Brasileira de Física e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

À Universidade Federal do Acre.

# Resumo

Esse trabalho apresenta uma proposta de ensino de ondas eletromagnéticas, em nível médio, utilizando exposição teórica do conteúdo (conceitos de ondas, classificação, velocidade em meios diferentes, frequência, comprimento de onda e amplitude), por animação computacional, através do programa Winplot, na parte experimental, utilizando a bobina de Tesla do estado sólido (SSTC), dividida em duas partes: 1<sup>a</sup> - montagem dos componentes necessários a sua construção; 2<sup>a</sup> - realização de medições da amplitude da voltagem, em função da distância do aparato, bem como a verificação da variação da intensidade da luz emitida por uma lâmpada fluorescente, ao se afastar da referida bobina. A pesquisa foi testada em turmas de 2<sup>o</sup> ano e 3<sup>o</sup> ano do ensino médio, em novembro de 2017. A metodologia consistiu na aplicação de um pré-teste, exposição do conteúdo, parte experimental e pós-teste, com duração de três aulas de 50 minutos. O pré-teste continha 12 questões objetivas e era baseado em quatro características campo-dependentes (seriação, classificação e organização de informações, levantamento e teste de hipóteses, raciocínio lógico e proporcional) da Sequência de Ensino Investigativa. O pós-teste continha as mesmas questões do pré-teste, ocorrendo somente uma inversão na ordem de algumas. Os acertos obtidos no pós-teste indicaram indícios de aprendizagem, quando comparados ao pré-teste, pois todos participantes tiveram rendimento superior a 60% e, em apenas três questões, tiveram rendimento abaixo de 80%. A identificação do subsunçor campo (aprendizagem significativa de Ausubel) facilitou o desenvolvimento dessa proposta de ensino: a turma do 2<sup>o</sup> ano não havia estudado os conteúdos de eletricidade e magnetismo e a turma do 3<sup>o</sup> ano já havia estudado ondas mecânicas, óptica geométrica, eletricidade e estava iniciando o estudo de magnetismo. Essa proposta de pesquisa se mostrou bastante interessante de ser aplicada no ensino de ondas eletromagnéticas, no nível médio, inclusive poderá ser adaptada para o ensino fundamental e superior.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Bobina de Tesla do Estado Sólido. Ondas Eletromagnéticas.

# Abstract

This work presents a proposal for teaching electromagnetic waves in high school, using theoretical exposition of the content (concepts of waves, classification, velocity in different media, frequency, wavelength and amplitude), computational animation using Winplot software, experimental part using solid state Tesla coil (SSTC) divided into two parts: 1st - assembly of the components necessary for its construction, 2nd - realization of voltage amplitude measurements as a function of the distance of the apparatus, as well as the verification of the variation of the intensity of light emitted by a fluorescent lamp when moving away from said coil. The research was tested in 2nd and 3rd year high school classes in November 2017. The methodology consisted of the application of a pre-test, content exposition, experimental part and post-test, with duration of three 50-minute classes. The pre-test contained 12 objective questions and was based on four field-dependent characteristics (serialization, classification and organization of information, survey and hypothesis testing, logical and proportional reasoning) of the Investigative Teaching Sequence. The posttest contained the same questions of the pretest, occurring only to the inversion of the order of some. The correct answers obtained in the post-test indicated signs of learning, when compared to the pre-test, since all participants had an income greater than 60% and only three questions had a performance below 80%. The identification of the subsumption field (meaningful learning of Ausubel), facilitated the development of this teaching proposal: the 2nd grade class had not studied the contents of electricity and magnetism and the class of the 3rd year had already studied mechanical waves, geometric optics, electricity and was initiating the study of magnetism. This research proposal was very interesting to be applied in the teaching of electromagnetic waves, at medium level, and could even be adapted for elementary and higher education.

**Keywords:** Physics Education. Solid State Tesla Coil. Electromagnetic Waves.

# Lista de ilustrações

Figura 2.1 – James Clerk Maxwell . . . . .	18
Figura 2.2 – (a) Josiah Williard Gibbs, (b) Oliver Heaviside . . . . .	18
Figura 2.3 – Físico e inventor, Nikola Tesla, em seu laboratório, mostrando que a energia alternada era segura. Fonte: < <a href="https://www.smithsonianmag.com/innovation/extraordinary-life-nikola-tesla-180967758/">https://www.smithsonianmag.com/innovation/extraordinary-life-nikola-tesla-180967758/</a> > . . . . .	20
Figura 2.4 – Gerador de corrente alternada (AC); g: centelhador; $C_1$ : Capacitor primário; $L_1$ : Indutor primário e $L_2$ : Indutor secundário. Fonte: O autor.	20
Figura 2.5 – Sentido da corrente de descarga do capacitor para o centelhador. Fonte: O autor. . . . .	21
Figura 2.6 – Circuitos RLC acoplados. Fonte: O autor. . . . .	21
Figura 2.7 – Espectro eletromagnético. Fonte: Wikipédia. . . . .	26
Figura 2.8 – Esquema da organização sequencial do conteúdo segundo a abordagem Ausubeliana (MOREIRA, 1979). . . . .	27
Figura 2.9 – Mapa conceitual para a não existência dos subsuços. Fonte: O autor.	28
Figura 2.10–Resumo esquemático da teoria de assimilação de Ausubel segundo Moreira (1999). . . . .	29
Figura 2.11–Fluxograma da SEI. Fonte: O autor. . . . .	29
Figura 2.12– <i>Protoboard</i> . Fonte: o autor. . . . .	30
Figura 2.13–Conexões dos trilhos de contato destacados de verde. Fonte: o autor. . . . .	30
Figura 2.14–Chave liga/desliga. Fonte: tecmikro . . . . .	31
Figura 2.15– $\vec{v}$ : velocidade das cargas positivas; $\vec{E}$ : campo elétrico; $\vec{J}$ : densidade de corrente. Fonte: o autor. . . . .	32
Figura 2.16–Forma e símbolo do resistor. . . . .	32
Figura 2.17–Junção PN. Fonte: O autor. . . . .	33
Figura 2.18–Polarizações do diodo no circuito. Fonte: O autor. . . . .	34
Figura 2.19–Símbolo e formas 2N2222. Fonte: ON Semiconductor®. . . . .	34
Figura 2.20–Transistores PNP e NPN. Fonte: O autor. . . . .	35
Figura 2.21–Circuitos elétricos da SSTC. Fonte: O autor. . . . .	36
Figura 2.22–Indutor e símbolo. Fonte: O autor. . . . .	36

Figura 2.23–Fluxograma da animação utilizando o winplot. Fonte: O autor. . . . .	38
Figura 4.1 – Esquema elétrico da SSTC. . . . .	47
Figura 4.2 – Montagem da SSTC em protoboard virtual, utilizando o Tinkercad. Fonte: O autor. . . . .	47
Figura 4.3 – Multímetro acoplado ao circuito receptor de RF (Rádio Frequência), medidor de campo. Fonte: O autor. . . . .	48
Figura 4.4 – <b>(a)</b> Esquema do circuito receptor de RF, circuito retificador de onda completa em ponte (MALVINO, 1997); <b>(b)</b> foto da montagem do esquema <b>(a)</b> ; e <b>(c)</b> voltímetro acoplado ao receptor de RF. Fonte: O autor. . . . .	49
Figura 4.5 – <b>(a)</b> Esquema experimental para medição da distância e voltagem; <b>(b)</b> Informações do indutor $L_2$ . Fonte: O autor. . . . .	49
Figura 5.1 – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos acertos do 2º ano. Fonte: O autor. . . . .	54
Figura 5.2 – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos erros do 2º ano. Fonte: O autor. . . . .	55
Figura 5.3 – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos acertos do 3º ano. Fonte: O autor. . . . .	57
Figura 5.4 – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos erros do 3º ano. Fonte: O autor. . . . .	57
Figura 5.5 – Exposição do conteúdo de ondas eletromagnéticas. Fonte: o autor. . .	59
Figura 5.6 – Atividades experimentais. Fonte: O autor. . . . .	60
Figura 5.7 – Tabela de coleta de dados. Fonte: O autor. . . . .	61
Figura 5.8 – Gráficos comparativos entre pré e pós-teste. . . . .	62
Figura 5.9 – Resultados do pré e pós-teste aplicados a 104 alunos do turno ex- perimental e 111 alunos do turno controle (controle). (OLIVEIRA; PAIXÃO, 2017). . . . .	64
Figura 6.1 – Tipos de ondas. Fonte: Explicatorium. . . . .	66
Figura 6.2 – Em um instante t posterior, a onda senoidal se moveu de uma distância vt no sentido positivo de x. Fonte: O autor. . . . .	67
Figura 6.3 – Passagem do meio menos (-) refringente para o meio mais (+) refrin- gente. Fonte: (GASPAR, 2013). . . . .	68

Figura 6.4 – Passagem do meio mais (+) refringente para o meio menos (-) refringente. Fonte: (GASPAR, 2013) . . . . .	68
Figura 6.5 – Quinze slides usados na exposição do conteúdo (tabela 6.1), iniciando pelo slide (a) e finalizando no slide (o). Fonte: O autor. . . . .	72
Figura 6.6 – Executar o programa. Fonte: O autor. . . . .	72
Figura 6.7 – Descompactar o Winplot ao clicar em Unzip. Fonte: O autor. . . . .	73
Figura 6.8 – Após clicar em Unzip, aparecerá outra janela com a seguinte mensagem: 1 arquivo foi descompactado com sucesso. Fonte: O autor. . . . .	73
Figura 6.9 – Clicar em meu Computador, ir à partição (C:), pois será criada uma pasta <i>peanut</i> . Fonte: O autor. . . . .	74
Figura 6.10–Ícone do Winplot. Fonte: O autor. Fonte: O autor. . . . .	74
Figura 6.11–Ao clicar no ícone <i>wplotpr</i> , aparecerá a janela acima. Fonte: O autor. . . . .	75
Figura 6.12–Clicar em 3-dim. Fonte: O autor. . . . .	75
Figura 6.13–Eixos do Winplot. Fonte: O autor. . . . .	75
Figura 6.14–Selecionar Equação e clicar em Curva. Fonte: O autor. . . . .	76
Figura 6.15–Valores das curvas que representam o campo elétrico e magnético. Fonte: O autor. . . . .	76
Figura 6.16–Escolher Ponto Cartesiano. Fonte: O autor. . . . .	77
Figura 6.17–Partícula em movimento. Fonte: O autor. . . . .	77
Figura 6.18–Clicar em segmento. Fonte: O autor. . . . .	78
Figura 6.19–Caixa de diálogo para inserir os vetores de campo elétrico e magnético. Fonte: O autor. . . . .	78
Figura 6.20–Winplot utilizado para modificar subsunçores. Fonte: O autor. . . . .	79
Figura 6.21–Winplot para auxiliar na aprendizagem significativa. Fonte: O autor. . . . .	79
Figura 6.22–Esquema elétrico da SSTC. Fonte: O autor. (EASYEDA, 2017) . . . . .	80
Figura 6.23–Circuito com identificação dos pontos. Fonte: O autor. . . . .	81
Figura 6.24–Montagem na <i>protoboard</i> com os componentes utilizando o editor Tinkercad < <a href="https://www.tinkercad.com/">https://www.tinkercad.com/</a> >. Fonte: O autor. . . . .	81
Figura 6.25–Motagem da bobina de Tesla na <i>protoboard</i> . Fonte: O autor. . . . .	82
Figura 6.26–Fios de cabo de rede. Fonte: O autor. . . . .	82
Figura 6.27–Formato e símbolo do transistor 2n2222. Fonte: Introdução ao 2n2222. Fonte: O autor. . . . .	83

Figura 6.28–Distância da antena à bobina. Fonte: O autor. . . . .	84
Figura 6.29–Intensidade da voltagem do sinal. Fonte: O autor. . . . .	85
Figura 6.30–Mapa conceitual correspondente ao emprego das atividades referentes à bobina de Tesla. Fonte: O autor. . . . .	85
Figura A.1 –Montagem da SSTC em protoboard virtual, utilizando o Tinkercad. Fonte: O autor . . . . .	92

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Equações de Maxwell para ondas eletromagnéticas . . . . .	19
Tabela 2.2 – Espectro eletromagnético. Fonte: (GRIFFITHS, 2011). . . . .	26
Tabela 2.3 – Espectro visível. Fonte: (GRIFFITHS, 2011). . . . .	26
Tabela 3.1 – Trabalhos pesquisados. . . . .	39
Tabela 4.1 – Tempo de duração para cada etapa. . . . .	46
Tabela 4.2 – Componentes necessários na montagem da SSTC. . . . .	47
Tabela 4.3 – Tabela de dados. Fonte: o autor. . . . .	50
Tabela 4.4 – Questões e as características campo-dependentes. Fonte: O autor. . . .	52
Tabela 4.5 – Aspectos campo-dependentes presentes nas questões. Fonte: O autor. .	53
Tabela 5.1 – Comparação entre os dados obtidos (questão por questão) entre acertos e erros do pré-teste e pós-teste do 2º ano. Fonte: O autor. . . . .	56
Tabela 5.2 – Comparação dos resultados obtidos, questão por questão, dos acertos e erros do pré-teste e pós-teste do 3º ano.. Fonte: O autor. . . . .	58
Tabela 6.1 – Tempo de duração para cada etapa. . . . .	65
Tabela 6.2 – Valores dos segmentos partindo de (a, b, c) chegando em (d, e, f). Fonte: O autor. . . . .	79
Tabela 6.3 – Componentes necessários na montagem da SSTC. Fonte: O autor. . . .	80
Tabela 6.4 – Tabela de coleta de dados. Fonte: O autor. . . . .	84
Tabela A.1 – Tabela de coleta de dados . . . . .	92

# Lista de abreviaturas e siglas

SSTC            Solid State Tesla Coil (Bobina de Tesla de Estado Sólido)

SEI             Sequência de Ensino Investigativa

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>18</b>
2.1	Fundamentação teórica da bobina de Tesla e o eletromagnetismo	18
2.2	Teoria de aprendizagem significativa de Ausubel	27
2.3	Sequência de Ensino Investigativa (SEI)	29
2.4	Elementos do circuito	30
2.5	Software Winplot	37
<b>3</b>	<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>39</b>
3.1	Grupo 1: Trabalhos sobre bobina de Tesla	40
3.2	Grupo 2: Sequência de Ensino Investigativa	42
3.3	Grupo 3: Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel	43
3.4	Grupo 4: Gráficos utilizando WINPLOT	44
<b>4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>46</b>
4.1	Montagem da bobina de Tesla do estado sólido na <i>protoboard</i>	46
4.2	Medição da voltagem do sinal em função da distância da onda eletromagnética na bobina de Tesla.	48
4.3	Pré-teste	50
4.4	Pós-teste	53
<b>5</b>	<b>Resultados e discussões</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Produto educacional - Proposta de sequência didática</b>	<b>65</b>
6.1	Revisão Teórica	66
6.1.1	Fenômenos ondulatórios	66
6.1.2	Propagação de um pulso	66
6.1.3	Classificação das ondas	66
6.1.4	Velocidade de propagação de ondas	67
6.1.5	Mudança de meio de propagação	68
6.2	Apresentação - Ondas eletromagnéticas	69
6.3	Introdução ao Winplot e animação de ondas eletromagnéticas	72
6.4	Montagem Experimental	80

6.4.1	Montagem da bobina de Tesla do estado sólido (SSTC) na <i>proto-board</i>	80
6.5	Roteiro experimental para medição da voltagem do sinal em função da distância e a verificação da intensidade da lâmpada de uma onda eletromagnética . . . . .	83
6.6	Referências do produto . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>86</b>
 <b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .		<b>88</b>
 <b>Apêndices</b>		<b>91</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>Roteiro de montagem e medições</b> . . . . .	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>Trabalhos</b> . . . . .	<b>93</b>

# 1 Introdução

O trabalho de construção da mini bobina de Tesla do estado sólido (SSTC) tem, como pontos principais, motivar e apresentar a teoria eletromagnética, empregar animação com o software Winplot, montar circuitos eletrônicos, medir a voltagem do sinal de ondas eletromagnéticas, em função da distância, e verificar a variação da intensidade de luz de uma lâmpada fluorescente, ao se afastar da bobina. A bobina foi montada em sala de aula, assim como as medições e observações relativas, ao se afastar da bobina de Tesla.

As ondas eletromagnéticas são possíveis de ser detectadas, sendo que Maxwell pôde prever, teoricamente, suas propagações, tendo a oportunidade de utilizar os trabalhos de cientistas que o antecederam, entre eles Coulomb, Gauss, Faraday e Ampère. Halliday, Resnick e Krane (2008, p. 323) enunciam as equações da seguinte forma: I Lei de Gauss, para a eletricidade; II Lei de Gauss, para o magnetismo; III Lei de Faraday, para indução; e IV Lei de Àmpere-Maxwell. As conclusões a que Maxwell chegou foram resumidas em quatro equações que regem o eletromagnetismo, utilizando o cálculo diferencial e integral, resumindo-se a uma única equação, por meio do cálculo tensorial (VAZ JUNIOR, 2009).

Em 1884, a teoria eletromagnética de Maxwell e suas equações já haviam sido unificadas. No entanto, Nikola Tesla tentou apresentar seu trabalho, sobre motor de corrente alternada, para Thomas Edison, em 1885. A corrente alternada foi a grande vencedora da “guerra das correntes” e a bobina de Tesla foi o aparato utilizado para demonstrar que a corrente alternada era segura, tanto quanto a corrente contínua. A bobina de Tesla é um transformador elevador de tensão e frequência, que pode aumentar a tensão de volts para milhares de volts, por meio da frequência, variando de hertz a milhares de hertz.

O Winplot é um software matemático livre, utilizado como ferramenta no ensino da teoria sobre ondas eletromagnéticas (LEHNEN, 2017). A teoria eletromagnética é muito abstrata para uma aprendizagem significativa e, para auxiliar, será montado um modelo que representa a manifestação de um fenômeno físico de propagação de ondas eletromagnéticas, utilizando-se o software citado anteriormente.

A utilização da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel encaixa-se neste trabalho, sendo possível adotar os subsunçores: força e campo, no ensino de conteúdos de

eletromagnetismo.

Para auxiliar nas teorias de aprendizagem foi empregada, como proposta de ensino, uma adaptação da sequência de ensino investigativa (SEI). O surgimento desta proposta deu-se no Laboratório de Pesquisa em Ensino (LaPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. A SEI tem, como objetivo, fomentar a argumentação científica, baseada nas características campo-dependentes: seriação, classificação e organização de informações, levantamento e teste de hipóteses, justificativas, explicação, previsão, abdução, dedução, indução, raciocínio lógico e proporcional (CARVALHO, 2013).

Tendo em vista a utilização da teoria de aprendizagem de Ausubel e a sequência de ensino investigativa, este trabalho tem, como objetivo, utilizar a bobina de Tesla do estado sólido para tentar identificar indícios de aprendizagem dos discentes em conteúdos do eletromagnetismo, no nível médio, por meio de atividades experimentais, envolvendo medições e observação dos sinais de ondas eletromagnéticas, assim como fortalecer a formação e aperfeiçoamento de subsunçores (força e campo), com o uso do software Winplot em simulações computacionais.

No capítulo 2, será descrita a fundamentação teórica deste trabalho. O capítulo 3 fará uma revisão bibliográfica sobre a bobina de Tesla, a sequência de ensino investigativa, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e atividades gráficas, utilizando o software Winplot. O capítulo 4 relatará a metodologia empregada nesse trabalho. O capítulo 5 apresentará os resultados e discussões. O capítulo 6 mostrará o produto educacional desenvolvido nesse trabalho e, por fim, o capítulo 7 tratará das considerações finais.

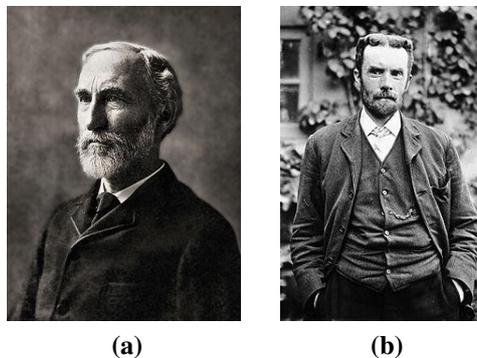
## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Fundamentação teórica da bobina de Tesla e o eletromagnetismo

Em 1873, o eletromagnetismo clássico atingiu o ápice, com o trabalho de James Clerk Maxwell, figura 2.1, utilizando-se o formalismo dos quatérnios (MAXWELL, 1873, p. 393), uma extensão dos números complexos. Maxwell, em sua obra “Um Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo”, não utilizou o cálculo vetorial, como é conhecido atualmente. As leis do eletromagnetismo foram reformuladas em quatro equações, em 1884, por trabalhos independentes de Gibbs e Heaveside, cujas fotos podem ser vistas na Figura 2.2.



**Figura 2.1** – James Clerk Maxwell



**Figura 2.2** – (a) Josiah Williard Gibbs, (b) Oliver Heaviside

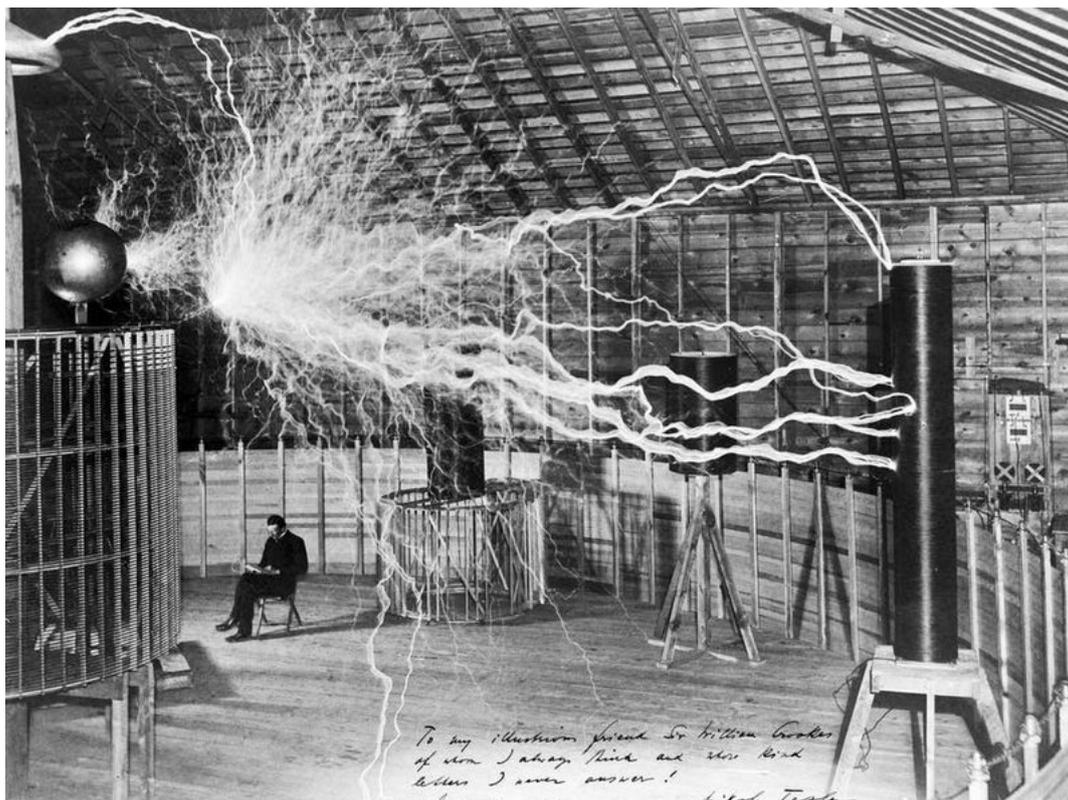
A tabela 2.1 apresenta as equações de Maxwell, segundo Feynman, Leighton e

Sands (2008, p.18-2). As equações regem toda a eletricidade e todo o magnetismo e são essenciais para a compreensão do funcionamento da bobina de Tesla do estado sólido (SSTC), que é um gerador de ondas eletromagnéticas.

**Tabela 2.1** – Equações de Maxwell para ondas eletromagnéticas

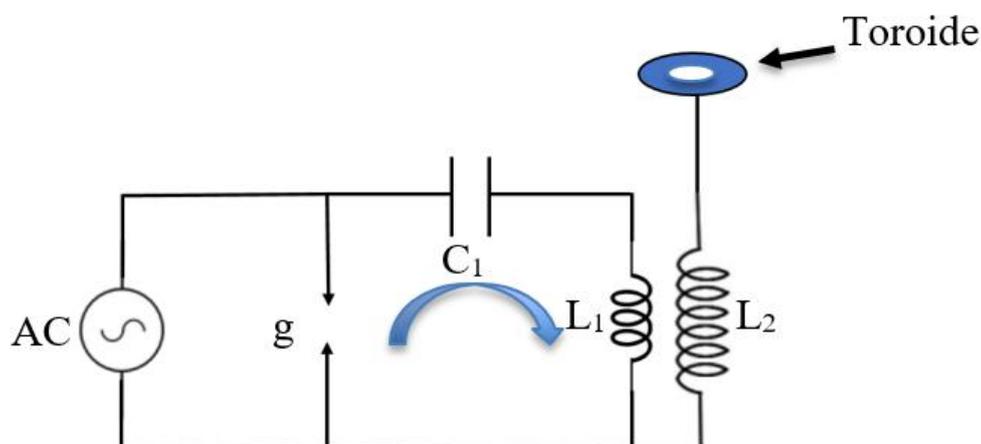
Equações de Maxwell na forma diferencial	Equações de Maxwell na forma integral
I $\vec{\nabla} \cdot \vec{\mathbf{E}} = 0$	(Fluxo de $\vec{\mathbf{E}}$ através de uma superfície fechada $\mathbf{S}$ ) = 0 $\Phi_E = \oiint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = 0$
II $\vec{\nabla} \cdot \vec{\mathbf{B}} = 0$	(Fluxo de $\vec{\mathbf{B}}$ através de uma superfície fechada) = 0 $\oiint_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{S}} = 0$
III $\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t}$	(A circulação de $\vec{\mathbf{E}}$ delimitada por um caminho fechado) = - (a taxa de variação do fluxo do campo magnético no tempo, delimitado pelo caminho fechado) $\oint_C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$
IV $\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{B}} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{\mathbf{E}}}{\partial t}$	(A circulação de $\vec{\mathbf{B}}$ delimitada por um caminho fechado) = (a taxa de variação do fluxo do campo elétrico no tempo, delimitado pelo caminho fechado) $\oint_C \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t}$

A bobina de Tesla é um transformador elevador de tensão e frequência, que transmite ondas eletromagnéticas com potência capaz de acender lâmpadas, sem a necessidade de fios. As correntes são baixas, mas podem trazer certo desconforto, se não houver aterramento. Nikola Tesla provou que a energia alternada era segura ao tirar a foto da figura 2.3.



**Figura 2.3** – Físico e inventor, Nikola Tesla, em seu laboratório, mostrando que a energia alternada era segura. Fonte: <<https://www.smithsonianmag.com/innovation/extraordinary-life-nikola-tesla-180967758/>>

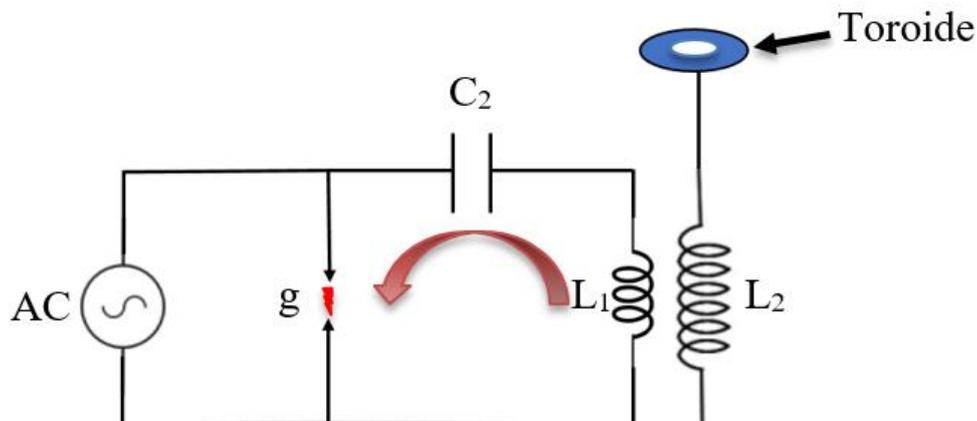
A bobina de Tesla pode ser montada conforme o esquema elétrico da figura 2.4. O circuito primário é alimentado por uma fonte de alta tensão, porém possui a mesma frequência de 60 Hz da rede.



**Figura 2.4** – Gerador de corrente alternada (AC); g: centelhador;  $C_1$ : Capacitor primário;  $L_1$ : Indutor primário e  $L_2$ : Indutor secundário. Fonte: O autor.

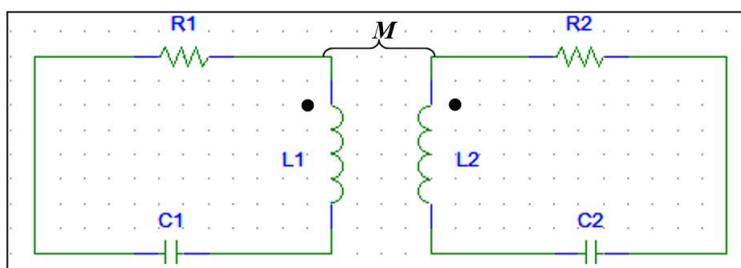
O capacitor  $C_1$ , ao ser carregado, armazena energia potencial elétrica. Quando

a corrente inverte o sentido, o capacitor descarrega a energia armazenada, quebrando a rigidez dielétrica do ar, produzindo faíscas no centelhador “g”, figura 2.5.



**Figura 2.5** – Sentido da corrente de descarga do capacitor para o centelhador. Fonte: O autor.

A bobina de Tesla é composta por dois circuitos RLC (Resistor-Indutor-Capacitor), acoplados magneticamente: circuito primário e circuito secundário, conforme mostra a figura 2.6, como valores de frequências angulares:  $\omega_1$  e  $\omega_2$  e como frequência de batimento:  $\omega_{batimento}$ .



**Figura 2.6** – Circuitos RLC acoplados. Fonte: O autor.

Aplicando a lei de Kirchoff nas duas malhas do circuito da figura 2.6 temos,

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0, \tag{2.1}$$

então, para o circuito primário:

$$V_{C_1} + R_1 I_1 + V_{L_1} + V_{M_{12}} = 0. \tag{2.2}$$

E, para o secundário:

$$V_{C_2} + R_2 I_2 + V_{L_2} + V_{M_{21}} = 0. \quad (2.3)$$

Sendo  $i_1$  corrente no circuito primário;  $i_2$  corrente no secundário;  $V_{C_1}$  voltagem no capacitor do primário;  $V_{C_2}$  voltagem no capacitor do secundário;  $R_1 I_1$  voltagem no resistor do circuito primário;  $R_2 I_2$  voltagem do resistor do circuito secundário;  $V_{L_1}$  voltagem no indutor do primário;  $V_{L_2}$  voltagem no indutor do secundário; e  $M_{12} = M_{21}$  o coeficiente de indutância mútua, devido ao acoplamento magnético entre os circuitos, por estarem muito próximos.

É possível encontrar as frequências de ressonância, utilizando métodos matemáticos para resolução de sistemas de circuitos magneticamente acoplados, por meio das equações 2.2 e 2.3, resultando em 2.4. Os cálculos não serão abordados neste trabalho, mas podem ser vistos em Reitz, Milford e Christy (1982).

Resolvendo o determinante abaixo,

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{C_1} + sR_1 + s^2L_1 & s^2M_{12} \\ s^2M_{21} & \frac{1}{C_2} + sR_2 + s^2L_2 \end{vmatrix} = 0, \quad (2.4)$$

obté-m-se:

$$(M_{12}^2 - L_1L_2) s^4 - (R_1L_2 + R_2L_1) s^3 - \left(\frac{L_1}{C_2} + R_2R_1 + \frac{L_2}{C_1}\right) s^2 - \left(\frac{R_1}{C_2} + \frac{R_2}{C_1}\right) s - \frac{1}{C_1C_2} = 0 \quad (2.5)$$

Para resolver a equação 2.5, é necessário considerar as resistências  $R_1$  e  $R_2$  desprezíveis, comparadas às reatâncias indutivas e capacitivas presentes no circuito. Assim, a equação 2.5 reduz-se a:

$$(M_{12}^2 - L_1L_2) s^4 - \left(\frac{L_1}{C_2} + \frac{L_2}{C_1}\right) s^2 - \frac{1}{C_1C_2} = 0. \quad (2.6)$$

A solução da equação biquadrática pode ser encontrada reduzindo-se a ordem, com o auxílio de  $s^2 = p$ , ou seja:

$$(M_{12}^2 - L_1L_2) p^2 - \left(\frac{L_1}{C_2} + \frac{L_2}{C_1}\right) p - \frac{1}{C_1C_2} = 0, \quad (2.7)$$

cujas soluções são:

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{2(k^2 - 1)} \left[ \omega_1^2 + \omega_2^2 \pm \omega_1^2 \omega_2^2 \sqrt{\left( \frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{\omega_1^2 \omega_2^2} \right)^2 + \frac{4(k^2 - 1)}{\omega_1^2 \omega_2^2}} \right]}, \quad (2.8)$$

Sendo  $\omega_1$  e  $\omega_2$  as frequências angulares definidas como

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_2}}. \quad (2.9)$$

Se as frequências de ressonância do circuito primário e do secundário forem próximas, a transferência de energia será máxima.

Fazendo  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ , as soluções aceitáveis da equação 2.8 são dadas por:

$$s_{++} = i \frac{\omega}{\sqrt{1 - k}}, \quad (2.10)$$

$$s_{+-} = i \frac{\omega}{\sqrt{1 + k}}. \quad (2.11)$$

Ao considerar que  $\omega_1 = \omega_2$ , é possível construir dois circuitos LC (Indutor-Capacitor) sintonizados na mesma frequência de oscilação, ou seja, as frequências características de oscilação do sistema e dentro das aproximações consideradas são dadas por (CHIQUITO; JR, 2000)

$$\omega_{01} = \frac{\omega}{\sqrt{1 - k}}, \quad (2.12)$$

$$\omega_{02} = \frac{\omega}{\sqrt{1 + k}}. \quad (2.13)$$

Para encontrar as voltagens e correntes nos circuitos primários e secundários, faz-se necessário adotar as cargas

$$Q_1(t) = A \cos(\omega_{01}t) + B \cos(\omega_{02}t) \quad (2.14)$$

e

$$Q_2(t) = A \cos(\omega_{01}t) - B \cos(\omega_{02}t), \quad (2.15)$$

onde A e B são as amplitudes, que podem ser determinadas, sujeitas às condições  $Q_1(0) = Q_0$ ,  $Q_2(0) = 0$ .

Segundo Nussenzveig (2005), as expressões das correntes do circuito primário e secundário são:

$$I_1 = -\frac{Q_0}{2} [\omega_{01} \text{sen}(\omega_{01}t) + \omega_{02} \text{sen}(\omega_{02}t)] \quad (2.16)$$

$$I_2 = -\frac{Q_0}{2} [\omega_{01} \text{sen}(\omega_{01}t) - \omega_{02} \text{sen}(\omega_{02}t)]. \quad (2.17)$$

Segundo Reitz, Milford e Christy (1982), o valor de  $Q_0$  pode ser encontrado, resultando nas equações das correntes no primário e secundário,

$$I_1(t) = \frac{V_{C_1}}{\omega^2 \sqrt{L_1 L_2}} \left[ \frac{\omega}{\sqrt{1-k}} \text{sen}(\omega_{01}t) + \frac{\omega}{\sqrt{1+k}} \text{sen}(\omega_{02}t) \right] \quad (2.18)$$

e

$$I_2(t) = \frac{V_{C_1}}{\omega^2 \sqrt{L_1 L_2}} \left[ \frac{\omega}{\sqrt{1-k}} \text{sen}(\omega_{01}t) - \frac{\omega}{\sqrt{1+k}} \text{sen}(\omega_{02}t) \right]. \quad (2.19)$$

As equações acima mostram uma corrente senoidal descrita por duas frequências muito próximas, fenômeno conhecido como batimento (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2008). Dessa forma, podemos caracterizar as oscilações elétricas no circuito por uma única frequência, definida por:

$$\omega_{\text{batimento}} = |\omega_{01} - \omega_{02}|. \quad (2.20)$$

É possível determinar a amplitude da voltagem nos terminais da bobina secundária  $L_2$  e, para qualquer indutância, é válido:

$$V = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \rightarrow V_{L_2} = L_2 \frac{\Delta i_2}{\Delta t}, \quad (2.21)$$

considerando que, sendo o intervalo de tempo  $\Delta t$  muito pequeno, a variação da corrente no circuito secundário é:

$$\frac{\Delta i_2}{\Delta t} = \frac{V_{C_1}}{\sqrt{L_1 L_2}} \left[ \frac{1}{1-k} \cos(\omega_{01}t) - \frac{1}{1+k} \cos(\omega_{02}t) \right]. \quad (2.22)$$

Substituindo a equação 2.22 na equação 2.21, resulta em:

$$V_{L_2} = \frac{V_{C_1} L_2}{\sqrt{L_1 L_2}} \left[ \frac{1}{1-k} \cos(\omega_{01}t) - \frac{1}{1+k} \cos(\omega_{02}t) \right]. \quad (2.23)$$

Desse modo, a amplitude máxima da voltagem nos terminais da bobina  $L_2$  é, aproximadamente, igual a

$$V_{L_2} \simeq \frac{V_{C_1} L_2}{\sqrt{L_1 L_2}} = V_{C_1} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}. \quad (2.24)$$

A transferência total de energia magnética entre as bobinas  $L_1$  e  $L_2$ , ou seja, do circuito 1 para o circuito 2, pode ser escrita como:  $E_{M_1} = E_{M_2}$

$$\frac{1}{2} L_1 i_1^2 = \frac{1}{2} L_2 i_2^2 \quad (2.25)$$

$$i_2 = i_1 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad (2.26)$$

$$\frac{\Delta I_2}{\Delta t} = \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad (2.27)$$

A diferença de potencial nos terminais do indutor  $L_1$  e  $L_2$  são:

$$V_1 = L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t}, \quad (2.28)$$

$$V_2 = L_2 \frac{\Delta I_2}{\Delta t}. \quad (2.29)$$

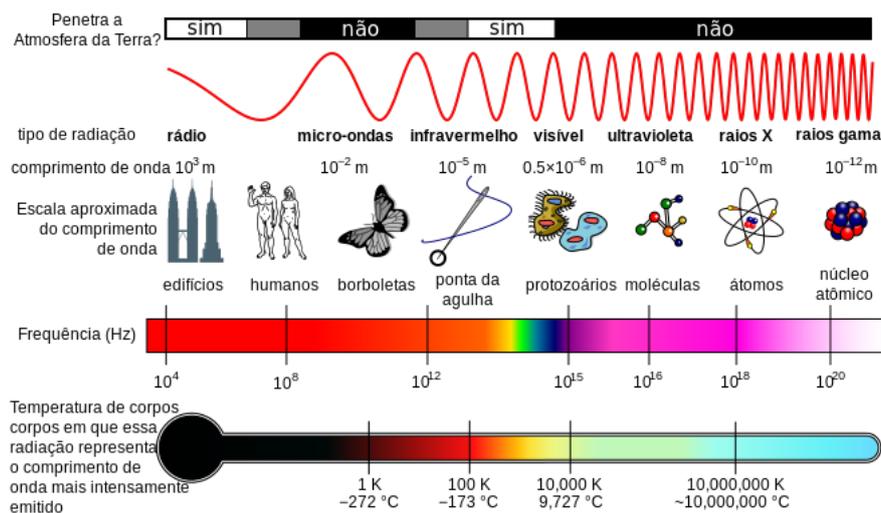
Logo, é possível calcular a voltagem no secundário, usando as equações 2.27, 2.28 e 2.29, nas quais se obtêm:

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}. \quad (2.30)$$

As equações 2.29 e 2.30 representam a voltagem nos terminais da bobina  $L_2$ . A frequência gerada pela bobina do secundário é  $f_2 = f_1 = f_{ressonância}$ .

A bobina de Tesla é um transmissor de ondas eletromagnéticas sendo que as ondas emitidas podem ser detectadas com circuitos receptores de rádio frequência. Para que seja possível gerar ondas de rádio, as frequências emitidas, da ordem de  $kHz$ , dependem dos capacitores e indutores presentes no circuito.

A figura 2.7 e a tabela 2.2 mostram o espectro eletromagnético, variando das ondas de rádio até os raios gama (altamente energéticos).



**Figura 2.7** – Espectro eletromagnético. Fonte: Wikipédia.

**Tabela 2.2** – Espectro eletromagnético. Fonte: (GRIFFITHS, 2011).

Frequência (Hz)	Tipo	Comprimento de onda (nm)
$10^{21}$	raios $\gamma$	$10^{-3}$
$10^{18}$	raios x	1
$10^{16}$	ultravioleta	$10^2$
$10^{15}$	visível	$10^3$
$10^{14}$	infravermelho	$10^4$
$10^{10}$	microondas	$10^8$
$10^8$	TV, FM	$10^{10}$
$10^6$	AM	$10^{12}$
$10^4$	RF	$10^{16}$

**Nota:**  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

A tabela 2.3 apresenta o espectro eletromagnético da radiação visível, ou seja, capaz de sensibilizar os olhos humanos.

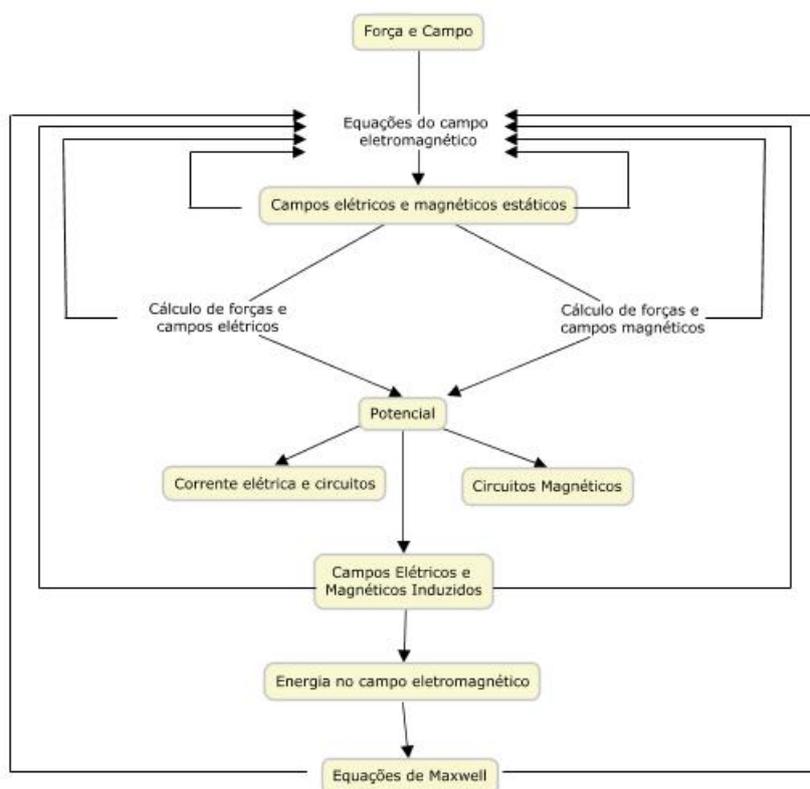
**Tabela 2.3** – Espectro visível. Fonte: (GRIFFITHS, 2011).

Frequência (Hz)	Cor	Comprimento de onda (nm)
$1.0 \times 10^{15}$	ultravioleta próximo	$3.0 \times 10^{-7}$
$7.5 \times 10^{14}$	azul mais curto visível	400
$6.5 \times 10^{14}$	azul	460
$5.6 \times 10^{14}$	verde	540
$5.1 \times 10^{14}$	amarelo	590
$4.9 \times 10^{14}$	laranja	610
$3.9 \times 10^{14}$	vermelho mais longo	760
$3.0 \times 10^{14}$	infravermelho próximo	1000

## 2.2 Teoria de aprendizagem significativa de Ausubel

Ausubel baseou-se no cognitivismo para explicar o processo de aprendizagem. Os teóricos do cognitivismo partem do pressuposto de que existe uma estrutura na qual a organização e a interação do material da estrutura cognitiva se processam. E priorizam a interação da sala de aula, mediante o que os discentes já conhecem, modelo este chamado por Ausubel de subsunçor (MOREIRA, 2015). Os subsunçores são modelos presentes na estrutura cognitiva dos discentes, ou seja, o conhecimento prévio que o discente tem sobre algum assunto. Por exemplo, no caso da Física, ao falar sobre o assunto de eletromagnetismo, é possível adotar como subsunçores as ideias de campo e força.

O mapa conceitual da figura 2.8 relaciona os subsunçores, força e campo, presentes na estrutura cognitiva do discente, utilizados para estudar eletromagnetismo (MOREIRA, 1979).



**Figura 2.8** – Esquema da organização sequencial do conteúdo segundo a abordagem Ausubeliana (MOREIRA, 1979).

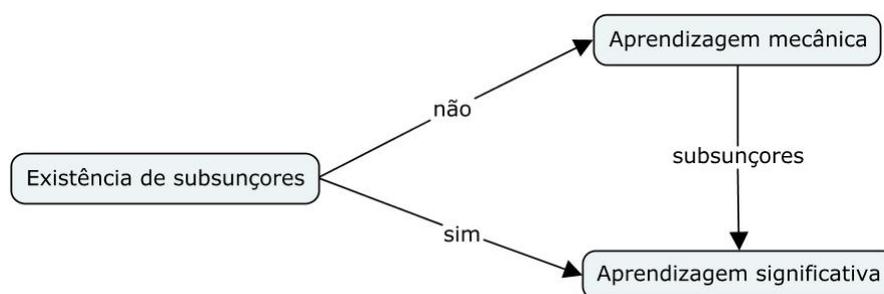
## Aprendizagem significativa

Segundo Moreira (1999), Ausubel tem, como ponto central, a aprendizagem significativa:

O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informações com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor; ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se ancora em conceitos, proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz [...] (MOREIRA, 1999)

## Origem dos subsunçores

A aprendizagem mecânica é sempre necessária quando um indivíduo adquire informação em uma área de conhecimento completamente nova para ele, isto é, chamada "aprendizagem mecânica" ocorre até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores, ainda que pouco elaborados. À medida que a aprendizagem começa a ser significativa, esses subsunçores vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de ancorar novas informações.



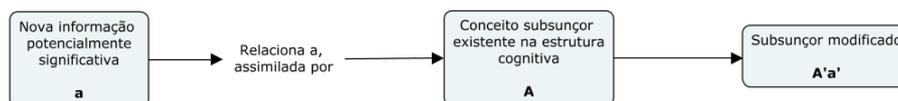
**Figura 2.9** – Mapa conceitual para a não existência dos subsunçores. Fonte: O autor.

Segundo Moreira (2015), a existência de subsunçores é necessária para que haja aprendizagem significativa, sendo que a aprendizagem mecânica torna-se indispensável na ausência de subsunçores.

## Teoria da assimilação

A teoria de assimilação torna mais claro e preciso o processo de aquisição e organização dos significados na estrutura cognitiva. O outro ponto a ser enfatizado da teoria de assimilação é o caráter de valor exploratório presente tanto na aprendizagem como para a retenção.

Ausubel resume esquematicamente a teoria de assimilação como:

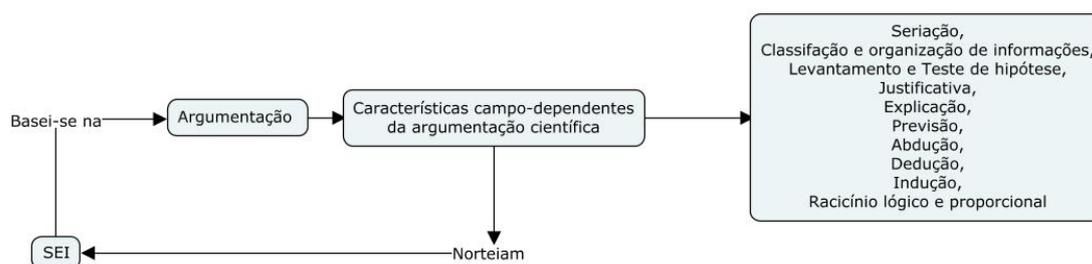


**Figura 2.10** – Resumo esquemático da teoria de assimilação de Ausubel segundo Moreira (1999).

A figura 2.10 mostra que a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação "a" se ancora em conceitos importantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz "A", para que sejam modificados A'a'.

## 2.3 Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

A sequência de ensino investigativa é uma metodologia baseada na argumentação científica, para que seja possível obter resultados de problemas, através do surgimento das características campo dependentes que norteiam a SEI. (figura 2.11).



**Figura 2.11** – Fluxograma da SEI. Fonte: O autor.

Carvalho (2013) afirma que as sequências de ensino investigativas trazem referências essenciais para preparação de aulas que sejam mais interessantes e motivadoras para estudantes e professores.

O artigo de Carvalho (2013), inicialmente, mostra as características específicas (ou campo dependentes) da argumentação científica que se pretende potencializar: seriação,

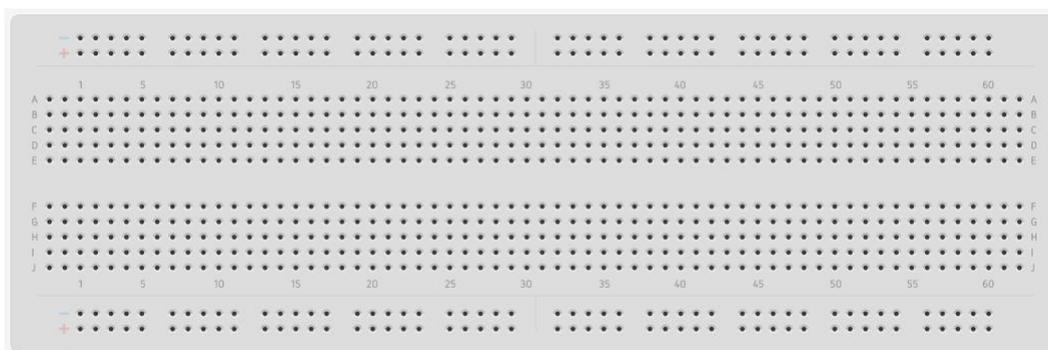
classificação e organização de informações; levantamento e teste de hipóteses; justificativa, explicação, previsão, abdução, dedução, indução; raciocínio lógico e proporcional.

## 2.4 Elementos do circuito

A finalidade do circuito confeccionado em *protoboard* é facilitar a montagem da bobina de Tesla do estado sólido, SSTC, com o objetivo de tornar a aula mais dinâmica e segura, devido a não ser necessária a utilização de equipamentos de soldagem, que possam oferecer perigo aos discentes.

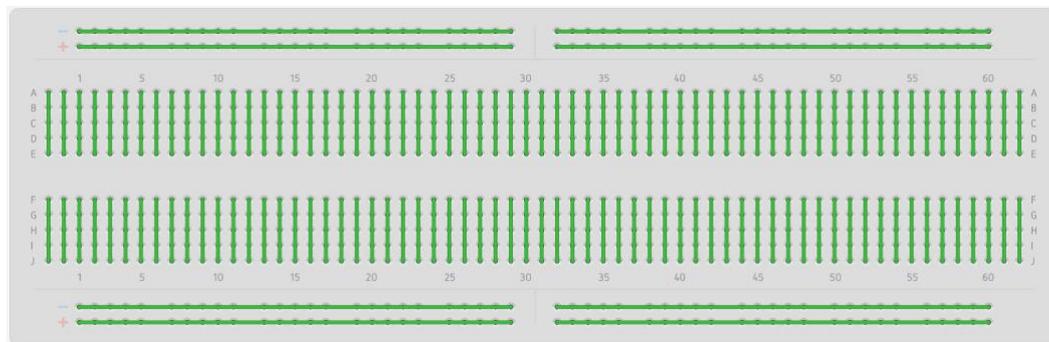
### Protoboard

É uma matriz de contato, na qual são montados protótipos de circuitos, sem a necessidade de estanho (Sn), como aparece na figura 2.12.



**Figura 2.12** – *Protoboard*. Fonte: o autor.

Os sentidos dos contatos da *protoboard* da figura 2.12 estão destacados de verde na figura 2.13.



**Figura 2.13** – Conexões dos trilhos de contato destacados de verde. Fonte: o autor.

### Chave

A chave é um dispositivo utilizado para ligar ou desligar o circuito da mini SSTC.



**Figura 2.14** – Chave liga/desliga. Fonte: tecmikro

## Resistor

Experimentalmente, a densidade de corrente  $\vec{J}$  num material, sob temperatura constante, é linearmente proporcional ao campo elétrico  $\vec{E}$ :

$$\vec{J} \propto \vec{E}. \quad (2.31)$$

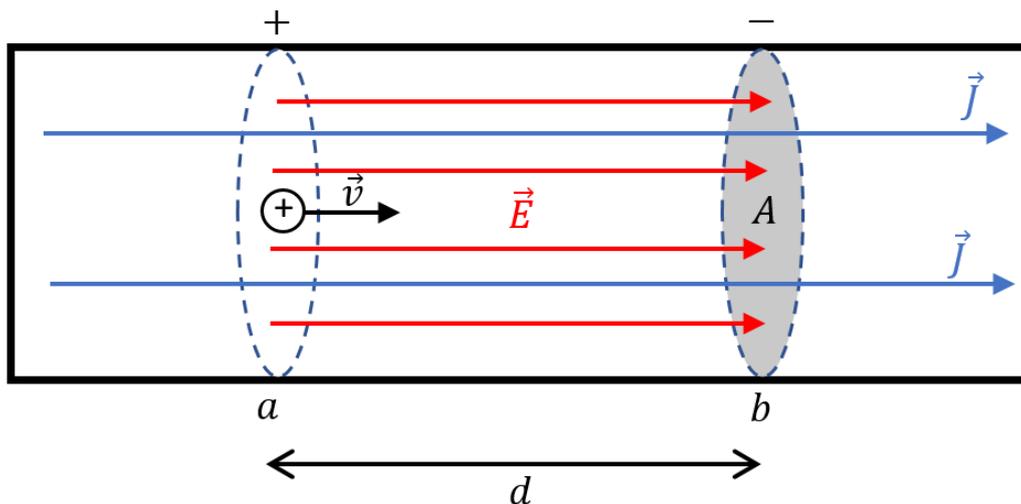
Introduzindo-se uma constante de proporcionalidade  $\sigma$ , definida como condutividade elétrica, como segue:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}. \quad (2.32)$$

Os materiais que obedecem a equação 2.32 são chamados de meios lineares ou ôhmicos. Existe uma relação entre condutividade ( $\sigma$ ) e resistividade ( $\rho$ ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (2.33)$$

Um determinado material que obedece a lei de Ohm, por exemplo, um fio reto de seção reta, como na figura 2.15, sendo mantida, nos pontos  $a$  e  $b$ , uma diferença de potencial, ddp,  $\Delta V_{ab} = V_a - V_b$ , relaciona-se com o campo elétrico pela equação 2.34.



**Figura 2.15** –  $\vec{v}$ : velocidade das cargas positivas;  $\vec{E}$ : campo elétrico;  $\vec{J}$ : densidade de corrente. Fonte: o autor.

Dessa maneira,

$$\Delta V_{ab} = Ed = \frac{J}{\sigma}d = \frac{d}{\sigma A}I. \tag{2.34}$$

Pelo fato da resistência  $R$  do material estar relacionada com a resistividade  $\rho$ , condutividade  $\sigma$ , comprimento  $d$  e área de seção  $A$  do material, como segue:

$$R = \frac{d}{\sigma A} \quad \text{ou} \quad R = \rho \frac{d}{A}. \tag{2.35}$$

Então a equação 2.34 pode ser reescrita como:

$$\Delta V_{ab} = V = RI. \tag{2.36}$$

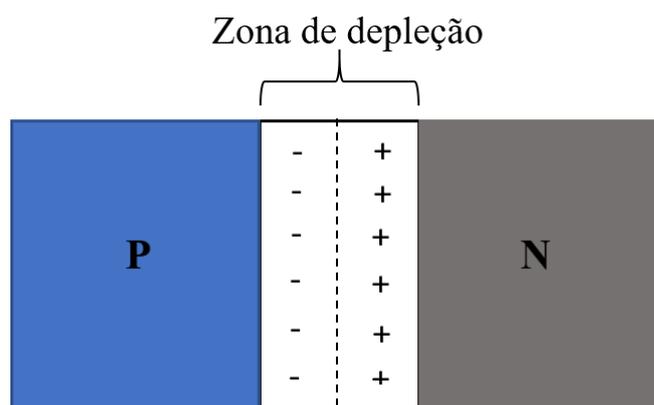
A figura 2.16 mostra a forma e o símbolo do resistor:



**Figura 2.16** – Forma e símbolo do resistor.

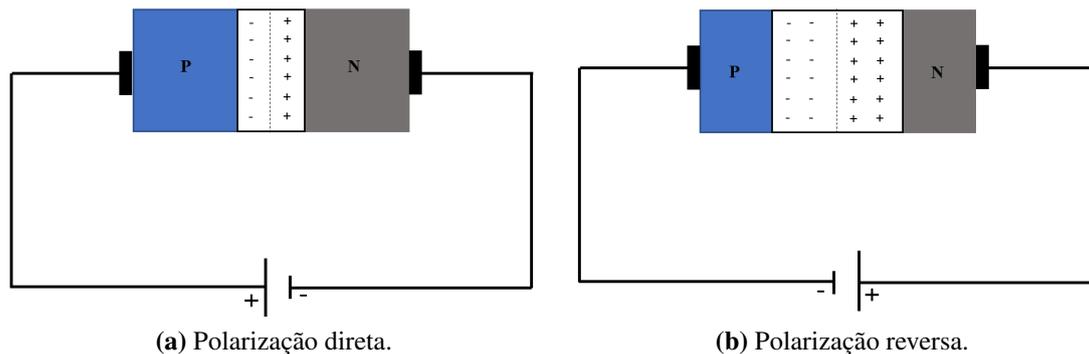
## Junção PN e diodo

Todos os componentes eletrônicos semicondutores possuem, em sua estrutura, pelo menos uma junção PN. Considere-se um cilindro de material cristalino semicondutor puro, como o silício ou o germânio. Um lado do cilindro é dopado com átomos doadores de elétrons, caracterizando um material do tipo N (negativo). Exemplos de alguns materiais do tipo N são: o silício, dopado com arsênio, ou o germânio, também dopado com arsênio; e, do lado oposto, dopados com átomos aceitadores de elétrons, por exemplo: o silício, dopado com índio ou silício dopado com gálio, caracterizando um material do tipo P (positivo). Estas associações geram as **junções PN**. Devido à diferença de concentrações de cargas, de ambos os lados da junção PN, lacunas difundem-se do lado P para o lado N, naturalmente, e elétrons difundem-se do lado N para o lado P, formando uma camada dupla de cargas, chamada de **zona de depleção**. Veja figura 2.17:



**Figura 2.17** – Junção PN. Fonte: O autor.

O **diodo** é um dispositivo semicondutor que possui uma única junção PN. Existem dois tipos de polarização para o diodo: polarização direta e polarização reversa. Na polarização direta, o terminal positivo da bateria é conectado ao terminal P da junção no diodo. Na polarização reversa, o terminal positivo da bateria é ligado conectado ao lado N do terminal do diodo, como mostram as figuras 2.18a e 2.18b:

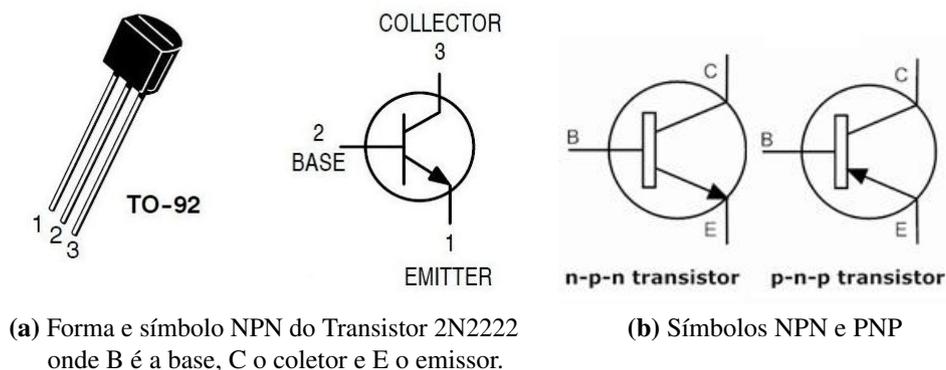


**Figura 2.18** – Polarizações do diodo no circuito. Fonte: O autor.

### Transistor

É um dispositivo semicondutor, com finalidade de produzir sinais de saída no terminal do coletor. Dependendo do sinal de entrada no terminal da base, o transistor funciona como um amplificador de sinais (figura 2.19).

#### 2N2222

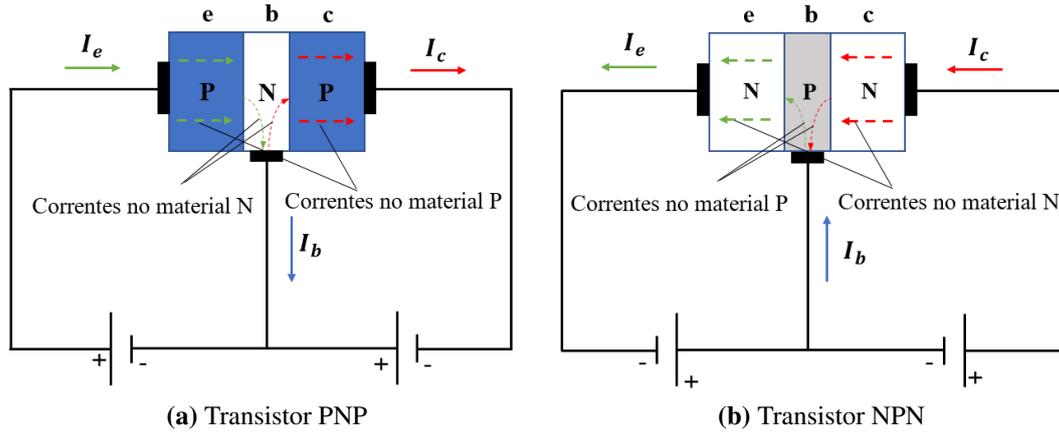


(a) Forma e símbolo NPN do Transistor 2N2222 onde B é a base, C o coletor e E o emissor.

(b) Símbolos NPN e PNP

**Figura 2.19** – Símbolo e formas 2N2222. Fonte: ON Semiconductor®.

O transistor é um componente semicondutor, composto por junções do tipo PNP (positivo-negativo-positivo) ou NPN (negativo-positivo-negativo). Neste trabalho, é preciso entender como são estabelecidas as correntes no transistor, pois é o transistor que amplifica a corrente fornecida para a bobina primário  $L_1$ , a qual induz uma corrente na bobina do secundário  $L_2$ . O esquema das correntes  $I_e$ ,  $I_b$  e  $I_c$ ; corrente de emissor, corrente de base e corrente de coletor, respectivamente, pode ser visto nas figuras 2.20a e 2.20b.



**Figura 2.20** – Transistores PNP e NPN. Fonte: O autor.

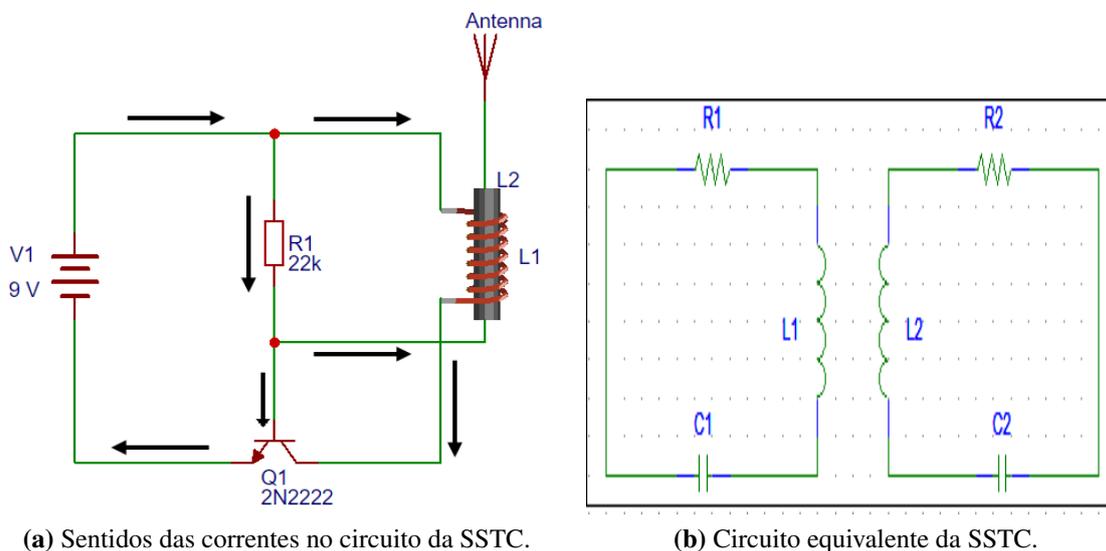
No transistor PNP, ocorre circulação de corrente convencional, observada no circuito externo da figura 2.20a, movimento de lacunas, indicado no sentido horário, tanto no circuito do emissor  $I_e$ , como no circuito do coletor  $I_c$ . A circulação de corrente, dentro do material P do transistor, consiste no movimento de lacunas através do material P, desde o terminal positivo do emissor à junção PN emissor-base, representadas pelas setas tracejadas verdes. E desde a junção PN, base-coletor ao terminal do coletor (setas tracejadas vermelhas). O fluxo de corrente no material N do transistor consiste no movimento de lacunas, da base à junção PN da base-coletor (seta tracejada vermelha), e desde à junção PN emissor-base ao terminal da base (seta tracejada verde).

No transistor NPN (figura 2.20b), a circulação de corrente nos circuitos externos do emissor e do coletor efetua-se no sentido anti-horário  $I_c$  e  $I_e$ . A circulação de corrente, dentro do material P do transistor, consiste nos movimentos de lacunas da junção PN base-coletor ao terminal da base (linha tracejada vermelha) e desde o terminal da base à junção PN base-emissor (linha tracejada verde). O fluxo de corrente no material N do transistor consiste no movimento de lacunas, desde o terminal do coletor à junção PN base-coletor (setas tracejadas vermelhas), e desde a junção PN base-emissor ao terminal do emissor (linha tracejada verde).

A figura 2.21a representa o esquema elétrico e as correntes que circulam no circuito. Observa-se que os sentidos das correntes no transistor obedecem a equação 2.37

$$I_e = I_b + I_c. \tag{2.37}$$

Segundo Chiquito e Jr (2000), o circuito da figura 2.21b equivale ao circuito da figura 2.21a. Para o caso da SSTC,  $R_1 = 22\text{ k}\Omega + R_{ec}$ ;  $R_{ec}$ :resistência entre emissor e coletor;  $L_1$  é a indutância da espira do primário, que possui 3 espiras;  $L_2$  é a indutância da bobina secundária, que possui fio 28 AWG,  $R_2 \approx 0$ .



**Figura 2.21** – Circuitos elétricos da SSTC. Fonte: O autor.

### Indutor

Componente eletrônico que armazena energia decorrente de um campo magnético, figura 2.22.



**Figura 2.22** – Indutor e símbolo. Fonte: O autor.

Se estabelecermos uma corrente  $I$  nos enrolamentos de um solenoide, como da

figura 2.22, com  $N$  espiras, ocorrerá à produção de um fluxo magnético  $\Phi_B$  através da região central do indutor, ou seja:

$$N\phi_B \propto I \quad (2.38)$$

ou

$$L = \frac{N\phi_B}{I}, \quad (2.39)$$

onde  $L$  é a constante de proporcionalidade, chamada de indutância. Do mesmo modo que a resistência  $R$ , a indutância  $L$  é sempre considerada positiva. A unidade SI de indutância é o Volt, segundo por Ampère ou Henry.

$$1H = \frac{V \cdot s}{A} \quad (2.40)$$

Segundo Wheeler (1942), o cálculo da indutância da bobina  $L_2$  pode ser encontrado por meio da fórmula:

$$L = \frac{N^2 R^2}{4.5d + 10H}, \quad (2.41)$$

onde  $d$  é o diâmetro e  $H$  o comprimento da bobina  $L_2$ .

Os componentes listados anteriormente serão importantes para a montagem da SSTC, que é um transmissor de ondas eletromagnéticas.

## 2.5 Software Winplot

O Winplot é um utilitário gráfico gratuito que foi criado por Richard Parris, um professor de matemática na Phillips Exeter Academy em Exeter, New Hampshire, nos Estados Unidos (LEHNEN, 2017). O software possui funções que permitem reproduzir animações de ondas eletromagnéticas, utilizando as funções seno ou cosseno. O Winplot pode construir gráficos em duas ou três dimensões e produzir animações, introduzindo parâmetros nas equações que não usem as letras “x”, “y” ou “z”. A onda eletromagnética é formada por dois campos perpendiculares, que coexistem ao mesmo tempo (GASPAR, 2012). O software Winplot será utilizado para mostrar, em sala de aula, como é composta a onda eletromagnética criada por uma carga oscilante no eixo  $y$ . A bobina de Tesla é um

emissor de ondas eletromagnéticas, portanto o Winplot será utilizado para fazer animação da onda eletromagnética emitida pela bobina de Tesla. As instruções de uso para animação de ondas eletromagnéticas estão localizadas nos apêndices.

A bobina de Tesla do estado sólido, SSTC, é um dispositivo que emite ondas eletromagnéticas. Para que seja possível para o discente visualizar o fenômeno da propagação de ondas, será apresentada uma animação elaborada com o **Winplot**.

A onda eletromagnética composta por campos elétrico e magnético são diferentes expressões da mesma teoria física, pois Knight (2009, p. 1086) afirma que um campo é visto como "elétrico" ou "magnético", dependendo do movimento do sistema de referência usado, em relação às fontes do campo. Este trabalho propõe utilizar o software Winplot como ferramenta educacional, para mostrar um modelo de onda eletromagnética em animação no vácuo, ver figura 2.23.



**Figura 2.23** – Fluxograma da animação utilizando o winplot. Fonte: O autor.

No próximo capítulo, está indicada uma revisão bibliográfica dos trabalhos, envolvendo a bobina de Tesla, teoria de aprendizagem de Ausubel, sequência de ensino investigativa e o software Winplot.

### 3 Revisão bibliográfica

A revisão foi feita buscando artigos em nove periódicos entre os anos de 1979 e 2017: *American Institute of Physics*, *American Journal of Physics*, *Applied Physics Letters*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Imagens da Educação*, *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, *Revista Renote Novas Tecnologias na Educação* e *Revista Interdisciplinar de Estudos da Cognição*. No método pelo qual foram feitas as buscas dos periódicos, foi utilizando o *Google Acadêmico*, buscando as seguintes palavras-chave: bobina de Tesla, ensino de ondas eletromagnéticas, ensino de eletricidade, subsunçores, sequência de ensino investigativa e teoria de aprendizagem significativa.

Os artigos que objetivavam construir e fazer medições da bobina de Tesla foram considerados relevantes para este trabalho, assim como identificados trabalhos que faziam uso da sequência de ensino investigativa, em procedimentos experimentais, nos conteúdos de mecânica e eletricidade. Também artigos de Moreira, que utilizam as teorias de aprendizagem significativa de Ausubel. Outros trabalhos que utilizavam animação computacional, com WINPLOT no ensino também, foram considerados relevantes.

A revisão bibliográfica foi dividida em quatro grupos: **Trabalhos sobre bobina de Tesla**, **Sequência de Ensino Investigativa**, **Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel**, **Gráficos utilizando WINPLOT**. A tabela 3.1 mostra como foi feita a divisão dos grupos.

**Tabela 3.1** – Trabalhos pesquisados.

Grupo	Assunto	Trabalhos (Artigo, Dissertação, Tese)
1	Trabalhos sobre bobina de Tesla	9 artigos
2	Sequência de Ensino Investigativa	4 artigos
3	Teoria de Aprendizagem significativa de Ausubel	5 artigos
4	Gráficos utilizando WINPLOT	2 artigos e 2 dissertações

### 3.1 Grupo 1: Trabalhos sobre bobina de Tesla

Neste grupo, foram pesquisados os artigos que abordavam o tema bobina de Tesla, construção e medições, voltados para o ensino, especificamente nos temas de eletromagnetismo. Os artigos estudados neste grupo possuem dois modelos de montagens de bobina de Tesla: Bobina de Tesla convencional e a bobina de Tesla do estado sólido (SSTC).

A primeira aplicação da bobina de Tesla, segundo Chiquito e Jr (2000), foi com relação às transmissões de ondas eletromagnéticas:

A primeira aplicação realmente importante da Bobina de Tesla foi na transmissão de sinais elétricos entre dois pontos através de ondas eletromagnéticas (previstas teoricamente por Maxwell em 1865 e confirmadas experimentalmente por Hertz em 1886), realizada por Marconi em 1907. Estes foram os primórdios da radiodifusão tal como a conhecemos atualmente (CHIQUITO; JR, 2000).

A bobina de Tesla é uma antena transmissora, com potência definida, podendo ser utilizada como ferramenta de ensino no conteúdo de ondas eletromagnéticas. Para Nascimento (2000) e Eustáquio (2014), a atenuação do sinal da onda eletromagnética é um fenômeno puramente geométrico.

A geração de ondas eletromagnéticas acontece devido aos valores de resistência, capacitância e indutância serem levados em conta, para que haja ressonância e, consequentemente, uma melhor eficiência na transferência de energia entre os circuitos primários e secundários, devido ao valor da constante de acoplamento  $k$  (FARRIZ et al., 2010). Hoffmann (1975) afirma ser "[...]  $k$  grande para gerar eficientemente alta tensão e transferir energia do circuito primário para secundários [...]".

No trabalho de Brelet et al. (2012), a bobina de tesla foi construída para gerar descargas de 350 kV na saída, com radiofrequência de 105 kHz:

As descargas são geradas com uma bobina de Tesla feita em casa. Uma bobina de Tesla é basicamente um transformador de elevador de tensão. O acoplamento de dois circuitos RLC ressonantes permite obter rajadas de tensão em radiofrequências com amplitude de pico além de 350 kV na saída (BRELET et al., 2012).

Brelet et al. (2012) coloca os conceitos de propagação de ondas eletromagnéticas

em prática, ao direcionar um feixe de raios para um eletrodo aterrado, a 50 *cm* de distância, reafirmando que a bobina de Tesla é uma fonte transmissora de ondas eletromagnéticas.

O artigo de Laburú e Arruda (2004) descreve que bobina de Tesla, construída em sala de aula, amplia o leque de possibilidades para serem trabalhados vários assuntos do eletromagnetismo.

As experiências que poderão ser realizadas por meio da bobina são: demonstração do efeito corona (o efeito de pontas), uma aplicação da gaiola de Faraday (blindagem eletromagnética), a proteção do para-raios, a “presença” do campo eletromagnético no espaço, o efeito de altas tensões em gases sob baixa pressão, o comportamento de isolantes sob altas tensões, diferenças entre descargas elétricas em um rio e no mar (LABURÚ; ARRUDA, 2004).

O artigo de Cabral, Souza e Freitas (2012) reforça o que foi descrito por Laburú e Arruda (2004), ao utilizar a observação dos fenômenos que envolvem a bobina de Tesla convencional, como ponto de partida para despertar interesse em desenvolver aprendizagem significativa:

Enquanto alguns professores utilizam uma prática pedagógica onde prevalece o caráter tradicional, é possível, também, introduzir práticas experimentais atreladas ao desenvolver do conteúdo trabalhado em sala de aula. A fenomenologia no ensino da Física pode ser considerada, justamente, o caminho que mais envolve os estudantes, sendo capaz de despertar grande interesse em desenvolver um aprendizado significativo (CABRAL; SOUZA; FREITAS, 2012).

Os artigos citados anteriormente explicam o funcionamento e utilização de uma bobina de Tesla convencional. O protótipo da bobina de Tesla do estado sólido, SSTC, é menor, comparando as suas dimensões com a bobina de Tesla convencional, porque utiliza circuitos eletrônicos mais modernos:

Uma bobina de Tesla convencional consiste em circuitos primários e secundários sintonizados. Um interruptor no circuito primário estimula oscilações da carga armazenada em um grande capacitor. O projeto do interruptor de circuito primário é crítico para maximizar a transferência de energia para o circuito secundário. [...] substitui esse elemento "antigo" pela moderna tecnologia de circuitos integrados. (BRUNS, 1992)

Dessa maneira, Bruns (1992) deixa claro que a utilização da bobina de Tesla do estado sólido eleva o rendimento na construção, nos resultados e aplicação em sala de aula.

No próximo grupo serão apresentados trabalhos sobre a utilização das sequências didáticas investigativas no ensino de Física e de Ciências.

## 3.2 Grupo 2: Sequência de Ensino Investigativa

Neste grupo, foram abordados artigos que utilizam a sequência de ensino investigativa. Segundo Motokane (2015), as sequências didáticas investigativas auxiliam na superação de dificuldades.

É na tentativa da superação de algumas dessas dificuldades que este artigo busca discutir o uso da alfabetização científica como base teórica para a produção de Sequências Didáticas Investigativas (SDI) que tenham o desenvolvimento da argumentação como foco (MOTOKANE, 2015).

Zabala (1998) define sequência de ensino investigativa como sendo uma mescla de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas.

De um modo mais geral, sequências didáticas podem ser consideradas como um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (ZABALA, 1998).

Em seu artigo, Carvalho (2013) afirma que a sequência de ensino investigativa estimula a argumentação em estudantes de nível médio.

[...] uma SEI para o ensino de quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton, que estimule os estudantes do ensino médio a argumentarem sobre estes temas, já que consideramos essa prática essencial para o processo de aprendizagem (CARVALHO, 2013).

Azevedo e Fireman (2017) afirmam que a utilização de sequências didáticas investigativas desenvolvem momentos de aprendizagem, assim como produzem indicadores e habilidades que ajudam na alfabetização científica.

[...] o ensino por investigação desenvolve nos alunos vários momentos de aprendizagem aproximando ainda mais do saber científico e desencadeando indicadores e habilidades que podem tornar o aluno alfabetizado cientificamente, pois as práticas tradicionais não permitem ao aluno a oportunidade de enxergar além do que é estabelecido nos livros didáticos (AZEVEDO; FIREMAN, 2017).

O próximo grupo abordará os artigos que utilizam a teoria de David Ausubel, voltadas para o ensino de Física e de Ciências.

### **3.3 Grupo 3: Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel**

Os artigos pesquisados neste grupo são referentes às teorias de aprendizagem significativa de Ausubel no ensino de Física. Moreira (1979) descreve a aprendizagem significativa como sendo o processo pelo qual a nova informação relaciona-se com os aspectos importantes da estrutura de conhecimento do indivíduo.

Em outro artigo, Moreira (2012) aponta para a utilização do que David Ausubel chamou de subsunçores ou ideias âncoras, voltados para o ensino de física. O uso dos subsunçores faz com que o aluno tenha mais estabilidade cognitiva.

[...] um aluno que já conhece a Lei da Conservação da Energia aplicada à energia mecânica, resolver problemas onde há transformação de energia potencial em cinética e vice-versa apenas corrobora o conhecimento prévio, dando-lhe mais estabilidade cognitiva e talvez maior clareza [...] (MOREIRA, 2012)

Na teoria de aprendizagem de David Ausubel, os subsunçores são importantes para a relação ensino/aprendizagem em Física. Para Moreira (1999), os principais subsunçores nos assuntos de eletromagnetismo são força e campo.

Em Física, por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos (MOREIRA, 1999).

Para Tavares (2008), quando o discente depara-se com novas informações, conseguindo fazer correlações entre o novo conteúdo e o conhecimento prévio, inicia-se um processo de construção de significados pessoais, sendo possível transformá-las em conhecimento.

[...]quando o aprendiz tem pela frente um novo corpo de informações e consegue fazer conexões entre esse material que lhe é apresentado e o seu conhecimento prévio em assuntos correlatos, ele estará construindo

significados pessoais para essa informação, transformando-a em conhecimentos, em significados sobre o conteúdo apresentado [...] (TAVARES, 2008).

Tavares (2004) reforça que, na interação entre o conhecimento novo e o antigo, ambos serão modificados, de uma maneira específica, por cada aprendiz.

O grupo quatro abordará artigos que utilizam o Winplot como ferramenta no ensino.

### 3.4 Grupo 4: Gráficos utilizando WINPLOT

Os trabalhos pesquisados neste grupo são sobre a utilização do software WINPLOT como ferramenta no ensino. O software WINPLOT é um programa livre, que permite construir gráficos matemáticos de funções, os quais podem ser aplicados à Física (LEHNEN, 2017). No artigo de Mota e Laudares (2013), pesquisas na área de educação promovem reflexões sobre a forma tradicional de ensino.

As pesquisas na área de Educação Matemática promovem reflexões sobre como a forma tradicional de ensino pode ser inovada por meio de estratégias diferenciadas, que visem a uma melhor qualidade no processo de ensino-aprendizagem da Matemática (MOTA; LAUDARES, 2013).

Tavares et al. (2013) faz utilização da informática, para o auxílio no ensino, com o objetivo de despertar o interesse e chamar a atenção do aluno.

[...] A utilização de ferramentas da informática, como o software de ambiente gráfico Winplot, são recursos metodológicos que visam chamar a atenção do aluno de maneira informal estimulando o interesse referente à aprendizagem [...] (TAVARES et al., 2013)

Araujo (2005) afirma que existem atividades voltadas para o ensino de física, repletas de propostas envolvendo o uso de tecnologias computacionais.

[...] as atividades de ensino de Física estão permeadas de propostas envolvendo o uso de computadores. Praticamente, já faz parte do senso comum a ideia de que grandes avanços na área do ensino (principalmente de Física e áreas correlatas) ocorrerão através do uso intensivo das chamadas “tecnologias computacionais” e que estas proporcionarão situações de aprendizagem impensáveis antes de sua existência (ARAUJO, 2005).

Rocha e Miragem (2010) reforçam a importância dada ao computador nos dias de hoje e chamam a atenção para o fato de que:

A utilização do computador no nosso cotidiano está tão enraizada que um problema eventual no fornecimento de energia elétrica pode nos gerar grandes desconfortos. O mundo globalizado é informatizado e, portanto, a utilização do computador como ferramenta no processo de aprendizagem é algo que não pode mais ser ignorado pelos educadores.

## 4 Metodologia

O trabalho foi aplicado em turmas de 2<sup>o</sup> (29 alunos) e de 3<sup>o</sup> ano (22 alunos) do ensino médio, no mês de novembro de 2017. Consistiu na montagem de uma bobina de Tesla, com componentes eletrônicos de baixo custo, e na produção e propagação de onda eletromagnética, utilizando lâmpadas fluorescentes e pequenos circuitos medidores de rádio frequência RF.

Foram utilizadas três aulas de 50 minutos, divididas em quatro etapas, segundo a tabela 4.1. É importante enfatizar alguns requisitos para o rendimento no tempo da aplicação do produto: Componentes previamente montados ( $L_1$  e  $L_2$ , chave liga/desliga, fios de ligação com pontas desencapadas), questionários aplicados, pré-teste e pós-teste, compostos por questões objetivas.

**Tabela 4.1** – Tempo de duração para cada etapa.

<b>Etapa</b>	<b>Duração</b>
1. Pré-teste	15 minutos
2. Exposição do conteúdo	20 minutos
3. Parte experimental	100 minutos
4. Pós-teste	15 minutos

A seguir, será descrita a montagem da bobina de Tesla de estado sólido, o uso do software Winplot, as medições dos sinais das ondas eletromagnéticas, provenientes da SSTC, assim como a aplicação de pré-teste e pós-teste.

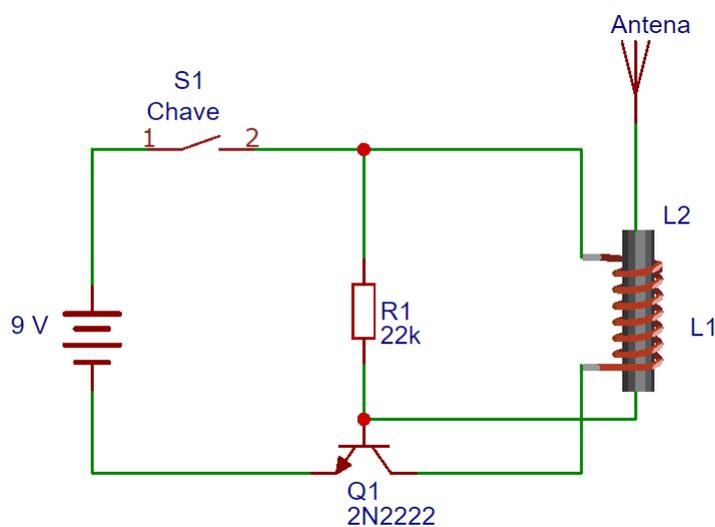
### 4.1 Montagem da bobina de Tesla do estado sólido na *protoboard*

O material utilizado para montar a mini bobina de Tesla do estado sólido, SSTC, é listado na tabela 4.2.

**Tabela 4.2** – Componentes necessários na montagem da SSTC.

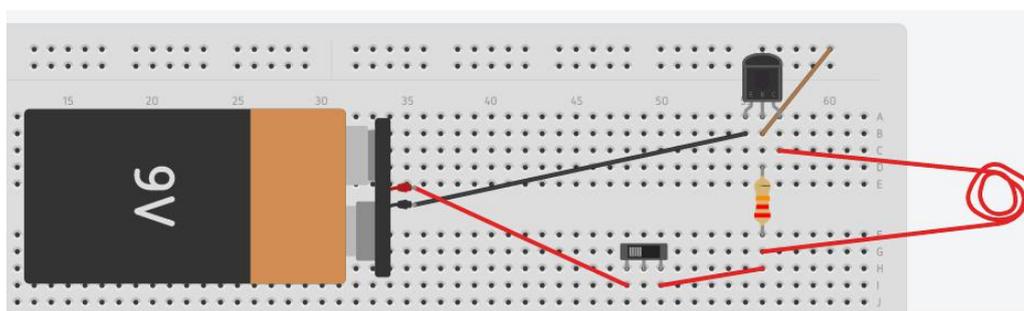
<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>
Transistor 2N2222	5
Baterias	5
Chave liga/desliga	5
Resistor	5
Bobina com fio 28 A.W.G.	5
Bobina com fio 1.5 mm 2 espiras	5

O esquema elétrico da figura 4.1 representa o circuito usado na montagem da SSTC.



**Figura 4.1** – Esquema elétrico da SSTC.

O circuito da figura 4.2 foi montado pelos discentes utilizando uma *protoboard*.



**Figura 4.2** – Montagem da SSTC em protoboard virtual, utilizando o Tinkercad. Fonte: O autor.

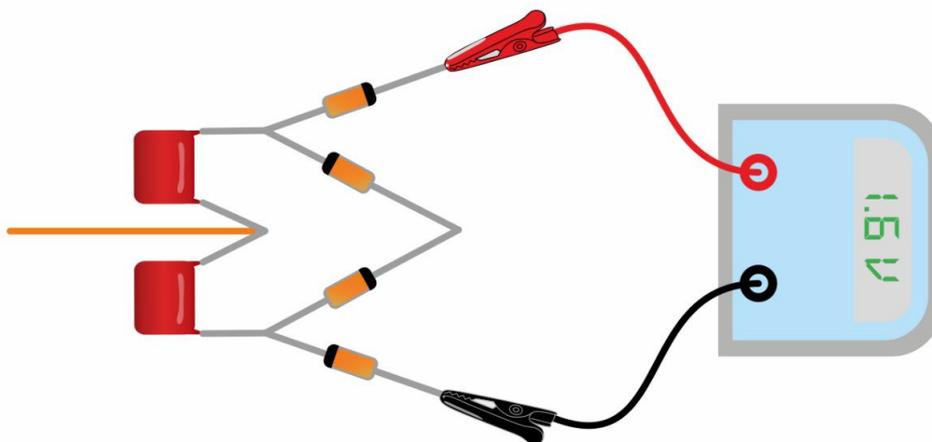
## 4.2 Medição da voltagem do sinal em função da distância da onda eletromagnética na bobina de Tesla.

O docente/pesquisador acompanhou os discentes na montagem dos equipamentos para as medições. Foi usada uma bobina de Tesla de estado sólido e multímetros, acoplados a um circuito receptor de rádio frequência, capazes de medir sinais eletromagnéticos.

A proposta deste trabalho é medir a amplitude da voltagem da onda eletromagnética, usando um medidor de campo acoplado ao voltímetro, como indicado na figura 4.3. O voltímetro fornece o valor eficaz,  $V_{ef}$ , da amplitude do sinal. Segundo Malvino (1997), o valor eficaz do sinal é:

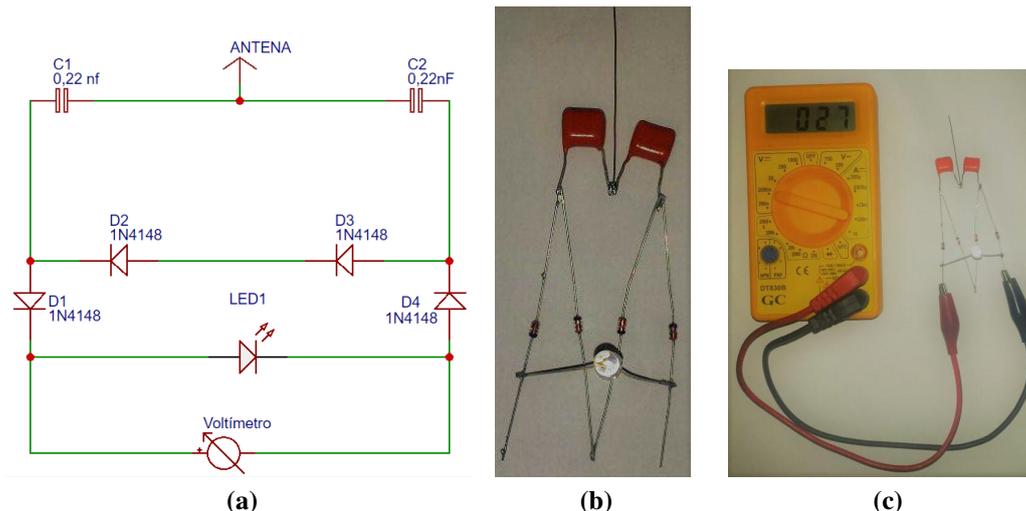
$$V_{eficaz} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (4.1)$$

$V_p$ : valor de pico.



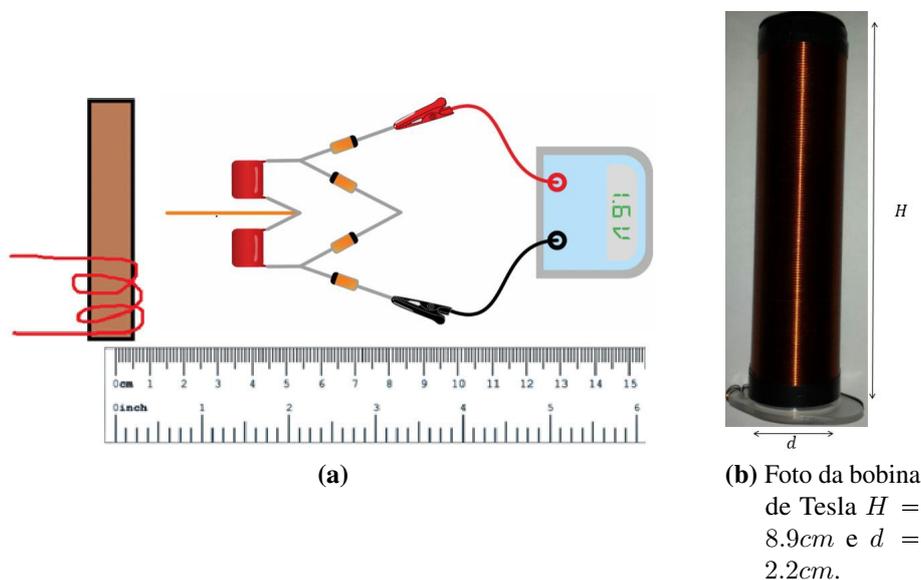
**Figura 4.3** – Multímetro acoplado ao circuito receptor de RF (Rádio Frequência), medidor de campo. Fonte: O autor.

A figura 4.4 mostra em (a) o esquema elétrico do circuito receptor de RF; em (b) a foto da montagem do esquema (a); e em (c) o voltímetro acoplado ao circuito receptor de RF.



**Figura 4.4** – (a) Esquema do circuito receptor de RF, circuito retificador de onda completa em ponte (MALVINO, 1997); (b) foto da montagem do esquema (a); e (c) voltímetro acoplado ao receptor de RF. Fonte: O autor.

O esquema da Figura 4.5a mostra como a experiência foi montada e a figura 4.5b mostra a bobina do secundário composta por 253 espiras de fio 28 AWG.



**Figura 4.5** – (a) Esquema experimental para medição da distância e voltagem; (b) Informações do indutor  $L_2$ . Fonte: O autor.

Para verificar o comportamento do valor da voltagem do sinal da onda eletromagnética emitida pela SSTC com a distância, foi utilizada a tabela 4.3. Os alunos foram orientados a seguir os procedimentos indicados na tabela 4.3 (número de medidas, distância e voltagem V). As medições do valor da voltagem do sinal da onda eletromagnética foram

feitas variando a distância entre a bobina e o medidor, segundo o esquema da figura 4.5a. Os valores de  $V$  diminuía com o aumento da distância  $d$ .

**Tabela 4.3** – Tabela de dados. Fonte: o autor.

Número de medidas	distância $d$	$V$

No momento das medições, coleta e análise de dados das ondas eletromagnéticas, emitidas pela bobina de Tesla, surgiram alguns dos aspectos campo-dependentes que nortearam a sequência de ensino investigativa (SEI), tais como: organização de informações, levantamento e teste de hipótese, explicação e raciocínio lógico e proporcional. Esta constatação foi avaliada mediante a aplicação do pós-teste, em função da comparação com os dados do pré-teste.

### 4.3 Pré-teste

Alguns critérios foram levados em consideração na elaboração dos questionários que, segundo Nogueira (2002), são relevantes:

- Apresentar-se pequeno e de fácil preenchimento;
- Apresentar questões que os respondentes desejem e tenham condições de responder;
- Ajustar o nível das perguntas e da linguagem utilizada ao dos respondentes;
- Evitar questões longas;
- Ao formular uma questão, colocar todas as alternativas possíveis;
- Limitar cada questão a uma única resposta.

Lembrando que, de acordo com Moreira (1979), os subsunçores para o estudo do eletromagnetismo são: força e campo. Os questionários tentaram verificar a presença do subsunçor campo, pois a onda eletromagnética é composta pelos campos elétrico e magnético.

No primeiro momento o professor, junto com o pesquisador, organizou a sala para aplicação do pré-teste, com o objetivo de verificar o que os discentes sabiam sobre ondas eletromagnéticas. O questionário tinha um total de 12 questões objetivas e pode ser visto nos apêndices - Pré-teste. No segundo momento, foi apresentado o conteúdo de ondas eletromagnéticas e orientações para a parte experimental.

As questões do pré-teste conduziam o discente a utilizarem algumas das características campo-dependentes da SEI (tabela 4.4), cuja identificação foi baseada nas informações da tabela 4.5.

**Tabela 4.4** – Questões e as características campo-dependentes. Fonte: O autor.

<b>Pré-teste</b>	
<b>Questão</b>	<b>Identificação das características campo-dependentes</b>
1	Listar os prováveis campos que podem formar a onda eletromagnética (seriação). Levantar hipóteses da composição de uma onda eletromagnética.
2	Listar os dados a serem trabalhados: campo elétrico, campo magnético, voltagem e distância (seriação). Buscar similaridade em algum arranjo de informações presente em sua estrutura cognitiva (classificação e organização de informações). Suposições sobre a determinação do campo elétrico (levantamento de hipóteses). Verificar a variação da intensidade do campo magnético, em função da interação com outras grandezas (raciocínio lógico e proporcional).
3	Levantar hipóteses do que pode ser uma bobina de Tesla (levantamento de hipótese).
4	Relacionar as intensidades dos campos com a distância (raciocínio lógico e proporcional).
5	Analisar a dependência entre o campo elétrico e distância (raciocínio lógico e proporcional).
6	Analisar a dependência entre o campo magnético e distância (raciocínio lógico e proporcional).
7	Levantar hipóteses sobre os fenômenos que podem ser relacionados à intensidade da lâmpada (levantamento de hipótese).
8	Supor o que é uma onda e buscar similaridade em algum arranjo de informação ou conhecimento prévio (classificação e organização de informações, levantamento de hipóteses).
9	Supor como pode ser a classificação de uma onda devido a sua natureza (classificação e organização de informações).
10	Supor como pode ser a classificação de uma onda devido a seu tipo (classificação e organização de informações).
11	Classificar e levantar hipóteses sobre o meio em que a velocidade das radiações eletromagnéticas é mais elevada (classificação e organização de informações, levantamento de hipóteses).
12	Classificar e levantar hipóteses sobre o valor da velocidade das radiações eletromagnéticas no vácuo (classificação e organização de informações, levantamento de hipóteses).

Observando os dados da tabela 4.4, nota-se que foram explorados quatro dos dez aspectos campo-dependentes da SEI. A tabela 4.5 relaciona as questões do pré-teste com os quatro aspectos campo-dependentes utilizados. É possível notar que a questão 2 é a mais completa de todas, pois se adequava em quatro aspectos campo-dependentes, seguida pelas questões 1, 8, 11 e 12 que se adequavam em dois aspectos.

**Tabela 4.5** – Aspectos campo-dependentes presentes nas questões. Fonte: O autor.

Aspectos campo-dependentes da SEI	Seriação	Classificação e organização de informações	Levantamento e teste de hipóteses	Raciocínio lógico e proporcional
Questões do pré-teste	1 e 2	2, 8, 9, 10, 11 e 12	1, 2, 3, 7, 8, 11 e 12	2, 4, 5 e 6

#### 4.4 Pós-teste

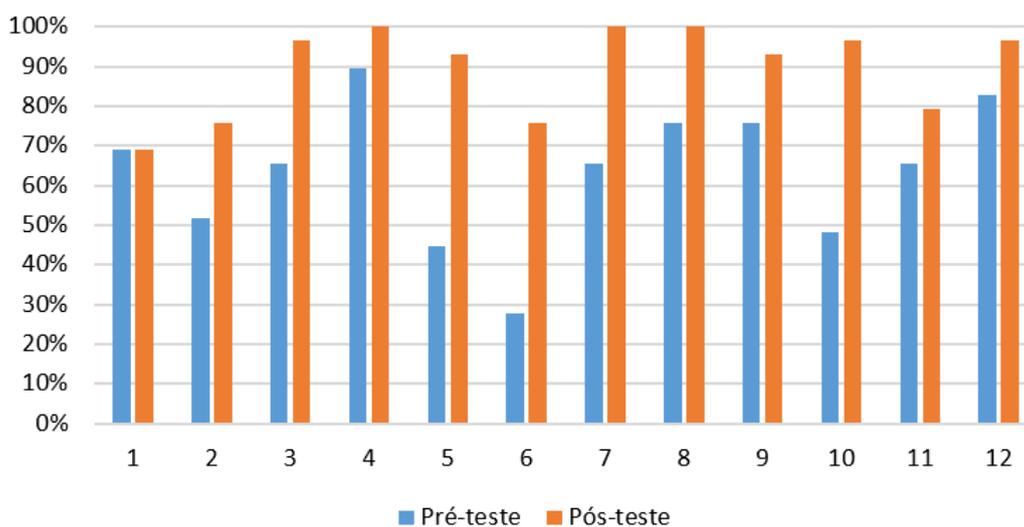
Após a apresentação do conteúdo e medições, o discente deveria perceber que, à medida que o medidor de campo se afasta da bobina de Tesla, o valor da voltagem registrada pelo voltímetro diminui, onde  $r$  é distância do centro da bobina de Tesla à antena do medidor de campo. Da mesma forma é esperado que, com o distanciamento da lâmpada de Neon, ocorra a redução do brilho da lâmpada.

O pré-teste e o pós-teste tinham as mesmas questões. Houve apenas uma alteração na ordem: 1  $\rightarrow$  9, 2  $\rightarrow$  8, 3  $\rightarrow$  12, 4  $\rightarrow$  11 (número da questão no pré-teste  $\rightarrow$  número da questão no pós-teste).

## 5 Resultados e discussões

Conforme foi dito na Metodologia, o trabalho foi aplicado em três aulas de 50 minutos e dividido em quatro etapas: pré-teste, exposição do conteúdo, parte experimental e pós-teste. Na primeira aula os discentes foram submetidos a um questionário prévio, pré-teste, com o intuito de verificar a presença do subsunçor campo.

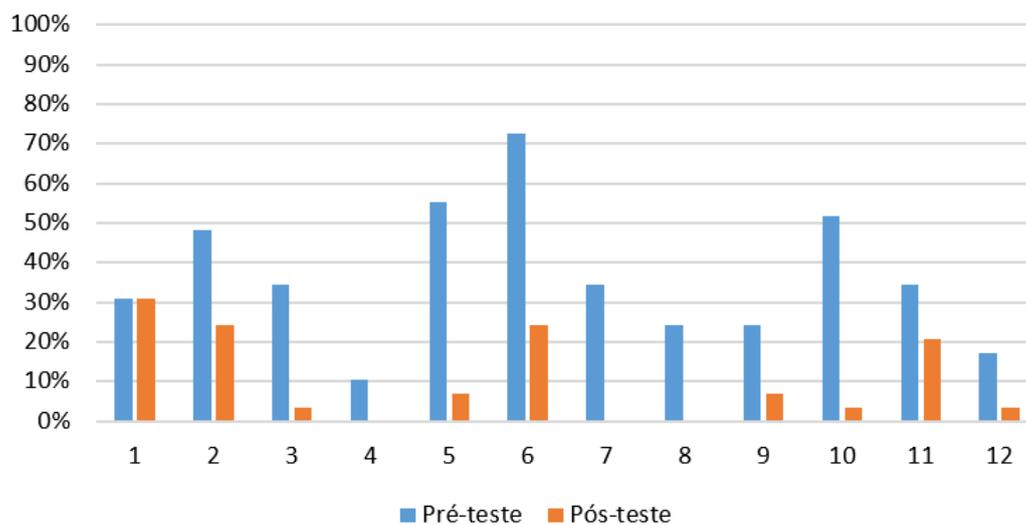
As figuras 5.1 e 5.2 apresentam os acertos e erros obtidos, respectivamente, pelos discentes do 2º ano, no pré-teste e pós-teste, enquanto que a tabela 5.1 quantifica, percentualmente, esses resultados, questão por questão. Os resultados mostram que apenas as questões 2, 5, 6 e 10 tiveram rendimento inferior a 60 % no pré-teste. Na turma do 2º ano do ensino médio, os discentes não haviam estudado o conteúdo de ondas eletromagnéticas e nem mesmo eletricidade. Isso justifica o fato de terem rendimento baixo nas quatro questões citadas anteriormente, dado que não sabiam o significado das grandezas "campo elétrico" e "campo magnético" e nem tinham ideia do que era um indutor (bobina), apontando indícios de ausência do subsunçor "campo". Embora tivessem estudado ondas mecânicas, incluindo ondas longitudinais e transversais, os discentes não se lembraram desses conceitos.



**Figura 5.1** – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos acertos do 2º ano.  
Fonte: O autor.

A figura 5.2 mostra a diminuição dos erros em todas as questões, exceto na questão 1. Esse gráfico ajuda a reforçar a identificação dos indícios de aprendizagem significativa,

devido à diminuição dos erros na maioria das questões, ao comparar o pré-teste com o pós-teste.



**Figura 5.2** – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos erros do 2º ano. Fonte: O autor.

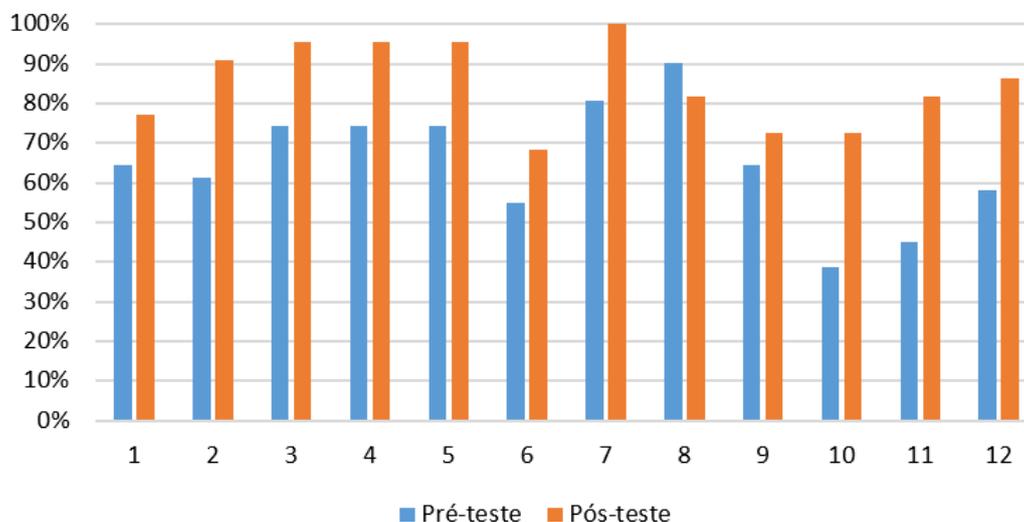
Na tabela 5.1, verifica-se que todas as respostas das questões do pós-teste tiveram rendimento superior a 60%, revelando indícios de evolução no aprendizado, após comparação aos resultados gerados no pré-teste. Nove questões tiveram rendimentos próximos ou superiores a 80%, gerando resultados bastante satisfatórios.

**Tabela 5.1** – Comparação entre os dados obtidos (questão por questão) entre acertos e erros do pré-teste e pós-teste do 2º ano. Fonte: O autor.

Nº	Questão	Pré-teste		Pós-teste	
		Acertos (%)	Erros (%)	Acertos (%)	Erros (%)
1	Quais campos formam a onda eletromagnética?	69	31	69	31
2	Como podemos determinar o valor aproximado do campo magnético?	52	48	76	24
3	O que é a bobina de Tesla?	66	34	97	3
4	A intensidade dos campos, elétrico e magnético, depende da distância entre emissor (bobina de Tesla) e o receptor (podendo ser um medidor)?	90	10	100	0
5	O que acontece com a intensidade do campo elétrico ao se afastar da bobina de Tesla?	45	55	93	7
6	O que acontece com a intensidade do campo magnético ao se afastar da bobina de Tesla?	28	72	76	24
7	Ao aproximar uma lâmpada da bobina de Tesla, o que acontece?	66	34	100	0
8	O que é uma onda?	76	24	100	0
9	Como são classificadas as ondas devido a sua natureza?	76	24	93	7
10	Quanto ao tipo, como as ondas podem ser classificadas?	48	52	97	3
11	Qual é o meio onde as radiações (ondas eletromagnéticas) possuem maior velocidade?	66	34	79	21
12	Qual é o valor da velocidade da luz no vácuo?	83	17	97	3

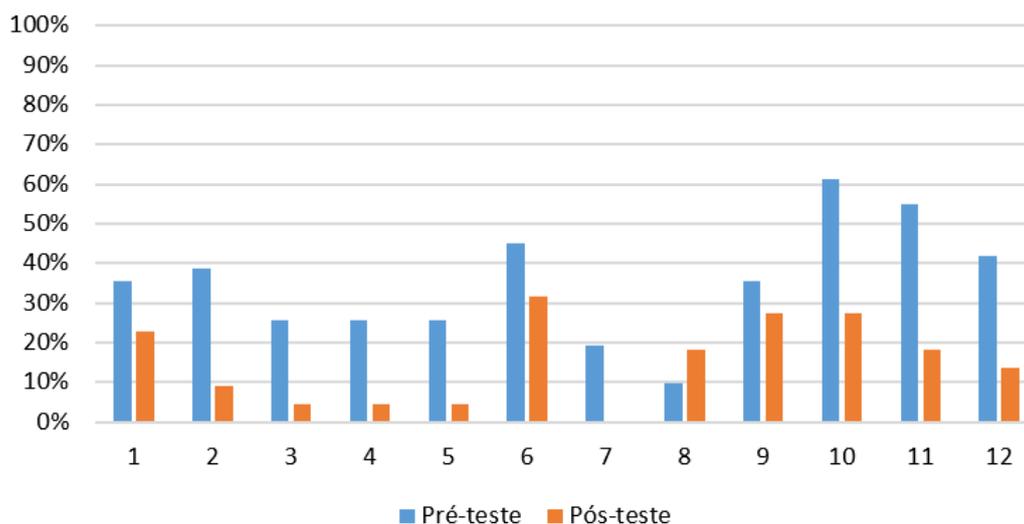
As figuras 5.3 e 5.4 mostram os acertos e erros obtidos, nessa ordem, pelos alunos da 3º ano, no pré e pós teste, ao mesmo tempo que a tabela 5.2 compara esses dados, de cada questão, de forma percentual. Segundo a figura 5.3, as questões 6, 10, 11 e 12 foram as que tiveram rendimento abaixo de 60 % no pré teste. Os alunos do 3º ano haviam estudado eletricidade e iniciando o estudo de magnetismo, uma vantagem em relação aos discentes do 2º ano. Isso contribuiu para que não conseguissem relacionar a variação do campo magnético com o afastamento da bobina de Tesla, pois tinham apenas conhecimentos básicos de magnetismo (indícios de ausência do subunçor campo). Também não conseguiram se lembrar de conteúdos vistos no 2º ano, como ondas mecânicas

e óptica geométrica (índice de refração e velocidade da luz), fundamentando os baixos rendimentos das questões 10, 11 e 12. Houve uma semelhança de rendimentos inferiores a 60% nas questões 6 e 10 com os discentes do 2º ano.



**Figura 5.3** – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos acertos do 3º ano. Fonte: O autor.

A figura 5.4 mostra uma melhoria no desempenho dos discentes em todas as questões, ao ser verificada uma diminuição dos erros no pós-teste, quando conferido com a figura 5.3. Este gráfico reforça que utilização da bobina de Tesla do estado sólido contribuiu para que houvesse indícios de aprendizagem significativa.



**Figura 5.4** – Gráfico comparativo entre o pré-teste e o pós-teste dos erros do 3º ano. Fonte: O autor.

A tabela 5.2 indica que os resultados dos pós-testes foram análogos ao dos discentes

do 2º ano (tabela 5.1) e mostraram uma evolução no desempenho das questões, que foram o aumento no número dos acertos e diminuição no número dos erros, em relação aos pré-testes. Todas as questões dos pós-testes tiveram acertos superiores a 60%, sendo que somente quatro das doze questões tiveram rendimento abaixo de 80%. De forma geral, as duas turmas apresentaram rendimentos semelhantes, assinalando que a metodologia empregada foi útil ao ensino de ondas eletromagnéticas.

**Tabela 5.2** – Comparação dos resultados obtidos, questão por questão, dos acertos e erros do pré-teste e pós-teste do 3º ano.. Fonte: O autor.

Nº	Questões	Pré-teste		Pós-teste	
		Acertos (%)	Erros (%)	Acertos (%)	Erros (%)
1	Quais campos formam a onda eletromagnética?	65	35	77	23
2	Como podemos determinar o valor aproximado do campo magnético?	61	39	91	9
3	O que é a bobina de Tesla?	74	26	95	5
4	A intensidade dos campos, elétrico e magnético, depende da distância entre emissor (bobina de Tesla) e o receptor (podendo ser um medidor)?	74	26	95	5
5	O que acontece com a intensidade do campo elétrico ao se afastar da bobina de Tesla?	74	26	95	5
6	O que acontece com a intensidade do campo magnético ao se afastar da bobina de Tesla?	55	45	68	32
7	Ao aproximar uma lâmpada da bobina de Tesla, o que acontece?	81	19	100	0
8	O que é uma onda?	90	10	82	18
9	Como são classificadas as ondas devido a sua natureza?	65	35	73	27
10	Quanto ao tipo, como as ondas podem ser classificadas?	39	61	73	27
11	Qual é o meio onde as radiações (ondas eletromagnéticas) possuem maior velocidade?	45	55	82	18
12	Qual é o valor da velocidade da luz no vácuo?	58	42	86	14

Ao término do pré-teste, foi exposto o conteúdo sobre ondas eletromagnéticas (figura 5.5). Foram abordados os conceitos de ondas, classificação devido à natureza das ondas, classificação devido ao tipo de oscilação, velocidades de uma onda mecânica em

meios com diferentes densidades, velocidade de uma onda eletromagnética em meio com diferentes densidades e os elementos que compõem uma onda: frequência, comprimento de onda e amplitude. Ao final da exposição foi mostrada uma animação sobre ondas eletromagnéticas feita com o auxílio do programa Winplot (LEHNEN, 2017). Ver link <<https://www.youtube.com/watch?v=yNfGy0FvagQ>>.



(a) Alunos da turma do 2º ano do ensino médio.



(b) Alunos da turma do 3º ano do ensino médio.

**Figura 5.5** – Exposição do conteúdo de ondas eletromagnéticas. Fonte: o autor.

Depois dessa parte, foi realizada a parte experimental, dividida em dois momentos: montagem e medições. Os alunos fizeram a montagem da SSTC na protoboard (figuras 5.6a e 5.6b) e, em seguida, as medições na intensidade à distância (figuras 5.6c e 5.7). Por último, verificaram a variação da intensidade da lâmpada, ao afastá-la da bobina (figura 5.6d). Este procedimento foi adotado tanto com os alunos do 2º ano quanto os alunos do 3º ano.



(c) Medição da voltagem do sinal da onda eletromagnética em função da distância.



(d) Verificação da intensidade da lâmpada



(a) Montagem da SSTC do 2º ano



(b) Montagem da SSTC do 2º ano

**Figura 5.6** – Atividades experimentais. Fonte: O autor.

Nas tabelas da figura 5.7 estão presentes os dados coletados pelos discentes.

Número de medidas	Distância entre medidor de campo e bobina	Voltagem "V"
1	1cm	2,05
2	2cm	1,70
3	3cm	1,43
4	4cm	0,61

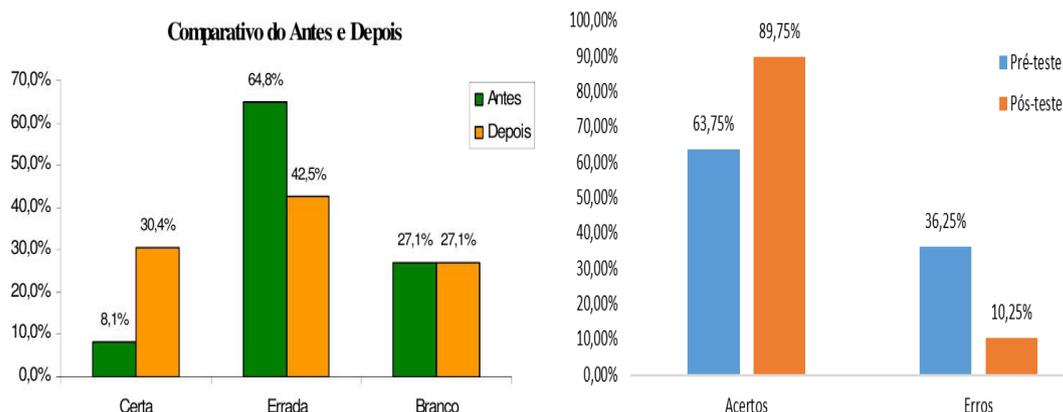
*Tabela 1: Coleta de dados.*

Número de medidas	Distância entre medidor de campo e bobina	Voltagem "V"
1	1cm	2,05
2	2cm	1,70
3	3cm	1,43
4	4cm	0,61

*Tabela 1: Coleta de dados.*

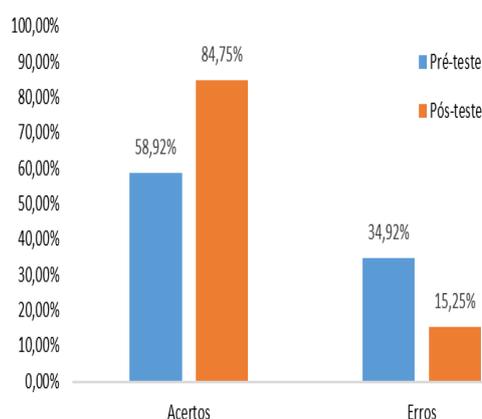
**Figura 5.7** – Tabela de coleta de dados. Fonte: O autor.

Comparando os resultados alcançados nesse trabalho, com artigo de Rocha e Miragem (2010), também foi possível verificar o aumento no percentual dos acertos e diminuição no percentual de erros, ao utilizar uma proposta de ensino. No artigo de Rocha e Miragem (2010), foi utilizado o software Winplot para verificar melhorias na aprendizagem no conteúdo de função quadrática. Os discentes responderam aos questionários de pré-teste e pós-teste contendo sete questões. Os resultados da figura 5.8b revelam uma melhoria nos percentuais de respostas do pós-teste comparados ao pré-teste.



(b) Gráfico comparativo dos resultados do pré-teste e pós-teste (ROCHA; MIRAGEM, 2010).

(c) Gráfico comparativo dos resultados dos discentes do 2º ano. Fonte: O autor.



(a) Gráfico comparativo dos resultados dos discentes do 3º ano. Fonte: O autor.

**Figura 5.8** – Gráficos comparativos entre pré e pós-teste.

Rocha e Miragem (2010) desenvolveram um trabalho sobre ensino de funções quadráticas, utilizando o software Winplot para verificar aprendizagem. Foram elaboradas sete questões para o pré-teste e sete para o pós-teste. A média percentual de acertos no pós-teste foi maior, comparada com o pré-teste.

As questões elaboradas do pré-teste e pós-teste trabalharam com quatro aspectos campo-dependentes da Sequência de Ensino Investigativo, descritas na tabela 4.5. Nas duas turmas, houve rendimento inferior a 60%, nos acerto dos pré-testes (figuras 5.1 e 5.3) nas questões 6 e 10, sendo que estas se encaixam no Raciocínio Lógico e Proporcional e Classificação e Organização de Informações, respectivamente. Após a aplicação dos pós-testes nas duas turmas, aconteceu uma mudança positiva nos rendimentos das citadas questões, qual seja, acima de 67% nos acertos. A metodologia utilizada privilegiava o trabalho em equipe e favorecia a argumentação entre os alunos e era orientada pelo

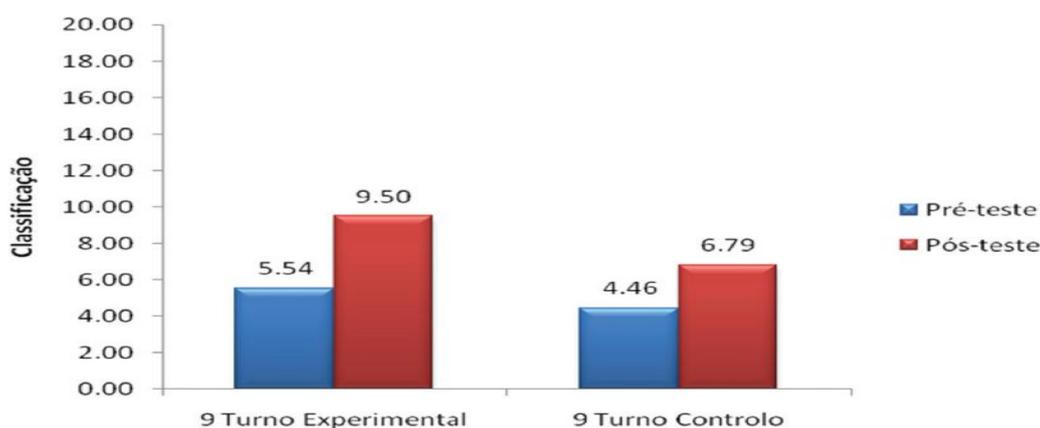
professor/pesquisador.

Ao final, com a aplicação dos pós-testes, é seguro afirmar que foram verificados indícios de aprendizagem significativa nos participantes, devido à melhoria no percentual de respostas, isto é, aumento no percentual de acertos e diminuição no percentual de erros. Os resultados no pós-teste permitiram observar que houve uma sinalização na melhoria da compreensão dos fenômenos, vistos na parte experimental, com o auxílio da SSTC.

A bobina construída nesse trabalho permite a realização de outros experimentos como: produção de ondas eletromagnéticas e blindagem eletromagnética, citados no artigo de Arruda (2004). A atividade experimental sobre bobina de Tesla, feita nesse trabalho, contribuiu de modo positivo ao ensino de ondas eletromagnéticas a alunos do 2º e 3º anos do ensino médio. Segundo Alves e Stachak (2005), isto mostra que as atividades experimentais são grandes aliadas do ensino-aprendizagem.

O ato de experimentar no ensino de Física é de fundamental importância no processo ensino-aprendizagem e tem sido enfatizado por muitos autores. A esta ênfase por um ensino experimental adicionam-se importantes contribuições da teoria da aprendizagem em busca da contribuição do conhecimento (ALVES; STACHAK, 2005).

A atividade experimental é uma ferramenta que potencializa a interação entre teoria e prática, pois Higa e Oliveira (2012) afirmam que "As atividades experimentais [...] podem ser empregadas didaticamente para favorecer a articulação entre teoria e prática e introduzir conceitos estatísticos em todos os níveis de ensino". Isso pode ser verificado pelo trabalho de Oliveira e Paixão (2017), os quais compararam os resultados de pré-teste e pós-teste entre turmas, de ensino médio em Portugal, que realizaram atividades experimentais e que não realizaram tais atividades. É possível verificar, na Figura 5.9, um aumento no valor da classificação (nota) nos resultados do pré e pós-teste.



**Figura 5.9** – Resultados do pré e pós-teste aplicados a 104 alunos do turno experimental e 111 alunos do turno controle (controle). (OLIVEIRA; PAIXÃO, 2017).

No decorrer dessa pesquisa, os discentes mantiveram-se empolgados por participar da experimentação. Ao montarem a bobina de Tesla na protoboard, procuraram prestar máxima atenção no roteiro do apêndice A com as instruções. Essas situações levaram a se motivarem a estudar o conteúdo abordado.

Junior e Silva (2017) afirmaram que os laboratórios são ferramentas importantes, mas as atividades laboratoriais não devem utilizar somente meios mecânicos para ensinar a teoria na prática. Também disseram que o aluno deve ser incentivado a compreender o conceito físico envolvido na experiência, despertando o pensamento científico que muitas vezes não é devidamente trabalhado nas escolas.

Tudo o que foi dito no parágrafo anterior corrobora o que foi evidenciado neste trabalho, uma vez que as atividades privilegiavam procedimentos empregados por pesquisadores, executando medições seguindo padrões científicos (veja a tabela 4.3). Além disso, a realização da parte experimental (montagem e medições) pode ser exercida na sala de aula, tornando opcional o uso de laboratórios. As questões propostas, pré-teste e pós-teste, buscavam mensurar não somente a aprendizagem mecânica, mas também aprendizagem significativa de Ausubel (MOREIRA, 2015), já que valorizava o conhecimento prévio e interagia com novas ideias, possibilitando o entendimento de conceitos, mesmo que abstratos.

# 6 Produto educacional - Proposta de sequência didática

## Introdução

Este material de apoio contém o produto didático desenvolvido com o objetivo de auxiliar profissionais da educação, motivar os discentes pelo estudo do eletromagnetismo e apresentar noções básicas de eletrônica em sala de aula, por meio da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel no ensino de Física. Este autor considera a existência de aprendizagem significativa quando o novo conceito adquirido é incorporado e passa a integrar à estrutura cognitiva do aprendiz.

Nas próximas páginas, serão detalhados como o produto educacional foi aplicado, contendo: o pré-teste, conteúdos da aula expositiva, montagem da bobina de Tesla de Estado Sólido (SSTC), medições dos campos elétricos e magnéticos produzidos pela SSTC e pós-teste. As teorias de aprendizagem utilizadas neste material são a aprendizagem significativa de Ausubel e a Sequência de Ensino Investigativo.

Na sequência didática, foram utilizadas três aulas de 50 minutos, divididas em quatro etapas, segundo a tabela 6.1.

**Tabela 6.1** – Tempo de duração para cada etapa.

<b>Etapa</b>	<b>Duração</b>
1. Pré-teste	15 minutos
2. Exposição do conteúdo	20 minutos
3. Parte experimental	100 minutos
4. Pós-teste	15 minutos

Será exposta a revisão teórica que dará suporte aos conceitos envolvidos na propagação de onda e sua composição.

## 6.1 Revisão Teórica

### 6.1.1 Fenômenos ondulatórios

Onda é a propagação de uma perturbação, sem que haja transporte de matéria. Exemplo: Gota de chuva, ao cair sobre a superfície da água, ou a onda gerada por uma embarcação.

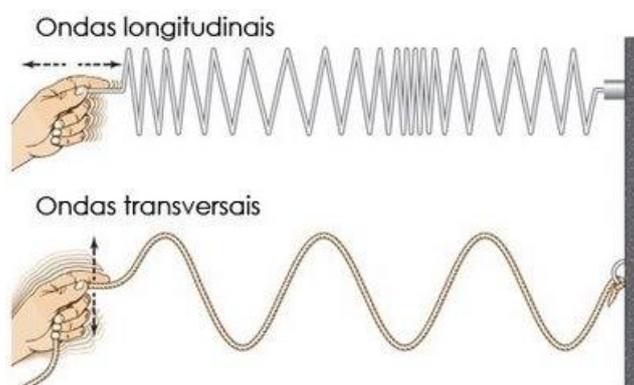
### 6.1.2 Propagação de um pulso

À medida que o pulso se propaga, a corda se deforma e depois volta à posição inicial. Trata-se de uma deformação elástica, à qual está associada uma energia potencial. A propagação do pulso equivale, portanto, à propagação da energia potencial elástica fornecida à corda no pulso inicial.

### 6.1.3 Classificação das ondas

- Quanto ao tipo: Transversal e longitudinal.

A oscilação que gera o pulso, produzida na extremidade da mola, é perpendicular (ou transversal) à direção em que ela se propaga: trata-se de um pulso transversal. Se o movimento for feito na mesma direção em que a mola está estendida, temos um pulso longitudinal. Uma sequência de pulsos transversais ou longitudinais dá origem a ondas transversais ou ondas longitudinais. Observe a figura 6.1:



**Figura 6.1** – Tipos de ondas. Fonte: Explicatorium.

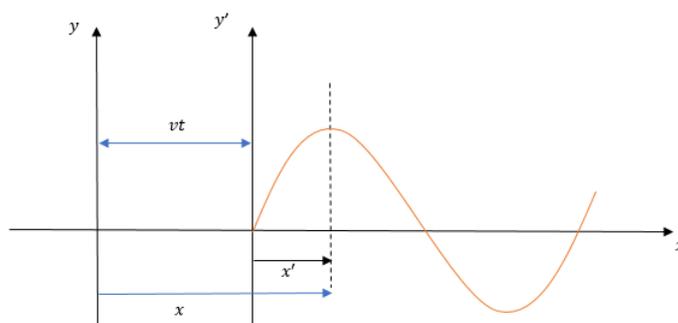
- Quanto à natureza: Mecânica e Eletromagnética.

Uma onda mecânica é uma perturbação que se desloca através de um material chamado meio, no qual a onda se propaga. À medida que a onda se propaga, através do meio, as partículas que a constituem sofrem deslocamentos de diversas espécies, dependendo da natureza da onda.

Ondas luminosas fazem parte do amplo espectro das ondas eletromagnéticas, que se propagam sem necessitar de um meio de apoio para isso (GASPAR, 2013).

### 6.1.4 Velocidade de propagação de ondas

A coordenada  $y$  indica o deslocamento transversal de onda senoidal. Essa coordenada depende tanto da posição  $x$  quanto da posição  $t$ . Pode-se indicar esta dependência das duas variáveis como  $y(x,t)$  (RESNICK; HALLIDAY, 1986), figura 6.2.



**Figura 6.2** – Em um instante  $t$  posterior, a onda senoidal se moveu de uma distância  $vt$  no sentido positivo de  $x$ . Fonte: O autor.

Pode-se representar a forma da onda no instante  $t$  qualquer como

$$y(x, t) = f(x - vt) = \text{sen}(x - vt) \quad (6.1)$$

As ondas abordadas são ondas do tipo senoidais e, para qualquer fase, deve-se obter:

$$x - vt = \text{cte}. \quad (6.2)$$

Pode se verificar que a equação 6.2 pode ser igualada a zero e ser dividida por  $t$ , tornando possível encontrar a velocidade da onda na direção  $x$  (HALLIDAY; RESNICK;

KRANE, 2008).

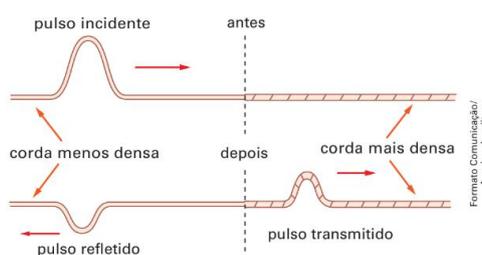
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{6.3}$$

Adotando  $\Delta x = \lambda$  e  $f = \frac{1}{\Delta t}$ , é possível encontrar a velocidade de propagação da onda.

$$v = c = \lambda \cdot f \tag{6.4}$$

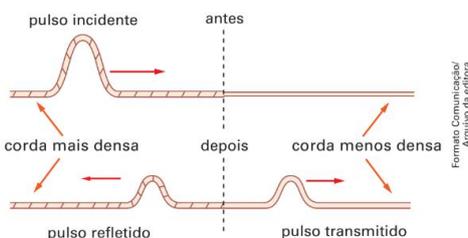
### 6.1.5 Mudança de meio de propagação

Quando uma onda passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, “parte da onda” passa para o meio mais refringente - é o pulso refratado ou transmitido-, enquanto outra “parte da onda”, invertida, se reflete (figura 6.3).



**Figura 6.3** – Passagem do meio menos (-) refringente para o meio mais (+) refringente. Fonte: (GASPAR, 2013).

Quando uma onda passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, “parte da onda” passa para a corda menos densa – é o pulso refratado ou transmitido –, enquanto outra “parte da onda” se reflete, sem inversão de fase (figura 6.4).



**Figura 6.4** – Passagem do meio mais (+) refringente para o meio menos (-) refringente. Fonte: (GASPAR, 2013)

A característica da refração para uma onda é a mudança de velocidade ao mudar de meio. Em ambos os casos, a energia da onda se distribui: parte é refratada ou transmitida para o outro meio e parte é refletida para o meio onde se propaga o pulso incidente, com ou sem inversão de fase. Essa é uma característica da refração nos movimentos ondulatórios (GASPAR, 2013).

Quando um campo elétrico ou um campo magnético está variando com o tempo, ocorre uma indução do outro campo na região do espaço adjacente ao campo que está variando. Somos levados a considerar (como Maxwell também considerou) a possibilidade da ocorrência de uma perturbação eletromagnética constituída por campos, elétricos e magnéticos, variando com o tempo e que pode se propagar de uma região do espaço para outra, mesmo quando não existe nenhuma matéria entre essas regiões. Tal perturbação, caso exista, deve apresentar as características de uma onda, e chamá-la de onda eletromagnética é bastante apropriado (SEARS; ZEMANSKY, 2008).

Desse modo, as ondas eletromagnéticas podem ser consideradas ondas transversais, em que os vetores oscilantes  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  assemelham-se aos vetores velocidade das partículas oscilantes de uma corda. Também serão utilizadas as definições de frequência  $f$ ; período  $T$ ; comprimento de onda  $\lambda$ ; velocidade ( $v$ , ou  $c$  para o vácuo). E mais, as equações de Maxwell permitem ainda obter a relação entre o módulo do vetor campo elétrico  $\vec{E}$  e o módulo do vetor campo magnético  $\vec{B}$ , em cada ponto do espaço vazio (GASPAR, 2013):

$$c = \frac{E}{B} \quad (6.5)$$

## 6.2 Apresentação - Ondas eletromagnéticas

A figura 6.5 mostra os quinze slides utilizados na exposição do conteúdo (tabela 4.1). A sequência começa pelo slide (a) e termina no slide (o). Os slides explicavam o conceito, classificação e tipos de ondas; campos e ondas eletromagnéticas, velocidade das ondas eletromagnéticas; objetivos, montagem e medidas relativas ao experimento.

O QUE É UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA?

- É uma perturbação periódica de alguma grandeza física que se propaga em um meio.



(a) Slide 1

CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

Natureza

↓

Mecânica  
Eletromagnética

Tipo

↓

Transversal  
Longitudinal

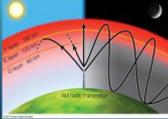
(b) Slide 2

NATUREZA DAS ONDAS

Ondas Mecânicas: precisam de um meio para se propagar.

$$V_{ar} < V_{água} < V_{sólidos}$$

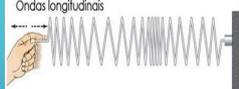

Ondas Eletromagnéticas: Não precisam de meio para se propagar.

$$V_{ar} > V_{água} > V_{sólidos}$$


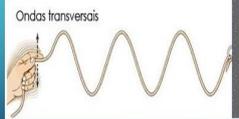
(c) Slide 3

TIPOS DE ONDAS

Ondas longitudinais



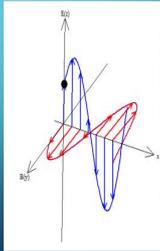
Ondas transversais



(d) Slide 4

CAMPOS E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

- Campo elétrico (Azul) E(z)
- Campo magnético (Vermelho) B(y)



(e) Slide 5

CAMPOS E ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

$$c = \frac{E}{B}$$

(f) Slide 6

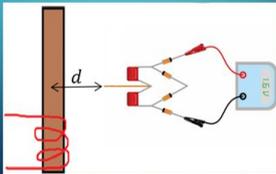
VELOCIDADE DE UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA

$$3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cong 300\,000 \text{ Km/s}$$

(g) Slide 7

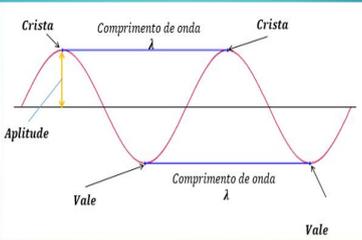
O QUE SERÁ FEITO?

- Medir o valor de  $V$  no voltímetro
- Distância ( $d$ ) entre a bobina e o medidor
- Intensidade da lâmpada ou LED



(h) Slide 8

ELEMENTOS DE ONDA



(i) Slide 9

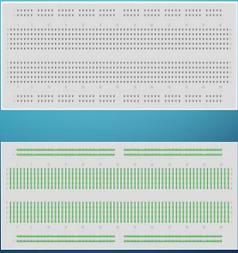
BOBINA DE TESLA

A bobina de Tesla é uma fonte emissora de ondas eletromagnéticas. E é possível transferir energia sem a necessidade de fios.



(j) Slide 10

MONTAGEM DA MINI BOBINA DE TESLA



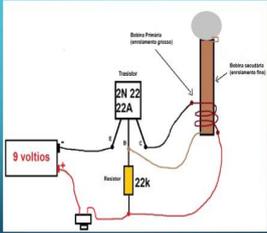
(k) Slide 11

MONTAGEM DA MINI BOBINA DE TESLA



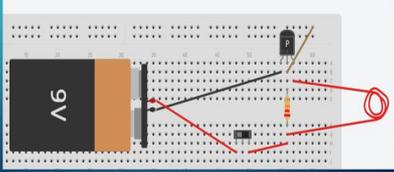
(l) Slide 12

MONTAGEM DA MINI BOBINA DE TESLA

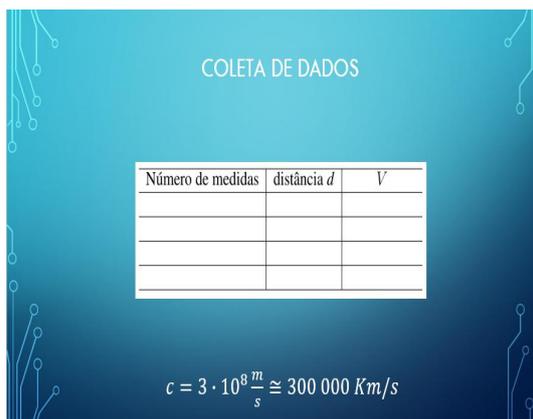


(m) Slide 13

MONTAGEM DA MINI BOBINA DE TESLA



(n) Slide 14



(o) Slide 15

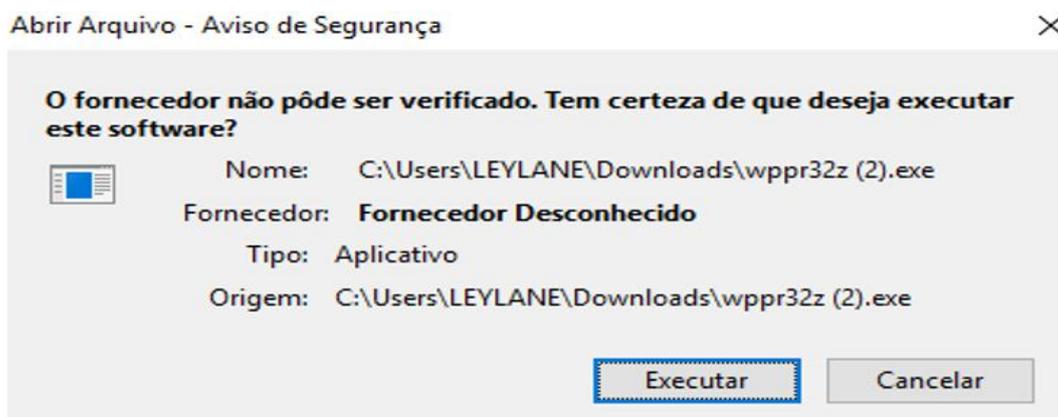
**Figura 6.5** – Quinze slides usados na exposição do conteúdo (tabela 6.1), iniciando pelo slide (a) e finalizando no slide (o). Fonte: O autor.

### 6.3 Introdução ao Winplot e animação de ondas eletromagnéticas

O programa Winplot pode ser baixado no site: <<http://math.exeter.edu/rparris/winplot.html>> ou <[http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=exe&cod=\\_winplot](http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=exe&cod=_winplot)>. Ao baixar o Winplot, temos que instalar o programa seguindo os passos:

Após baixar o programa é necessário executá-lo (figura 6.6).

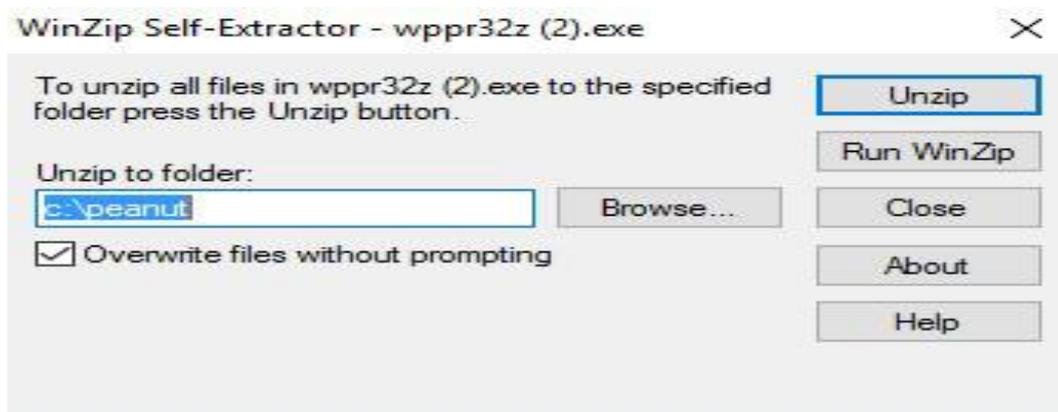
1<sup>o</sup> passo



**Figura 6.6** – Executar o programa. Fonte: O autor.

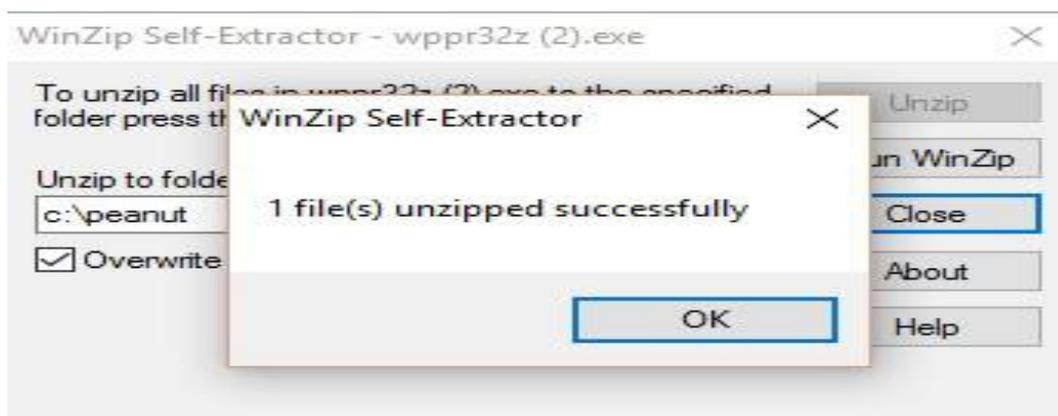
Descompactar para o diretório C ( figura 6.7 e figura 6.8).

2º passo



**Figura 6.7** – Descompactar o Winplot ao clicar em Unzip. Fonte: O autor.

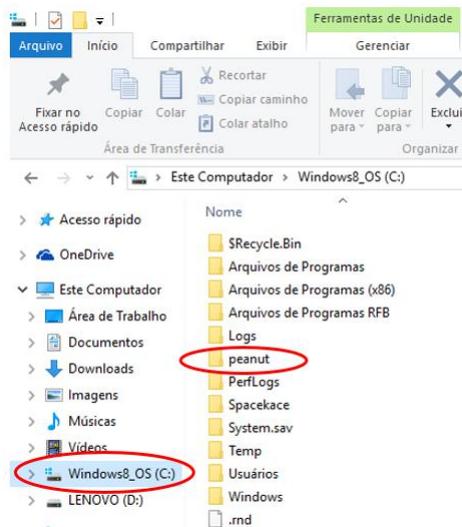
3º passo



**Figura 6.8** – Após clicar em Unzip, aparecerá outra janela com a seguinte mensagem: 1 arquivo foi descompactado com sucesso. Fonte: O autor.

É necessário acessar a pasta *peanut* criada no diretório C (figura 6.9).

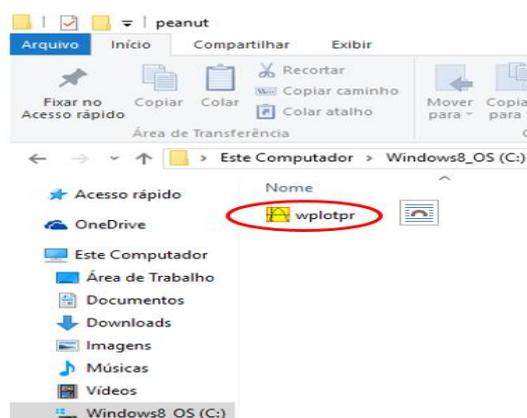
4º passo



**Figura 6.9** – Clicar em meu Computador, ir à partição (C:), pois será criada uma pasta *peanut*. Fonte: O autor.

Clicar no ícone *wplotpr* (figura 6.10), aparecendo a janela que corresponde à Área de Trabalho do Winplot (figura 6.11).

5º passo



**Figura 6.10** – Ícone do Winplot. Fonte: O autor. Fonte: O autor.

6<sup>o</sup> passo

**Figura 6.11** – Ao clicar no ícone *wplotpr*, aparecerá a janela acima. Fonte: O autor.

Para gerar um gráfico em 3-dimensões, clicar em **3-dim** dentro do menu **Janela** (figura 6.12 e figura 6.13).



**Figura 6.12** – Clicar em 3-dim. Fonte: O autor.



**Figura 6.13** – Eixos do Winplot. Fonte: O autor.

O usuário deverá clicar no menu Janela, depois 3-dim. Na próxima janela, clicar no menu Equações e escolher a opção Curva, (Figura 6.14). Na caixa de diálogo Curva devem-se escrever os valores de  $x(t) = t$ ,  $y(t) = 0$  e  $z(t) = 5 \sin(t + a)$ , conforme a Figura 6.15.

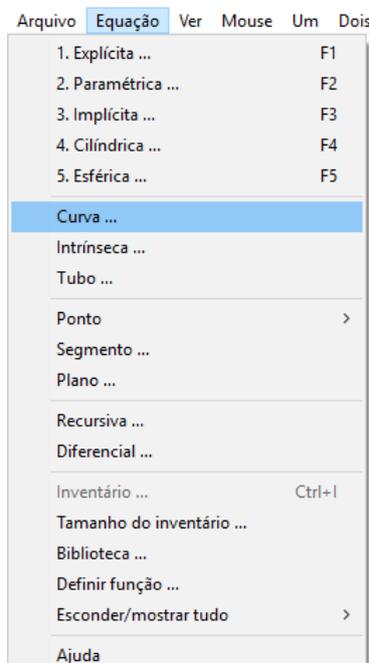


Figura 6.14 – Selecionar Equação e clicar em Curva. Fonte: O autor.

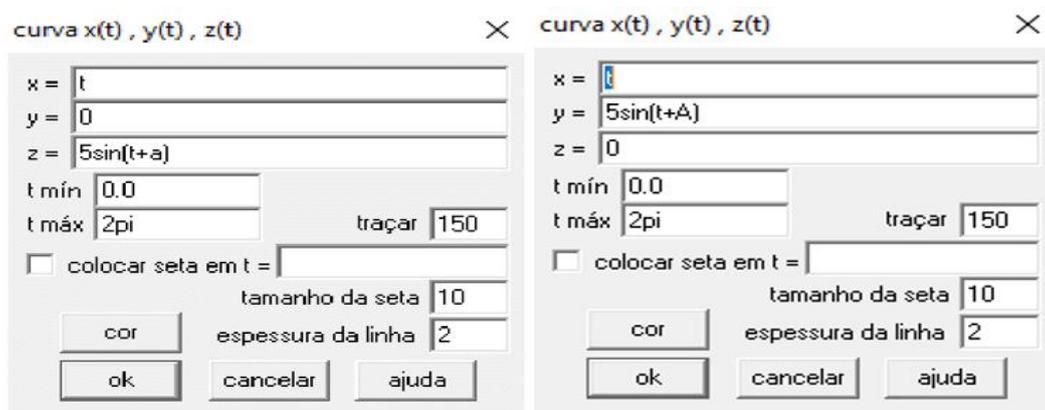
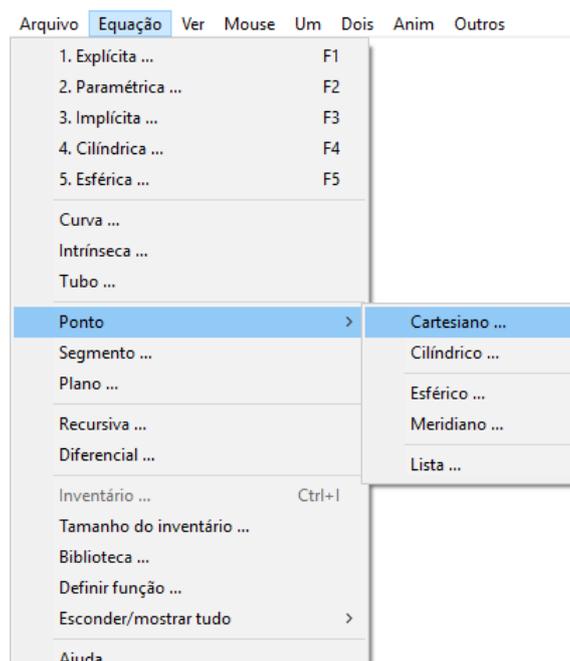
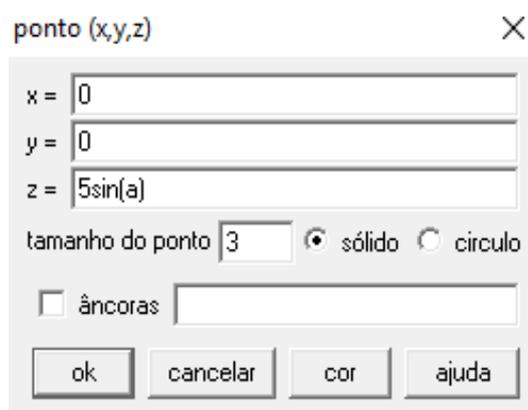


Figura 6.15 – Valores das curvas que representam o campo elétrico e magnético. Fonte: O autor.

As informações referentes às coordenadas dos pontos podem ser inseridas no menu **Equação** → **Ponto** → **Cartesiano**, conforme as figura 6.16. Preencher as caixas de diálogos com os valores  $x = 0$ ,  $y = 0$ ,  $z = 5 \sin(a)$  e tamanho do ponto = 3 (figura 6.17).

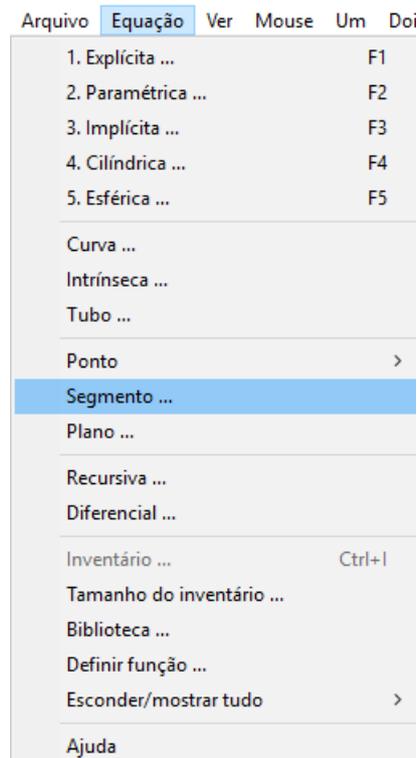


**Figura 6.16** – Escolher Ponto Cartesiano. Fonte: O autor.

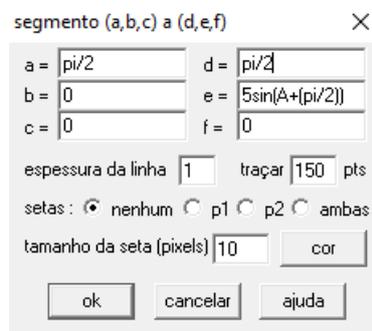


**Figura 6.17** – Partícula em movimento. Fonte: O autor.

Para a construção da animação, é necessário entrar com os comandos e equações desejadas, clicando-se em Equação → Segmento (figura 6.18). Os comandos das caixas de diálogo são preenchidos, segundo a figura 6.19, da seguinte forma: segmento ( $a = \pi/2$ ,  $b = 0$ ,  $c = 0$ ) → ( $d = \pi/2$ ,  $e = 5\sin(A + (\pi/2))$ ,  $f = 0$ ), denominado segmento 1 na tabela 6.2. Para cada segmento, é necessário abrir uma nova caixa de diálogo, selecionando novamente Equação → Segmento (figura 6.18). Todos os comandos para a construção da animação da onda eletromagnética estão na tabela 6.2.



**Figura 6.18** – Clicar em segmento. Fonte: O autor.

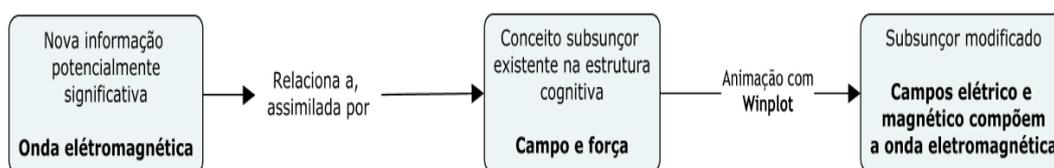


**Figura 6.19** – Caixa de diálogo para inserir os vetores de campo elétrico e magnético. Fonte: O autor.

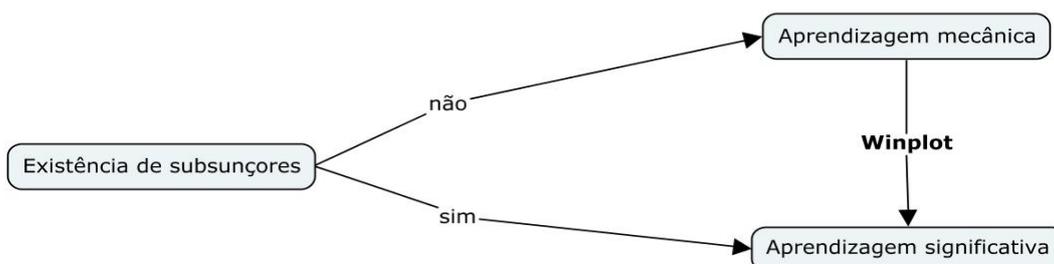
**Tabela 6.2** – Valores dos segmentos partindo de (a, b, c) chegando em (d, e, f). Fonte: O autor.

Segmento	a	b	c	d	e	f
1	$\pi/2$	0	0	$\pi/2$	$5\sin(A+(\pi/2))$	0
2	$\pi/4$	0	0	$\pi/4$	$5\sin(A+(\pi/4))$	0
3	$3\pi/4$	0	0	$3\pi/4$	$5\sin(A+(3\pi/4))$	0
4	$\pi/4$			$\pi/4$	$5\sin(A+(\pi/4))$	$5\sin(A+(\pi/4))$
5	$\pi/2$	0	0	$\pi/2$		$5\sin((\pi/2)+A)$
6	0	0	0	0	$5\sin(a)$	0
7	0	0	0	0	0	$5\sin(A)$
8	$3\pi/4$	0	0	$3\pi/4$	0	$5\sin(A+(3\pi/4))$
9	$\pi$	0	0	$\pi$	0	$5\sin(\pi+a)$
10	$5\pi/4$	0	0	$5\pi/4$	0	$5\sin(5\pi/4 +A)$
11	$5\pi/4$	0	0	$5\pi/4$	$5\sin(5\pi/4 +A)$	0
12	$\pi$	0	0	$\pi$	$5\sin(\pi+A)$	0
13	$6\pi/4$	0	0	$6\pi/4$	$5\sin(6\pi/4 +a)$	0
14	$6\pi/4$	0	0	$6\pi/4$	0	$5\sin(6\pi/4 +a)$
15	$8\pi/4$	0	0	$2\pi$	0	$5\sin(2\pi +a)$
16	$7\pi/4$	0	0	$7\pi/4$	0	$5\sin(7\pi/4 +a)$
17	$7\pi/4$	0	0	$7\pi/4$	$5\sin(7\pi/4 +a)$	0
18	$8\pi/4$	0	0	$2\pi$	$5\sin(2\pi +a)$	0

Nas figuras 6.20 e 6.21, apresentam-se esquemas de utilização do software Winplot, na modificação de subsunçores e no favorecimento da aprendizagem significativa, respectivamente:



**Figura 6.20** – Winplot utilizado para modificar subsunçores. Fonte: O autor.



**Figura 6.21** – Winplot para auxiliar na aprendizagem significativa. Fonte: O autor.

## 6.4 Montagem Experimental

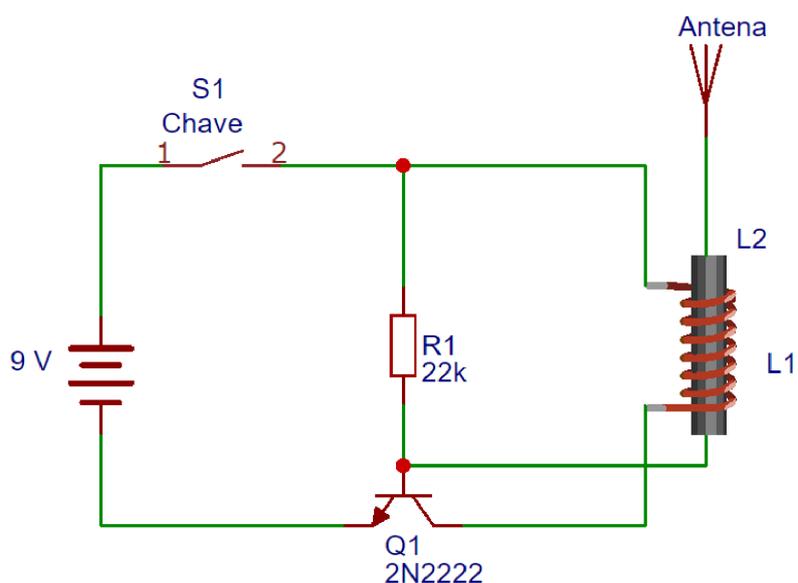
### 6.4.1 Montagem da bobina de Tesla do estado sólido (SSTC) na *proto-board*

O material utilizado para montar a mini SSTC é listado na tabela 6.3.

**Tabela 6.3** – Componentes necessários na montagem da SSTC. Fonte: O autor.

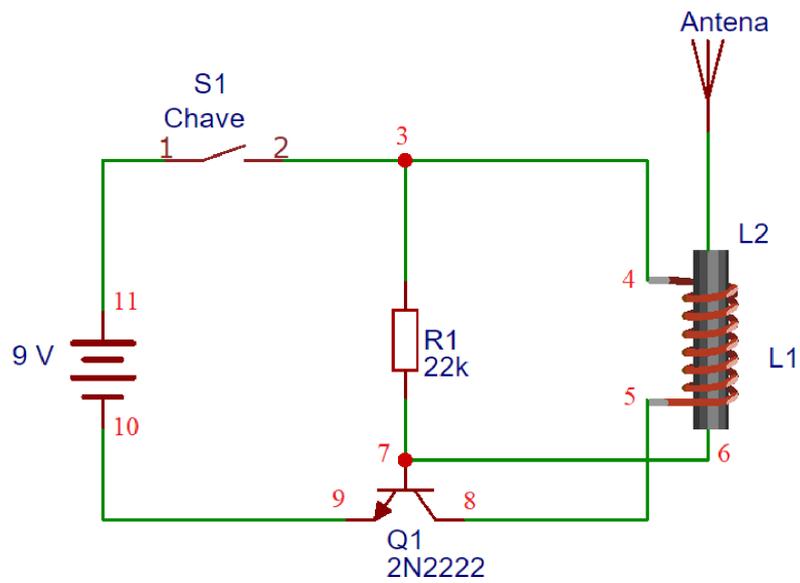
Materiais	Quantidade
Transistor 2N2222	5
Baterias	5
Chave liga/desliga	5
Resistor	5
Bobina com fio 28 A.W.G.	5
Bobina com fio 1.5 mm 2 espiras	5

O esquema elétrico da figura 6.22 representa o circuito na montagem da SSTC.



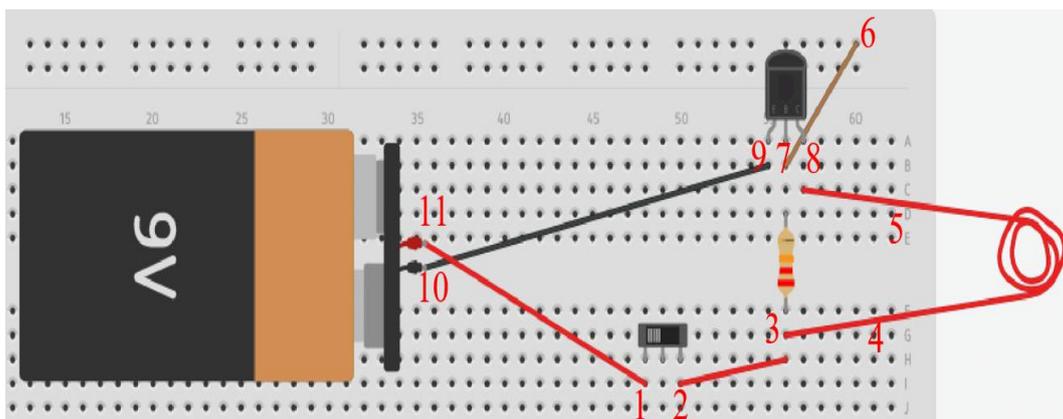
**Figura 6.22** – Esquema elétrico da SSTC. Fonte: O autor. (EASYEDA, 2017)

Os pontos são numerados para auxiliar a montagem na *proto-board* (figuras 6.22 e 6.23).



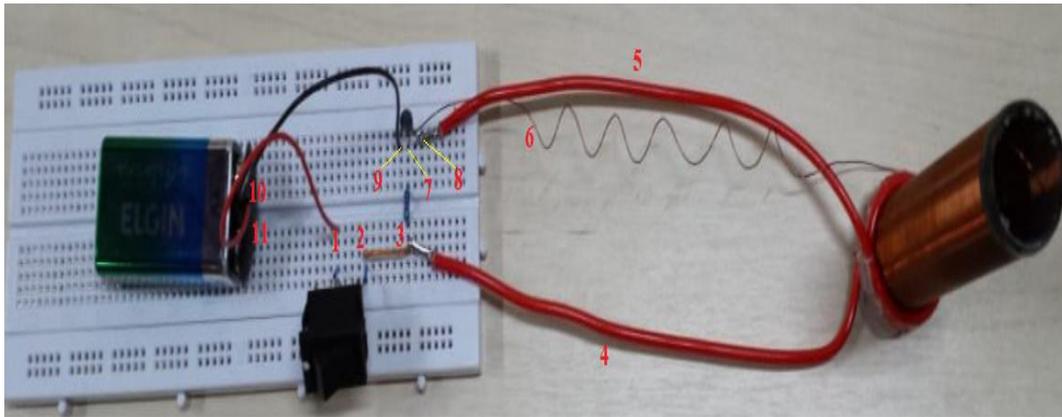
**Figura 6.23** – Circuito com identificação dos pontos. Fonte: O autor.

Montar o circuito da figura 6.23 na *protoboard* figura 6.24.



**Figura 6.24** – Montagem na *protoboard* com os componentes utilizando o editor Tinkercad <<https://www.tinkercad.com/>>. Fonte: O autor.

A figura 6.25 mostra a montagem real e o posicionamento na *protoboard*.

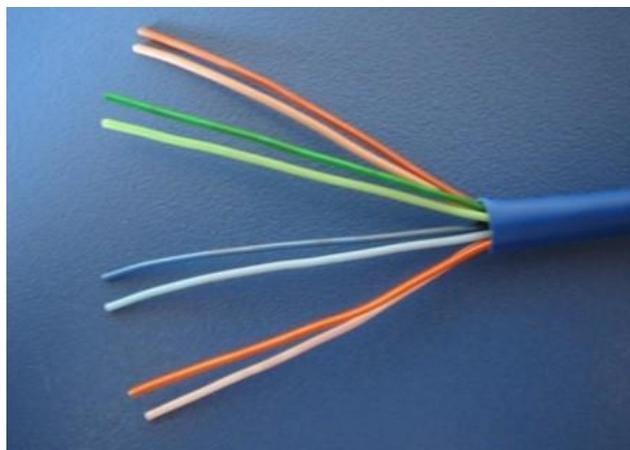


**Figura 6.25** – Montagem da bobina de Tesla na *protoboard*. Fonte: O autor.

Passos para montagem da mini SSTC:

1. Posicionar a chave, pontos 1 e 2.
2. Posicionar o resistor de R1 de  $22k\Omega$ , os pontos 3 e 7.
3. Bobina do secundário L2, ponto 6. A outra extremidade ficará livre.
4. Bobina do primário L1, terminais da bobina L1 identificados pelos pontos 4 e 5.
5. Transistor Q1 2N2222, pontos 7, 8 e 9.
6. Bateria, pontos 10 e 11.

A figura 6.26 mostra os fios de cabo de rede usados na montagem dos componentes na *protoboard*.



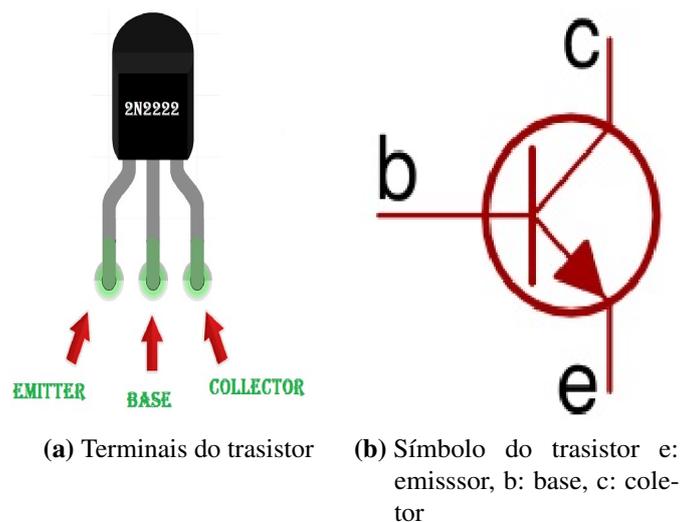
**Figura 6.26** – Fios de cabo de rede. Fonte: O autor.

Observações para a montagem:

**Chave:** Não possui polaridade.

**Resistor:** Podendo ser colocado independente da polaridade.

**Transistor:** O transistor deve obedecer à polaridade de seus terminais. Caso contrário, o mesmo pode ser danificado, inviabilizando o funcionamento do circuito. A figura 6.27a mostra o formato e símbolo do transistor utilizado.



**Figura 6.27** – Formato e símbolo do transistor 2n2222. Fonte: Introdução ao 2n2222. Fonte: O autor.

## 6.5 Roteiro experimental para medição da voltagem do sinal em função da distância e a verificação da intensidade da lâmpada de uma onda eletromagnética

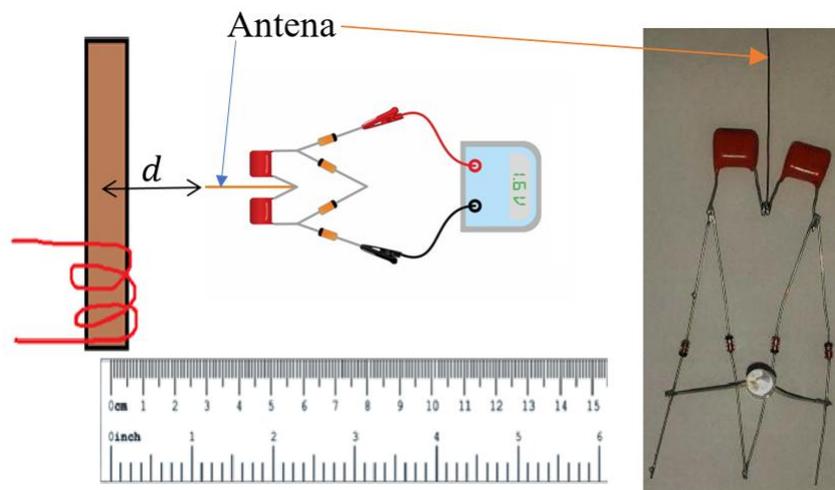
A proposta deste trabalho é medir a amplitude da voltagem da onda eletromagnética, usando um medidor de campo acoplado ao voltímetro, como indicado na figura 6.27. O voltímetro fornece o valor eficaz,  $V_{ef}$ , da amplitude do sinal. Segundo Malvino (1997), o valor eficaz do sinal é:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}, \quad (6.6)$$

onde  $V_p$  é o valor de pico.

Procedimentos:

1. Ligar a chave.
2. Medir a distância "d" entre a bobina e a antena do medidor de RF (figura 6.28).
3. Anotar na tabela 6.4 os valores de distância e voltagem fornecidos pelo voltímetro.
4. Verificar a variação da intensidade de uma pequena lâmpada fluorescente (exemplo: de luminária), ao afastá-la da bobina de Tesla.



**Figura 6.28** – Distância da antena à bobina. Fonte: O autor.

**Tabela 6.4** – Tabela de coleta de dados. Fonte: O autor.

Número de medidas	distância $d$	$V$

A figura 6.29 mostra as medições em laboratório, para obter o gráfico da amplitude do sinal, em função da distância, confirmando-se uma diminuição na intensidade do sinal.

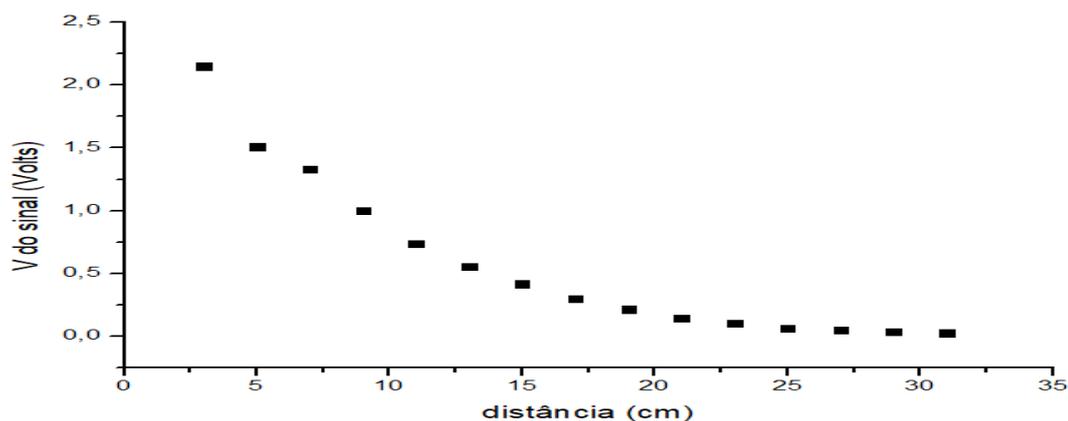


Figura 6.29 – Intensidade da voltagem do sinal. Fonte: O autor.

A utilização da bobina de Tesla, juntamente com as animações do Winplot, favorecem a aprendizagem significativa em sala de aula (figura 6.30).

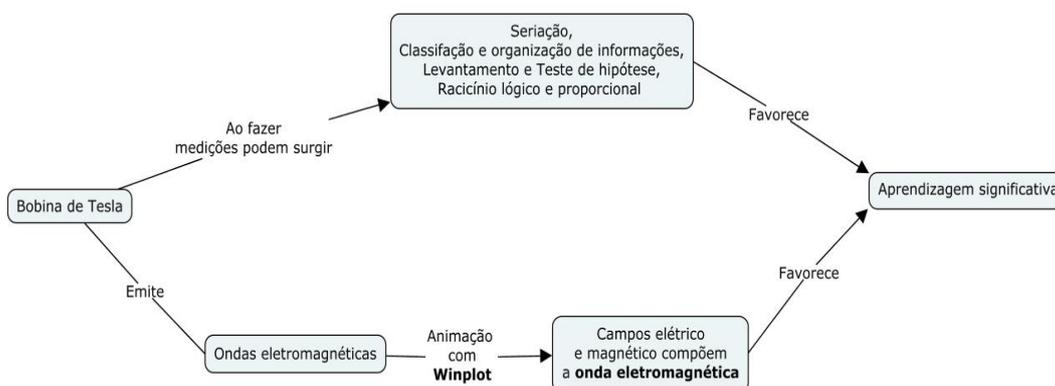


Figura 6.30 – Mapa conceitual correspondente ao emprego das atividades referentes à bobina de Tesla. Fonte: O autor.

## 6.6 Referências do produto

GASPAR, A. *Eletromagnetismo e Física moderna*. São Paulo: Ática, 2013. v. 3.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. *Física 3*. 5 ed. "Rio de Janeiro": LTC, 2008. v. 3.

SEARS; ZEMANSKY. *Eletromagnetismo*. São Paulo: Pearson, 2008.

MALVINO, A. P. *Eletrônica: Vol. 1*. Makron, São Paulo, 1997.

## 7 Considerações Finais

De modo geral, o ensino de Física nas escolas públicas, principalmente no Acre, ainda é realizado de forma predominantemente teórica, explorando pouco as práticas experimentais. Ensinar Física, sem considerar o aspecto experimental, torna essa atividade pouco atrativa e o aprendizado incompleto (OLIVEIRA et al., 2015). Atividades experimentais com roteiros, apêndice A, e com dispositivos eletrônicos costumam sempre fascinar os participantes. A metodologia utilizada, aliada ao uso da montagem e realização de medições com a bobina de Tesla, favoreceu o sucesso desta pesquisa.

O tempo ideal de aplicação deste trabalho, em sala de aula, com turmas de nível médio, foi de três aulas de 50 minutos, segundo a tabela 4.1. A exposição do conteúdo foi dividida em duas partes: teoria e animação computacional, com Winplot. A exposição teórica foi feita com slides, por meio de retroprojetor, permitindo que o processo fosse eficiente e concretizado num tempo reduzido. No final, foi mostrada uma animação da propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo, com o Winplot. A parte mais interessante e que mais interessou os alunos foi a experimental, tanto na montagem dos componentes necessários à confecção final da bobina de Tesla, na *proto-board*, quanto à verificação da intensidade do sinal da onda eletromagnética, ao se afastar da SSTC.

Os resultados dos pós-testes do 2<sup>o</sup> e do 3<sup>o</sup> anos do ensino médio mostraram indicadores positivos dessa proposta de ensino, dado que os discentes tiveram acertos superiores a 60%, e em apenas quatro questões, obtiveram rendimentos inferiores a 80%, superando com sucesso os acertos do pré-teste. Podemos apontar como possíveis fatores para essa evolução a aplicação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (baseada no uso de subsunçores), de situações argumentativas (Sequência de Ensino Investigativa) e da parte experimental (montagem e execução de medidas pela utilização da bobina de Tesla). Os fatores previamente citados foram organizados em sintonia e se interrelacionavam.

Conclui-se que essa proposta de pesquisa, que gerou um produto educacional citado nos apêndices, é de grande valia no ensino de ondas eletromagnéticas, complementando a exposição do conteúdo (conceitos de ondas, classificação, velocidade em meios diferentes, frequência, comprimento de onda e amplitude) em sala de aula, por meio de atividades

experimentais com a bobina de Tesla (devidamente orientada por um roteiro, apêndice A), permitindo a visualização da propagação de ondas eletromagnéticas no espaço, pelo uso do Winplot, incluída a possibilidade de avaliar os estudantes (pré-teste e pós-teste) no ambiente escolar.

Este trabalho, utilizando a bobina de Tesla do estado sólido, torna viável a motivação para outros projetos, como: estudo de ondas eletromagnéticas com o Winplot, circuitos ressonantes acoplados, leis de Kirchhoff, lei de indução de Faraday, transformadores e estudo de circuitos RLC (resistor-indutor-capacitor).

# Referências

ALVES, V. C.; STACHAK, M. A *IMPORTÂNCIA DE AULAS EXPERIMENTAIS NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM EM FÍSICA: “ELETRICIDADE”*. 2005. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LCFIS\\_7859\\_1276288519.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LCFIS_7859_1276288519.pdf)>.

ARAÚJO, I. S. Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral il. 2005.

ARRUDA, C. L. e S. A construção de uma bobina de tesla para uso em demonstrações na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 0, p. 217–226, 2004. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10008>>.

AZEVEDO, L. B.; FIREMAN, E. C. Sequência de ensino investigativa: Problematizando aulas de ciências nos anos iniciais com conteúdos de eletricidade. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 8, n. 2, p. 143–161, 2017.

BRELET, Y. et al. Tesla coil discharges guided by femtosecond laser filaments in air. *Applied Physics Letters*, AIP, v. 100, n. 18, p. 181112, 2012.

BRUNS, D. G. A solid-state low-voltage tesla coil demonstrator. *American Journal of Physics*, AAPT, v. 60, n. 9, p. 797–803, 1992.

CABRAL, E.; SOUZA, T.; FREITAS, J. a. F. Bobina de tesla-“uma abordagem prática no ensino fundamental do eletromagnetismo”. 2012.

CARVALHO, A. B. e A. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 30–59, 2013. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n1p30>>.

CHIQUITO, A. J.; JR, F. L. Bobina de tesla: dos circuitos ressonantes lc aos princ pios das telecomunica ções. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, 2000.

EASYEDA. 2017. Acessado em: jun. 2017. Disponível em: <<https://easyeda.com/>>.

EUSTÁQUIO, R. Bobina de tesla: Uma abordagem didática dos conceitos de geração, transmissão e recepção das ondas eletromagnéticas. 2014.

FARRIZ, M. et al. A simple design of a mini tesla coil with dc voltage input. In: IEEE. *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2010 International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 4556–4559.

FEYMMNAN, R. P.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. *Lições de Física*. Porto Alegre: bookman, 2008. v. 2.

GASPAR, A. *Eletromagnetismo e Física moderna*. São Paulo: Ática, 2012. v. 3.

GASPAR, A. *Eletromagnetismo e Física moderna*. São Paulo: Ática, 2013. v. 3.

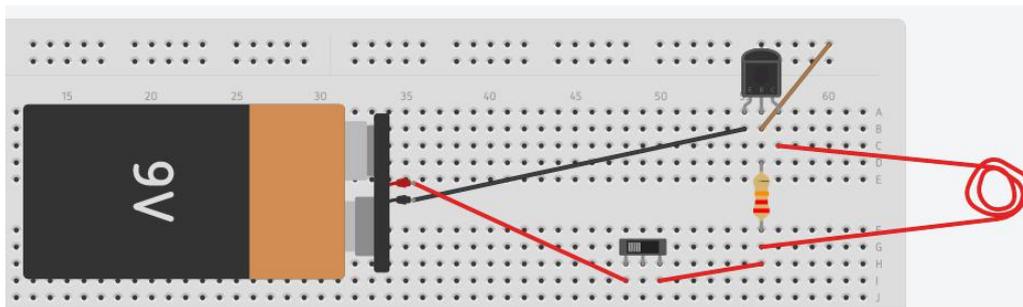
- GRIFFITHS, D. *Eletrodinâmica*. Pearson Addison Wesley, 2011. ISBN 9788576058861. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=4q9BYgEACAAJ>>.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. *Física 3*. 5. ed. "Rio de Janeiro": LTC, 2008. v. 3.
- HIGA, I.; OLIVEIRA, O. B. d. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. *Educar em Revista*, scielo, p. 75 – 92, 06 2012. ISSN 0104-4060. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-40602012000200006&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40602012000200006&nrm=iso)>.
- HOFFMANN, C. A tesla transformer high- voltage generator. *Review of Scientific Instruments*, AIP, v. 46, n. 1, p. 1–4, 1975.
- JUNIOR, E. B. d. M.; SILVA, M. C. d. Ensino dos processos de eletrização no 3º ano do ensino médio usando as teorias cognitivistas de vygotsky e de ausubel aliadas a atividades experimentais. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, Rio Branco, v. 16, p. 169 – 201, 2017. ISSN ISSN: 2446-4821. Disponível em: <<http://revistas.ufac.br/revista/index.php/SAJEBTT/article/view/1327/0>>.
- KNIGHT, R. D. *Eletricidade e Magnetismo*. Porto Alegre: bookman, 2009. v. 3.
- LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. de M. A construção de uma bobina de tesla para uso em demonstrações na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, p. 217–226, 2004.
- LEHNEN, A. *Instructions for Downloading Winplot and Winstats*. 2017. Acesso em: out. 2017. Disponível em: <[http://faculty.madisoncollege.edu/alehnen/winplot/Install\\_Winplot.html](http://faculty.madisoncollege.edu/alehnen/winplot/Install_Winplot.html)>.
- MALVINO, A. P. *Eletrônica: Vol. 1. Makron, São Paulo*, 1997.
- MAXWELL, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. 1. ed. London: Oxford, 1873. v. 2.
- MOREIRA, A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- MOREIRA, A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 2015.
- MOREIRA, M. A. A teoria de aprendizagem de david ausubel como sistema de referência para a organização de conteúdo de física. *Revista Brasileira de Física*, v. 9, n. 1, p. 275–292, 1979.
- MOREIRA, M. A. ¿ al afinal, qu é es aprendizaje siginificativo? *Qurrriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa. La Laguna, Espanha. No. 25 (marzo 2012), p. 29-56*, 2012.
- MOTA, J. F.; LAUDARES, J. a. B. Um estudo de planos, cilindros e quádricas, na perspectiva da habilidade de visualização, com o software winplot. *Boletim de Educação Matemática*, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, v. 27, n. 46, 2013.
- MOTOKANE, M. T. Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de ecologia. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 17, n. spe, p. 115–138, 2015.

- NASCIMENTO, J. D. *Telecomunicações*. MAKRON, 2000. ISBN 9788534611138. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=SnFUPgAACAAJ>>.
- NOGUEIRA, R. Elaboração e análise de questionários: uma revisão da literatura básica e a aplicação dos conceitos a um caso real. *Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD*, 2002.
- NUSSENZVEIG, H. *Curso De Fisica Basica, V.2: FLUIDOS, OSCILAÇÕES E ONDAS, CALOR*. [S.l.]: EDGARD BLUCHER, 2005. ISBN 9788521207474.
- OLIVEIRA, A. G. d. et al. *USO DE EXPERIMENTOS DE FÍSICA EM TURMAS DE EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS*. 2015. Disponível em: <[http://dfis.uefs.br/caderno/vol13n2/s2Artigo2Experimentacao\\_sala\\_de\\_aula.pdf](http://dfis.uefs.br/caderno/vol13n2/s2Artigo2Experimentacao_sala_de_aula.pdf)>.
- OLIVEIRA, F.; PAIXÃO, J. A. Hands-on classroom experiments to study the characteristics of an electric generator (voltaic cell) and receiver (voltmeter) using simple, low-cost and easy-access materials. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 39, n. 1, 2017.
- REITZ, J.; MILFORD, F.; CHRISTY, R. *Fundamentos da teoria eletromagnetica*. ELSEVIER EDITORA, 1982. ISBN 9788570011039. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=f3NcAAAACAAJ>>.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. *Física 2*. Livros Tecnicos e Cientificos, 1986. ISBN 9788521603009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1M82ywAACAAJ>>.
- ROCHA, J.; MIRAGEM, F. F. Explorando a função quadrática com o software winplot. *RENOTE*, v. 8, n. 3, 2010.
- SEARS; ZEMANSKY. *Eletromagnetismo*. São Paulo: Pearson, 2008.
- TAVARES, R. Aprendizagem significativa. *Revista conceitos*, v. 55, n. 10, 2004.
- TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. *Ciências & Cognição*, v. 13, n. 1, 2008. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/687>>.
- TAVARES, W. S. et al. O ensino das funções trigonométricas com o auxílio do software matemático de ambiente gráfico winplot. Universidade Federal de Goiás, 2013.
- VAZ JUNIOR, J. *Equações de Maxwell*. 2009. Acesso em: jun. 2017. Disponível em: <<https://www.ime.unicamp.br/~vaz/maxwell.htm>>.
- WHEELER, H. A. Formulas for the skin effect. *Proceedings of the IRE, IEEE*, v. 30, n. 9, p. 412–424, 1942.
- ZABALA, A. *A prática educativa*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

# **Apêndices**

# APÊNDICE A – Roteiro de montagem e medições

A montagem dos componentes na *protoboard* deve ser feita como figura A.1



**Figura A.1** – Montagem da SSTC em protoboard virtual, utilizando o Tinkercad. Fonte: O autor

## Medições

- 1) Verificar a distância  $d$  na régua e ler o valor da voltagem no voltímetro.
- 2) Medir a distância,  $d$ , entre a bobina e a ponta do medidor e anotar na tabela A.1.

**Tabela A.1** – Tabela de coleta de dados

Número de medidas	distância $d$	$V$

# APÊNDICE B – Trabalhos

**XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física**  
23 a 27 de janeiro de 2017, São Carlos, SP



## Declaração

Declaramos que o trabalho ESTUDO DO ELETROMAGNETISMO E SUAS ABORDAGENS MATEMÁTICAS NO ENSINO MÉDIO: UMA ANÁLISE DE CONTEÚDO DO LIVRO DIDÁTICO de autoria de ISRAEL HERONCIO RODRIGUES DE OLIVEIRA HADAD, WENDEL RICARDO DE SOUZA REGO, MARCELO CASTANHEIRA DA SILVA, FRANCISCO EULALIO ALVES DOS SANTO foi aceito para apresentação no(a) XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física no período de 23 a 27 de janeiro de 2017, São Carlos, SP.

Apresentador: ISRAEL HERONCIO RODRIGUES DE OLIVEIRA HADAD (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE-UFAC)  
Inscrição/Trabalho: 1216/1  
Autenticação: 342823

Forma de apresentação ainda não definida.  
São Paulo, 12 de novembro de 2016

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'S' followed by a horizontal line and a small flourish.

Comitê Organizador  
XXII SNEF

República Federativa do Brasil  
 Ministério da Educação  
 Universidade Federal do Acre  
 Pró-Reitoria de Extensão e Cultura  
 Diretoria de Ações de Extensão

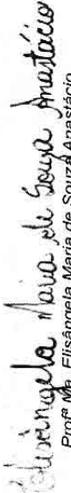
# Certificado de Extensão

Certificamos que **Wendel Ricardo de Souza Rego, Helison Matos da Cunha, Israel Herôncio Rodrigues de Oliveira Hadad, Hemila Suelem Souza de Oliveira, Lorivaldo de Oliveira Santos, Antonio Tadeu Rodrigues, Edilúcio Siqueira de Almeida Amorim e Marcelo Castanheira da Silva** apresentaram a Comunicação Oral intitulada *Simulação Computacional de Precipitador Eletrostático: Uma Sequência Investigativa* durante o "I Fórum de Educação, Saúde e Meio Ambiente no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico.", realizado pelo Colégio de Aplicação – CAp, em Rio Branco, Estado do Acre, no período de 08 a 10 de junho de 2017.

Rio Branco, Acre, 10 de junho de 2017.

  
 Prof. Dr. Carlos Paula de Moraes  
 Pró-Reitor de Extensão e Cultura

  
 Prof. Dr. Valmir Freitas de Araujo  
 Diretor de Ações de Extensão

  
 Prof.ª Ms. Elisângela Maria de Souza Anastácio  
 Coordenadora do projeto

**TÍTULO DA ATIVIDADE:** I Fórum de Educação, Saúde e Meio Ambiente no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico.

**CARACTERIZAÇÃO:** Evento.

**OBJETIVOS ALCANÇADOS:**

**GERAL:**

- Promover reflexões teóricas, práticas e metodológicas sobre o Ensino Básico, Técnico e Tecnológico na sociedade acreana através da atuação do Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Acre.

**ESPECÍFICOS:**

- Fomentar a pesquisa científica no âmbito do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, viabilizando a produção do conhecimento; Despertar o interesse dos participantes pelo desenvolvimento do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, atendendo as demandas da sociedade acreana, contribuindo de forma inovativa para o desenvolvimento da região; Tornar público os trabalhos científicos desenvolvidos pelos Docentes da Carreira do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) através da integração das famílias nas atividades do fórum; Propiciar a consolidação dos Grupos de Pesquisa sediados no Colégio de Aplicação da UFAC; Fomentar o princípio da irredutibilidade entre o Ensino, a Pesquisa e a Extensão no CAP/UFAC; Contribuir com a formação de pais/responsáveis dos alunos do CAP/UFAC; Incentivar a interdisciplinaridade entre as áreas de conhecimento do CAP/UFAC. **INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS:** Universidade Federal do Acre – UFAC; Fundação de Cultura e Comunicação Elias Mansour - FEM

**TITUIÇÃO ENVOLVIDA:** Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Acre.

**GRAMAÇÃO: 08 de junho de 2017 (quinta-feira)** Credenciamento/Mesa-redonda 1: "Ações de Ensino, Pesquisa e Extensão no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico" (Prof.ª Ma. Nagila Maria Silva Oliveira - CAP/UFAC; Prof.ª Ma. Simone Delgado Tojal - CAP/UFAC; Prof. Me. Reginaldo Bonifácio de Lima - CAP/UFAC; Coordenador de mesa: Prof. Dr. Amilton José Freire de Queiroz - CAP/UFAC)/Apresentações de pôsteres/ Mesa-redonda 2: "A formação de leitores no ensino de línguas" (Prof.ª Esp. Luciana Pereira Ogando - CAP/UFAC; Prof.ª Ma. Guacalupe Justa DelgadilloTorrez - CAP/UFAC; Prof.ª Ma. Maria Iracilda Gomes Cavalcante Bonifácio - CAP/UFAC; Coordenador de mesa: Prof.ª Ma. Aelissandra Ferreira da Silva - CAP/UFAC)/Cine PET/Oficinas/Excursão Catuaba/Cerimônia de abertura/Conferência de abertura: "Potencialidades da Biociência: Amazônia para o Ensino Básico, Técnico e Tecnológico" (Prof. Dr. Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti - CAP/UFAC)/Exposição BIOCOMP e vernissage (Prof. Me. Caue de Camargo dos Santos). **09 de junho de 2017 (sexta-feira)** - Credenciamento/Mesa-redonda 3: "A (des)valorização das Ciências Humanas no contexto da reforma educacional" (Prof.ª Dr.ª Lucilene Ferreira Almeida - CFCH/UFAC; Prof. Me. Hélio Camilo Rosa - CAP/ UFAC; Prof. Me. Reginaldo Bonifácio de Lima - CAP/UFAC; Coordenador de mesa: Prof. Esp. Regineison Bonifácio de Lima - CAP/UFAC)/Apresentações de pôsteres/Mesa-redonda 4: "Dificuldades de aprendizagem e deficiência: a importância da parceria entre família e escola" (Prof.ª Esp. Ana Keully Gadelha dos Santos Darub - CELA/UFAC; Prof.ª Ma. Elaine Costa Honorato - CAP/UFAC; Smariety Dutra Rocha Norato - Comunidade do CAP/UFAC)/Cine CAP/UFAC/ Apresentações orais/Mesa-redonda 5: "Reforma do Ensino Médio" (Prof.ª Dr.ª Rosane Martins Coelho - CE/UFMS; Prof. Me. Caue de Camargo dos Santos - CAP/UFAC; Prof. Me. Marco Antônio Brandão Lopes - SEE-AC; Gustavo Almeida de Sousa - CAP/UFAC; Coordenador de mesa: Prof.ª Dr.ª Alina Andréia Nicoll (Pró-Reitoria de Graduação da UFAC)/Exposição BIOCOMP e vernissage (Prof. Me. Caue de Camargo dos Santos). **10 de junho de 2017 (sábado)** Abertura da I ExpoCAP: encontro de saberes/Exposição e representação de Vila da Chaves (Prof.ª Ma. Elaine Costa Honorato)/Palestra: "Família, escola e educação: encontros e desencontros" (Prof. Me. Pedro Raimundo Mathias de Miranda – CAP/UFAC)/Encerramento.

