



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL E PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

CARUARU
2020

MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração:

Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Charlie Salvador Goncalves

CARUARU
2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S729f Souza, Mavíael Bezerra de.
Faça e use uma bobina de tesla para as aulas de eletromagnetismo. / Mavíael Bezerra de Souza. – 2020.
159 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Charlie Salvador Gonçalves.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2020.
Inclui Referências.

1. Eletromagnetismo. 2. Bobinas. 3. Aprendizagem baseada em problemas – Belo Jardim (PE). 4. Aprendizagem centrada no aluno – Belo Jardim (PE). 5. Física (Ensino médio). I. Gonçalves, Charlie Salvador (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2020-212)

MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 26/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Charlie Salvador Goncalves
Universidade Federal da Paraíba (Orientador)

Prof. Dr. Augusto Cesar Lima Moreira
Universidade Federal de Pernambuco (Examinador Interno)

Prof. Dr. José Américo Moura
Universidade Federal do Vale do São Francisco (Examinador Externo)

Dedico esse trabalho a meu filho e aos meus pais, que são as fontes de inspiração da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Charlie Salvador Goncalves, pelos ensinamentos, pela paciência, pela dedicação e orientação neste trabalho.

Ao coordenador do curso, Prof. Dr. João Francisco Liberato de Freitas, pelo apoio durante todo o curso, pelas orientações e principalmente, pelos ensinamentos.

Aos professores Dr. João Eduardo Fernandes Ramos, Dr. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto, Dr. Sergio de Lemos Campello, Dr. Augusto César Lima Moreira, Dra. Kátia Calligaris Rodrigues, Dr. Gustavo Camelo Neto, Dr. Elder Alpes de Vasconcelos e Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz.

Aos meus colegas do mestrado.

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

À Universidade Federal de Pernambuco - CAA.

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

RESUMO

Este trabalho busca orientar o professor na construção e utilização de uma bobina de Tesla nas aulas de Eletromagnetismo e tem como principal objetivo despertar o interesse de alunos do ensino médio, principalmente alunos da rede pública de ensino. Apresentamos a montagem de uma bobina de Tesla de forma simplificada, uma sequência de aulas baseadas no ensino por investigação e, finalmente, uma avaliação argumentativa, também com caráter investigativo que completa o processo. Espera-se que o professor ao experimentar as leituras e estudos desta dissertação, além de realizar as atividades experimentais aqui propostas, use-as como base para melhorar o processo ensino-aprendizagem de eletromagnetismo e conseqüentemente, causar uma mudança significativa na perspectiva do estudante em relação ao ensino de Física. Para análise dos resultados o projeto foi implementado nas turmas finais da escola de ensino integral de Belo Jardim - PE, a EREM Belo Jardim, uma escola pública em regime integral do estado de Pernambuco. Essa proposta mostrou-se bastante positiva para ser aplicada no nível médio e pode ser adaptada para outros níveis de ensino.

Palavras-chave: Eletromagnetismo. Bobina de Tesla. Ensino por investigação.

ABSTRACT

This work aims to guide the teacher in the construction and use of a Tesla coil in Electromagnetism classes and its main objective is to increase the interest of basic education students, mainly students from the public school system. We present the assembly of a Tesla coil in a simplified way, a sequence of classes based on teaching by investigation and, finally, an argumentative evaluation with an investigative character that completes the process. It is expected that the teacher, when experiencing the readings and studies of this dissertation, in addition to carrying out the experimental activities proposed here, use them as a basis to improve the teaching-learning process of electromagnetism and, consequently, cause a significant change in the student's perspective in relation to the teaching of Physics. To analyse the results, the project was implemented in the final classes of the Belo Jardim - PE integral school, EREM Belo Jardim, a public school in the state of Pernambuco. This proposal proved to be quite interesting to be applied at the high school and can be adapted to other levels of education.

Keywords: Physics teaching. Tesla coil. Teaching by research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	A aprendizagem significativa (visão clássica de Ausubel).....	25
Figura 2 -	BNCC - Competências gerais.....	33
Figura 3 -	Trecho do livro "Tesla: Man Out of Time".....	38
Figura 4 -	Esquema da bobina de tesla.....	41
Figura 5 -	Transformador com núcleo de ferro.....	42
Figura 6 -	Circuito RLC com capacitor carregado.....	43
Figura 7 -	Triângulo de potência.....	49
Figura 8 -	Circuitos LC (primário e secundário).....	50
Figura 9 -	Carregamento do capacitor primário.....	51
Figura 10 -	Descarga do capacitor primário.....	52
Figura 11 -	A fem induzida no secundário.....	53
Figura 12 -	Descarga no circuito secundário.....	58
Figura 13 -	Descarga no topo da bobina.....	60
Figura 14 -	Semelhança entre sistemas mecânicos e elétricos.....	61
Figura 15 -	Oscilador harmônico amortecido.....	62
Figura 16 -	Circuito RLC primário.....	64
Figura 17 -	Janela de abertura do WinTesla.....	67
Figura 18 -	Parâmetros de entrada do transformador primário.....	68
Figura 19 -	Parâmetros da bobina primária.....	69
Figura 20 -	Parâmetros do centelhador.....	70
Figura 21 -	Parâmetros da bobina secundária.....	71
Figura 22 -	Características da cúpula superior.....	73
Figura 23 -	Parâmetros finais no software WinTesla.....	73
Figura 24 -	(a) Esquema de transmissão e recepção (b) Esquema de sintonia das ondas no osciloscópio.....	76

Figura 25 -	Pré-teste (página 1).....	87
Figura 26 -	Pré-teste (página 2).....	88
Figura 27-	O pós-teste (página 1).....	96
Figura 28 -	Esquema da bobina de tesla.....	137
Figura 29 -	Banco de capacitores.....	142
Figura 30 -	Aterramento com haste de cobre.....	147
Figura 31 -	Avaliação do conhecimento prévio.....	153
Figura 32 -	Esquema para sintonia por “antena receptora”.....	156
Figura 33 -	Sugestão para maquete para demonstração do para-raios.....	157

LISTA DE FLUXOGRAMS

Fluxograma 1 - Sequência sugerida nos encontros.....	36
--	----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 -	Placa de identificação do gerador.....	39
Fotografia 2 -	Nikola Tesla no seu laboratório em Colorado Springs.....	40
Fotografia 3 -	Detalhe da descarga elétrica sobre a bobina primária.....	53
Fotografia 4 -	Descarga no fio terra.....	54
Fotografia 5 -	Descarga direcionada com um objeto pontiagudo.....	54
Fotografia 6 -	Descarga em uma bobina de Tesla.....	59
Fotografia 7 -	Exemplo de topo esférico.....	72
Fotografia 8 -	Exemplo de topo toroidal.....	72
Fotografia 9 -	Valor da capacitância medida.....	74
Fotografia 10 -	Indutância da bobina primária.....	75
Fotografia 11 -	Indutância da bobina secundária.....	75
Fotografia 12 -	Medição da frequência de oscilação da bobina.....	76
Fotografia 13 -	Ajustando o osciloscópio.....	77
Fotografia 14 -	Detalhe do LED aceso.....	78
Fotografia 15 -	Pulsos de tensão induzida na antena.....	78
Fotografia 16 -	Frequência de oscilação máxima captada.....	79
Fotografia 17 -	EREM Belo Jardim – PE.....	81
Fotografia 18 -	Aplicação do pré-teste.....	86
Fotografia 19 -	Exposição de conteúdo.....	91
Fotografia 20 -	Aula experimental (ionizando o gás da lâmpada).....	93
Fotografia 21 -	Aula experimental (descarga corona).....	93
Fotografia 22 -	Situação exemplo no pré-teste.....	99
Fotografia 23 -	Situação exemplo no pós-teste.....	99
Fotografia 24 -	Questões 1, 2 e 3 do pré-teste.....	100

Fotografia 25 -	Questões 1, 2 e 3 do pós-teste.....	100
Fotografia 26 -	Questão 2 do pré-teste.....	101
Fotografia 27 -	Questão 2 do pós-teste.....	101
Fotografia 28 -	Questão 9 do pré-teste.....	101
Fotografia 29 -	Observação da questão 9 do pós-teste.....	102
Fotografia 30 -	Bobina montada.....	138
Fotografia 31 -	Detalhe da base da bobina.....	139
Fotografia 32 -	Um transformador NST (Transformador de Letreiro Neon).....	139
Fotografia 33 -	Centelhador fixo.....	140
Fotografia 34 -	Confecção do capacitor caseiro.....	141
Fotografia 35 -	Capacitor de poliéster caseiro.....	141
Fotografia 36 -	Capacitores de filme de poliéster industriais.....	142
Fotografia 37 -	Bobina primária em forma de cone invertido.....	143
Fotografia 38 -	Fio esmaltado 32 AWG.....	144
Fotografia 39 -	Bobina secundária.....	144
Fotografia 40 -	Banho de verniz isolante.....	145
Fotografia 41 -	Verniz LACKTHERM WEG.....	145
Fotografia 42 -	Descargas depois de alguns ajustes.....	147
Fotografia 43 -	Uma casca esférica em aço inox.....	148
Fotografia 44 -	Um toroide em alumínio.....	148
Fotografia 45 -	Um toroide feito de tubo de cobre.....	148
Fotografia 46 -	Ajuste da indutância da bobina primária.....	149
Fotografia 47 -	Um teste de descarga.....	150
Fotografia 48 -	Duas configurações baseadas no mesmo projeto.....	150
Fotografia 49 -	Kit de Experimentos.....	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Oscilações superamortecidas.....	45
Gráfico 2 -	Oscilações criticamente amortecidas.....	45
Gráfico 3 -	Oscilações subamortecidas.....	46
Gráfico 4 -	Curva de ressonância do circuito RLC.....	48
Gráfico 5 -	Estimativa da tensão de saída do topo da bobina.....	56
Gráfico 6 -	Oscilação no circuito primário.....	57
Gráfico 7 -	Oscilação no circuito secundário.....	57
Gráfico 8 -	Gráficos comparativos.....	79
Gráfico 9 -	Resultados individuais do grupo I.....	102
Gráfico 10 -	Resultados individuais do grupo II.....	103
Gráfico 11 -	Resultados individuais do grupo III.....	103
Gráfico 12 -	Resultados individuais do grupo IV.....	104
Gráfico 13 -	Resultados individuais do grupo V.....	104
Gráfico 14 -	Resultados individuais do grupo VI.....	105
Gráfico 15 -	Resultado do ENEM de 2009 a 2014.....	105
Gráfico 16 -	Curva normal geral do pré-teste.....	106
Gráfico 17 -	Curva normal geral do pós-teste.....	107
Gráfico 18 -	Comparação das curvas normais dos testes.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica.....	30
Quadro 2 -	Parâmetros do circuito RLC em série.....	46
Quadro 3 -	Equivalência eletromecânica.....	63
Quadro 4 -	Plano de aula 1.....	83
Quadro 5 -	Plano de aula 2.....	85
Quadro 6 -	Plano de aula 3.....	90
Quadro 7 -	Plano de aula 4.....	92
Quadro 8 -	Plano de aula 5.....	95
Quadro 9 -	Quadro de segurança.....	134
Quadro 10 -	Componentes da bobina de Tesla.....	137
Quadro 11 -	Plano de aula: Aulas 1 ,2 e 3.....	152
Quadro 12 -	Plano de aula: Aulas 4, 5 e 6.....	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Etapas da sequência investigativa.....	82
Tabela 2 -	Medidas de centralidade e dispersão dos testes.....	108
Tabela 3 -	Dimensionamento de fio e disjuntor para chuveiro elétrico.....	135
Tabela 4 -	Seção dos condutores para instalações elétricas.....	136
Tabela 5 -	Corrente máxima para condutores x diâmetro.....	136
Tabela 6 -	Características do verniz isolante.....	146

LISTA DE SÍMBOLOS

C_P	Capacitor primário
C_S	Capacitor secundário
S_{gap}	Centelhador
L_P	Bobina primária
L_S	Bobina secundária
HV	Fonte de alimentação (Alta tensão)
f	Frequência
q	Carga
i	Corrente
R	Resistência
t	Tempo
k	Constante elástica
B	Constante de amortecimento
m	Massa
Y	Eixo horizontal
f	Força externa
C	Capacitância
L	Indutância
U	Energia potencial total
U_E	Energia potencial elétrica
U_B	Energia potencial magnética
NST	Transformado para tubos de gás neon
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PVC	Policloreto de Vinila

AWG	Escala Americana Normalizada
GND	Filtro Graduado de Densidade Neutra
IEDE	Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional
SCTC	Bobina de Tesla com Centelhador
SSTC	Bobina de Tesla do Estado Sólido
DRSSTC	Bobina de Tesla do Estado Sólido de Dupla Ressonância
RF	Radiofrequência
FP	Fator de Potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	23
2.1	INTRODUÇÃO	23
2.2	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (DA VISÃO CLÁSSICA À CRÍTICA)	24
3	A ABORDAGEM NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	31
3.1	INTRODUÇÃO	31
3.2	O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A BNCC	32
3.3	O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	34
3.4	A ABORDAGEM INVESTIGATIVA COMO ESTRATÉGIA.....	34
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A BOBINA DE TESLA	37
4.1	UM CONTEXTO HISTÓRICO	37
4.2	DEFINIÇÕES INICIAIS.....	40
4.3	O FUNCIONAMENTO	49
4.4	AS DESCARGAS ELÉTRICAS NO TOPO	59
4.5	ANALOGIA ENTRE OSCILAÇÕES ELÉTRICAS E MECÂNICAS	60
4.6	OUTRAS OSCILAÇÕES AMORTECIDAS NO RLC	64
5	O USO DO SOFTWARE WINTESLA PARA O DIMENSIONAMENTO.....	67
5.1	O DIMENSIONAMENTO DA FONTE PRIMÁRIA	68
5.2	DIMENSIONAMENTO DA BOBINA PRIMÁRIA.....	68
5.3	O DIMENSIONAMENTO DO CENTELHADOR	69
5.4	DIMENSIONAMENTO DA BOBINA SECUNDÁRIA.....	70
5.5	USO DA CÚPULA SUPERIOR.....	71
6	MEDINDO OS PARÂMETROS DA BOBINA	74
7	A APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	80

7.1	SOBRE A ESCOLA DE REFERÊNCIA EM ENSINO MÉDIO	80
7.2	O PERFIL DOS ESTUDANTES.....	81
7.3	A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	82
7.4	APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE.....	84
7.5	A EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO	89
7.6	A PARTE EXPERIMENTAL.....	91
7.7	O PÓS-TESTE	94
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
9	CONCLUSÃO	109
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL.....	124

1 INTRODUÇÃO

O trabalho de ensino e aprendizagem nas turmas do Ensino Médio da região Agreste de Pernambuco, principalmente na área de exatas, não é tarefa fácil. Conseguir resultados satisfatório de formação, despertar interesse e transmitir conhecimentos é mais difícil do que se imagina, há vários fatores que dificultam esse objetivo. Os fatores que mais contribuem para o desinteresse apresentado nas aulas, principalmente na área de exatas, são a falta de uma formação sólida no ensino fundamental em matemática e ciências, gerando uma barreira para o aprendizado no ensino médio na área de exatas e, conseqüentemente, no ensino superior e a falta de uma estrutura familiar adequada, gerada por problemas sociais e econômicos, que influenciam diretamente no comportamento e nos objetivos de vida do indivíduo (PEREIRA e DICKMAN, 2020).

A desestruturação da família é um fator muito mais influenciador que as dificuldades econômicas, já que este atinge também indivíduos de classes econômicas mais privilegiadas, afetando diretamente a personalidade de um ser em formação, dificultando o interesse pela área acadêmica, e para aqueles que têm dificuldades econômicas, buscando um objetivo profissional de imediato (PEREIRA e DICKMAN, 2020).

É muito comum encontrar estudantes e ex-estudantes trabalhando no comércio, nas prestadoras de serviço e nas indústrias da cidade e região circunvizinha. Isso acontece pela necessidade e pela cultura desse perfil de estudante. Os próprios familiares fazem pressão para o estudante ingressar rápido no mercado de trabalho, priorizando muito mais a formação profissional precoce do que a acadêmica, numa idade em que o aluno precisaria se dedicar a sua formação acadêmica para ingressar num curso superior e poder ocupar cargos mais qualificados, mais rentáveis, na vida profissional. Além desses fatores, tem também a falta de estrutura física apresentada em algumas escolas da rede pública, é muito comum ouvir relatos de estudantes reclamando da falta de material escolar, de higiene pessoal e principalmente de falta de estrutura de tecnologia e informática, numa época totalmente informatizada. Também há relatos de violência doméstica, abusos, uso de drogas, entre outros, aliados a salas sem climatização, com ventiladores, portas e tomadas quebradas, que até são repostas, mas que acabam sendo destruídas por vandalismo. Esse conjunto de fatores geram turmas de baixo rendimento escolar,

pouco interesse acadêmico, muita evasão e reprovação, tornando um grande desafio o processo de ensino-aprendizagem nessas condições. É preciso muito mais do que professores com formação específica de exatas, que já é outro problema nessa área, para tornar as aulas mais atrativas.

Por tudo isso é possível refletir sobre algumas questões:

- O que poderia causar uma mudança no comportamento de um ser com tantos problemas e dificuldades já apresentadas?
- O que causa interesse em alguns poucos estudantes que fazem mudar seu comportamento perante a escola?
- O que motiva um estudante a superar as dificuldades socioeconômicas numa fase tão complexa como a adolescência?

As respostas a essas questões são complexas, pois a variedade de fatores que influenciam um comportamento de um ser é muito extensa, mas no geral, podemos apresentar a Ciência como algo atrativo, interessante, espetacular e, juntamente com uma teoria educacional como elo de ligação entre o conhecimento prévio do aluno e novos conhecimentos, obter uma mudança na postura e nos objetivos do estudante, e a experimentação é um dos recursos mais apropriados para esse fim.

A educação pode mudar totalmente a vida de um ser e de uma sociedade (MOREIRA e CANDAU, 2003). É preciso buscar sempre na educação uma solução para tantos problemas sociais e, conseqüentemente, econômicos que esse país enfrenta há muitos anos. No caso de Física, os experimentos podem ser um grande aliado do professor para dar um pontapé inicial para essa mudança de comportamento.

O objetivo principal deste trabalho é responder essas questões levantadas anteriormente, desenvolver um kit educacional que, juntamente com uma teoria educacional apropriada para as aulas de Física, possa não só encontrar soluções para os questionamentos, mas ser uma ferramenta eficiente nas aulas de eletromagnetismo.

Neste trabalho, será descrita a montagem, a utilização e os resultados do uso de uma bobina de Tesla nas aulas de física da Escola de Referência em Ensino Médio da cidade de Belo Jardim, em Pernambuco. Para tanto, ele está dividido da seguinte forma: nos capítulos 2 e 3 são apresentadas a fundamentação acerca da teoria de

aprendizagem significativa e abordagem no ensino por investigação. No capítulo 4 é descrita a física do funcionamento de funcionamento de uma bobina de Tesla, iniciando por um breve histórico de seu surgimento até o funcionamento de circuitos oscilantes. No capítulo 5 e 6 serão apresentados tanto o dimensionamento usando o software WinTesla, voltado para o desenvolvimento de bobinas de Alta tensão elétrica e quanto a bateria de testes, medições dos circuitos da bobina e otimização do equipamento. No capítulo 7 são apresentados a escola e os detalhes da aplicação do produto educacional. Finalizando esta dissertação no capítulo 8 e 9 são apresentados os resultados e as conclusões, respectivamente. No anexo, é apresentado o produto educacional composto de um manual de montagem para uma bobina de Tesla de baixa potência e de uma sequência didática para seu uso em sala de aula.

2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

2.1 INTRODUÇÃO

A atividade de professor da rede pública de ensino remete a uma realidade pesada, vivenciada há tempos por profissionais da área, onde se escutam frases repetidas, relatos e desabafos sobre as dificuldades enfrentadas, principalmente no aprendizado nas aulas de exatas, Física, Química e Matemática. Não é novidade que esta experiência leva à reflexão sobre o principal objetivo da educação, o papel que cada um desempenha, aluno, professor, escola e família. Qual o problema da área de exatas? Por que a maioria dos alunos não aprendem e, conseqüentemente, não gostam de Física, Química e Matemática? Qual metodologia de ensino seria possível adotar para estimular o aluno a estudar, pesquisar, discutir? Que metodologia seriam mais motivadoras e propulsoras para as aulas de Física?

Em resposta a estas questões, é preciso levar em conta que a teoria educacional adequada nas aulas de Física, precisa considerar o aluno um ser pensante e principalmente questionador, capaz de reformular seus pensamentos, seus conceitos e concepções, o que possibilita a formação de seus próprios conhecimentos a partir da busca de alternativas para resolverem suas dificuldades.

Dada a complexidade do processo de aprendizagem é preciso ensinar aos estudantes para além dos conteúdos em si, desenvolver autonomia e tomada de decisão para compreender os porquês e como de se estudar e fazer ciências. Para isso, o ensino por investigação entra neste estudo como estratégia metodológica para desenvolvimento cognitivo do aprendiz. Dado o potencial ativo, diversificado e construtivista desta metodologia, busca-se relações eminentes com a teoria cognitivista da Aprendizagem Significativa (COSTA, 2019).

Este trabalho tem como base duas teorias educacionais que se completam, o ensino por investigação, como teoria base na aplicação do produto educacional e a aprendizagem significativa. A proposta é seguir uma estratégia de ensino capaz de promover o aprendizado de eletromagnetismo por intermédio de uma sequência didática que acompanha um equipamento lúdico.

2.2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (DA VISÃO CLÁSSICA À CRÍTICA)

A teoria significativa tem início nos anos sessenta com um psicólogo americano nascido em Nova Iorque, David Ausubel, que tinha uma visão considerada clássica da aprendizagem significativa, que considera a importância do conhecimento prévio do ser, que ele denomina subsumção e que, juntamente com os novos conhecimentos, serão modificados e formaram um novo conhecimento mais potencialmente significativo.

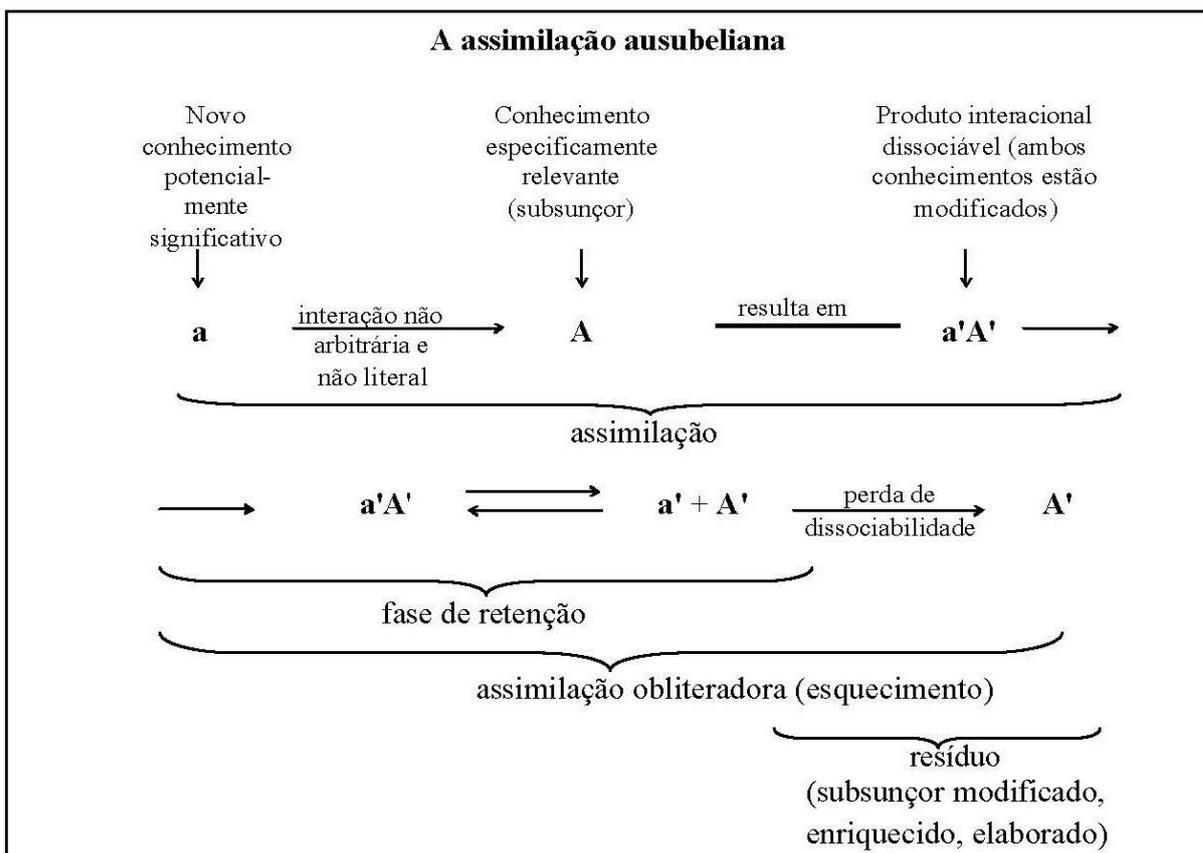
David Ausubel propôs o conceito de aprendizagem significativa, onde essa ideia é um processo que o professor deve considerar os conhecimentos prévios que os alunos trazem consigo assim como a forma de organização do conteúdo, construir sequências didáticas que sejam mais significativas aos alunos e que abram possibilidades de adequar o ensino a suas necessidades de aprendizagem. Para Ausubel a estrutura cognitiva de cada indivíduo é organizada hierarquicamente, no sentido que as várias ideias se encadeiam de acordo com a relação que se estabelece entre elas (AQUINO e ALVES, 2015).

A teoria da aprendizagem significativa, ao descrever o processo de aprendizagem, destaca a importância do conhecimento prévio dos alunos como fator isolado mais importante na determinação do processo de ensino. No entanto, oferece uma contribuição para o reconhecimento do aluno como sujeito que aprende; das possibilidades de mudança por meio do aprendizado; da necessidade de não transformar diferenças sociais, econômicas, culturais e cognitivas em desigualdades escolares. Assim, o estudo desenvolvido por Ausubel e colaboradores favorece uma amplitude de perspectiva do debate sobre o ensino de Física, uma vez que produz uma teoria voltada para a sala de aula (VIEIRA, 2012). A figura 1 descreve de forma sucinta a proposta de Ausubel.

Em resumo, para Ausubel, os subsumtores têm fundamental importância e não podem ser desprezados, o conhecimento prévio, por mínimo que seja, deve ser valorizado, transformado através de novos conhecimentos.

Na visão clássica, aquilo que o aprendiz já sabe é o mais importante fator isolado que influencia a aprendizagem. Naturalmente, então, o ensino deve, necessariamente, ser conduzido de acordo (MOREIRA, 2016).

Figura 1 - A aprendizagem significativa (visão clássica de Ausubel).



Fonte: <http://moreira.if.ufrgs.br/visaoclasica/visaocritica.pdf> (2016)

Nota: Acesso em 03 de fevereiro de 2021

Novak, colaborador de Ausubel, contribuiu para o desenvolvimento da teoria aprendizagem, participou da publicação da segunda edição da obra sobre a teoria da aprendizagem, porém Novak acrescentou uma visão humanista na obra, onde educação depende das relações de sentimentos entre o professor e o aluno.

Concluindo a pós-graduação na Universidade de Minnesota em 1957, o Dr. Novak ensinou biologia no Kansas State Teachers College em Emporia, 1957-59, e biologia e cursos de formação de professores na Purdue University, 1959-67. De 1967 a 1995, foi Professor de Educação e Ciências Biológicas na Universidade Cornell, onde sua pesquisa se concentrou na aprendizagem humana, estudos educacionais e criação e representação do conhecimento. Ele desenvolveu uma teoria da educação para orientar a pesquisa e o ensino, publicada pela primeira vez em 1977 e atualizada em 1998 e 2010 (THE INSTITUTE FOR HUMAN & MACHINE COGNITION, 2018).

O professor (mediação humana) é quem já domina os significados aceitos no âmbito da matéria de ensino e o aprendiz é aquele que busca captar tais significados.

Cabe ao professor apresentar, das mais diversas maneiras, e várias vezes se necessário, esses significados e buscar evidências de se o aluno os está captando. Ao aluno compete verificar se os significados que está captando são aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino. É isso que se entende por negociação de significados e ela ocorre em outro contexto que é o meio social (MOREIRA, 2016).

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) explicam as variáveis cognitivas e afetivas do aprendiz bem como as variáveis do exercício de ensinar. Essa explicação por sua vez contempla tanto a estrutura cognitiva, neurológica e psicológica humana, quanto o processo de interação com o meio, fortemente influenciado pela mediação de quem ensina, abrindo um leque para vários aspectos relevantes para o ensino ocorrido na escola.

A aprendizagem significativa ganhou várias contribuições e visões bem específicas ao longo do tempo. A visão interacionista social de Gowin, que introduz a ideia de captação de significados como algo anterior à aprendizagem significativa propriamente dita (MOREIRA, 2016). A visão cognitiva contemporânea baseada na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. A visão da complexidade e da progressividade alicerçada na teoria dos campos conceituais de Vergnaud. A visão autopoietica de Maturana, que vê o aluno como um sistema autônomo que gerencia sua própria organização. A visão computacional de Hestenes que, para objetivos de ensino, um ciclo de modelagem pode ser decomposto em quatro fases principais: construção, análise, validação e aplicação do modelo (SOUZA e ROZAL, 2016). E, em uma visão crítica mais marcante tem-se a do professor brasileiro Marco Antonio Moreira.

Moreira é Licenciado em Física (1965) e Mestre em Física (1972) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)/Brasil e Doutor em Ensino de Ciências (1977) pela Cornell University/USA. Foi professor do Instituto de Física da UFRGS de 1967 a 2012, quando se aposentou como Professor Titular.

Segundo Moreira (2000), um ensino baseado em respostas transmitidas primeiro do professor para o aluno nas aulas e, depois, do aluno para o professor nas provas, não é crítico e tende a gerar aprendizagem não crítica, em geral mecânica. Ao contrário, um ensino centrado na interação entre professor e aluno enfatizando o intercâmbio de perguntas tende a ser crítico e suscitar a aprendizagem significativa crítica.

Nos tempos atuais, o aluno para ter uma aprendizagem realmente significativa precisa, antes de tudo, questionar, duvidar, desconfiar, contestar os conhecimentos e informações recebidas, é preciso uma postura ativa, avaliativa, subversiva, crítica, no sentido de não aceitar nenhuma informação com uma verdade pura, absoluta, acabada, completa. Moreira (2000) sugere que, para o aluno atingir essa aprendizagem crítica é preciso ser alguns princípios, esses princípios estão descritos a seguir.

- Perguntas ao invés de respostas: O questionamento passa a ter um papel mais relevante que a simples assimilação do exposto. Para a formação de um senso crítico, vale mais aprender a fazer boas perguntas do que assimilar conteúdos prontos, acabados.
- Diversidade de materiais: Quanto mais fontes de informação, desde que sejam fontes confiáveis, melhor para poder ter uma visão mais ampla do conteúdo, uma visão de ângulos diferentes, perspectivas diferentes, evitando informação única, verdadeira e imutável.
- Aprendizagem pelo erro: Segundo Nogaro e Granella (2004), se o educador tiver uma concepção problematizada do erro, temos o Construtivismo, onde o erro não é tratado como uma questão reduzida ao resultado da operação (se acertou ou errou), mas sim de invenção e de descoberta.
- Aluno como perceptor representador: Aqui é bom destacar que o aprendiz não pode ser compreendido como um mero receptor de conteúdo, de conhecimentos prontos, sem que exista criticidade nesta relação. Ele percebe de acordo com o que ele é, percebe de maneira única, exclusiva o que é ensinado (AGUIAR, 2018).
- Consciência semântica: O significado é pessoal, a interpretação de uma informação é tipicamente individual, cada pessoa interpreta de um jeito.

O processo ensino-aprendizagem envolve apresentação, recepção, negociação e compartilhamento de significados, no qual a linguagem é essencial e, assim sendo, é preciso ter sempre consciência de que os significados são contextuais, são arbitrariamente atribuídos pelas pessoas aos objetos e eventos e que elas também atribuem significados idiossincráticos aos estados de coisas do mundo (MOREIRA, 2016).

Nesta visão, alguns princípios devem ser definidos:

1) Incerteza do conhecimento.

Este princípio se refere ao fato que a ciência é evolutiva assim como o conhecimento adquirido, e também é passível de erros, então é muito importante a consciência que nenhum conhecimento é absolutamente correto, mas evolutivo.

A questão da incerteza do conhecimento não significa relativismo, indiferença, mas sim de que não tem sentido ensinar dogmaticamente. O conhecimento humano evolui. Os melhores modelos que temos hoje darão origem a outros mais ricos, mais elaborados, enfim, melhores ainda. É preciso, então, aprendê-los de uma perspectiva crítica, não dogmática (MOREIRA, 2016).

2) Desaprendizagem.

O conhecimento prévio é peça fundamental na aprendizagem significativa, mas como num jogo de xadrez, é preciso saber a hora certa de usá-la, podendo até sacrificá-la se for necessário. A desaprendizagem é abandonar totalmente o conhecimento prévio, é exatamente o sacrifício da peça, que pode estar impedindo de se obter uma evolução no jogo, ou melhor, na aprendizagem.

3) Conhecimento como linguagem.

Instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa, signo é algo que significa alguma coisa. Um garfo, por exemplo, é um instrumento; um computador também, mas os ícones nele utilizados são signos. As palavras são signos linguísticos. A linguagem é um sistema articulado de signos; a Matemática e a Física também (MOREIRA, 2009).

Então, aprender Física, por exemplo, seria aprender a “falar Física”, a falar sobre o mundo usando outra linguagem (MOREIRA, 2008).

4) Diversidade de estratégias.

A utilização excessiva do quadro ainda é uma realidade do tradicionalismo enraizado na educação. O professor copia, o aluno transcreve em silêncio e, posteriormente, estuda aquilo que foi transcrito, para a realização de uma prova, uma avaliação. Para uma aprendizagem crítica, é preciso que haja discussão, questionamentos, uma postura ativa do aluno e também o uso das inúmeras tecnologias disponíveis nos dias de hoje.

Nos dias atuais, a tecnologia é uma realidade que traz inúmeros benefícios e, quando incorporada ao processo de ensino-aprendizagem, proporciona novas formas de ensinar e, principalmente, de aprender, em um momento no qual a cultura e os valores da sociedade estão mudando, exigindo novas formas de acesso ao conhecimento e cidadãos críticos, criativos, competentes e dinâmicos (GARCIA, 2013).

Enfim, a aprendizagem significativa é um processo de ensino-aprendizagem, que tem como principal finalidade causar uma mudança da metodologia tradicional para metodologias construtivistas, em que o estudante assuma uma postura crítica, autônoma, desafiadora e que seja protagonista da sua formação. A aprendizagem significativa aborda diversas perspectivas que se completam.

Por fim, se somarmos a todas as perspectivas da teoria da aprendizagem significativa mencionadas anteriormente e resumidas no quadro 1, a uma estratégia de ensino direcionada para o questionamento, a discussão, o debate, onde o professor se coloca como mediador e incentivador das discussões, teremos uma teoria educacional sólida, consistente e eficiente, para proporcionar verdadeiramente uma aprendizagem significativa nas aulas de Física. Essa estratégia é o ensino por investigação, como veremos no capítulo seguinte.

Ausubel (2003) esclarece que para se obter evidências de aprendizagem significativa, os problemas e questões propostos devem se caracterizar por situações novas e serem elaborados de forma que sua resolução exija mais do que a mera apresentação literal de conteúdos memorizados. Em decorrência, considerando os conhecimentos prévios dos alunos, cabe ao professor propor atividades novas, passíveis de serem solucionadas pelos alunos nas interações sociais em sala de aula. Tais atividades devem suscitar o pensar com e sobre o conhecimento, fundamental no processo da aprendizagem significativa, o que também é preconizado pelo ensino por investigação (BELMONT, PEREIRA e LEMOS, 2016).

Quadro 1 - Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica.

Período	Autor	Visão	Definição de aprendizagem significativa
1963	David Ausubel	Clássica	Interação cognitiva não-arbitrária e não-literal entre o novo conhecimento, potencialmente significativo, e algum conhecimento prévio, especificamente relevante, o chamado <i>subsunçor</i> , existente na estrutura cognitiva do aprendiz.
1980 – 1990	Joseph Novak	Humanista	Conotação humanista que subjaz à integração construtiva, positiva, entre pensamentos, sentimentos e ações que conduz ao engrandecimento humano.
	Gowin	Interacionista social	Abordagem triádica (aluno – professor – Materiais educativos do currículo), na qual o processo ensino-aprendizagem é uma negociação de significados cujo objetivo é compartilhar significados a respeito dos materiais educativos do currículo.
1980 – 1990	Johnson-Laird	Cognitiva contemporânea	Construção de modelos mentais a partir de conhecimentos que o indivíduo já tem em sua estrutura cognitiva e daquilo que ele percebe de uma nova situação (novo conhecimento), seja por percepção direta, descrição ou representação dessa situação.
	Vergnaud	Complexidade e progressividade	Construção de campos conceituais através da interação entre situações-problema (novos conhecimentos) e os conceitos em construção (<i>subsunçores</i>).
1990 – 2000	Maturana	Autopoiética	Interações perturbadoras entre a perturbação (novo conhecimento) e as explicações reformuladas pela experiência (<i>subsunçores</i>), que modificam a estrutura dos conhecimentos prévios sem alterar sua organização.
	Araújo e Veit	Computacional	Construção de representações mentais, que são representações internas com um certo grau de estabilidade, que podem modificar-se na medida em que incorporam novas informações.
2000	Moreira	Crítica	Integração que o sujeito faz entre os conhecimentos significativos e a sociedade de forma crítica, subversiva e antropológica.

Fonte: <https://periodicos.uuffs.edu.br/index.php/RIS/article/download/7657/5132/> (2018)

Nota: Acesso em 04 de fevereiro de 2021

3 A ABORDAGEM NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Como citado no capítulo anterior, a teoria adequada a formação de um ser tem sido uma tarefa difícil e muito discutida ao longo dos anos, sempre buscando uma estruturação no indivíduo para enfrentar os desafios da vida, principalmente nos dias de hoje, onde a concorrência está extremamente acirrada, com todo o desenvolvimento educacional e tecnológico.

Nos dias atuais, a realidade dos professores e profissionais da educação em geral é de um trabalho intenso, sobrecarregado, onde há muitas cobranças com melhoria nos índices de qualidade, com trabalhos burocráticos de preenchimentos de listas, tabelas e formulários para avaliação desses índices, restando pouco tempo aos profissionais envolvidos para se preocupar com o elemento principal do processo, que é o estudante, o objeto central do processo, que está perdendo espaço para números e índices estampados em jornais da televisão e na internet.

Faz-se necessário um processo de ensino e aprendizagem que possa atrair o estudante para buscar novos conhecimentos, despertando a curiosidade, estimulando a pesquisas com interação entre colegas e professores, num ambiente adequado ao estudo de ciências e que, principalmente torne o estudante um protagonista da sua própria formação.

Em uma busca no dicionário, Ensino-aprendizagem ou ensino e aprendizagem é um processo pedagógico, contínuo e recíproco que leva um indivíduo a assimilar, entender e colocar em prática aquilo que lhe é ensinado (DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS, 2009).

O processo ensino-aprendizagem compreende ações conjuntas do professor e do aluno, onde estarão estimulados a assimilar, consciente e ativamente os conteúdos/métodos e aplicá-los de forma independente e criativa nas várias situações escolares e na vida prática (BARBOSA e CANALLI, 2011).

No processo de ensino-aprendizagem tradicional o conhecimento é um produto pronto, acabado, definido. O processo de ensino-aprendizagem precisa ir além das definições tradicionais. O conceito de transmitir conhecimento, de transferência de conteúdo, de ensinar, instruir, preparar, deve ir além dos termos usados em

dicionários tradicionais antigos e até atuais, o termo ensino é interpretado, muitas vezes erroneamente, como relacionado primeiramente a quem sabe, quem tem o conhecimento, ao professor exclusivamente, é o professor que sabe e ensina, enquanto o termo aprendizagem é interpretado como relacionado a quem não tem conhecimento, quem recebe o conhecimento acabado de quem tem, o aluno aprende porque não tem conhecimento. Em resumo, na visão tradicional de ensino-aprendizagem, é preciso alguém que sabe para ensinar a quem não sabe nada a respeito de determinado tema. O processo muitas vezes é visto com sentido único, do professor, detentor do saber, para o aluno, receptor, que ainda não possui nenhum conhecimento a respeito do que se está sendo ensinado.

O papel do professor no processo de ensino e aprendizagem deve ser, muito mais, de mediador entre os novos conhecimentos e os atuais conhecimentos do aluno.

Sendo assim, o papel do professor mediador é de suma importância, pois ao despertar o interesse através da mediação, interação e motivação o torna mais presente na vida dos alunos. As práticas pedagógicas e o questionamento da ação docente, se faz necessário para a evolução do processo na construção do conhecimento (ARAÚJO, 2020).

3.2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A BNCC

Dentre inúmeras discussões ao longo do tempo, sobre as estratégias de ensino em que o professor desempenha um papel de mediador e orientador de conhecimentos e o aluno como elemento principal do processo, destaca-se o ensino por investigação.

O ensino por investigação coloca o aluno no centro do processo de ensino e aprendizagem, sendo necessário, para isto, que o professor se torne responsável, não só pela apresentação de conteúdo, mas como guia e orientador das atividades propondo, fomentando discussões, contribuindo, explicando e promovendo a sistematização do conhecimento. Uma atividade investigativa deve permitir o envolvimento em problemas experimentais ou teóricos, como também a participação no processo de construção dos seus próprios conhecimentos. Percebe-se que, se bem planejada, essa abordagem permite que os alunos fixem os conteúdos com participação ativa e despertem a criatividade, a participação e a vontade de aprender (BRITO, BRITO e SALES, 2018).

O processo investigativo surge na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como elemento central na formação dos alunos (HOLANDA, 2020).

A BNCC apresenta em seu texto o claro compromisso com o desenvolvimento de competências (Figura. 2) e uma perspectiva de educação integral que desafia as instituições escolares a proporem uma prática educativa que supere a fragmentação do conhecimento e proporcione, de modo sistemático e gradual, uma relação reflexiva, prática e contextualizada com a realidade, assim como considere as singularidades dos estudantes brasileiros (TERAHATA, 2019).

Figura 2 - BNCC - Competências gerais.



Fonte: <http://portal.educacao.rs.gov.br/novo-ensino-medio> (2019)

Nota: Acesso em 10 de dezembro de 2019

Em resumo, a BNCC sugere uma perspectiva de ensino onde o professor é um mediador de conhecimentos e o aluno passa a ser o principal protagonista de sua formação, um ser ativo que questiona, observa, discute, duvida, pesquisa, busca e constrói soluções, características da investigação científica, porém com complementos e particularidades que sugerem, entre outras palavras, o abandono do ensino tradicional, em que o professor é o elemento principal do processo, que transmite todo conhecimento para um aluno passivo, um assimilador de conteúdo.

3.3 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O ensino por investigação constitui uma abordagem que promove o questionamento, o planejamento, a escolha de evidências, as explicações com bases nas evidências e a comunicação. Ensinar por investigação significa fazer um movimento de aproximar os conhecimentos científicos dos conhecimentos escolares, mobilizando assim a atividade do aprendiz ao invés de sua passividade, ou seja, não é uma prática em que os alunos aprendem por conta própria, somente pela observação dos fatos com interpretações limitadas (NUNES, 2017).

Em um episódio de ensino e aprendizagem, a professora ou professor apresenta aos alunos os significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino e que ela ou ele já domina. Apresentar aqui não significa aula expositiva, nem passividade de parte dos alunos, os quais devem “devolver” ao docente os significados que estão captando. Se estes significados não forem aqueles contextualmente aceitos na matéria de ensino, cabe ao professor ou professora apresentá-los novamente, provavelmente de outra maneira, aos alunos. Estes devem outra vez “devolvê-los” ao docente. Quer dizer, a captação de significados implica diálogo, negociação de significados. O aluno tem que externar os significados que está captando. Esse processo pode ser longo e só termina quando o aluno capta os significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (MOREIRA, 2010).

Enfim, há muitas similaridades entre as características das atividades com carácter investigativo com os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa, ambas defendem uma postura ativa do aluno e mediadora do professor, estimulam a argumentação, a discussão, a indagação, a formação de alunos com pensamento crítico, argumentativo, reflexivo e contestador, que tenham opiniões, argumentos e conceitos próprios, mas abertos a discussões, fatores que vêm favorecer ainda mais a aprendizagem no sentido de se tornar mais significativa.

3.4 A ABORDAGEM INVESTIGATIVA COMO ESTRATÉGIA

A aplicação de um ensino por investigação na sala de aula exige que os professores mudem a sua postura como professor, facilitando o diálogo, a fala, estimulando o estudante a expor suas ideias e conhecimentos e concepções, tornando a aula dinâmica e dividindo o protagonismo com os estudantes, fazendo com

que o estudante sinta e perceba que fez parte da construção do conhecimento científico proposto, embora seja necessário usar o bom senso por parte do professor para analisar se o contexto do assuntos abordados devem ser explorados através de atividades investigativas, mesmo que na área de ciências a investigação seja sempre apropriada, cabe ao professor decidir o rumo do processo.

A sugestão inicial é de sempre usar ferramentas atrativas para causar a curiosidade e despertar o interesse inicial por partes dos estudantes e depois tornar o processo de ensino por investigação o caminho para uma aprendizagem realmente significativa.

A estratégia educacional do projeto, que induzirá a uma aprendizagem significativa nas aulas de Física, está dividida em duas etapas, a primeira apresenta um conjunto de atividades com caráter investigativo e a segunda uma avaliação argumentativa, também com caráter investigativo como base para criação das avaliações necessárias na implementação do projeto.

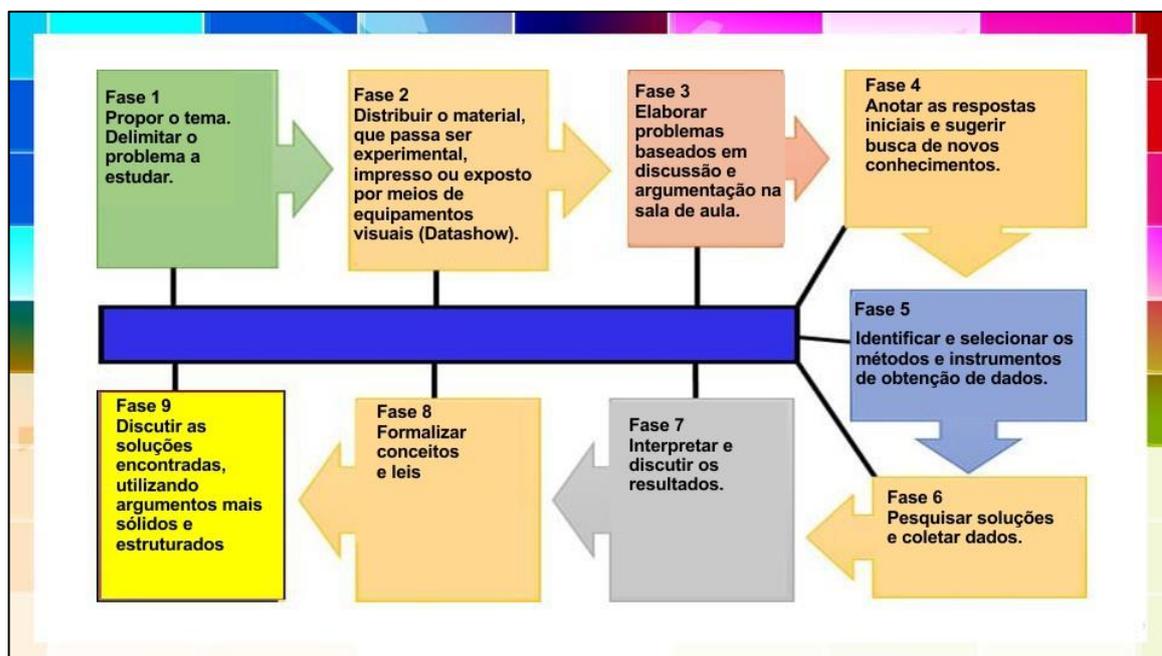
Para isso, a sequência de encontros com propostas de atividades investigativas, que têm como objetivo principal, subsidiar o trabalho pedagógico do professor que atua com estudantes do ensino médio, esses encontros serão detalhados no capítulo 7 e devem ser adequados a cada situação.

Na Fluxograma 1, são descritas as etapas para o desenvolvimento de atividades com caráter investigativo para cada encontro, este quadro é apenas uma sugestão, não se tratam de passos fixos ou rígidos que devem ser seguidos fielmente, porém o professor deve fazer adequações e adaptações de acordo com o seu planejamento, a fim de que todas as características das atividades investigativas sejam contempladas.

Esses encontros devem incluir testes avaliativos no processo. Esses testes servem para análise da efetividade do produto em geral, também uma análise da postura e o desenvolvimento da turma, em relação ao processo. Os resultados trarão dados extremamente úteis para análise em geral e conseqüentemente, para adaptações futuras, visando sempre a melhoria nos resultados obtidos. Esses testes também devem ser adaptados a cada contexto, mas devem seguir a mesma teoria educacional do resto do processo, o ensino por investigação, que desperta nos

estudantes a curiosidade e o interesse, desenvolvendo a capacidade para observar, analisar, desenvolvendo suas próprias teorias e levando a compreensão do proposto.

Fluxograma 1 - Sequência sugerida nos encontros.



Fonte:

https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3017/1/LD_PPGEN_M_Sperandio%2C%20Maria%20Regina%20da%20Costa_2017.pdf (2017)

Nota: Acesso em 10 de dezembro de 2019

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE A BOBINA DE TESLA

4.1 UM CONTEXTO HISTÓRICO

A bobina de Tesla foi criada pelo croata Nikola Tesla no ano de 1891, neste mesmo ano Tesla naturalizou-se americano. Tesla nasceu na cidade de Smiljan, numa região que pertencia ao império austro-húngaro, por isso alguns o consideram austríaco, mas atualmente Smiljan pertence ao território da Croácia.

Em 1877 ingressou no curso de Engenharia Elétrica na cidade de Graz na Áustria, porém alguns problemas de saúde atrapalharam seus objetivos e ele abandonou seus estudos se mudando para a cidade de Mirabor na Eslovênia no ano de 1878, para trabalhar de engenheiro assistente, mesmo não concluindo o curso de Engenharia Elétrica. Seu pai, um padre ortodoxo, sempre o incentivou a estudar e Tesla se mudou, agora para Praga na República Tcheca no ano de 1880, frequentando a universidade de Praga, voltando a estudar Engenharia Elétrica porém, por ironia do destino, neste mesmo ano perdeu o pai, a pessoa mais influente da sua vida e que sempre lhe incentivou a estudar, então Tesla se sentiu muito deprimido e abandonou de vez a universidade, embora tenha adquirido muita instrução nesse período, como por exemplo o dínamo Gramme, que podia funcionar tanto como um gerador como um motor elétrico, neste mesmo ano mudou-se para Budapeste na Hungria, onde trabalhando de engenheiro elétrico, montou a primeira companhia de telégrafos do país, criando seus primeiros projetos (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020).

No ano de 1882, mudou-se para Paris, conseguindo o emprego de engenheiro na Continental Edison Company, a filial da companhia americana do grande inventor e empresário, o americano Thomas Edison, nesta época Tesla já tinha muitas ideias e precisava de investimentos para desenvolvê-las, sendo orientado pelo seu gerente a procurar esse investidor no mundo novo, os Estados Unidos da América. Nikola Tesla mudou-se para os Estados Unidos em 1884 e, com uma carta de apresentação do gerente da filial, apresentou-se a Thomas Edison com suas novas ideias, principalmente motores e transformadores de corrente alternada. Thomas Edison já era um inventor mundialmente famoso e não demonstrou nenhum interesse pela corrente alternada, não percebeu o grande potencial dessas ideias, Edison já tinha desenvolvido geradores de corrente contínua, já estava distribuindo a corrente

contínua por alguns bairros de Nova Iorque e apenas ofereceu um emprego de engenheiro e uma proposta para Tesla melhorar o rendimento e o aumentar as vendas de seus geradores contínuos, para isso lhe pagaria um prêmio de 50 mil dólares. Embora Tesla fosse um cientista nato, aceitou a proposta e abandonou por uns tempos seus projetos, dedicando-se integralmente aos projetos da companhia, conseguindo o que lhe tinha sido proposto, cumprindo sua parte no acordo verbal. Thomas Edison era também um inventor nato, mas também um homem de negócios e não cumpriu o que tinha acordado verbalmente, dizendo em tom de brincadeira: “Tesla, você não conhece o senso de humor americano”, criando uma desavença e rivalidade entre os dois que iria durar para sempre, embora essa história tenha sido contestada por alguns acompanhantes de Thomas Edison, como descrito na nota de rodapé do livro “*Tesla: Man Out of Time*”, da escritora americana Margaret Cheney (Figura 3).

Os apoiadores de Edison têm uma versão diferente: que Tesla ofereceu vender suas patentes AC para Edison por \$50,000, e este último recusou brincando (CHENEY, 1981).

Figura 3 - Trecho do livro "Tesla: Man Out of Time".

Livro da escritora americana Margaret Cheney contando uma passagem importante da carreira de Nikola Tesla.

to report complete success and, not incidentally, to ask when he might receive his \$50,000.

Edison swept his high black shoes from his desk and fell forward openmouthed.

“Tesla,” he exclaimed, “you don’t understand our American humor.”¹⁰

Once again it seemed that the Serb was to be deliberately cheated by an Edison company. Angered, he announced he would resign. Edison offered a compromise: a \$10 raise of his princely salary of \$18 per week. Tesla picked up his bowler hat and walked out.*

* The Edison camp has a different version: that Tesla offered to sell his AC patents to Edison for \$50,000, and the latter jokingly declined.

Fonte: https://books.google.com.sg/books?id=8b-Dp_2KmJoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false (1981)

Nota: Acesso em 25 de dezembro de 2020

Em 1888, Nikola Tesla apresentou uma palestra com projetos de máquinas de corrente alternada e dessa vez impressionou um outro grande empresário do ramo, o americano George Westinghouse, dono da Westinghouse Electric Company em

Pittsburgh nos EUA, que comprou suas patentes e ofereceu ainda uma proposta de dois dólares para cada Hp de potência vendida das suas patentes, proposta essa que também não foi cumprida, mas foi tratada de forma diferente por Westinghouse, que era um homem de palavra, deixando claro que se tivesse de cumprir essa cláusula do contrato, iria falir a companhia pois, com o sucesso das vendas, lhe devia uma fortuna e cabia a Nikola Tesla a decisão de dispensar a dívida ou não, Tesla rasgou o contrato, mantendo a companhia, a amizade e a confiança.

Em 1891, Tesla criou a bobina, cuja intenção era de distribuir a energia elétrica sem fio. Em 1893, depois de uma acirrada disputa com Thomas Edison, que ficou conhecida como a guerra das correntes, a parceria de Tesla e Westinghouse venceu a licitação para a famosa feira Mundial de Chicago, para celebrar os 400 anos da chegada de Cristóvão Colombo ao Novo Mundo em 1492 (CHICAGO HISTORY MUSEUM, 2020), pouco tempo depois também venceu a outra disputa contra Edison, para a instalação dos geradores da usina hidrelétrica das cataratas do rio Niágara, na divisa com o Canadá (Fotografia 1), era o auge do sucesso e da carreira de Nikola Tesla.

Fotografia 1 - Placa de identificação do gerador

Gerador das cataratas do Niágara. Representa o auge do sucesso na carreira de Nikola Tesla.



Fonte: <https://coek.info/queue/pdf-the-patents-of-nikola-tesla-.html> (2020)

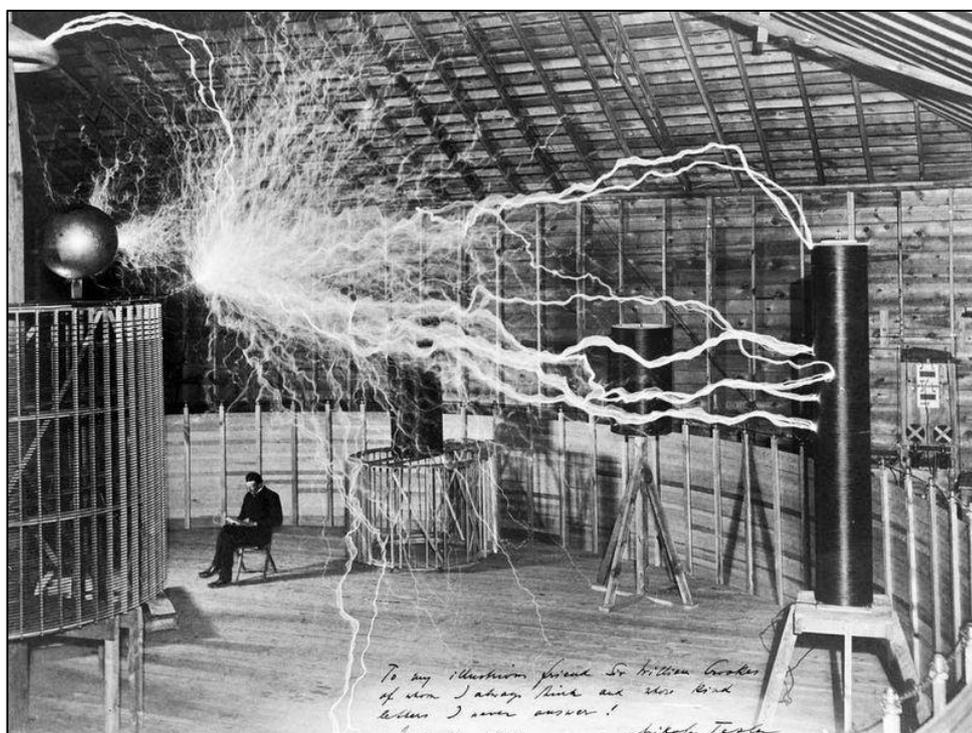
Nota: Acesso em 25 de dezembro de 2020

No ano de 1899, Nikola Tesla mudou-se para o estado do Colorado, construindo um laboratório em Colorado Springs (Fotografia 2), onde desenvolveu muitos projetos e uma torre para transmissão de energia sem fio, embora não tenha

tido sucesso nisso e abandonou o projeto com o tempo. Tesla faleceu em 7 de janeiro de 1943 na cidade de Nova Iorque aos 86 anos, pobre e com fama de cientista maluco, mais um injustiçado da humanidade, um homem que foi um dos maiores gênios da Engenharia Elétrica (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, 2020).

Fotografia 2 - Nikola Tesla no seu laboratório em Colorado Springs.

Tesla desenvolveu muitos projetos e uma torre para transmissão de energia sem fio.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla#/media/Ficheiro:Nikola_Tesla,_with_his_equipment_Wellcome_M0014782.jpg (2019)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019

4.2 DEFINIÇÕES INICIAIS

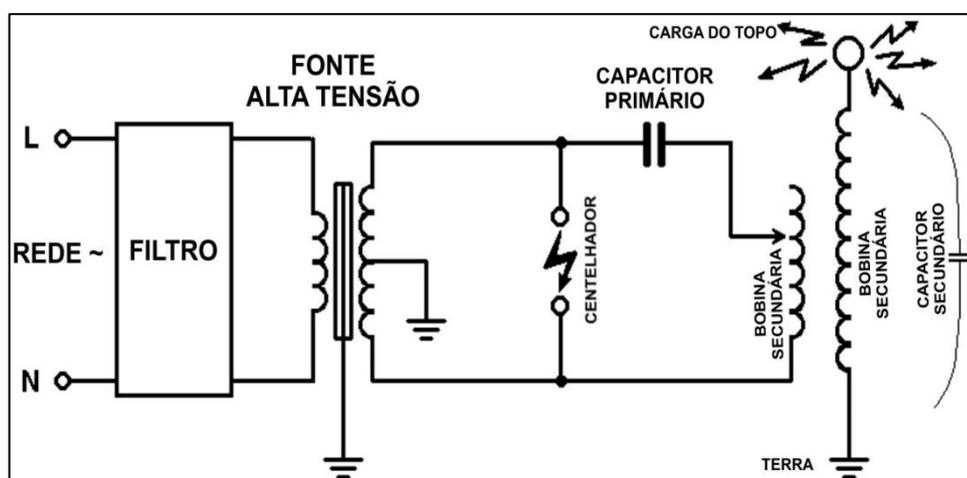
O transformador de Tesla ou bobina de Tesla foi inventado por Nikola Tesla no final do século XIX. Na forma mais usual, é formada por um transformador com núcleo de ar com um capacitor primário carregado a uma tensão de alguns (5-30) kV se descarregando sobre a bobina primária através de um centelhador (QUEIROZ, 2006).

O esquema da Figura 4 é de uma bobina de Tesla original produzida por Nikola Tesla, por volta de 1890. É formado basicamente por dois circuitos RLC acoplados por meio da indução eletromagnética, já considerando a resistência interna do circuito. Esses circuitos oscilantes são basicamente alimentados por uma fonte externa e entram em ressonância com alta frequência de oscilação, definida pelas cargas

indutivas, resistivas e capacitivas do circuito. A bobina é basicamente um transformador ressonante com núcleo de ar, alimentado por uma fonte externa.

Figura 4 - Esquema da bobina de tesla.

O esquema da figura 4 é de uma bobina de Tesla original produzida por Nikola Tesla, por volta de 1890. É formado basicamente por dois circuitos RLC acoplados por meio da indução eletromagnética.



Fonte: <https://sites.google.com/site/nearcommunications/nikola-tesla-2> (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

O transformador é um dispositivo capaz de aumentar (para a transmissão) e reduzir (para o consumo) a tensão nos circuitos, mantendo praticamente constante o produto corrente \times tensão. Esse dispositivo, que não tem partes móveis, utiliza a lei de indução de Faraday e não funciona com corrente contínua (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2012).

Chama-se indução eletromagnética ao fenômeno pelo qual aparece corrente elétrica num condutor, quando ele é colocado num campo magnético e o fluxo que o atravessa varia (E-FÍSICA - INSTITUTO DE FÍSICA - USP, 2007).

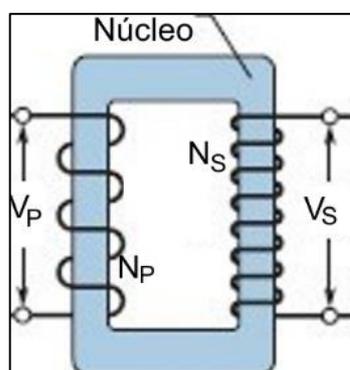
A lei de Faraday, também conhecida como a lei da indução, pode ser definida pela variação do fluxo de campo magnético ($d\phi$) através da bobina de N espiras, onde ε é força eletromotriz induzida na bobina (Eq. 1).

O sinal negativo da equação 1 é derivado dos estudos de Lenz, onde foi comprovado que a corrente induzida tem sentido que gera fluxo induzido oposto ao fluxo indutor. A lei da indução eletromagnética serve de base para o funcionamento dos alternadores, dínamos e transformadores (ANTUNES e MORETTI, 2015).

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

O transformador funciona por indução eletromagnética e é formado por duas bobinas, primária (L_P) e secundária (L_S), enroladas em um núcleo de ferro, onde V_P e N_P são, respectivamente, a tensão e o número de espiras na bobina primária e V_S e N_S a tensão e número de espiras na bobina secundária (Figura. 5).

Figura 5 - Transformador com núcleo de ferro.
Observe as duas bobinas, primária e secundária.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012).

Desconsiderando as perdas, ou seja, para um transformador ideal o número de espiras é proporcional tensão nas bobinas e inversamente proporcional a corrente (Eq. 2).

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} \quad (2)$$

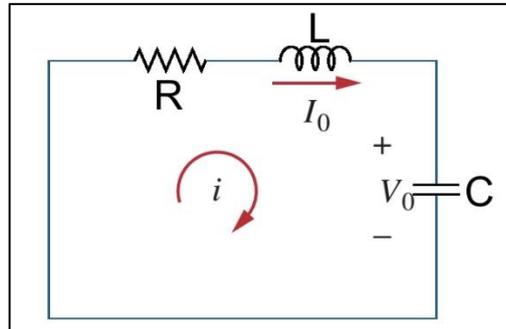
Na bobina de Tesla, as bobinas primária e secundária estão ligadas em série, respectivamente, ao capacitor primário e secundário, formando dois circuitos LC acoplados magneticamente. Ambos os circuitos possuem resistência interna muito baixa e a rigor passam a ser circuitos RLC em série.

Com uma resistência R presente, a energia eletromagnética total U do circuito (a soma da energia elétrica e da energia magnética) não é constante como no circuito LC, pois parte da energia é dissipada pela resistência em energia térmica. Por causa dessa perda de energia, as oscilações de carga, corrente e diferença de potencial (d.d.p.) diminuem continuamente de amplitude e dizemos que as oscilações são amortecidas (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2012).

A Figura 6 descreve um circuito RLC sem fonte no instante em que o capacitor descarrega.

Figura 6 - Circuito RLC com capacitor carregado.

R representa a resistência, L a indutância e C o capacitor. A corrente real de descarga que circula neste circuito é representada pela seta vermelha.



Fonte: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas> (2020)

Nota: Acesso em 18 de dezembro de 2020.

Para analisar o circuito, podemos modelar uma equação baseada na lei das malhas (Eq. 3), embora possa ser feito de outras formas, como veremos no item 2.5 deste capítulo.

$$V_R + V_L + V_C = 0 \quad (3)$$

$$Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = 0 \quad (4)$$

Derivando a equação 4, dividindo por L e rearranjando

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0 \quad (5)$$

Para resolver a equação 5, usamos a solução genérica $i = Ae^{st}$ e as condições iniciais

$$\begin{cases} v(0) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^0 i dt = V_0 \\ i(0) = I_0 \end{cases}$$

$$As^2e^{st} + \frac{AR}{L}se^{st} + \frac{A}{LC}e^{st} = 0 \quad (6)$$

$$Ae^{st} \left(s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} \right) = 0 \quad (7)$$

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (8)$$

$$s_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (9)$$

$$s_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (10)$$

$$s_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}, \quad (11)$$

$$s_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \quad (12)$$

Fazendo $\alpha = \frac{R}{2L}$ e $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, onde α é o coeficiente de amortecimento do sistema e ω_0 a frequência natural do circuito, temos que a equação 8 fica

$$s^2 + 2\alpha s + \omega_0^2 = 0 \quad (13)$$

Com

$$i_1 = A_1 e^{s_1 t} \text{ e } i_2 = A_2 e^{s_2 t} \text{ logo,}$$

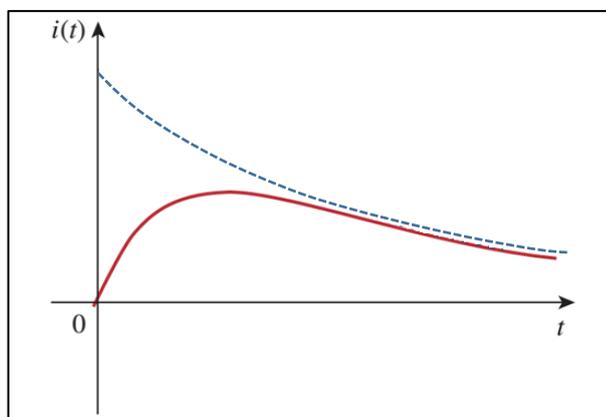
$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}, \quad (14)$$

onde A_1 e A_2 são constantes determinadas pelas condições iniciais (condições de contorno). Essa corrente $i(t)$ depende diretamente dos valores de s_1 e s_2 e, conseqüentemente, dos valores de α e ω_0 . No caso de $R = 0$ teremos $\alpha = 0$, oscilações livres sem amortecimento e o circuito passa a ser um circuito LC, no caso de $\alpha \neq 0$ podemos ter três tipos de amortecimento diferentes e, conseqüentemente, três tipos diferentes de oscilações com amortecimento:

- i) Se $\alpha > \omega_0$ então $C > \frac{4L}{R^2}$, (Gráfico 1)

Gráfico 1 - Oscilações superamortecidas.

O amortecimento é extremamente abrupto tendendo exponencialmente a zero no decorrer do tempo, não permitindo uma oscilação completa. Em azul, uma função com decaimento exponencial como referência.



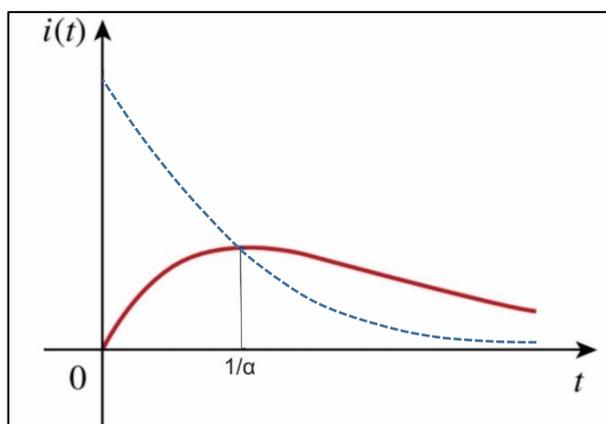
Fonte: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas> (2020)

Nota: Acesso em 19 de dezembro de 2020.

- ii) Se $\alpha = \omega_0$ então $C = \frac{4L}{R^2}$, (Gráfico 2)

Gráfico 2 - Oscilações criticamente amortecidas.

O amortecimento retorna à posição do equilíbrio no tempo mais rápido sem oscilar, o decaimento não acompanha a função exponencial, em azul, como o anterior.



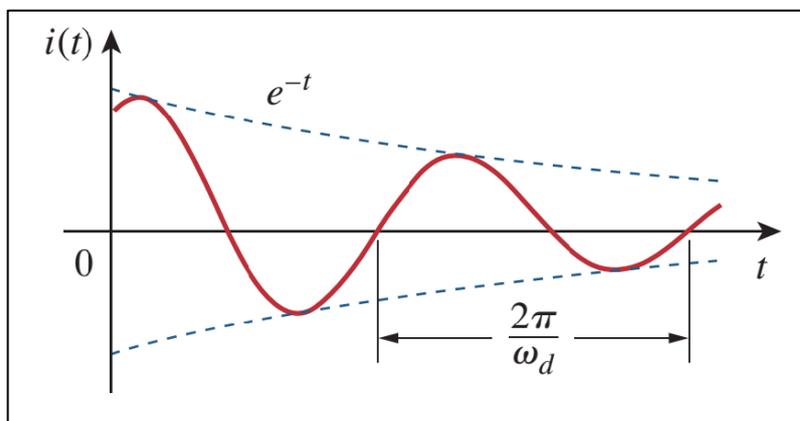
Fonte: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas> (2020)

Nota: Acesso em 19 de dezembro de 2020.

iii) Se $\alpha < \omega_0$ então $C < \frac{4L}{R^2}$, (Gráfico 3)

Gráfico 3 - Oscilações subamortecidas.

Amortecimento é suave e as oscilações decaem exponencialmente. As envoltórias exponenciais são previstas na solução.



Fonte: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas> (2020)

Nota: Acesso em 19 de dezembro de 2020.

De forma sintetizada, o comportamento do circuito RLC em série está descrito no Quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros do circuito RLC em série.

Note que o parâmetro α é o que determina o comportamento da curva.

Condição	Critério	α	ω_0	Resposta $i(t)$
Sobre amortecido	$\alpha > \omega_0$	$R/2L$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$ onde $s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$
Criticamente amortecido	$\alpha = \omega_0$	$R/2L$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$e^{-\alpha t}(A_1 t + A_2)$
Sub amortecido	$\alpha < \omega_0$	$R/2L$	$\frac{1}{\sqrt{LC}}$	$e^{-\alpha t}(B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sin \omega_d t)$, onde $\omega_d = \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$ Frequência natural amortecida

Fonte: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas> (2020)

Nota: Acesso em 19 de dezembro de 2020.

Outra teoria fundamental para o entendimento do funcionamento da bobina de Tesla é o fato de que indutores e capacitores, diferentes dos resistores, armazenam energia para criar campos magnéticos e elétricos respectivamente, e devolvem ao

sistema quando demandado. Essa energia gera uma potência chamada de potência reativa.

A potência reativa é aquela potência consumida por reatâncias (indutivas ou capacitivas) no armazenamento de energia, magnética ou elétrica, para o devido funcionamento do sistema elétrico. Sua unidade é o volt-ampère reativo (VAr) (INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA, 2017).

Em corrente alternada, existem outros efeitos além do resistivo que influenciam a passagem de corrente no circuito; por exemplo, a indutância quando o circuito contém bobinas, ou a capacitância quando o circuito contém capacitores. Deste modo, a razão entre tensão e corrente em um circuito de corrente alternada recebe um outro nome: impedância. A impedância de um circuito é composta de três componentes, Z_R a componente resistiva da impedância ou simplesmente resistência (R), Z_C a reatância capacitiva (X_C) e Z_L a reatância indutiva (X_L) (USP - INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS, 2010).

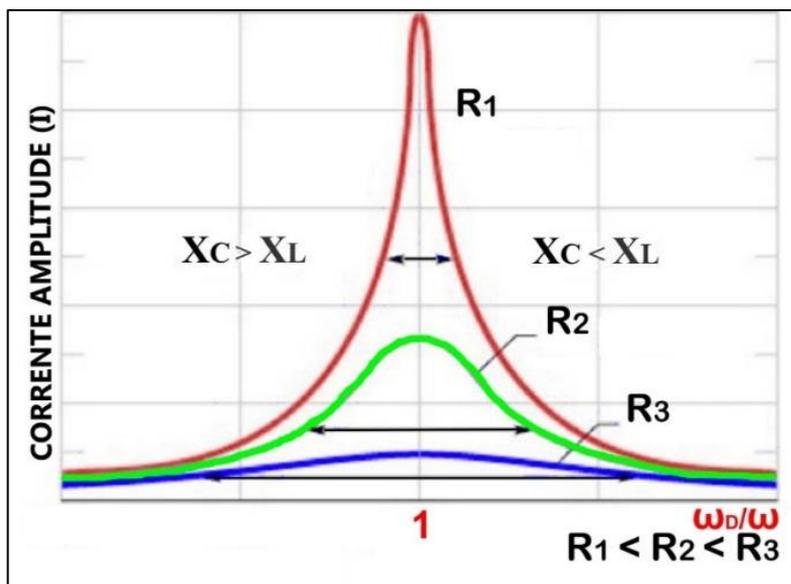
Num circuito RLC, alimentado por corrente alternada, considerando as amplitudes de corrente (i) e tensão (V), a capacitância (C), a indutância (L), e a frequência angular de excitação (ω_D), a impedância é dada por $Z = \sqrt{Z_R^2 + (Z_L - Z_C)^2}$, onde $Z_R = R$, e os equivalentes da resistência neste caso são a reatância capacitiva dada por $Z_C = \chi_c = \frac{1}{\omega_0 C}$ e a reatância indutiva por $Z_L = \chi_L = \frac{1}{\omega_0 L}$. Assim, teremos, $V_R = Ri$, $V_C = \chi_c i$ e $V_L = \chi_L i$.

A reatância indutiva X_L atrasa a corrente no circuito, a reatância capacitiva X_C adianta a corrente no circuito, ambas em relação a tensão. Se $X_L > X_C$, a impedância tem carácter indutivo, se $X_L < X_C$, a impedância do circuito tem carácter capacitivo e se $X_L = X_C$, a impedância é puramente resistiva.

Resumindo, o Gráfico 4 ilustra a curva de ressonância em um circuito RLC com frequência natural de oscilação ω , alimentado por fonte de corrente alternada com frequência de excitação ω_D .

Gráfico 4 - Curva de ressonância do circuito RLC.

Ilustração da curva de ressonância em um circuito RLC com frequência natural de oscilação ω , alimentado por fonte de corrente alternada com frequência de excitação ω_D . Quando as reatâncias são iguais o circuito entra em ressonância.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2012)

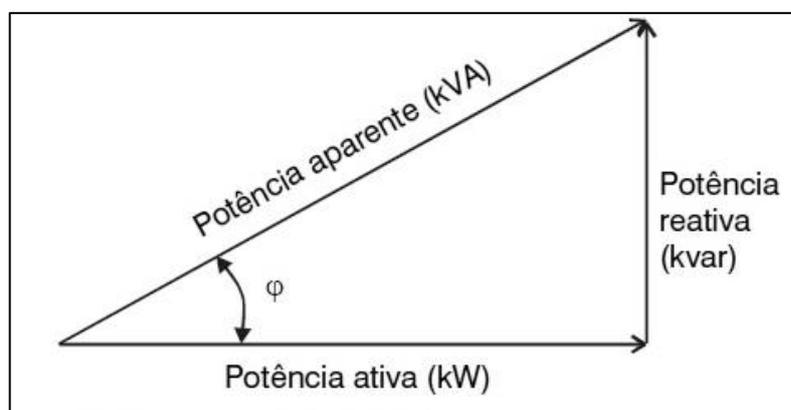
A impedância equivalente do circuito na frequência de ressonância é igual à resistência R , neste caso a corrente será máxima. O circuito ressonante tem um ângulo de fase igual a zero e diz-se que possui fator de potência é igual a um (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DELET - UFRGS, 2011).

Nestes circuitos, a potência total, também chamada de potência aparente, será a soma da potência reativa com a potência ativa (útil), para esta soma é muito comum se utilizar o triângulo de potência (Figura. 7). A relação entre a potência ativa e aparente define o que se chama de fator de potência (FP).

A potência reativa depende da potência ativa através do fator de potência (cosseno do ângulo entre elas). A potência aparente é representada pela soma vetorial destas. O conjunto forma o que se denomina de Triângulo de Potência.

Figura 7 - Triângulo de potência.

A potência reativa depende da potência ativa através do cosseno do ângulo entre elas. A soma vetorial chama-se potência aparente.



Fonte: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/Arquivo:Triangpot3.png> (2017)

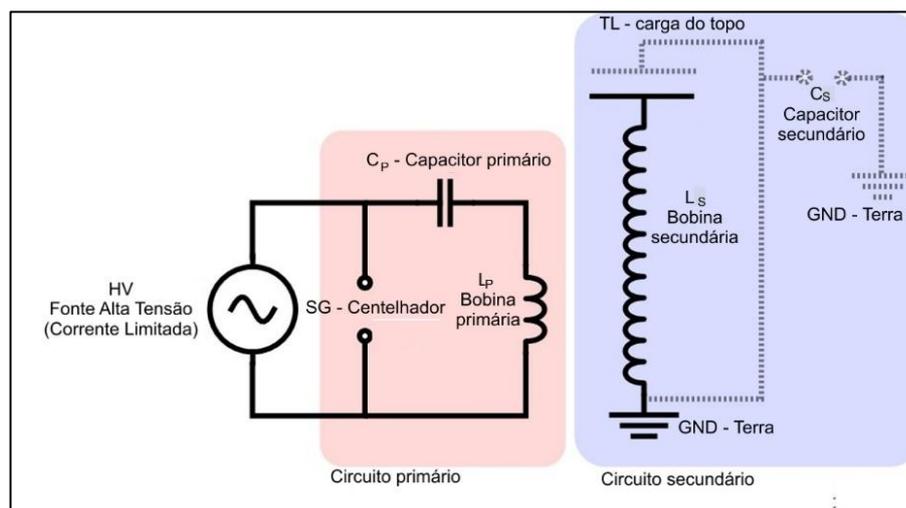
Nota: Acesso em 18 de dezembro de 2020.

A Resolução ANEEL 456/2000 determina que o Fator de Potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade (1), mas permite um valor mínimo de 0,92. Quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativa, mais baixo será o Fator de Potência (COPEL DISTRIBUIÇÃO, 2019).

4.3 O FUNCIONAMENTO

A bobina de Tesla é um experimento que está centrado na área do eletromagnetismo, porém envolve vários temas relacionados a outras áreas da Física. Como já foi descrito, teoricamente a bobina é formada por dois circuitos LC (Figura. 8) acoplados que produzem oscilações e, quando entram em ressonância, emitem radiações eletromagnéticas de alta frequência, centelhas elétricas barulhentas e chamativas. É basicamente um transformador elétrico alimentado por uma fonte de alta tensão, ou seja, é um transformador que eleva uma tensão, que já é alta na entrada, para valores altíssimos.

Figura 8 - Circuitos LC (primário e secundário).



Fonte: http://hazardousphysics.christophgerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

A bobina de Tesla é alimentada por uma fonte de tensão que determina a potência do equipamento. O tamanho pode variar de mini bobinas até bobinas de grande porte, cujo investimento financeiro é muito alto, embora o princípio básico de funcionamento seja o mesmo, a indução eletromagnética, mesmo em bobinas que usam fontes de corrente contínua, as bobinas do estado sólido chamadas de SSTC (Solid States Tesla Coil) com sistemas transistorizados, o princípio básico é o mesmo.

O esquema de uma bobina de Tesla SGTC (Spark Gap Tesla Coil) é simplificado. Os componentes do circuito podem ser resumidos em uma fonte de alimentação de alta tensão de corrente alternada, um capacitor, um centelhador e duas bobinas, uma primária e a outra secundária, embora haja esquemas até com três bobinas, as duas citadas e uma chamada de bobina extra, mas é um esquema mais complexo e pouco utilizado.

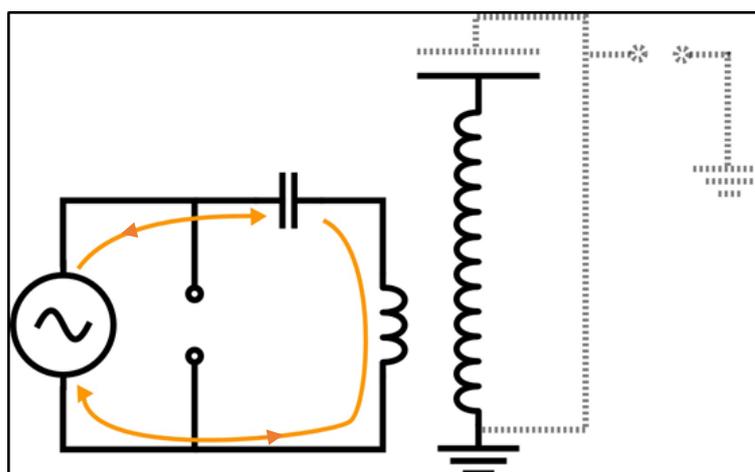
A bobina tradicional usa um centelhador em cada circuito, é também conhecida como bobina SGTC, usa fonte de corrente alternada e ressonância simples, já as bobinas do estado sólido usam fontes de corrente contínua e podem ter ressonância simples (SSTC) ou dupla (DRSSTC).

A descrição do funcionamento da bobina será detalhada nas próximas páginas dessa seção. Mesmo com uma grande variedade de modelos, o princípio básico é o mesmo para todas e vale para qualquer modelo escolhido adaptando as partes para cada esquema, que, teoricamente, são circuitos LC acoplados.

O funcionamento básico começa com a fonte de alta tensão carregando o capacitor primário, fazendo a corrente circular na malha maior, formada pela fonte de alta tensão, capacitor primário e a bobina primária, como descrito na Figura 9. Este carregamento ocorre com a frequência da rede de alimentação e tensão que varia na faixa de 8 kV a 15 kV, essa tensão pode ser maior ou menor que isto, mas aumentar muito ou diminuir muito vai trazer consequências para a montagem e funcionamento do circuito. A tensão do capacitor deve ser um pouco maior que da fonte primária para evitar danos ao próprio.

Figura 9 - Carregamento do capacitor primário.

A seta laranja representa um ciclo da corrente alternada que circula no circuito e carrega o capacitor primário.



Fonte: http://hazardousphysics.christophgererekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

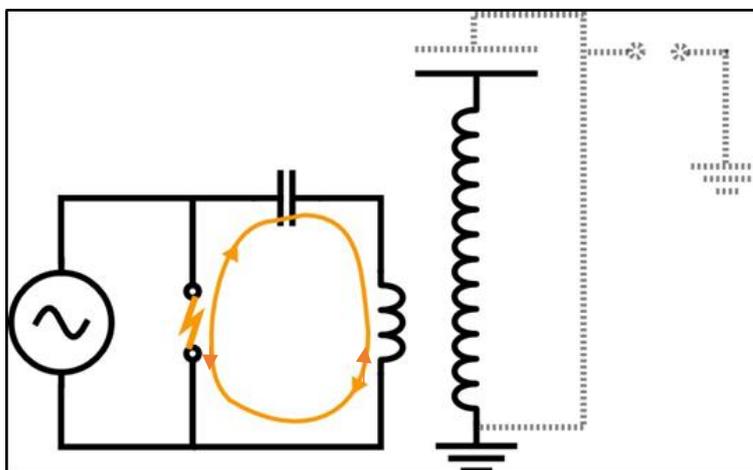
A segunda etapa, descrita na figura 10, ocorre quando a tensão sobre o capacitor alcança a tensão de disparo do centelhador, este entra em condução, passando a apresentar uma resistência efetiva baixa, de poucos ohms, atuando como uma chave. O capacitor primário então se descarrega sobre a bobina primária. A descarga é oscilatória, na frequência de ressonância do circuito LC primário, que pode variar de 50 kHz a 400 kHz (QUEIROZ, 2006).

Essas oscilações são amortecidas pela resistência interna do circuito e pelo centelhador, que fazem o papel da carga resistiva no circuito, dissipando parte energia do sistema em forma de calor. O centelhador ideal deve suportar altas temperaturas, pois o aquecimento excessivo cria crostas de oxidação (SILVEIRA, 2017), aumentando cada vez mais a resistência, isolando as extremidades do centelhador,

sendo necessário usar uma lixa fina ocasionalmente para retirar a oxidação acumulada. As ligas de cobre são bons candidatos para este fim.

Figura 10 – Descarga do capacitor primário.

Quando o capacitor primário é carregado, produz uma d.d.p. nos terminais do centelhador, suficiente para romper a rigidez dielétrica do ar entre seus terminais. O capacitor primário descarrega toda carga no circuito primário, que tem frequência natural definida pelos componentes do próprio circuito.



Fonte: http://hazardousphysics.christophgererekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

Por indução, as oscilações do circuito primário geram oscilações no circuito secundário. É importante que o circuito secundário tenha a mesma frequência de oscilação ou próxima a do primário para que haja ressonância, transferindo energia ao máximo, essa frequência (Hz), pode ser determinada pela equação 15.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_P C_P}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S C_S}}, \quad (15)$$

onde L_P e L_S são as indutâncias das bobinas primária e secundária e C_P e C_S são as capacitâncias dos capacitores primário e secundário, respectivamente.

O circuito secundário é semelhante ao primário, os circuitos primário e secundário possuem acoplamento magnético, o acoplamento entre esses dois circuitos é deliberadamente baixo. Oscilações no primário, pela lei de Faraday, vão levar ao aparecimento de uma força eletromotriz (fem) no secundário (Figura. 11). Essa fem, assim como em todo transformador, depende diretamente da diferença do número de espiras entre a bobina primária e secundária e também depende da tensão

elétrica no circuito primário, que é definida pela fonte de alta tensão primária. A energia do primário é transferida por indução eletromagnética ao secundário, que também possui um centelhador e um capacitor formado pela carga do topo e um aterramento próximo. (HAZARDOUS PHYSICS, 2011).

Figura 11- A fem induzida no secundário.



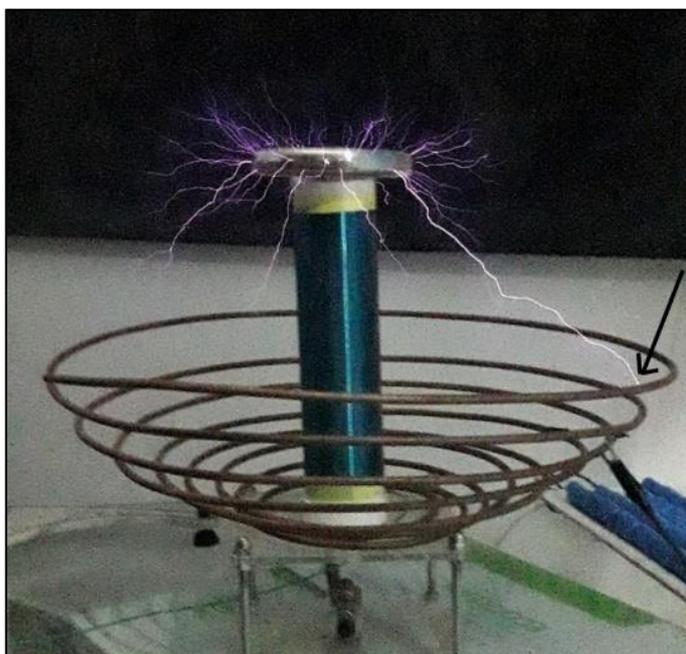
Fonte: http://hazardousphysics.christophergerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

As altíssimas tensões elétricas no circuito produzem centelhas que se dirigem para um potencial elétrico menor e mais próximo, descarregando muitas vezes na bobina primária ou na própria bobina secundária como mostrado na Fotografia 3.

Fotografia 3 – Detalhe da descarga elétrica sobre a bobina primária.

Observe que as descargas se dirigem para a bobina primária. Isto deve ser evitado.



Fonte: O Autor (2020).

Deve-se evitar essas descargas. Devido à altíssima tensão elétrica do circuito secundário, as descargas podem danificar o isolamento da fonte primária ou do

capacitor primário, e danos ao isolamento significa perda do componente. Existem várias maneiras de evitar isso, uma delas é direcionar as descargas aproximando o fio terra do topo da bobina (Fotografia 4).

Fotografia 4 - Descarga no fio terra.

Direcionar as descargas aproximando o fio terra do topo da bobina evita danos ao isolamento elétrico dos componentes.

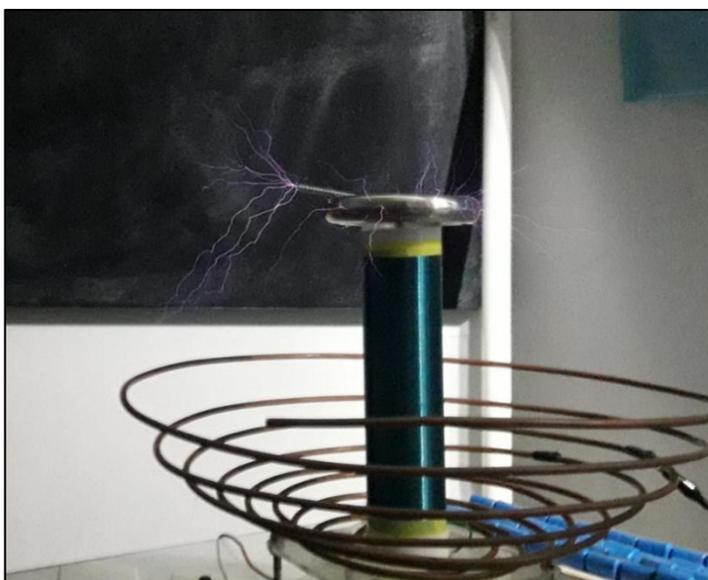


Fonte: O Autor (2020).

Pode-se também direcionar as descargas usando um objeto pontiagudo sobre o topo de toróide, afastando as descargas da bobina primária (Fotografia 5).

Fotografia 5 – Descarga direcionada com um objeto pontiagudo.

O objetivo de afastar a descarga elétrica da bobina primária.



Fonte: O Autor (2020).

Um dos principais questionamentos e curiosidades sobre a bobina de Tesla é a tensão das descargas. Podemos estimar a tensão de saída da bobina pela

quantidade de energia acumulada nos capacitores. Na ressonância, a transferência de energia é máxima e, ignorando as perdas, a energia acumulada no capacitor primário é a mesma do capacitor secundário. Considerando que a energia máxima acumulada no capacitor primário é transferida integralmente para o capacitor secundário (topo da bobina), temos que

$$\frac{1}{2}C_P V_P^2 = \frac{1}{2}C_S V_S^2, \quad (16)$$

onde V_P e V_S são as tensões e C_P e C_S são as capacitâncias, dos capacitores primário e secundário, respectivamente.

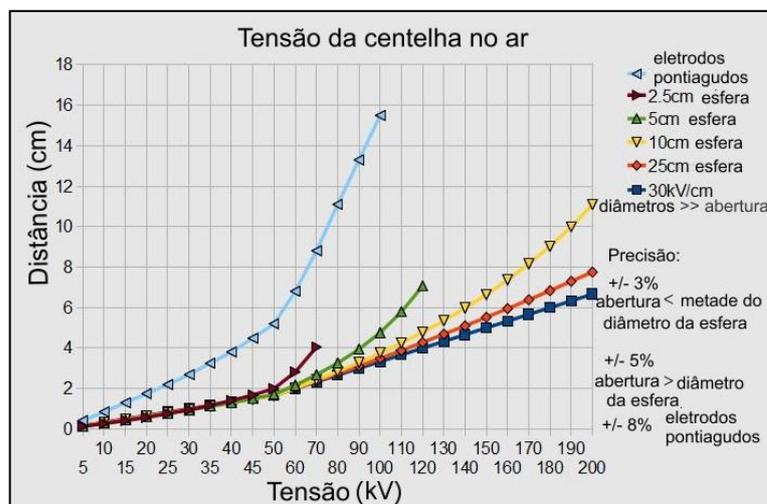
Portanto, a tensão de saída no topo do secundário é dada pela equação 17.

$$V_S = V_P \sqrt{\frac{C_P}{C_S}} = V_P \sqrt{\frac{L_S}{L_P}}. \quad (17)$$

Pode-se também estimar a tensão de saída do topo da bobina pelo comprimento da faísca. Segundo Braga (ca.2010), o comprimento máximo de uma descarga elétrica depende da tensão e do formato dos eletrodos entre os quais ela ocorre. Leva-se em conta a rigidez dielétrica do ar. Assim, para uma tensão de 20.000 V, por exemplo, a distância aproximada para gerar uma centelha elétrica é de 15,5 mm. De uma forma aproximada podemos dizer que para cada centímetro de uma centelha elétrica temos entre 8 e 10 mil volts. Já, segundo Papiewski (2018), é possível calcular a d.d.p. necessária para a centelha elétrica saltar através de um centelhador com uma fórmula simples: a d.d.p. é igual ao comprimento da abertura em centímetros vezes 30.000, ou seja, cada centímetro corresponde a 30 mil volts. Para uma terceira opinião, Dufresne (2020) no Gráfico 5, fornece uma informação mais detalhada da relação entre comprimento da faísca e tensão elétrica da centelha no ar.

Gráfico 5 - Estimativa da tensão de saída do topo da bobina.

É possível, segundo Dufresne (2020) usar este gráfico para estimar o comprimento de uma faísca elétrica em condições normais de temperatura e pressão atmosférica.



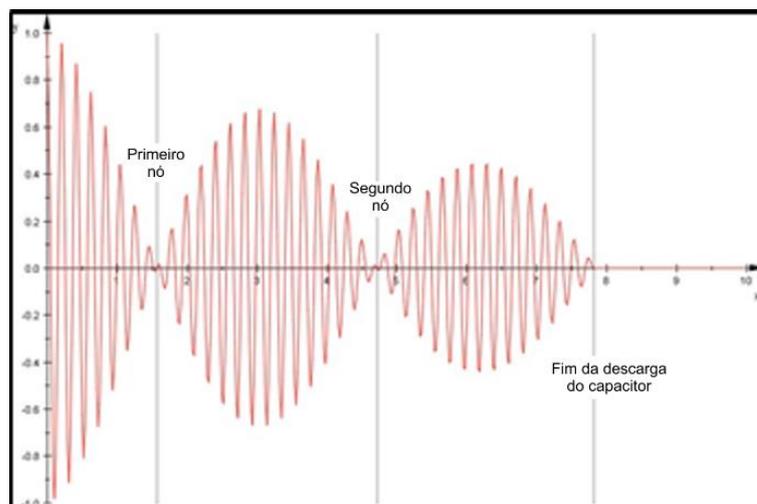
Fonte: <https://hackaday.com/2016/12/08/measuring-high-voltage-in-millimeters-and-other-hv-probe-tricks/> (2016)

Nota: Acesso em 08 de dezembro de 2020.

Uma forma de ver a bobina de Tesla é considerar que o circuito primário forma um oscilador senoidal após o disparo do centelhador, e que o sinal gerado excita o ressonador secundário. Um circuito ressonante sem perdas excitado em sua frequência de ressonância gera tensões e correntes que crescem numa rampa sem limite (com perdas, os sinais crescem até um limite dado pelo fator de qualidade do ressonador). Mas na bobina de Tesla, a quantidade de energia no circuito primário é limitada, e à medida em que essa energia é transferida para o ressonador secundário, a amplitude da oscilação no primário diminui. Os circuitos primário e secundário são sintonizados para a mesma frequência de ressonância, separadamente, mas quando são acoplados passam a ressonar em duas frequências próximas, o que causa os batimentos (QUEIROZ, 2006). O resultado são formas de onda, na bobina primária descritas no Gráfico 6 e na bobina secundária no Gráfico 7.

Gráfico 6 - Oscilação no circuito primário.

Os circuitos primário e secundário são sintonizados para a mesma frequência de ressonância e quando estão acoplados passam a ressonar em duas frequências próximas gerando batimentos.

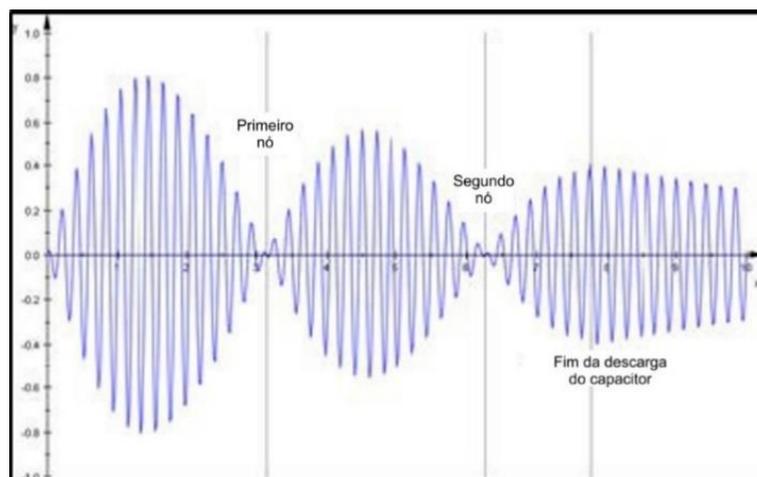


Fonte: http://hazardousphysics.christophergerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

Gráfico 7 - Oscilação no circuito secundário.

Os circuitos primário e secundário são sintonizados para a mesma frequência de ressonância e quando estão acoplados passam a ressonar em duas frequências próximas gerando batimentos.



Fonte: http://hazardousphysics.christophergerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

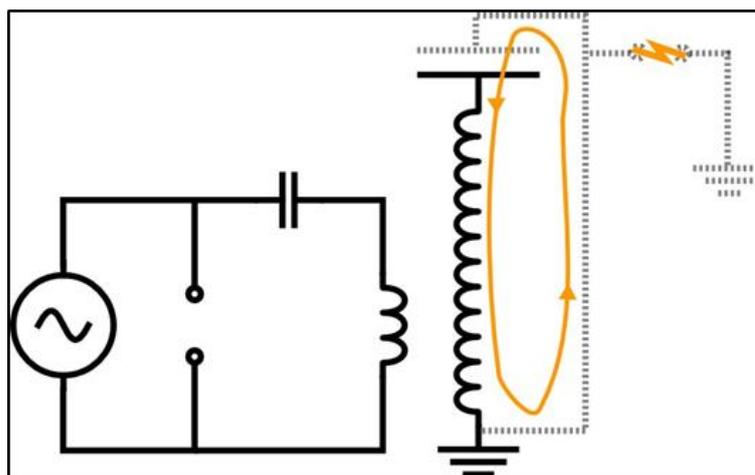
Após toda energia ser transferida para o circuito secundário o processo se repete, ocorrem oscilações amortecidas no circuito secundário, que na prática é também formado pelas três cargas: resistiva, indutiva e capacitiva, com parâmetros básicos diferentes do circuito primário, porém com a mesma frequência de oscilação. O capacitor secundário é formado pelo topo da bobina e o circuito de descarga, o indutor é a bobina secundária, o centelhador é formado pelo topo da bobina e um

aterramento, que pode ser qualquer objeto ou corpo de menor potencial, próximo da bobina.

Na Figura 12, o capacitor secundário é carregado e atinge a d.d.p de ruptura da rigidez dielétrica do ar, descarregando toda carga acumulada no circuito secundário.

Figura 12 - Descarga no circuito secundário.

A corrente circula como indicado pela seta laranja pelo circuito formado pela bobina e linha tracejada simbolizando o caminho para o terminal de aterramento elétrico.



Fonte: http://hazardousphysics.christophergerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

Com os ajustes necessários nos parâmetros, pode-se obter uma descarga brilhante nos terminais do circuito secundário (descarga corona), essas descargas possuem milhares de volts, quase sempre uma corrente muito baixa e altas frequências, esse conjunto de valores produzem um choque elétrico de pouco risco aos seres humanos, a baixa corrente aliada às altas frequências, diminuem significativamente a sensação de dor e o risco de fibrilação do coração, mas causa aquecimento da pele e podem causar queimaduras (KINDERMMAN, 2000).

A bobina de Tesla é basicamente um transformador, que produz tensões elétricas elevadas (como na Fotografia 6) sob regime de altas frequências. A configuração física da bobina e todos os seus componentes têm parâmetros definidos pela potência da fonte primária. No entanto, a eficiência de produção de raios em uma bobina de Tesla depende muito mais dos ajustes na frequência de ressonância entre os circuitos, que da potência primária. Pode-se ter uma bobina com uma fonte de alimentação potente e não obter um bom rendimento. É preciso sempre manter a

frequência de oscilação dos circuitos com valores muito próximos para se obter a ressonância e, conseqüentemente, a máxima transferência de energia entre os circuitos, o que na prática, se obtém com os ajustes finais.

Fotografia 6 – Descarga em uma bobina de Tesla.

O ajuste das frequências de ressonâncias entre os circuitos primários e secundários são mais importantes que a potência primária da fonte.



Fonte:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Tesla#/media/Ficheiro:Lightning_simulator_questacon02.jpg
(2020)

Nota: Acesso em 01 de julho de 2020.

4.4 AS DESCARGAS ELÉTRICAS NO TOPO

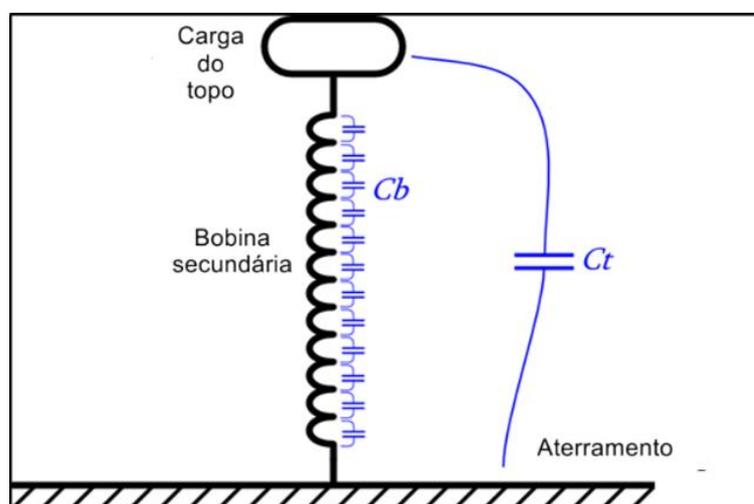
Os dois circuitos estão interligados por indução eletromagnética, o circuito secundário é excitado pela tensão elétrica induzida e oscila na mesma frequência que o primário. A Figura 13 descreve o capacitor do circuito secundário C_t , o topo da bobina se comporta como uma das armaduras do capacitor secundário, que tem capacitância baixa, a relação entre a indutância e a capacitância nos dois circuitos é descrita pela equação 6, como a indutância da bobina secundária é muito maior que a da bobina primária, já descrito anteriormente, a capacitância tem que ser muito menor, para que a frequência seja a mesma em ambos os circuitos. O topo acumula toda carga transferida ao circuito secundário e descarrega buscando a outra armadura do capacitor secundário, que é um potencial mais baixo e mais próximo. Essa descarga tem intensidade máxima na ressonância entre os circuitos.

A d.d.p no secundário depende da relação entre as indutâncias dos circuitos, e portanto, de acordo com a escolha do número de espiras desses circuitos, poderá ser obtida um valor maior ou menor no topo da bobina.

Outro efeito importante é o das capacitâncias parasitas da bobina secundária, que é feita com um grande número de espiras e sua indutância é, conseqüentemente, distribuída sobre todo seu comprimento. Isso implica que há uma ligeira d.d.p. entre duas espiras adjacentes. Portanto, temos dois condutores em diferentes potenciais separados por um dielétrico, em outras palavras, um capacitor (como representado na Figura 13). Na realidade, temos um capacitor entre cada par de espiras, mas o efeito sendo diminuído com a distância, vale como uma boa aproximação para considerar apenas a capacidade de duas espiras adjacentes. Denotemos por C_b a capacitância total equivalente de todas as espiras da bobina secundária e C_t somando-se a capacitância gerada pela estrutura do topo. (HAZARDOUS PHYSICS, 2011).

Figura 13 - Descarga no topo da bobina.

Entre duas espiras adjacentes há uma ligeira d.d.p, portanto temos dois condutores em diferentes potenciais separados por um dielétrico, em outras palavras, um capacitor.



Fonte: http://hazardousphysics.christophgerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

4.5 ANALOGIA ENTRE OSCILAÇÕES ELÉTRICAS E MECÂNICAS

Oscilação é o ato ou efeito de oscilar, vibrar, movimento de vai e vem, também representa uma variação em torno de uma posição central, a posição de equilíbrio do sistema oscilatório. Essas oscilações, quando periódicas e livres de amortecimento, são chamadas de movimento harmônico e provocadas por uma força chamada de força restauradora.

Essas oscilações ocorrem tanto em sistemas mecânicos, oscilador harmônico ou sistema massa-mola, como elétricos, circuitos LC, que são sistemas considerados conservativos, mas servem de base para o entendimento de sistemas reais com algumas condições específicas. Esses sistemas, apesar de suas naturezas diferentes, têm comportamento análogo e grandezas físicas que se equivalem.

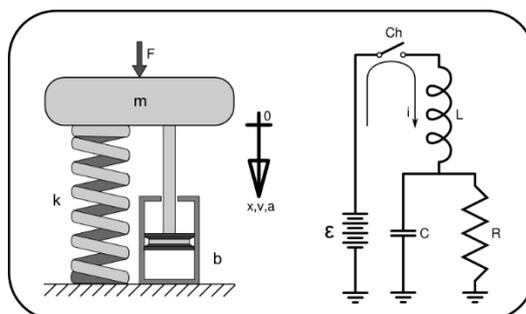
Considerando que ambos os sistemas são conservativos, a energia mecânica (U) em ambos é definida por $U = U_K + U_P$, onde U_K e U_P são, respectivamente, a energia cinética e potencial de cada sistema. Derivando ambos os lados desta equação nos dois sistemas, teremos

$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$ e $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$, cujas soluções respectivas são $x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$ e $q(t) = Q \cos(\omega_0 t + \varphi)$, onde ω_0 é a frequência natural de oscilação de cada sistema, especificamente, para o sistema massa-mola $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ e para o circuito LC $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

A semelhança nas equações e nas suas soluções sugerem que esses sistemas têm comportamentos idênticos e grandezas físicas que se correspondem pela função exercida em cada sistema. Essas semelhanças podem ser usadas para modelar matematicamente vários sistemas, como por exemplo o sistema de amortecimento de automóveis (Figura 14).

Figura 14 – Semelhança entre sistemas mecânicos e elétricos.

Essa semelhança pode ser útil para modelagem de sistemas mecânicos com seus respectivos equivalentes elétricos.



Fonte: <http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/12/a-inteligencia-das-maquinas-segunda.html> (2013)

Nota: Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

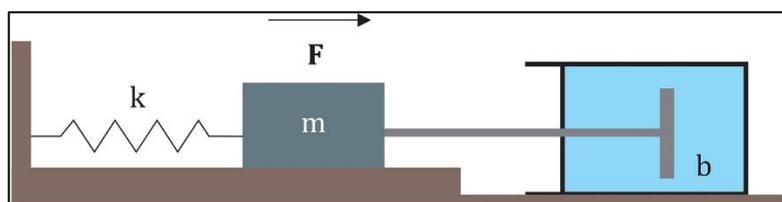
Para sistemas reais oscilantes, mecânicos ou elétricos, as oscilações apresentam um amortecimento devido a uma resultante de forças dissipativas. Sejam de natureza elétrica ou mecânica, as forças dissipativas transformam parte da energia

do sistema em calor, ruído, luz, ou seja, dissipam parte da energia do sistema. Esse comportamento é análogo para ambos os sistemas, seja ele mecânico ou elétrico.

Considere um sistema massa-mola sem atrito, mas amortecido por uma força de resistência $F_{Res} = -bv$, onde b é uma constante de amortecimento e v a velocidade de oscilação, que surge devido a uma base presa a uma extremidade de uma haste oscilando um fluido viscoso, cuja a outra extremidade está presa ao bloco do sistema massa-mola (Figura 15), dissipando parte da energia do sistema e transformando a maior parte da energia dissipada em calor. Esse sistema, quando perturbado por uma força externa F , se assemelha a um circuito RLC com uma fonte externa de energia. As comparações entre esses dois sistemas se assemelham as comparações feitas anteriormente na situação ideal, circuito massa-mola sem amortecimento e circuito LC, a diferença está na dissipação de energia produzida pela força de resistência do amortecedor, no sistema mecânico, e pela presença da resistência elétrica no circuito elétrico.

Figura 15 - Oscilador harmônico amortecido.

Uma massa m presa a uma mola k e a um pistão deslocando dentro de um reservatório cheio de líquido é um exemplo,



Fonte: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172016000300413#aff2 (2016)

Nota: Acesso em 20 de fevereiro de 2021.

A equação, as soluções e o comportamento das grandezas envolvidas para o circuito RLC são análogas a do sistema massa-mola amortecido, ou seja, se substituirmos as grandezas correspondentes, teremos uma equação semelhante para ambos os sistemas, conseqüentemente, soluções também semelhantes e, apesar de grandezas de naturezas diferentes, com comportamento análogo. Essas equações e suas soluções estão no item 2.2 e resumidas no Quadro 3.

Um circuito LC é um exemplo de oscilador harmônico sem dissipação, no qual a energia do sistema oscila entre elétrica (devido ao capacitor) e magnética (devido ao indutor). Por outro lado, um circuito RLC é um exemplo de oscilador amortecido,

devido ao fato que o elemento resistivo dissipa energia na forma de calor para o ambiente externo.

Quadro 3 – Equivalência eletromecânica.

Sistema massa-mola	Circuito LC	Circuito RLC
Bloco de massa m	Indutor	Indutor
Mola	Capacitor	Capacitor
Atrito	-	Resistor
	Energia transferida para o sistema	
Bioquímica, mecânica, etc.	Elétrica	Elétrica
	Grandezas físicas	
m	L	L
k	$\frac{1}{C}$	$\frac{1}{C}$
x	q	q
$v = \frac{dx}{dt}$	$i = \frac{dq}{dt}$	$i = \frac{dq}{dt}$
Energia cinética (EC)	Energia magnética (UB)	Energia magnética (UB)
Energia potencial elástica (EP)	Energia elétrica (UE)	Energia elétrica (UE)
Energia térmica	-	Energia térmica
	Equações	
$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$	$L \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0$	$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$
$x(t) = X e^{-\frac{b}{2m}t} \cos(\omega't + \phi)$	$q = Q \cos(\omega t + \phi)$	$q = Q e^{-\frac{R}{2L}t} \cos(\omega't + \phi)$
$\omega' = \sqrt{\omega^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}; \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega' = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$
$E_P = \frac{1}{2} kx^2$ (não-amortecido)	$U_B = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \sin^2(\omega t + \phi)$	-
$E_C = \frac{1}{2} mv^2$ (não-amortecido)	$U_E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \cos^2(\omega t + \phi)$	-
$E_P = \frac{1}{2} kX^2 e^{-\frac{b}{2m}t} \cos^2(\omega't + \phi)$	-	$U_E = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} e^{-\frac{R}{2L}t} \cos^2(\omega't + \phi)$
$E_C = \frac{1}{2} kX^2 e^{-\frac{b}{2m}t} \sin^2(\omega't + \phi)$	-	$U_B = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} e^{-\frac{R}{2L}t} \sin^2(\omega't + \phi)$

Fonte: <https://www.scielo.br/pdf/eq/v34n3/07.pdf> (2009)

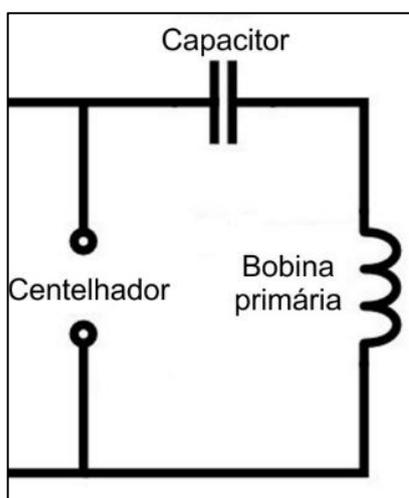
Nota: Acesso em 20 de fevereiro de 2021

4.6 OUTRAS OSCILAÇÕES AMORTECIDAS NO RLC

Como visto, na bobina de Tesla, ambos os circuitos, primário e secundário, levando em conta suas resistências internas, são compostos de elementos capacitivos, indutivos e resistivos, ou seja, a rigor formam um par de circuitos RLC acoplados. Parte da energia em cada circuito é dissipada pela carga resistiva, produzindo oscilações amortecidas.

Outras grandezas, como a tensão e a energia na bobina, oscilam com amortecimento semelhante, causado pela dissipação de energia no sistema. Tomando como base o circuito RLC primário (Figura. 16), com R representando a resistência interna do circuito, temos que, uma vez que a fonte externa fornece energia ao sistema, a energia neste circuito é dada pela equação 18.

Figura 16 - Circuito RLC primário.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_coil_4.svg (2007)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

$$U = U_B + U_E \rightarrow U = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} \quad (18)$$

U – Energia total no circuito,

U_B – Energia armazenada no indutor,

U_E – Energia armazenada no capacitor.

A taxa de dissipação da energia do circuito será dada por:

$$\frac{dU}{dt} = -Ri^2 \quad (19)$$

Derivando a equação 18 e igulando com a equação 19, teremos

$$-Ri^2 = Li \frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} \quad (20)$$

Como $i = \frac{dq}{dt}$ e $\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2}$, temos

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0 \quad (21)$$

A equação 21 é uma equação diferencial ordinária (EDO) para oscilações amortecidas em circuitos RLC, cuja solução conhecida (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2012) é dada por:

$$q(t) = Q e^{-\left(\frac{R}{2L}\right)t} \cdot \cos(\omega_D t + \phi), \quad (22)$$

$$V(t) = Ri(t) = R \frac{dq}{dt}, \quad (23)$$

$$V(t) = V_{m\acute{a}x} e^{-\left(\frac{R}{2L}\right)t} \cdot \text{sen}(\omega_D t + \phi), \quad (24)$$

Onde ω_D é a frequência natural amortecida (Eq.25) e ω é a frequência natural de oscilação do circuito sem amortecimento (Eq. 26).

$$\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}, \quad (25)$$

com

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (26)$$

Esta frequência (ω) que torna a impedância de um circuito RLC real chama-se frequência de ressonância ou frequência natural, e os circuitos que operam na mesma são chamados circuitos ressonantes.

A equação 22 descreve a carga do capacitor em função do tempo para um circuito RLC e podemos usá-la para deduzir a variação de energia do circuito em função do tempo. Podemos usar a equação 22 na equação da energia armazenada no capacitor ou no indutor do circuito, que chegaremos a um resultado análogo.

A equação 27 descreve a energia armazenada no capacitor do circuito

$$U_E = \frac{q^2}{2C}, \quad (27)$$

Substituindo a equação 22 na equação 27, teremos

$$U_E = \frac{Q^2}{2C} e^{-\left(\frac{R}{2L}\right)t} \cdot \cos^2(\omega't + \phi). \quad (28)$$

A equação 28 indica que a energia do campo elétrico oscila de acordo com um termo proporcional ao quadrado do cosseno e a amplitude das oscilações diminui exponencialmente com o tempo. Se usássemos a equação do campo magnético o resultado seria semelhante.

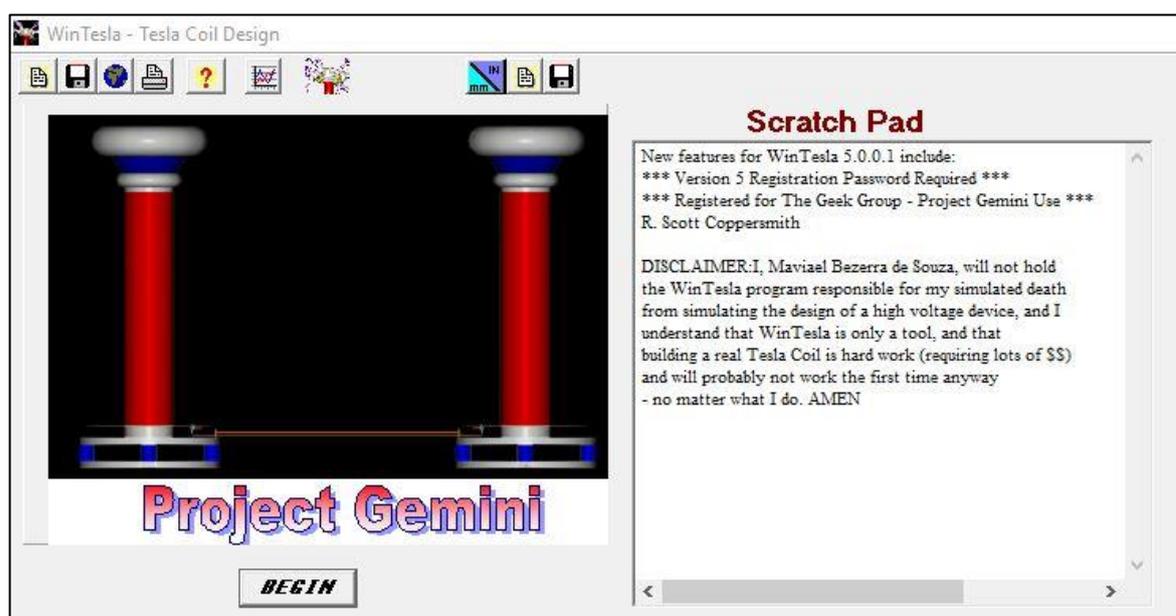
5 O USO DO SOFTWARE WINTESLA PARA O DIMENSIONAMENTO

Programas para determinação dos parâmetros da bobina de Tesla são encontrados facilmente na internet. TeslaCoil, TeslaMap, Tesla Coil CAD, Tesla Coil Calculator, WinTesla, entre outros, sendo este último o escolhido para esse trabalho. Esses programas ajudam a desenvolver o projeto, sendo a maioria gratuitos, facilitando a determinação dos parâmetros principais da bobina.

A escolha foi motivada pela simplicidade e eficiência do programa. Basta inserir os valores de entrada dos principais parâmetros, como tensão elétrica e corrente do transformador primário, diâmetros internos das bobinas primária e secundária, tipo de centelhador usado, entre outros, e o programa retorna com valores dos dados principais para realização do projeto. Esses parâmetros precisam de ajuste através de testes no fim da montagem. A Figura 17, apresenta a janela de abertura do *software*. Serão usados os dados reais da bobina de Tesla montada como exemplo.

Figura 17 - Janela de abertura do WinTesla.

Para iniciar, registre o projeto para ter acesso às janelas de parâmetros.



Fonte: O Autor (2019).

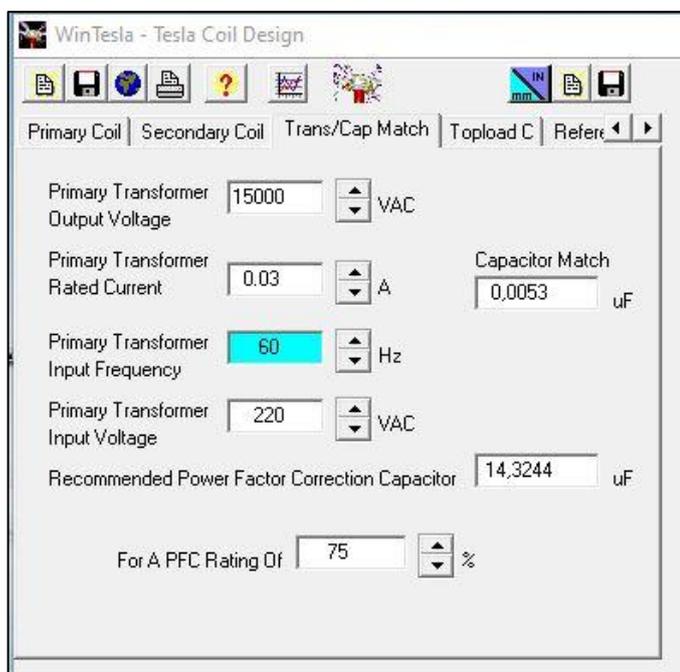
5.1 O DIMENSIONAMENTO DA FONTE PRIMÁRIA

O transformador usado na bobina é um antigo transformador para lâmpadas de tubo de neon (NST). Os parâmetros de entrada são de 220V – 30 mA – 60 Hz e na saída 15 kV com a mesma frequência.

O programa WinTesla sugere o uso de um capacitor para correção de fator de potência (FP) de 14,32 μF (Figura. 18), neste caso arredondado para 15 μF que é um valor comercial. Esse capacitor é usado em paralelo com a entrada da fonte primária, ou seja, como nossa região a tensão monofásica da tomada é de 220 V, a tensão do capacitor deve ser acima deste valor e ajuda a resolver um dos maiores problemas da bobina, a energia reativa do sistema. Esta diminui com o uso do capacitor, mas ainda é um problema presente na bobina de Tesla, como já foi detalhado no capítulo anterior.

Figura 18 - Parâmetros de entrada do transformador primário.

Neste exemplo são usados os dados reais da bobina de Tesla montada neste trabalho.



Fonte: O Autor (2019).

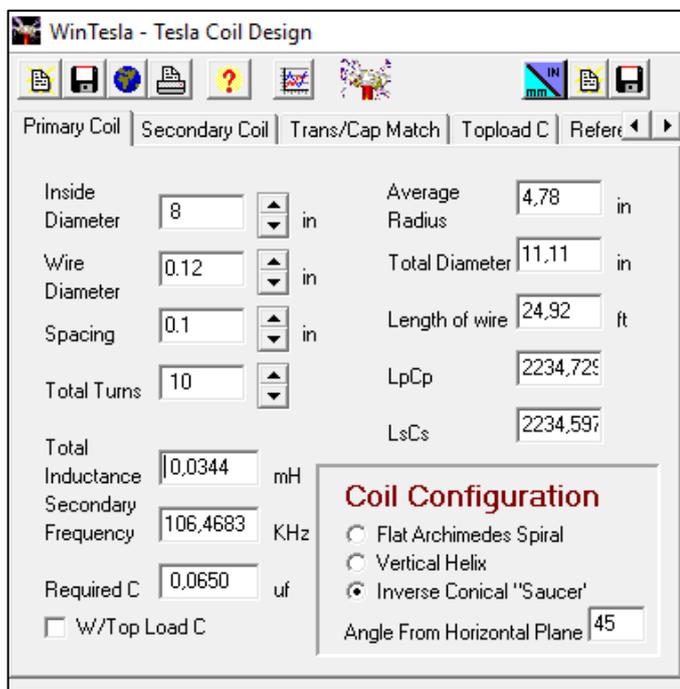
5.2 DIMENSIONAMENTO DA BOBINA PRIMÁRIA

Para a bobina primária foi usado um tubo de cobre de 3/16 polegadas (~4,7 mm de diâmetro) para garantir uma boa rigidez mecânica e foi dimensionada com 10 espiras espaçadas de 0,1 pol. ~ 2,6 cm entre elas no formato cônico invertido. Este formato reduz a descarga de centelhas elétricas nas regiões indesejadas. A indutância

teórica calculada foi de 34 μH e o valor máximo da capacitância do capacitor foi 65 nF. A Figura 19 mostra como inserir os parâmetros.

Figura 19 - Parâmetros da bobina primária.

Observe que os valores estão no sistema inglês de unidades.



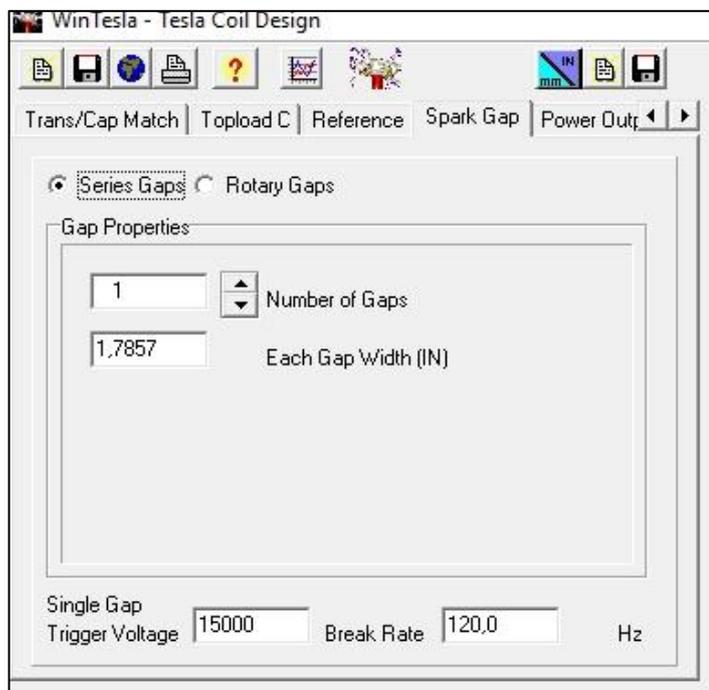
Fonte: O Autor (2019).

5.3 O DIMENSIONAMENTO DO CENTELHADOR

Os centelhadores podem ser fixos ou rotativos, o segundo é mais usado em bobinas maiores e são mais complexos, exigem um motor para girar os terminais metálicos, o que eleva também o custo do projeto. Neste trabalho, o centelhador é mais simples, pois é fixo e com uma abertura apenas. O WinTesla indicou uma abertura de 1,78 pol \sim 4,5 cm. Como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Parâmetros do centelhador.

A janela do programa, mostra o tipo de centelhador escolhido e a taxa de disparo do centelhador de 120 Hz para uma fonte elétrica operando na frequência de 60 Hz.



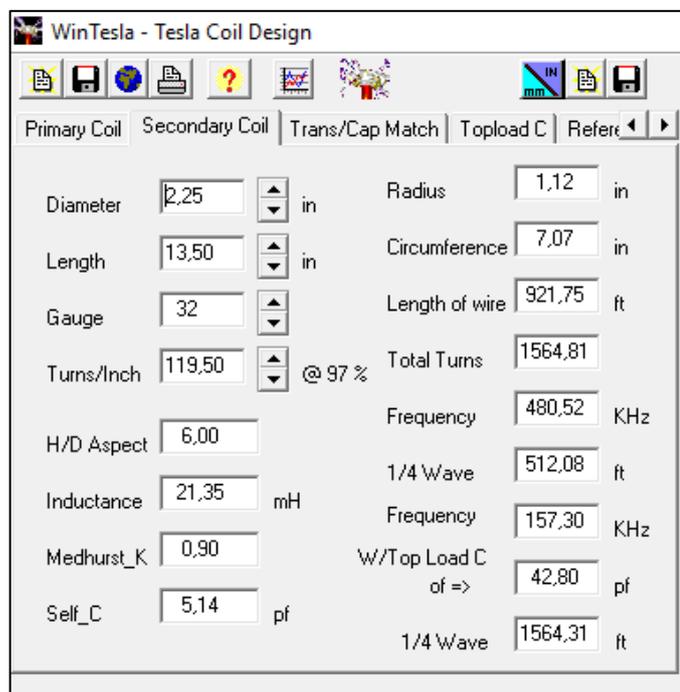
Fonte: O Autor (2019).

5.4 Dimensionamento da bobina secundária

A bobina secundária tem 2 polegadas (~5 cm) de diâmetro e 13,5 polegadas (~34 cm) de altura, foi bobinada com 1500 espiras de fio de cobre 32 AWG e apresenta uma indutância teórica de 21 μH (Figura 21).

Figura 21 - Parâmetros da bobina secundária.

Observe que os valores estão no sistema inglês de unidades.



Fonte: O Autor (2019).

5.5 USO DA CÚPULA SUPERIOR

A cúpula superior da bobina proporciona uma densidade de cargas inferior ao obtido pela ponta de um fio. Logo, o potencial elétrico gerado pela distribuição de cargas na superfície da cúpula pode atingir valores muito altos (da ordem de kV) antes de uma centelha elétrica descarregá-la. A facilidade do centelhamento elétrico gerado pelo aumento da densidade de cargas elétricas na ponta é conhecido como “o poder das pontas”. É o efeito usado nos dispositivos para-raios, o descarregamento elétrico gradual buscando o equilíbrio eletrostático do sistema terra – nuvem. A cúpula superior da bobina é opcional e, no Wintessa pode ser deixada como opção desmarcada.

Mas, caso queira usá-la, os formatos mais comuns para uma carenagem de topo são os esféricos (Fotografia 7) e toroidais (Fotografia 8), no *software* Wintessa o usuário pode escolher entre um destes.

Fotografia 7 – Exemplo de topo esférico.



Fonte: O Autor (2021).

Fotografia 8 – Exemplo de topo toroidal.



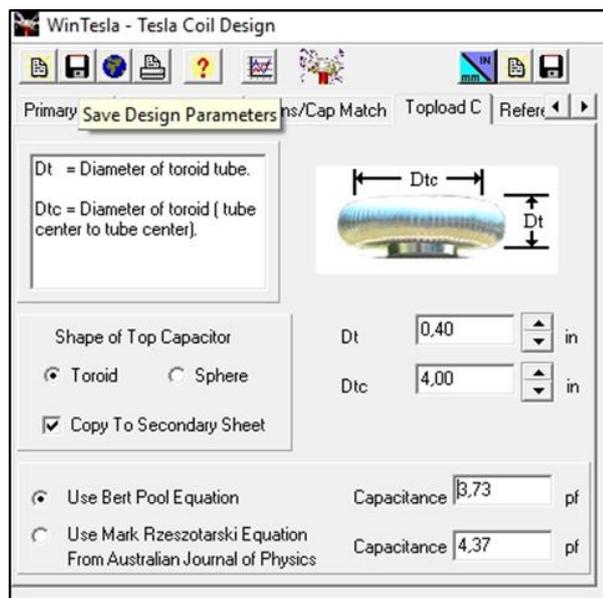
Fonte: O Autor (2021).

Esse dispositivo se comporta como um capacitor secundário em conjunto com o aterramento, também pode ser considerado um centelhador do circuito secundário, com abertura que vai da sua armadura superior até o ponto de potencial elétrico mais baixo e mais próximo.

A bobina funciona com toróides de diversos parâmetros. O *software* indicou um toróide com diâmetro de 4 polegadas ~ 10 cm e uma espessura de 0,4 polegadas ~1cm, com uma capacitância aproximada de 4 pF. A Figura 22 mostra detalhes dos parâmetros de escolha da cúpula superior.

Figura 22 - Características da cúpula superior.

O toróide é um dos formatos mais utilizados e pode ser dimensionado nesta caixa de diálogo do software Wintesla.

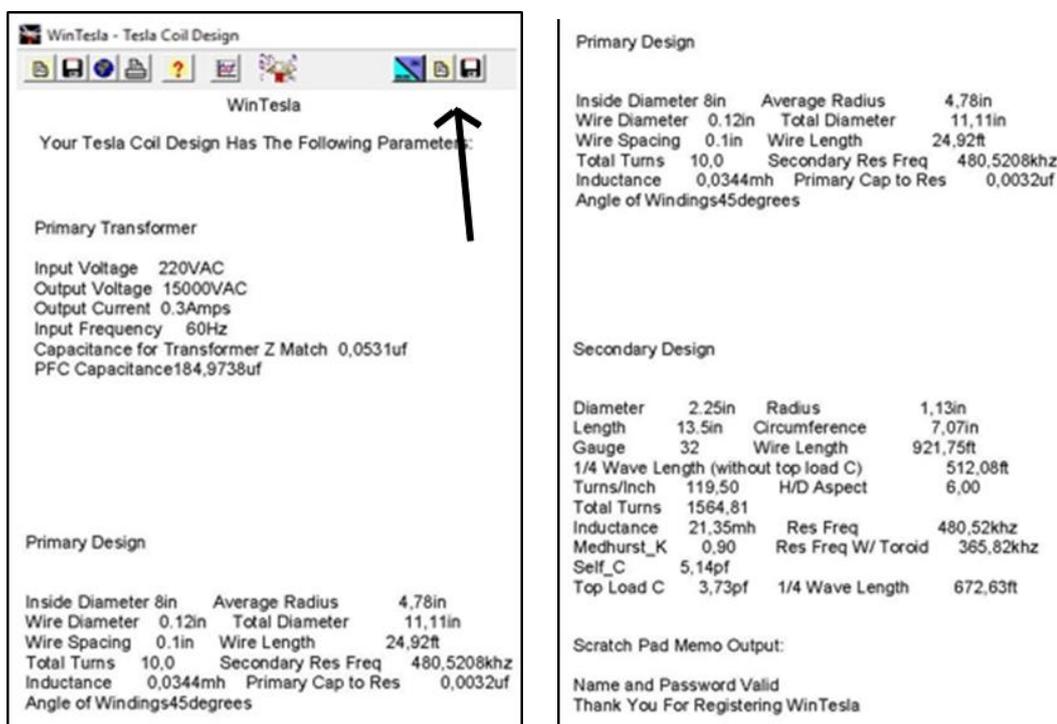


Fonte: O Autor (2019).

O software exibe a página dos parâmetros finais de forma organizada e resumida na Figura 23.

Figura 23 - Parâmetros finais no software WinTesla.

No destaque da figura, esses parâmetros podem ser vistos em rascunho para serem corrigidos ou salvos em texto definitivamente.



Fonte: O Autor (2019).

6 MEDINDO OS PARÂMETROS DA BOBINA

Os parâmetros da bobina de Tesla são de fundamental importância para a construção e aprimoramento do projeto, eles são baseados nas características da bobina construída, alguns foram sugeridos pelo software WinTesla e, posteriormente, medidos com a utilização de instrumentos apropriados a cada grandeza envolvida. A capacitância e a indutância foram medidas com medidor RLC Modelo E4980AL da empresa KEYSIGHT e a frequência de oscilação com um osciloscópio modelo 3067A da empresa AGILENT TECHNOLOGIES nos laboratórios do Centro Acadêmico do Agreste - UFPE

O primeiro teste foi medir a capacitância do banco de capacitores. Após alguns testes e avarias, o banco de capacitores ficou com uma capacitância de 11,8 nF (Fotografia 9) mas, com alguns ajustes, o rendimento melhorou, embora a capacitância ideal sugerida pelo WinTesla seja bem maior, considerando a potência do transformador, a capacitância poderia chegar até 53 nF, valor calculado no Wintesla.

Fotografia 9 - Valor da capacitância medida.



Fonte: O Autor (2019).

A medição da bobina primária, indicou uma indutância de 11,7 μH (Fotografia 10), mas a indutância final depende dos ajustes nos testes após a bobina estar totalmente confeccionada.

A baixa quantidade de espiras determina uma baixa indutância na bobina primária. O software WinTesla sugeriu que a bobina primária ficasse com aproximadamente 10 espiras e fio 8 AWG.

Fotografia 10 - Indutância da bobina primária.



Fonte: O Autor (2019).

A bobina secundária possui uma indutância bem mais alta que a bobina primária, o fio é longo e, conseqüentemente, possui uma resistência maior também. A Fotografia 11 mostra o valor medido da indutância da bobina secundária.

Fotografia 11 - Indutância da bobina secundária.



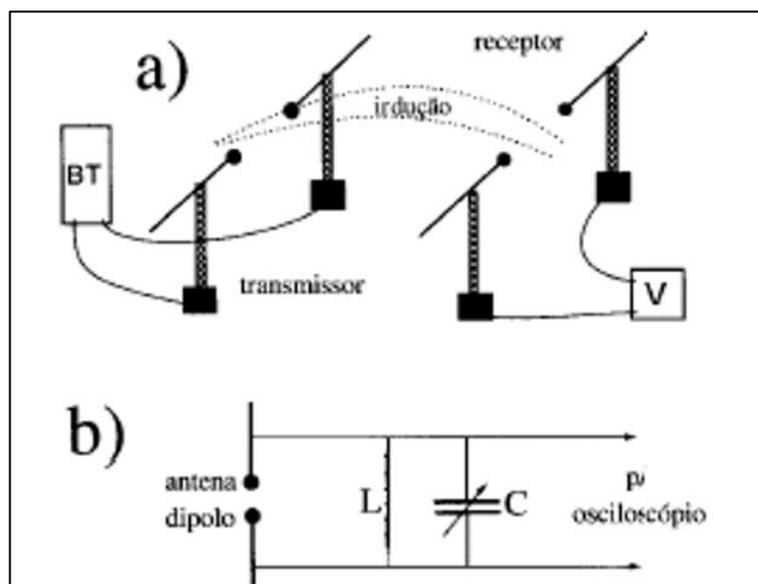
Fonte: O Autor (2019).

Um dos parâmetros mais importantes a ser medido é o da frequência das ondas emitidas pela bobina. A frequência das ondas emitidas por uma bobina de Tesla pode variar de 50 kHz a 500 kHz, na faixa das ondas de rádio, definida pelos valores da indutância e capacitância dos dois circuitos acoplados. A frequência calculada pelo WinTesla foi de 480 kHz, baseado nos parâmetros de entrada do software.

Pode-se, com um outro circuito LC (com capacitor variável) adaptado a um osciloscópio e variando-se a distância deste à bobina de Tesla, sintonizar a frequência de operação do sistema através da ressonância (ver Figura 24). Este processo não é

nada mais do que aquilo que fazemos quando sintonizamos uma estação de rádio ou televisão (MARQUES, 2014).

Figura 24 – (a) Esquema de transmissão e recepção (b) Esquema de sintonia das ondas no osciloscópio.



Fonte: https://sites.ifi.unicamp.br/lunazzi/files/2014/03/981298GustavoP_DavidM_Bobina.pdf (2014)

Nota: Acesso em 14 de dezembro de 2020.

A medição dos valores reais da frequência, também foi realizada no mesmo laboratório. Na Fotografia 12, a bobina montada é acionada para medição da frequência.

Fotografia 12 - Medição da frequência de oscilação da bobina.

Método de sintonia e antena de rádio.

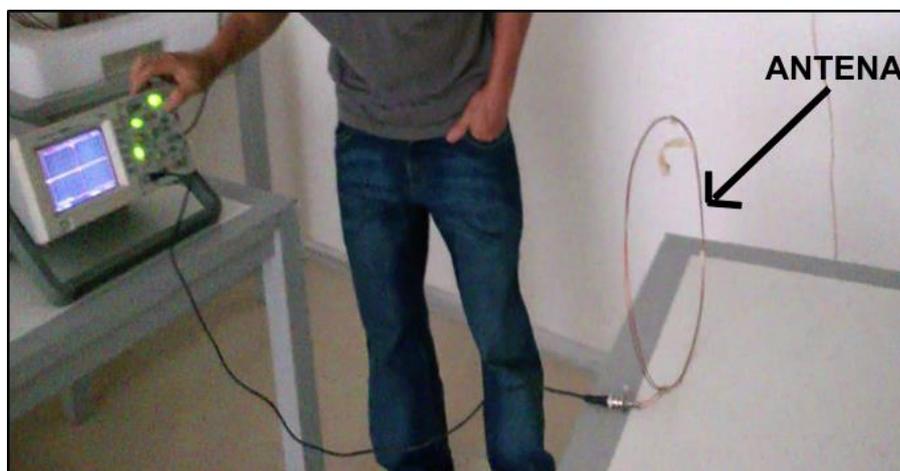


Fonte: O Autor (2019).

O osciloscópio foi acoplado a uma antena dipolo feita de fio rígido de cobre esmaltado. Após alguns ajustes no osciloscópio, foi possível a visualização das ondas emitidas pela bobina. A Fotografia 13 mostra o detalhe da antena receptora.

Fotografia 13 - Ajustando o osciloscópio.

Ajuste para medição da frequência de oscilação. Método de sintonia e antena de rádio. Observe a antena no detalhe.



Fonte: O Autor (2019).

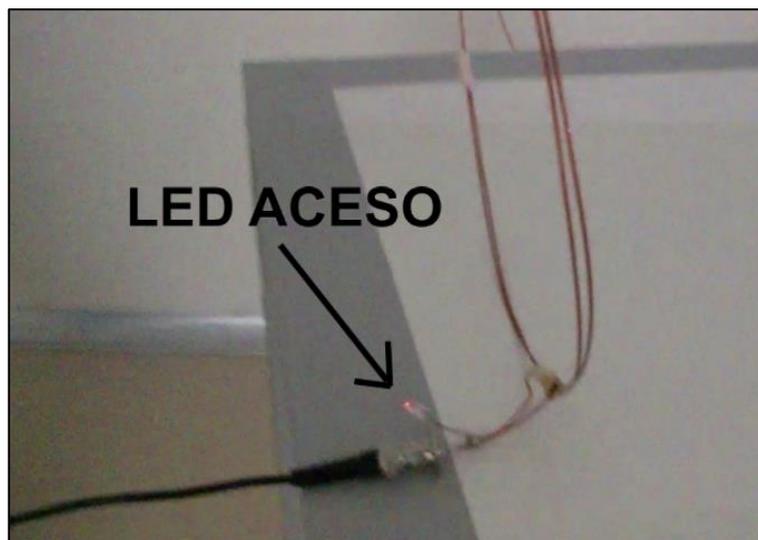
Com a antena distante da bobina uns três metros, é possível perceber o LED (*Light Emitting Diode*) aceso nos terminais da antena (Fotografia 14) indicando a passagem da corrente elétrica induzida na antena pelas ondas produzidas no topo da bobina. A intenção inicial de Nikola Tesla era de transmissão de energia pelo ar para uso em geral, mas na verdade serviu de base para construção do transmissor de rádio, as ondas emitidas no topo da bobina têm frequência na faixa do kHz, típicas de ondas de radiofrequência (RF).

O rádio não precisa de tensão elétrica elevada para transmissão e recepção, mas de altas frequências, é o próprio rádio que amplifica o sinal recebido do transmissor. Na bobina, apesar da dispersão as ondas emitidas, a frequência dos circuitos se mantém, semelhante ao que ocorre no transmissor de rádio.

Visto isso, a bobina de Tesla é essencialmente um transmissor de rádio sem antena, e assim Tesla merece algum crédito no que concerne à invenção do rádio, embora seu interesse estivesse mais relacionado à transmissão de energia elétrica do que à comunicação (MARQUES, 2014).

Fotografia 14 - Detalhe do LED aceso.

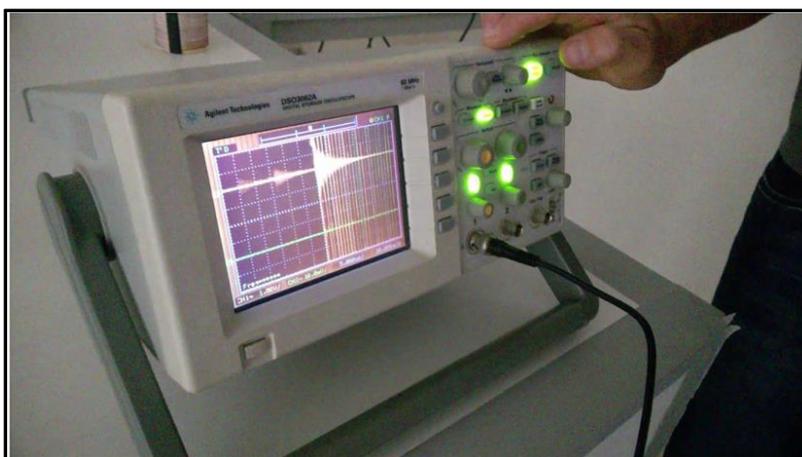
Indica a indução por ondas eletromagnéticas produzidas pelo centelhamento da bobina de Tesla.



Fonte: O Autor (2019).

A sintonia das ondas captadas foi um trabalho de paciência e persistência, uma busca demorada para sintonizar a frequência correta e posteriormente, ajustar a amplitude, tipo de ondas, entre outros (Fotografia 15).

Fotografia 15 – Pulsos de tensão induzida na antena.

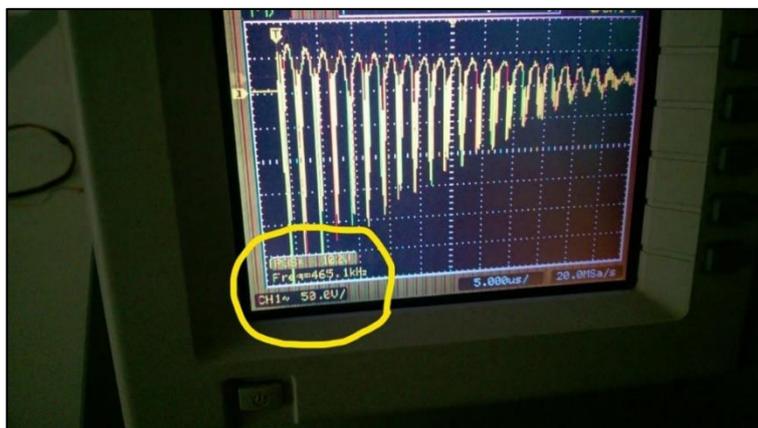


Fonte: O Autor (2019).

Na Fotografia 16, o detalhe da frequência máxima obtida nesta medição, 465,1 kHz captada pelo osciloscópio, como esperado, este valor está próximo do sugerido pelo WinTesla, que foi de 480 kHz, a diferença provavelmente está nas adaptações e ajustes feitos na execução do projeto.

Fotografia 16 – Frequência de oscilação máxima captada.

Observe que o formato das ondas captadas pelo osciloscópio é semelhante ao esperado para o formato das ondas na solução da equação do circuito RLC. No detalhe o valor de 465,1 kHz medido.

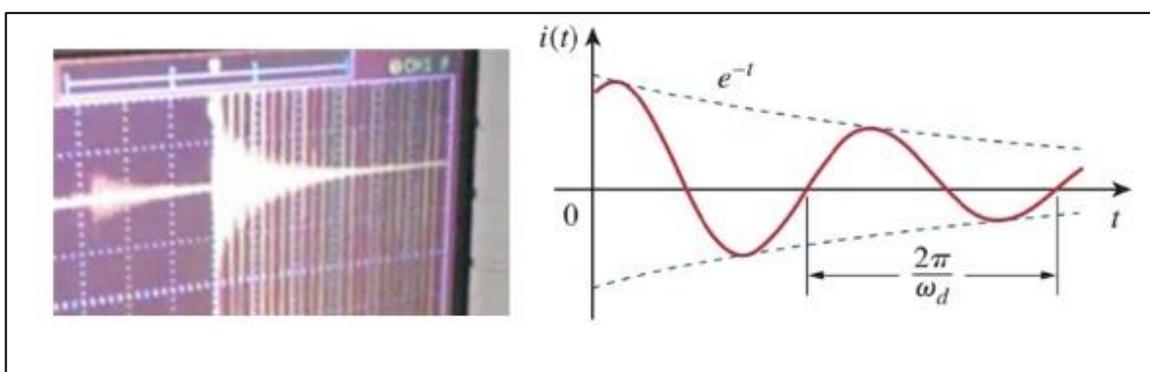


Fonte: O Autor (2019).

O Gráfico 8 mostra uma comparação do formato das ondas captadas pelo osciloscópio e o formato das ondas previstas pela solução da equação do circuito RLC. No circuito secundário da bobina, essas oscilações ocorrem pela descarga do topo, o circuito secundário é um circuito RLC em série com um fator de amortecimento (α) menor que a frequência natural (ω_0), produzindo um subamortecimento no circuito, esse fator de amortecimento depende diretamente da resistência do circuito, que é pequena, o circuito não utiliza resistores de fato, essa resistência é a resistência interna do circuito, como já foi discutido no capítulo 4.

Gráfico 8 – Gráficos comparativos.

Comparação entre as oscilações reais captadas no osciloscópio e as previsões teóricas para um circuito RLC em série.



Fonte: O Autor (2019).

7 A APLICAÇÃO DO PRODUTO

Este trabalho foi desenvolvido na Escola de Referência em Ensino Médio da rede pública estadual do estado de Pernambuco, na cidade de Belo Jardim, a EREM Belo Jardim.

7.1 SOBRE A ESCOLA DE REFERÊNCIA EM ENSINO MÉDIO

O IDH do estado do Pernambuco é de 0,673 (IBGE, 2010). O estado é pioneiro no programa de Educação Integral no país, foi no ano de 2008 que o, então governador do estado, Eduardo Campos propôs, através de uma lei complementar, a criação de escolas com tempo integral no estado. A proposta inovadora despertou tanto euforia, por parte da comunidade escolar, como desconfiança na qualidade e sucesso do projeto. A ideia de o estudante passar o dia inteiro na escola, com refeições e atividades por todo dia, gerava muitas dúvidas e incertezas, mas também empolgava pela inovação e ousadia. No início houve muitos obstáculos a serem vencidos, problemas estruturais nas escolas existentes, como falta de laboratórios e problemas na qualidade das prestadoras de serviço, principalmente as de segurança e alimentação. Com o passar dos anos, a construção de novas escolas e a mudança na política de seleção dessas prestadoras de serviço, tornou o projeto eficiente e bem-sucedido. Desde então, Pernambuco vem se destacando no cenário nacional com uma melhoria significativa na qualidade de ensino, com resultados comprovados com a elevação nos índices de aprovação nas avaliações externas. Segundo o MEC, o estado concentra a maior rede de ensino integral do país e não há mais dúvidas a respeito da eficiência das escolas integrais, apesar de ainda existir muitos problemas a serem resolvidos. O sucesso do projeto desencadeou um aumento significativo no número escolas no regime integral e semi-integral e com isso uma diminuição nos investimentos individuais dentro de cada escola, ou seja, a porcentagem do investimento educacional não acompanhou o aumento no número de escolas, logo a qualidade nos serviços em geral teve uma queda perceptível nos últimos anos, apesar de ainda ser um projeto que revolucionou a qualidade da educação pública do estado e está totalmente consolidado.

O EREM Belo Jardim (Fotografia 17) é uma escola em horário integral diurno e é uma das cinco escolas em regime integral da cidade de Belo Jardim – PE, sendo três EREMS e uma escola técnica estadual e uma unidade do Instituto Federal de Ensino

de Pernambuco - IFPE, em regime de trabalho em tempo integral. A escola tem 11 anos de existência e faz parte da rede pública de ensino do estado de Pernambuco.

Fotografia 17 - EREM Belo Jardim – PE.



Fonte: <https://www.bj1.com.br/rede-estadual-de-ensino-oferece-1-080-vagas-para-alunos-novatos-em-belo-jardim/> (2019).

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

7.2 O PERFIL DOS ESTUDANTES

A situação política e econômica do país e a melhoria perceptível nos índices de educação do estado, levaram a escola integral a receber um público que vai desde ao estudante que já vem das escolas públicas da rede municipal até estudantes da rede particular de ensino. Essa mistura de diferentes realidades, juntamente com as particularidades do programa, criam um ambiente, após um período de adaptação, favorável a integração das classes, principalmente pelo tempo de permanência no ambiente escolar, a carga horária ampliada, laboratórios de diversas disciplinas e outros fatores que o regime integral propicia.

A adaptação ao regime integral é o maior obstáculo para um estudante recém-chegado, aliado a problemas estruturais como a falta de salas climatizadas, o estudante novato, na sua maioria, demora um certo tempo e até um semestre inteiro para se adaptar, levando a algumas desistências logo nos primeiros meses de permanência na escola. Passando por esse período de adaptação os estudantes

criam uma forte ligação de amizade com os colegas, professores, direção e funcionários em geral, embora que uma parte veja a escola como uma oportunidade de relações afetivas e recreativas e não de ensino e aprendizagem. Muitos estudantes entram e saem da escola sem o amadurecimento intelectual necessário para seguir em frente, embora esse seja um problema geral na maioria das escolas, seja ela da rede particular, pública estadual, federal, municipal, integral ou não. O estudante da escola integral tem as condições, mesmo que não sejam ideais, para uma formação apropriada para enfrentar avaliações externas e, no caso das escolas integrais técnicas, enfrentar as adversidades para entrar no mercado de trabalho.

7.3 A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Ao todo foram 114 estudantes que participaram do projeto divididos em turmas de segundos e terceiros anos do ensino médio.

Na aplicação, foram utilizadas seis aulas de 50 minutos distribuídas como descrito na Tabela 1. Essas etapas devem ser adaptadas aos contextos de cada tema abordado, ficando a cargo do professor essa adaptação. Cada etapa deve seguir a sequência proposta nos planos de aula. O plano de aula é de extrema importância para o professor e deve conter o conteúdo a ser explorado, os objetivos, a metodologia que será utilizada, os critérios de avaliação, as referências bibliográficas e muitas outras informações. O planejamento é necessário em qualquer contexto.

Tabela 1 - Etapas da sequência investigativa.

Etapa	Duração
Apresentação	50 min
Pré-teste	50 min
Exposição de conteúdo	50 min
Parte Experimental	100 min
Pós-teste	50 min

Fonte: O Autor (2019).

A proposta inicial sobre o projeto de aplicação do produto educacional foi inicialmente apresentada à direção da escola e posteriormente aos estudantes envolvidos, onde foi descrito todo o processo detalhadamente, esclarecendo as etapas a serem seguidas, definindo as datas, os locais dos encontros, a duração de

cada encontro, a quantidade de encontros e a realização dos testes. Essa etapa inicial segue conforme o plano de aula 1 (Quadro 4).

Quadro 4 - Plano de aula 1.

ASSUNTO: Exposição da sequência didática	DURAÇÃO: 50 min
OBJETIVOS	
<p>GERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrever a aplicação do projeto. 	
<p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detalhar as etapas do processo; • Esclarecer questões pontuais para nota final, como frequência, assiduidade; participação; • Definir horários e datas das etapas; 	
CONTEÚDO DA AULA	
<ul style="list-style-type: none"> • A sequência didática • Uma proposta no ensino de Ciências por investigação 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aula de exposição. 	
AValiação DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • O processo de avaliação considera: participação efetiva do estudante, frequência e dedicação nas aulas teóricas e práticas. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Ilustrações • Quadro • Datashow 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. • CARVALHO, Ana M. ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO. O. São Paulo: Cengage Learning, 2013. • Ausubel, D., Novack, J., & Hanesian, H. Psicologia educacional, Rio de Janeiro: Interamerica, 1980. 	

- Moreira, M. A.(1999). Teorias da aprendizagem. São Paulo: EPU.

Fonte: O Autor (2020).

7.4 APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE

Alguns estudantes, inicialmente, foram tímidos ao expressar suas opiniões, ideias e conceitos durante a aula, muitos por acharem que não têm conhecimento científico sobre o assunto, outros por medo de serem ridicularizados pelos colegas, outros casos pela própria personalidade introvertida. O professor nessa hora deve usar do bom senso, é necessário um estímulo para que o estudante possa se expor a respeito do que foi proposto, com questionamentos adequados, elogios às respostas dadas, buscando tirar o máximo proveito de cada opinião, de cada ponto vista, de cada exposição, desde que se mantenha o objetivo inicial do que foi apresentado. Estes questionamentos iniciais devem estar relacionados ao primeiro teste, o pré-teste.

O planejamento do pré-teste está exposto no Quadro 5. O pré-teste foi composto por questões que abordam temas que podem ser explorados com o auxílio da bobina de Tesla, especificamente questões envolvendo campos elétricos e magnéticos, a lei de Faraday, oscilações elétricas, transmissão de ondas eletromagnéticas, ionização de gases, entre outros.

Quadro 5 - Plano de aula 2.

ASSUNTO: Pré-teste	DURAÇÃO: 50 min
OBJETIVOS	
GERAL <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação o pré-teste. 	
ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> • Análise preliminar do conhecimento científico do estudante • Coletar dados estatísticos preliminares para análise posterior 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados: <ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de teste de avaliação preliminar 	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Análise do resultado do teste proposto 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração e impressão da avaliação 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997. • MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003. • HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010. 	

Fonte: O Autor (2020).

As questões são todas abertas. Nestas questões os estudantes têm liberdade de expressarem suas ideias, suas opiniões, sem limitação de escolha de uma alternativa, sem a indução das múltiplas escolhas, embora esta seja a opção mais desejada pelos estudantes, que preferem “facilidades” na hora resolver testes. As questões abertas. Na aplicação do pré-teste (Fotografia 18) as conversas e discussões são estimuladas, o estudante torna-se ativo, protagonista no processo, participante direto, diferente de uma avaliação tradicional.

Fotografia 18 - Aplicação do pré-teste.

Escola de Referência em Ensino médio de Belo Jardim-PE. Observe que foi utilizada uma bobina de Tesla na sua primeira versão experimental.



Fonte: O Autor (2019).

O pré-teste foi composto de dez questões abertas dividido em duas páginas (Figuras 25 e 26), esses testes ficam a critério de cada professor para escolher o tema, o tipo, o número e o nível das questões apresentadas.

Figura 25 - Pré-teste (página 1).

MNPEF

**Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física**
Polo 46, CAA – UFPE



PRÉ-TESTE

INSTRUÇÕES

Você está recebendo um instrumento de aprendizagem que verificará seu conhecimento prévio. Trata-se apenas de um ponto de partida para a discussão posterior. Você dispõe de 30 minutos para responder e pode fazê-lo utilizando caneta de qualquer cor. Quando concluir, sinalize.

Até daqui a pouco.

Mavíael Bezerra de Souza

Para responder a atividade proposta, siga os seguintes comandos:

- **Responda sem pesquisa, nem consulta.**
- **Destaque as questões que desconhece totalmente.**
- **Discuta com o colega as questões que destacou e responda.**

	<p>ESCOLA DE REFERÊNCIA ENSINO MÉDIO BELO JARDIM - PE</p> <p>PRÉ-TESTE</p>			
FÍSICA	MAVIAEL B. DE SOUZA	A bobina de Tesla	DATA	/ /
ALUNO		Nº:	TURMA	

1. Você sabe quem foi Nikola Tesla?

2. O que sabe sobre a bobina de Tesla?

3. Qual a lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica?

Figura 26 - Pré-teste (página 2).

4. O que é um circuito RLC?
5. As oscilações elétricas têm alguma semelhança com as oscilações mecânicas? Explique.
6. Como são produzidas as ondas eletromagnéticas?
7. Que tipo de onda eletromagnética é emitida pela bobina?
8. O que é gás ionizado?
9. O que são descargas corona?
10. Existe alguma relação entre os raios produzidos na bobina e os raios da natureza?

7.5 A EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO

Conforme o plano de aula 3 (Quadro 6), foram levantados questionamentos que relacionavam os temas, com fenômenos presentes no cotidiano do estudante. Foi o momento de abordar o tema principal e todos os fenômenos envolvidos (Fotografia 19). Esses questionamentos buscam provocar as discussões e exposição dos conhecimentos prévios expostos no pré-teste para um aprimoramento desses conhecimentos.

Quadro 6 - Plano de aula 3.

ASSUNTO: O eletromagnetismo	DURAÇÃO: 50 min
OBJETIVOS	
GERAL <ul style="list-style-type: none"> • Abordar temas relacionados ao pré-teste. 	
ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> • Discutir as ondas eletromagnéticas, lei de Faraday, circuitos oscilantes, descargas elétricas. • Abordar temas paralelos como ionização de gases, oscilações mecânicas e ressonância. 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados: <ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aula de exposição de conteúdo. 	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento individual, participação nas discussões, comprometimento durante a aula. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Datashow • Quadro branco 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997. • MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003. • HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010. 	

Fonte: O Autor (2020).

Fotografia 19 - Exposição de conteúdo.

Escola de Referência em Ensino médio de Belo Jardim-PE. Observe que foi utilizada uma bobina de Tesla na sua primeira versão experimental.



Fonte: O Autor (2020).

7.6 A PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental é a mais empolgante para os estudantes. A saída do ambiente da sala de aula, a visita ao laboratório e a mudança na rotina, torna essa parte a mais agradável e prazerosa para estudantes. É um momento apropriado para dar continuidade ao que foi abordado na aula anterior, explicar conteúdos, tirar dúvidas e provocar a curiosidade, novas discussões, novos debates, despertando o interesse e construindo novos conhecimentos, até naqueles que normalmente não demonstram interesse pela matéria, mas que no laboratório têm sua curiosidade despertada. O plano de aula 4 (Quadro 7) serve de base para a aula experimental, mas pode ser adaptado a outras situações.

Quadro 7 - Plano de aula 4.

ASSUNTO: O eletromagnetismo	DURAÇÃO: 100 min
OBJETIVOS	
GERAL <ul style="list-style-type: none"> • Estimular interesse dos estudantes pela Ciência. 	
ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none"> • Despertar o interesse dos estudantes pelos temas discutidos na aula anterior. • Abordar temas relacionados ao experimento. • Estimular a pesquisa científica. 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados: <ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aula experimental. 	
AValiação DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento individual, participação nas discussões, comprometimento durante a aula. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • A bobina de Tesla, lâmpada de gás, bobina circura de fio esmaltado, lâmpada de LED. 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997. • MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003. • HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010. 	

Fonte: O Autor (2019).

No laboratório de Física da escola os estudantes demonstram total interesse pela apresentação, é aqui que a mudança no comportamento é percebida, muitos questionamentos, curiosidade despertada pelo experimento (Fotografias 20 e 21).

Fotografia 20 - Aula experimental (ionizando o gás da lâmpada).



Fonte: O Autor (2020).

Fotografia 21 - Aula experimental (descarga corona).



Fonte: O Autor (2020).

7.7 O PÓS-TESTE

No pós-teste o estudante refaz o pré-teste. O pós-teste tem 50 minutos de duração, as mesmas questões do pré-teste, orientações diferentes e tem como principal finalidade avaliar a evolução no conhecimento do estudante, adquirido pela exposição do conteúdo, discussão com colegas, experimentação, motivação, curiosidade e pesquisa. No Quadro 8 segue o plano de aula 5, uma orientação deste momento tão importante para todo o processo e que servirá de parâmetro para análise dos resultados finais.

Quadro 8 - Plano de aula 5.

ASSUNTO: Pós-teste	DURAÇÃO: 50 min
OBJETIVOS	
GERAL	
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação o pós-teste. 	
ESPECÍFICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Análise da evolução dos conhecimentos discutidos no processo. • Análise de dados estatísticos dos resultados finais 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados:	
<ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de teste de avaliação final 	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Análise do resultado do teste final e da aplicação do produto educacional 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração e impressão da avaliação e computador para análise de dados. 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997. • MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003. • HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010. 	

O pós-teste (Figura 27) expõe o nível efetividade do processo, checando o nível de retenção do conteúdo apresentado, expondo resultados e estatísticas do produto educacional proposto, comparando o antes e depois.

Figura 27- O pós-teste (página 1).





PÓS-TESTE

INSTRUÇÕES

Você está recebendo um instrumento de aprendizagem que verificará seu conhecimento prévio. Trata-se apenas de um ponto de partida para a discussão posterior. Você dispõe de 50 minutos para responder e pode fazê-lo utilizando caneta de qualquer cor. Quando concluir, sinalize.

Até daqui a pouco.

Mavíael Bezerra de Souza

- **Responda sem pesquisa, nem consulta.**
- **Destaque as questões que não conseguiu responder.**
- **Utilize a pesquisa para responder as questões destacadas.**

	ESCOLA DE REFERÊNCIA ENSINO MÉDIO BELO JARDIM - PE PÓS-TESTE	
<i>FÍSICA</i>	<i>MAVIAEL B. DE SOUZA</i>	<i>A bobina de Tesla</i>
<i>ALUNO</i>	<i>Nº:</i>	<i>DATA</i> / / <i>TURMA</i>

1. Você sabe quem foi Nikola Tesla?

2. O que sabe sobre a bobina de Tesla?

3. Qual a lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica?

A aplicação do pós-teste é a última etapa de implementação do processo, que possibilita, através da análise dos resultados, verificar o grau de eficiência do produto educacional.

A análise e comparação dos resultados é extremamente útil para o professor saber se as atividades desenvolvidas atingiram seus objetivos, se as metas traçadas foram alcançadas, se o resultado foi satisfatório, o ideal era comparar os resultados com uma turma que não participou do projeto, mas a exclusão poderia causar descontentamentos, embora fica a sugestão. Esses resultados vão servir de base para tomadas de decisão futuras, para novos planejamentos, novos planos de aula, novas estratégias, para tomadas de decisões em geral.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do produto educacional na escola ocorreu por meio da sequência didática descrita no capítulo 7. Os resultados dos testes implementados serão descritos por meio da análise estatística dos resultados.

As turmas foram escolhidas pelo tema que a bobina mais aborda, o eletromagnetismo, que na rede pública estadual de ensino ocorre nas turmas finais do ensino médio. A realização da sequência didática proposta com pré-teste, exposição de conteúdo, parte experimental e pós-teste, foi realizada no segundo semestre de 2019. Num total, participaram 114 estudantes, divididos em seis grupos compostos por turmas de segundos e terceiros anos do ensino médio.

Os estudantes participaram de forma espontânea, com todo procedimento e objetivo da sequência didática expostos desde o primeiro encontro. A participação foi motivada principalmente pela curiosidade causada pela bobina de Tesla, com imagens de raios enormes expostas nos corredores da escola no dia da apresentação do projeto, a bobina gera uma mistura de fantasia e mistério, despertando a curiosidade de estudantes adolescentes e até adultos, professores de outras matérias e funcionários da escola, do vigia aos funcionários da secretaria.

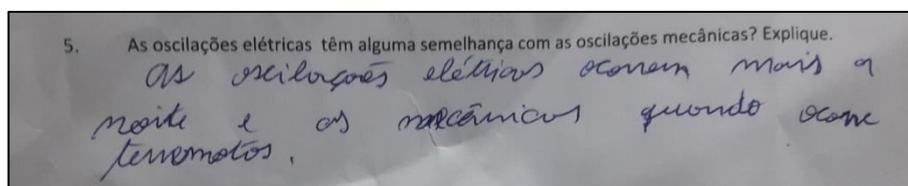
Com a implementação das avaliações, foi possível analisar o desempenho do produto educacional no processo de ensino e aprendizagem. Através da análise de cada resposta, certa ou não, é que se percebe o desempenho de todo projeto, buscando sempre uma melhoria no rendimento dos alunos nas aulas, contribuindo para um aperfeiçoamento do conhecimento prévio, acrescentando, modelando, modificando esses conhecimentos através do uso do experimento e da sequência didática proposta, uma contribuição efetiva para futuros professores e profissionais atuantes, professores do ensino fundamental e do ensino médio na área de Física.

Na análise dos testes de alguns alunos, é possível perceber o ponto de chegada e de partida, ou seja, é possível perceber o nível de conhecimento que o aluno já possui, que ele já traz consigo, possibilitando partir para a construção de novos conhecimentos. Por exemplo, na pergunta: “As oscilações elétricas têm alguma semelhança com as oscilações mecânica? Explique”, apresentada na Fotografia 22, inicialmente poderíamos considerar que, se a pergunta fosse a um aluno de curso superior, seria bem provável que ele entendesse que se refere ao comportamento

semelhante das grandezas envolvidas nas oscilações em circuitos elétricos oscilantes e as oscilações em osciladores harmônicos mecânicos. No entanto, levando em conta que é um aluno do ensino médio, ele respondeu de forma sucinta que “as oscilações elétricas ocorrem com mais frequência na parte da noite”. Apesar de parecer uma resposta sem sentido, demonstra que ele se refere a oscilação na tensão elétrica da rede, que fica mais evidente na parte da noite, onde a maioria das pessoas em casa, apoderm observara a variação no brilho das luzes incandescentes. Já as oscilações mecânicas, ele se refere as oscilações produzidas por abalos sísmicos e, como a pergunta não deixa claro o tipo de oscilação, a resposta não é totalmente descontextualizada, ou seja, é um conhecimento que deve ser aprimorado e não descartado.

Fotografia 22 – Situação exemplo no pré-teste.

Percebe-se uma aparente descontextualizada entre pergunta e resposta na questão 5 do pré-teste. Este conhecimento deve ser aprimorado e não descartado.

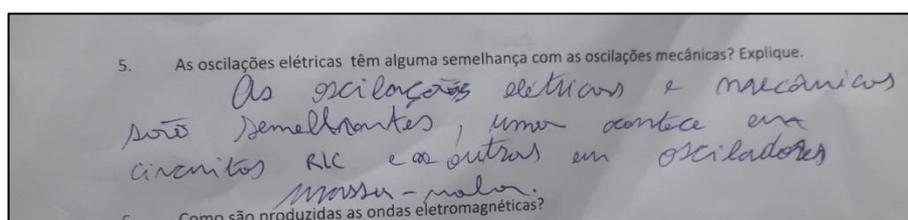


Fonte: O Autor (2019)

No pós-teste, após as aulas, teórica e experimental e a apresentação da bobina, apesar de particularizar sua resposta e não detalhar, dá para perceber uma evolução no conhecimento a respeito das oscilações como mostrado na Fotografia 23, como no ensino médio não se explora em detalhes circuitos com indutores, é compreensível a desinformação sobre outros circuitos oscilantes.

Fotografia 23 - Situação exemplo no pós-teste.

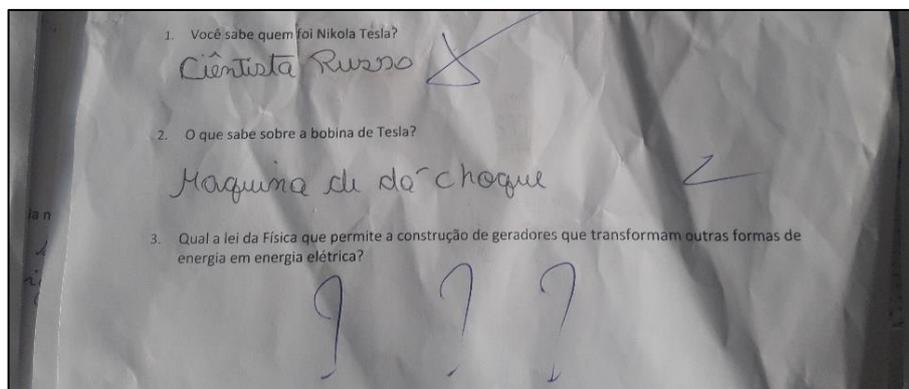
Percebe-se uma aparente melhora resposta da questão 5 no pós-teste. Nota-se uma evolução no conhecimento a respeito das oscilações.



Fonte: O Autor (2019)

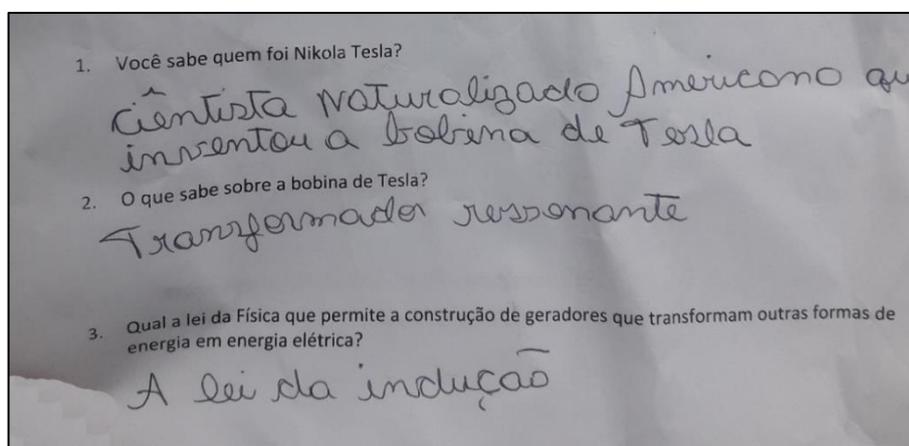
Em outros casos, a evolução nas respostas do pré-teste para o pós-teste foi mais perceptível. Veja a comparação entre as Fotografias 24 e 25.

Fotografia 24 - Questões 1, 2 e 3 do pré-teste.



Fonte: O Autor (2019)

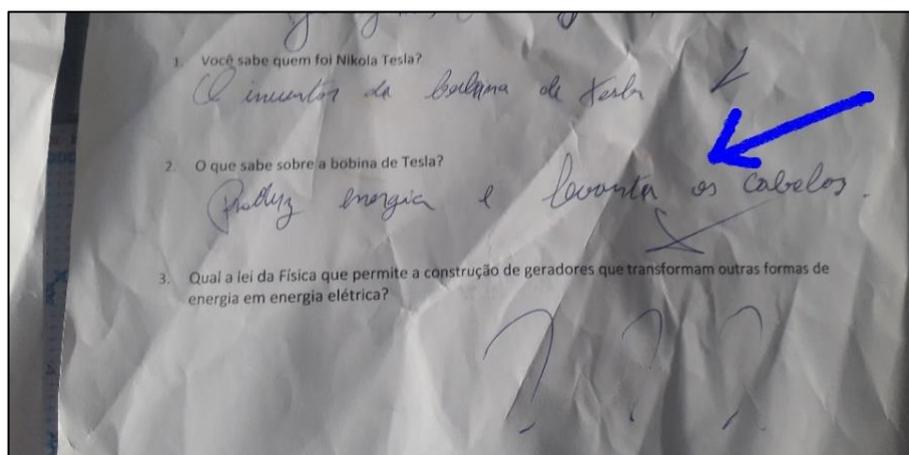
Fotografia 25 - Questões 1, 2 e 3 do pós-teste.



Fonte: O Autor (2019)

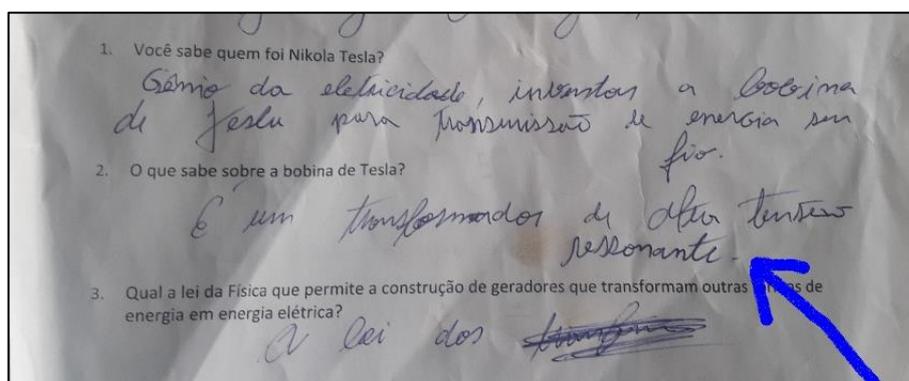
Continuando com a análise, em outra resposta do pré-teste (Fotografia 26), um aluno demonstra conhecer o gerador eletrostático, que é mais comum nas escolas, em feiras de Ciência, confundindo com a bobina de Tesla, no pós-teste a confusão foi desfeita e, apesar de ambos serem geradores de alta tensão, no gerador eletrostático não há oscilações, nem ressonância entre circuitos (Fotografia 27), o que parece ter ficado claro na sua resposta.

Fotografia 26 – Questão 2 do pré-teste.



Fonte O Autor (2019)

Fotografia 27 - Questão 2 do pós-teste.

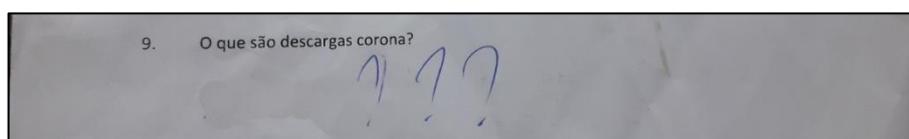


Fonte: O Autor (2019)

Em um último exemplo mostrado na Fotografia 28 sugere que, no pré-teste, o aluno desconhece totalmente o termo “descargas corona”, que é um termo incomum, que a rigor, nenhum dos alunos demonstrou conhecer no pré-teste. Já no pós-teste (Fotografia 29) surge os primeiros indícios de esclarecimentos sobre o termo, demonstrando uma evolução na construção do conhecimento sobre o proposto.

Fotografia 28 - Questão 9 do pré-teste.

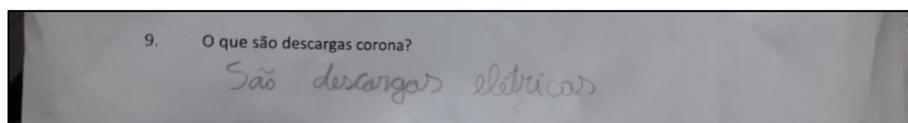
A resposta sugere que o aluno desconhece totalmente o termo “descargas corona”.



Fonte: O Autor (2019)

Fotografia 29 – Observação da questão 9 do pós-teste.

Nota-se que pelo menos dessa vez o aluno associa o termo “descargas corona” à visualização dos raios emitidos da bobina de Tesla.



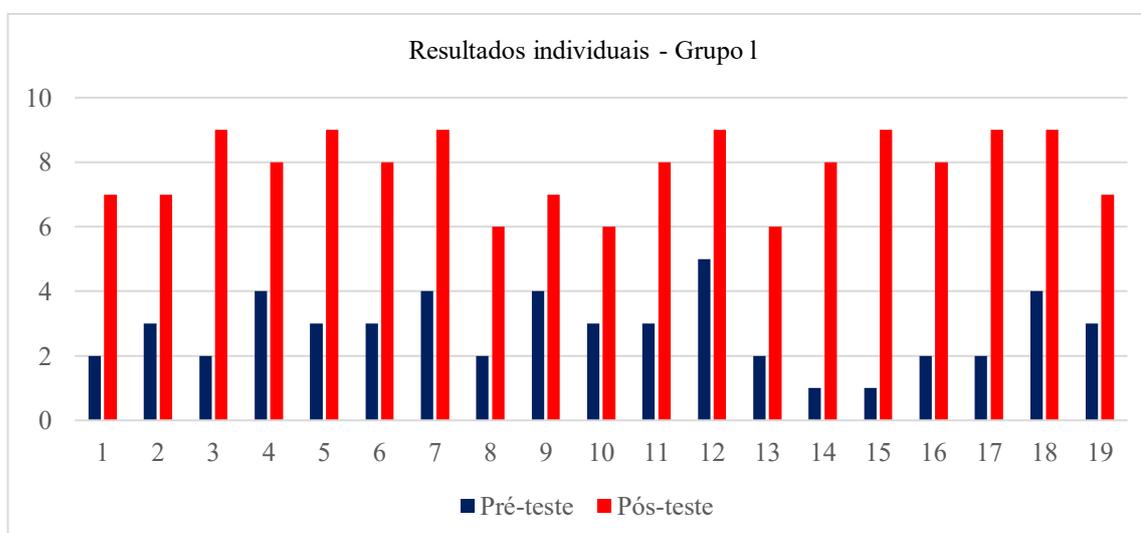
Fonte: O Autor (2019)

Os resultados agora serão analisados graficamente e apresentados nas por meio das notas individuais (Gráficos de 9 a 14) e pela média geral dos testes (Gráficos 16 e 17), esses resultados demonstram uma evolução tanto individual como coletiva nas notas avaliativas. Isto indica um avanço no conhecimento da teoria proposta com interesse despertado pela curiosidade que o experimento propõe. A importância de um experimento que chame atenção inicial é fundamental para o andamento de todo processo e a bobina de Tesla é o ponto central e fundamental neste caso específico.

Os testes possuem um total de 10 questões e são idênticos, apenas as instruções iniciais mudam. Foi atribuído uma nota de zero a dez para cada um, essas notas estão dispostas no eixo vertical dos gráficos a seguir e servirão de parâmetros para análise de resultados dos alunos, cuja identificação está disposta no eixo horizontal, através de numeração sequencial.

Gráfico 9 - Resultados individuais do grupo I.

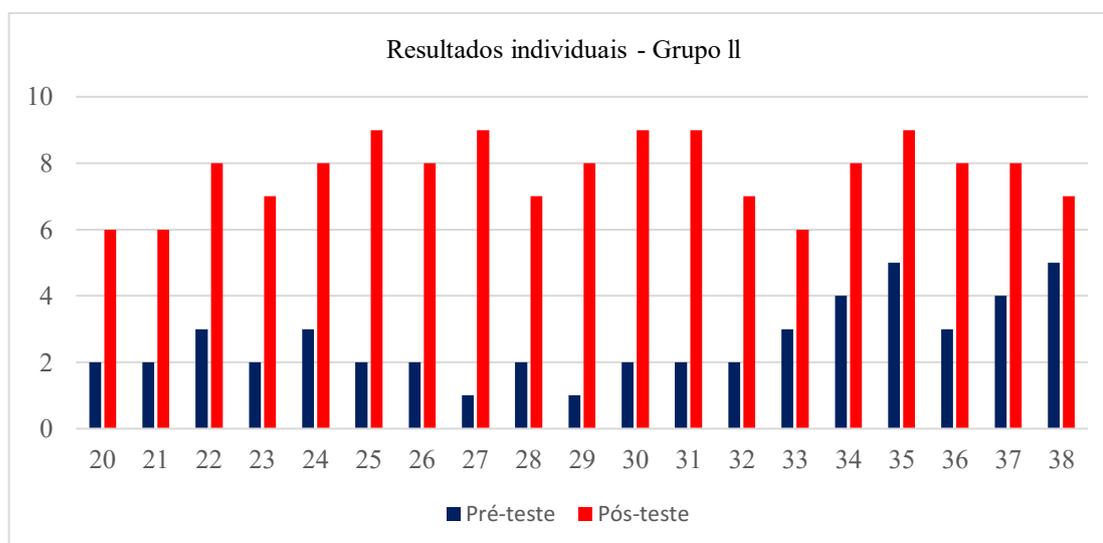
A média no pré-teste foi 2,8 e no pós-teste 7,8.



Fonte: O Autor (2020)

Gráfico 10 - Resultados individuais do grupo II.

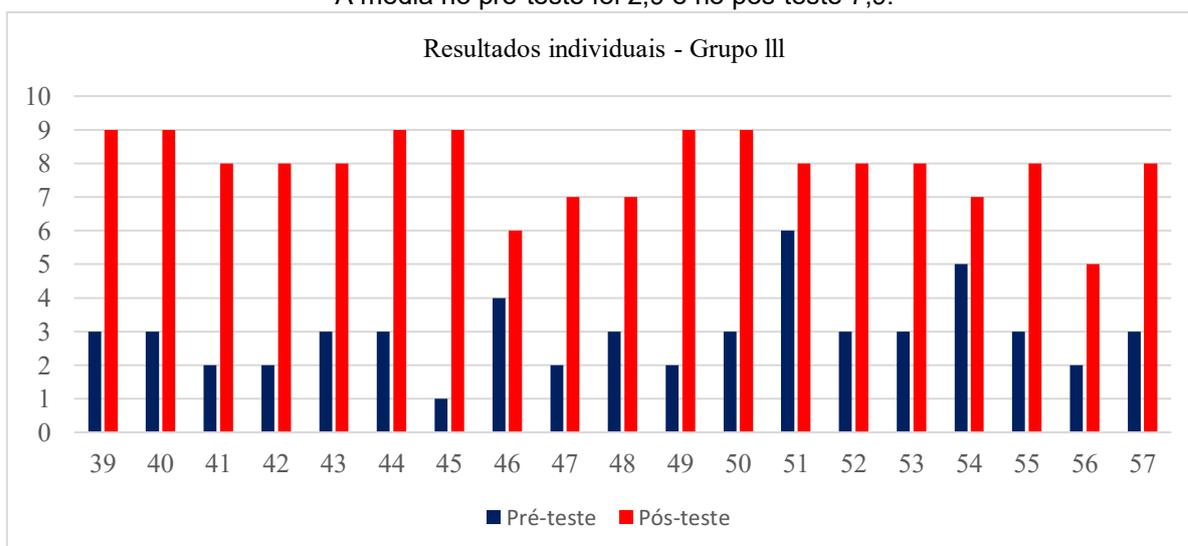
A média no pré-teste foi 2,6 e no pós-teste 7,7.



Fonte: O Autor (2020)

Gráfico 11 - Resultados individuais do grupo III.

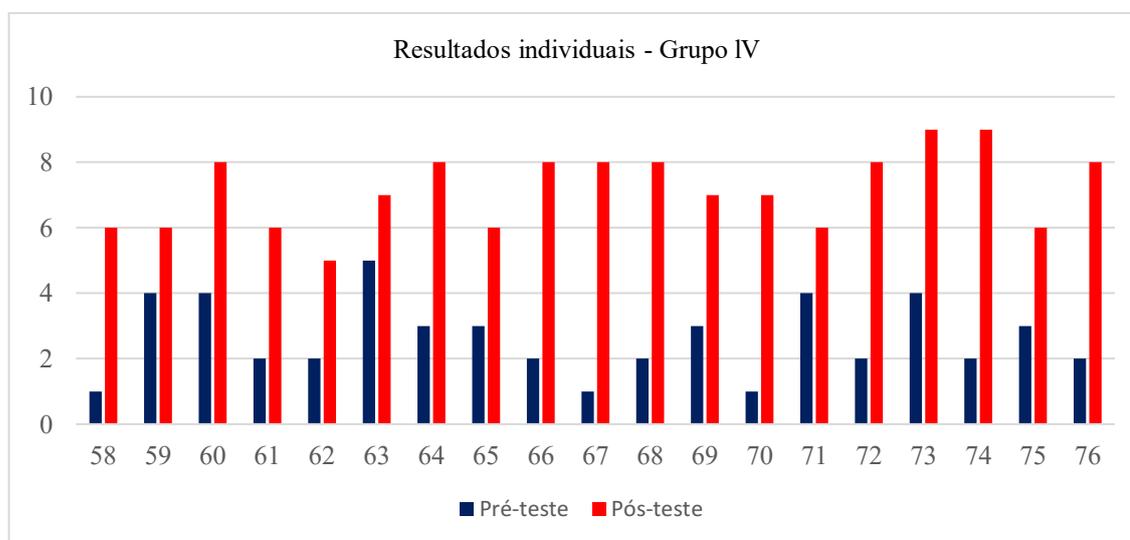
A média no pré-teste foi 2,9 e no pós-teste 7,9.



Fonte: O Autor (2020).

Gráfico 12 - Resultados individuais do grupo IV.

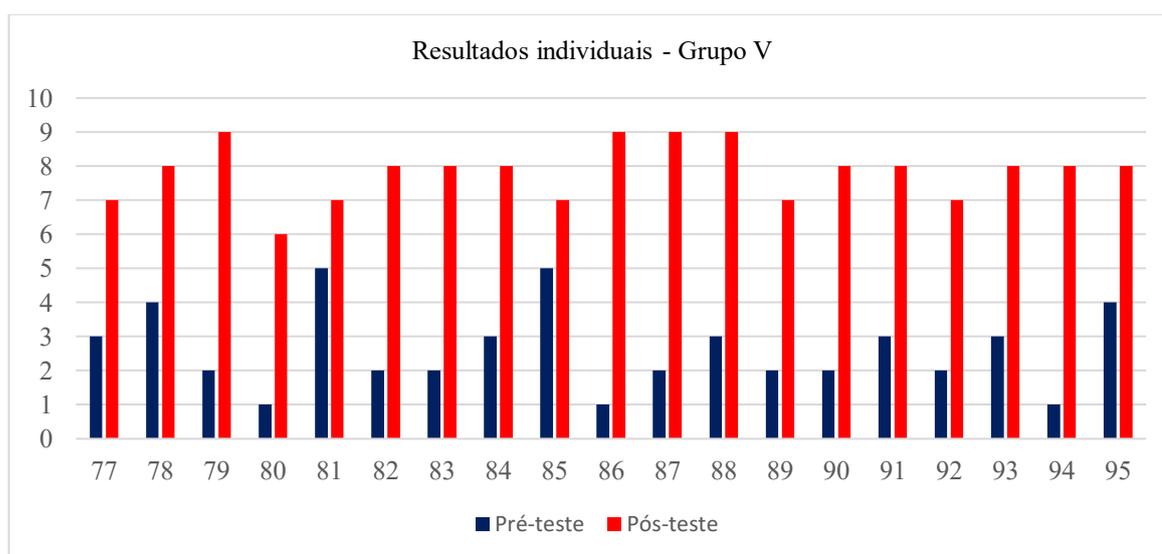
A média no pré-teste foi 2,6 e no pós-teste 7,1.



Fonte: O Autor (2020).

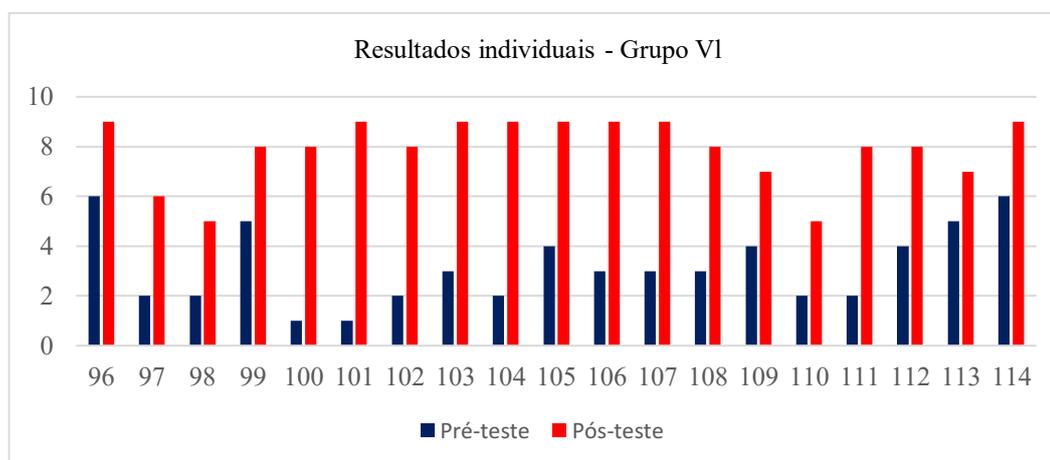
Gráfico 13 – Resultados individuais do grupo V.

A média no pré-teste foi 2,6 e no pós-teste 7,8.



Fonte: O Autor (2020)

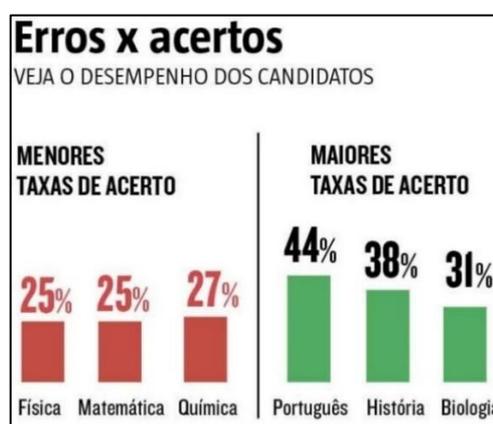
Gráfico 14 - Resultados individuais do grupo VI.
A média no pré-teste foi 3,2 e no pós-teste 7,9.



Fonte: O Autor (2020)

Uma análise geral desta estatística, descreve uma situação de rotina nas escolas nessa área, a média geral do pré-teste (Gráfico 16) está dentro do previsto para turma, não há surpresas, essa média está bem próxima de outras médias em outras avaliações, tanto internas como externas, é o caso do Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM. Como mostra o Gráfico 15, a área de exatas sempre tem um índice baixo de acertos. O mesmo acontece com o valor da moda deste conjunto, que é uma nota muito comum entre esses estudantes nas avaliações e teste em Física. Esses valores, muito abaixo do ideal, são frutos de vários fatores mencionados nesse artigo, são rotineiras nas escolas em geral, salvo algumas exceções.

Gráfico 15 - Resultado do ENEM de 2009 a 2014.
A área de exatas tem um índice baixo de acertos.

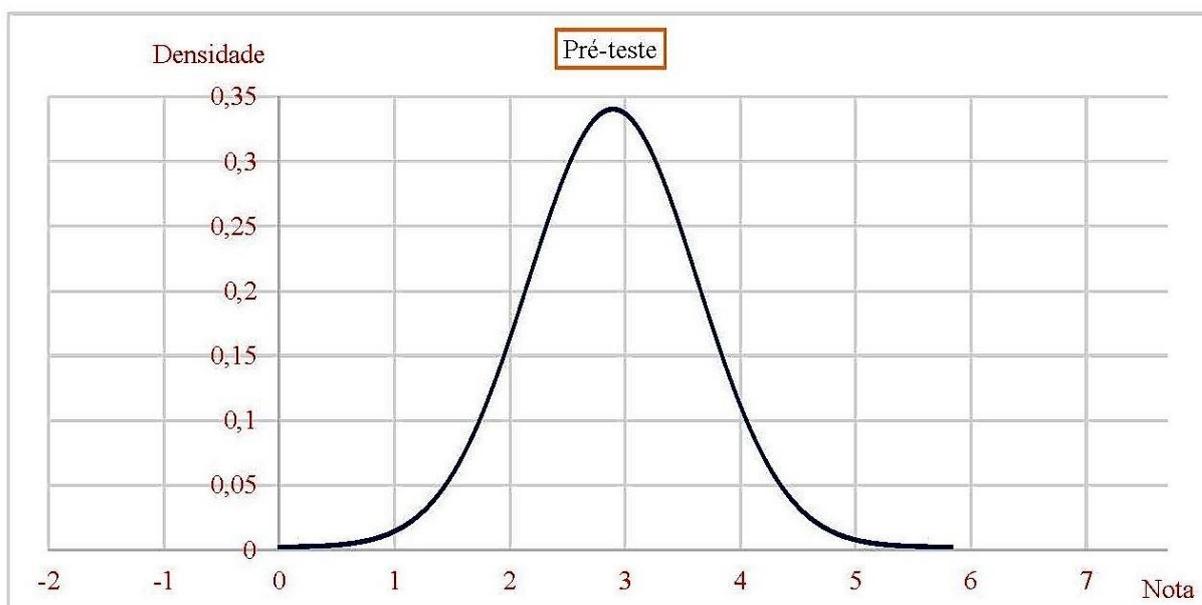


Fonte: <https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/f%C3%ADsica-matem%C3%A1tica-e-qu%C3%ADmica-lideram-a-lista-de-disciplinas-com-menor-%C3%ADndice-de-acertos-no-enem-1.423140> (2016)

Nota: Acesso em 16 de dezembro de 2020

Gráfico 16 – Curva normal geral do pré-teste.

Medidas de centralidade e dispersão do pré-teste para a média geral = 2,80, desvio padrão ,1,21 e moda 2.

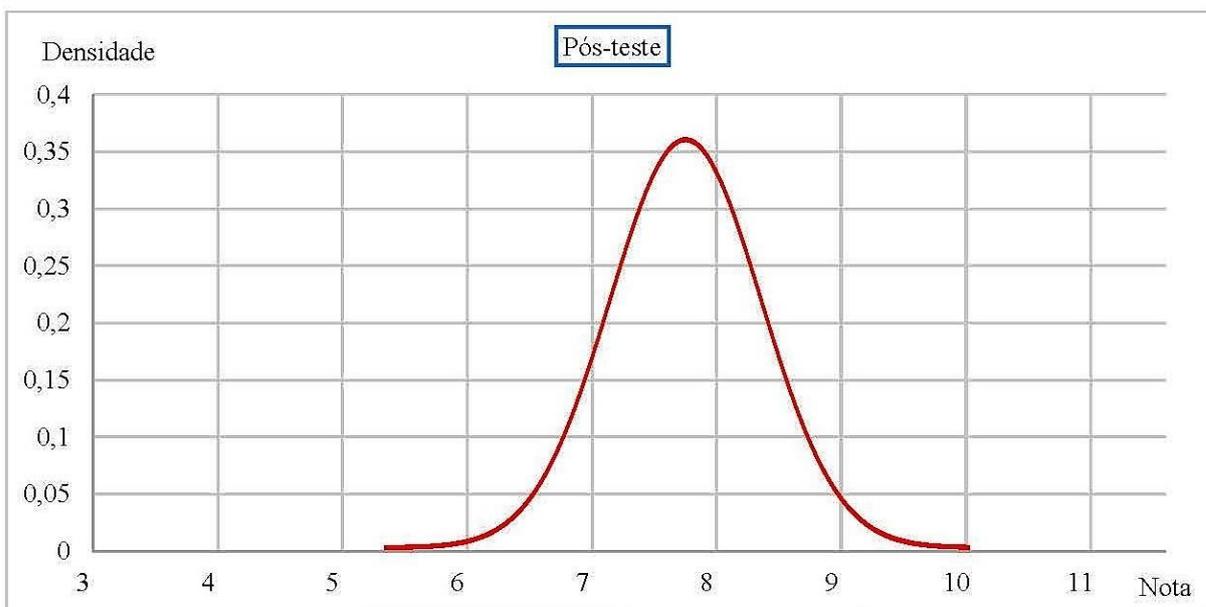


Fonte: O Autor (2020)

No pós-teste as notas melhoraram (Gráfico 17), tanto a média da turma como a moda mostraram uma evolução nos resultados. É preciso admitir que esse resultado não significa necessariamente uma melhoria no ensino de Física, mas significa no mínimo uma melhoria na motivação do estudante, tanto para entender os fenômenos envolvidos como para usar seus conhecimentos e sua capacidade de buscar respostas diante de algo desconhecido que lhe prendeu a atenção, despertou a curiosidade e, de forma implícita, o induziu a fazer o que a escola propõe ao estudante na sua essência, que é desenvolver habilidades, buscar novos conhecimentos que contribuem para a formação intelectual do indivíduo.

Gráfico 17 – Curva normal geral do pós-teste.

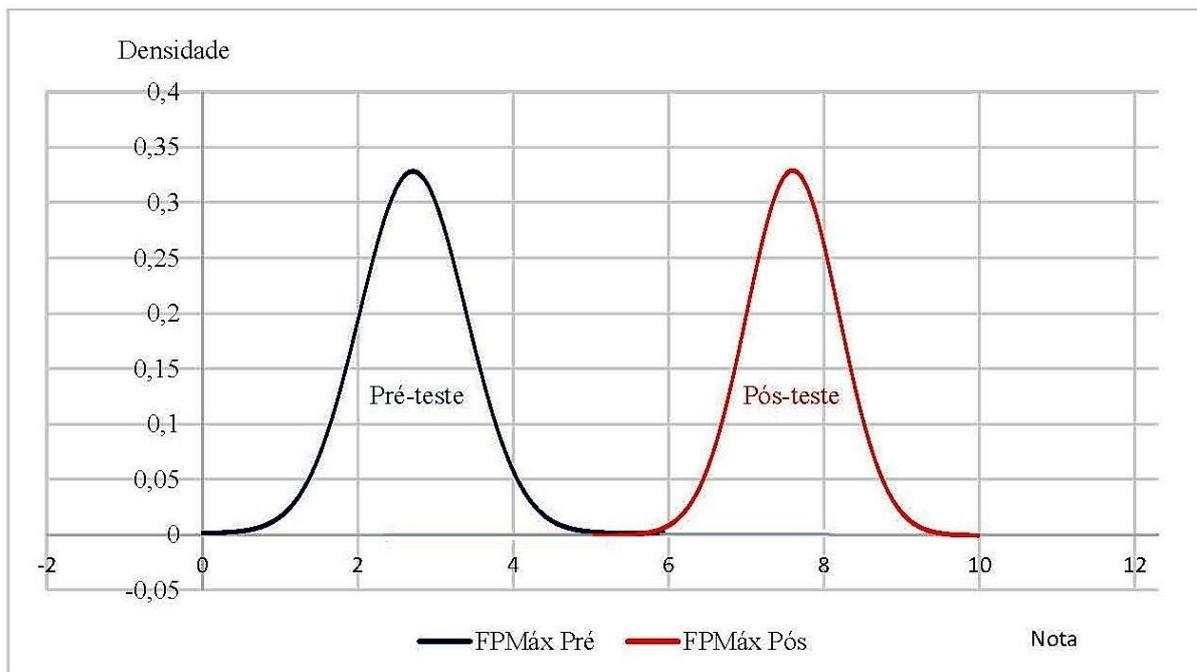
Medidas de centralidade e dispersão do pré-teste para a média geral = 7,73, desvio padrão ,1,12 e moda 8.



Fonte: O Autor (2020)

Por fim, colocando lado a lado os dados estatísticos (Gráfico 18), fica mais claro o resultado de todo processo. Sabemos que há muitos fatores envolvidos no processo de ensino e aprendizagem do que apenas dados estatísticos, porém podemos afirmar com certeza que houve uma melhora significativa nos números, isto é um fato, as médias e modas da turma em geral tiveram valores bem distintos nas duas avaliações (Tabela 2).

Gráfico 18 – Comparação das curvas normais dos testes.



Fonte: O Autor (2020)

Tabela 2 - Medidas de centralidade e dispersão dos testes.

	Pré-teste	Pós-teste
Média	2,80	7,73
Desv. Padrão	1,21	1,12
Moda	2	8

Fonte: O Autor (2020)

9 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os detalhes da construção de uma bobina de Tesla, para a reprodução e utilização nas aulas de Eletromagnetismo do ensino médio, embora possa ser adaptado a outros níveis de ensino. Apresenta também uma sequência didática de seis aulas para aplicação do produto. Os testes de viabilidade de construção e de parâmetros elétricos, os quais foram testados nos laboratórios de Física da UFPE - Campus Caruaru. Os testes de aplicação do produto educacional foram realizados nas dependências da escola EREM Belo Jardim, na cidade de Belo Jardim – PE, com 114 estudantes compondo o espaço amostral.

Os resultados mostram, entre outros aspectos, uma mudança geral e perceptível no comportamento dos alunos em geral, despertando interesse pelo experimento e, conseqüentemente, pelos temas envolvidos.

Na aplicação do pré-teste a média geral do grande grupo (114 alunos) foi de 2,8, uma média muito comum nas provas de Física nas escolas da rede pública, essa média subiu para 7,73 após a utilização do produto educacional. Muito mais importante que o aumento na nota, foi a mudança na atitude dos alunos, mostrando mais interesse pela ciência, mais comprometimento nas aulas, um melhor comportamento e, no fim do processo, moldando e aperfeiçoando todo o conhecimento prévio que cada um carrega, tornando o produto educacional um mediador, onde o professor é o organizador e o principal mediador do processo de ensino e aprendizagem.

Na área de Física a experimentação é fundamental! E aproveitar este gancho para incentivar a mudança necessária para melhoria nos resultados e na perspectiva dos alunos nas aulas é uma grande oportunidade. A bobina de Tesla é um dos experimentos capazes de prender a atenção dos alunos e utilizando este produto educacional formado pela Bobina de Tesla e a sequência didática proposta, certamente as aulas serão mais interessantes e eficientes no processo ensino-aprendizagem. E como mostra s resultados, com certeza fortalecerá o elo de ligação entre o estudante, o professor e a Ciência.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. A. A. Princípios para uma nova educação. **CLIQUE DIÁRIO**, 2018. Disponível em: <<https://cliquediario.com.br/artigos/principios-para-uma-nova-educacao>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

ANDRADE, E. D. S. et al. Comportamentalismo, Cognitivismo e Humanismo: uma revisão de literatura. **Revista Semiárido de Visu**, Petrolina, v. 7, p. 222-241, 2019. ISSN 2. Disponível em: <<file:///C:/Users/mavia/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Arquivos%202020/1065-3581-2-PB.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2020.

ANTUNES, L. R.; MORETTI, M. L. MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS. **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA**, 2015. Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/~bibliotecajoi/arquivos/tcc/mecind/155891.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2020.

APOL, M. Leyden Jar Array for Tesla Coils. **Instructables**, 2020. Disponível em: <<https://www.instructables.com/id/Leyden-Jar-Battery-for-Tesla-Coils/>>. Acesso em: 24 Julho 2020.

AQUINO, K. S.; ALVES, L. P. D. L. **A importância de uma atividade significativa: Uma introdução de área e volume em prisma**. Univerdade Federal do Amapá. Macapá. 2015.

ARAÚJO, I. S.; VIET, E. A. CICLOS DE MODELAGEM: UMA PROPOSTA PARA INTEGRAR ATIVIDADES BASEADAS EM SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, Florianópolis, 29, out. 2012. 965. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p965/23071>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

ARAÚJO, T. D. G. D. O papel do professor mediador na elaboração do conhecimento na formação técnica. **PORTAL EDUCAÇÃO**, 2020. Disponível em: <<https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/administracao/o-papel-do-professor-mediador-na-elaboracao-do-conhecimento-na-formacao->

tecnica/73007#:~:text=Sendo%20assim%20o%20papel%20do,processo%20na%20c onstru%C3%A7%C3%A3o%20do%20conhecimento.>. Acesso em: 21 dez. 2020.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

AVILA, M. A. Bitola De Fio: Tabela Aqui! Calculadora e Como Calcular? **Total Construção**, 2019. Disponível em: <<https://www.totalconstrucao.com.br/bitola-de-fio/>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

BARBOSA, F. R. M.; CANALLI, M. P. Qual a importância da relação professor-aluno. **efdeportes.com**, 2011. Disponível em: <<https://www.efdeportes.com/efd160/a-importancia-da-relacao-professor-aluno.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2020.

BARBOSA, R. C. **OBJETO DE APRENDIZAGEM E O ESTUDO DE GRAMÁTICA: UMA**. UFPB - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. João Pessoa. 2008.

BELMONT, S.; PEREIRA, M.; LEMOS, D. S. INTEGRANDO FÍSICA E EDUCAÇÃO FÍSICA EM UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA NA PERSPECTIVA DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Experiência no Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 11, 2016. ISSN 02. Disponível em: <https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID314/v11_n2_a2016.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2021.

BRAGA, N. C. A importância do aterramento (EL048). **Instituto Newton C. Braga**, 2020. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/instalacoes-residenciais/6645-a-importancia-do-aterramento>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

BRAGA, N. C. Fator de potência - A necessidade da correção (ART111). **Instituto NCB**, 2020. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/819-fator-de-potencia-a-necessidade-da-correcao-art111.html>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

BRAGA, N. C. Tamanho da faísca. **Instituto NCB - Instituto Newton C. Braga**, ca.2010. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/duvidas-dos-internautas/4555-duv242.html>>. Acesso em: 07/07/2020 Julho 2020.

BRITO, B. W. D. C. S.; BRITO, L. T. S.; SALES, D. S. ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA. **Revista Vivências em Ensino de Ciências**, Recife, v. 2, n. 2ª, jan. 2018. ISSN 1.

CAMERON PRINCE. Cameron Prince - Historiador Nikola Tesla. **Cameron Prince**, 2019. Disponível em: <<http://cameronprince.com/>>. Acesso em: 1 Julho 2020.

CHENEY, M. **Tesla: Man Out of Time**. 1. ed. Nova Iorque: Simon & Schuster, 1981. Disponível em: <https://books.google.com.sg/books?id=8b-Dp_2KmJoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 25 dez. 2020.

CHICAGO HISTORY MUSEUM. Chicago's World's Fairs. **CHICAGO HISTORY MUSEUM**, 2020. Disponível em: <<https://www.chicagohistory.org/chicagos-worlds-fairs/>>. Acesso em: 07 Dezembro 2020.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR, F. Bobina de Tesla: dos Circuitos Ressonantes LC aos, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 74, Março 2000.

CHRISTO, E. D. S. **Potência Reativa**. PUC - RIO. Rio de Janeiro, p. 25. 2005.

CLEMENT, L.; CUSTÓDIO, J. ; FILHO, J. D. P. A. Potencialidades do Ensino por Investigação para Promoção. **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 8, p. 101-129, maio 2015. ISSN 1.

COPEL DISTRIBUIÇÃO. FATOR DE POTÊNCIA: Em busca da eficiência energética nas instalações elétricas. **COPEL DISTRIBUIÇÃO**, 2019. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)>. Acesso em: 18 dez. 2020.

COSTA, A. G. C. P. S. ENCONTRO ENTRE O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E A. **Realize Eventos Científicos e Editora Ltda**, Campina Grande, ago. 2019.

DA SILVA, A. ; NETO, A. H. Simulador de Oscilações Mecânicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 03, Junho 2016.

DAMÁZIO, M. Física, matemática e química lideram a lista de disciplinas com menor índice de acertos no Enem. **HOJE EM DIA**, 2016. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/f%C3%ADsica-matem%C3%A1tica-e-qu%C3%ADmica-lideram-a-lista-de-disciplinas-com-menor-%C3%ADndice-de-acertos-no-enem-1.423140>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DELET - UFRGS. **Aula 11 - Circuitos Elétricos sob Excitação Senoidal (II)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, p. Aula 9. 2011.

DEREK LOW. How to Build a 1.35 Million-Volt Tesla Coil. **Derek Low**, 2018. Disponível em: <<https://dereklow.co/1-million-volt-tesla-coil/>>. Acesso em: 01 out. 2020.

DUFRESNE, S. MEASURING HIGH VOLTAGE IN MILLIMETERS (AND OTHER HV PROBE TRICKS). **Hackaday**, 2020. Disponível em: <<https://hackaday.com/2016/12/08/measuring-high-voltage-in-millimeters-and-other-hv-probe-tricks/>>. Acesso em: 8 dez. 2020.

E-FÍSICA - INSTITUTO DE FÍSICA - USP. Eletromagnetismo - O Terceiro fenômeno Eletromagnético - Indução Eletromagnética. **E-FÍSICA - Instituto de Física - USP**, 2007. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/inducao/>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. Nikola Tesla. **Encyclopædia Britannica**, 2020. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/electrical-and-electronics-engineering>>. Acesso em: 07 Dezembro 2020.

ENERSUL REDE DE ENERGIA. ORIENTAÇÃO TÉCNICA. **ENERGISA**, jan. 2001. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/OT-01_Sistema%20MRT.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2020.

ENERSUL REDE ENERGIA. FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA. **ENERGISA**, 2001. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/OT-01_Sistema%20MRT.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2020.

FEBBRAJO, A.; LIMA, R. D. S. Autopoiese. **Enciclopedia Juridica da PUCSP**, 2017. Disponível em: <<https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/152/edicao-1/autopoiese>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

G20. Chuveiro: Sua instalação elétrica está adequada ao uso? **G20**, 2016. Disponível em: <<https://www.g20brasil.com.br/chuveiro-sua-instalacao-eletrica-esta-adequada-ao-uso/>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

GARCIA, F. W. A importância do uso das tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. **Educação a Distância**, Batatais, v. 3, p. 25-48, 2013. ISSN 1. Disponível em: <<file:///C:/Users/mavia/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Arquivos%202020/sumario2.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

GETTY IMAGES. Metodologias ativas: o papel do professor como facilitador do aprendizado dos alunos. **Nova Escola**, 2019. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/15340/metodologias-ativas-o-papel-do-professor-como-facilitador-do-aprendizado-dos-alunos>>. Acesso em: 20 Junho 2020.

GREG'S STUFF. New Tesla Coil Toroid and Video. **GREG'S STUFF**, 2013. Disponível em: <http://gregsstuff.com/wp-content/uploads/2013/12/wpid-IMG_20131226_143806.jpg>. Acesso em: 26 dez. 2020.

GRIFFTHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3ª. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

GT2 TECNOLOGIA - INCUBADORA DA COPPE UFRJ. **Sistemas dinâmicos: diferentes abordagens para um sistema massa-mola-amortecedor**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2018.

GUANGYAN, G. Mini 40mm Tesla Coil Index. **Lone Ocean**, 2004. Disponível em: <http://www.loneoceans.com/lo_main/labs_01/teslacoil1/index.htm>. Acesso em: 26 dez. 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Eletromagnetismo**. Tradução de Flávio Menezes Aguiar e José Wellington Rocha. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Tradução de Flávio Menezes Aguiar e José Wellington tabosa. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física Vol. 3 Eletromagnetismo**. Tradução de Flávio Menezes Aguiar e José Wellington Rocha. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2012.

HAMZE, A. AVALIAÇÃO ESCOLAR. **Brasil ESCOLA**, 2020. Disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/trabalho-docente/avaliacao-escolar.htm>>. Acesso em: 08 dez. 2020.

HAZARDOUS PHYSICS. The Zeus Tesla Coil. **Hazardous Physics Electromagnetic devices, preferably grand and powerfull**, 2011. Disponível em: <http://hazardousphysics.christophgerekos.eu/main/zeus/The_Zeus_Tesla_Coil_2.html>. Acesso em: 13 Dezembro 2019.

HOLANDA, L. STEM E O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO. **NOVA ESCOLA**, 2020. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/bncc/conteudo/73/stem-e-o-ensino-de-ciencias-por-investigacao>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

HONÓRIO, E. CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA ALTERNADA. **Eduardo Honório**, 2013. Disponível em: <<http://eduhonorio.blogspot.com/2013/01/eletronica-basica-parte-4-corrente.html>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

HVTESLA.COM. How Tesla Coils Work. **http: //www.hvtesla.com/**, 2008. Disponível em: <<http://www.hvtesla.com/>>. Acesso em: 01 out. 2020.

IBGE. Índice de Desenvolvimento Humano. **IBGE**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/pesquisa/37/30255?tipo=ranking>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

IEDE INTERDISCIPLINARIDADE E EVIDÊNCIAS NO DEBATE EDUCACIONAL. Análise inédita do Iede ajuda a entender o perfil dos alunos de 15 anos das redes pública e privada. **IEDE Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional**, 2018. Disponível em: <<https://www.portaliede.com.br/analise-inedita-do-iede-ajuda-a-entender-o-perfil-dos-alunos-de-15-anos-das-redes-publica-e-privada/>>. Acesso em: 02 Junho 2020.

INSTITUTO DE FÍSICA - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB. Bobina de Tesla. **Instituto de Física - Universidade de Brasília - UnB**, Brasília, 2011. Disponível em: <https://www.fis.unb.br/gefis/index.php?option=com_content&view=article&id=201&Itemid=320>. Acesso em: 09 dez. 2020.

INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA. Arquivo:Triangpot3.png. **INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA**, 2017. Disponível em: <<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/Arquivo:Triangpot3.png>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA. AULA 11 - Circuitos 2 - Engenharia. **INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA**, 2017. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_11_-_Circuitos_2_-_Engenharia>. Acesso em: 18 dez. 2020.

INSTITUTO FEDERAL SANTA CATARINA. AULA 14 - Circuitos 2 - Engenharia. **PORTAL WIKI DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**, 2017. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_14_-_Circuitos_2_-_Engenharia>. Acesso em: 18 dez. 2020.

IOSIF, R. M. G. **A QUALIDADE DA EDUCAÇÃO NA ESCOLA PÚBLICA E O COMPROMETIMENTO DA CIDADANIA GLOBAL EMANCIPADA:IMPLICAÇÕES PARA A SITUAÇÃO DE POBREZA E DESIGUALDADE NO BRASIL**. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS. Brasília, p. 21. 2007.

JAMES HOBSON. TESLA COIL AUTO-WINDER. **HACKDAY**, 2014. Disponível em: <<https://hackaday.com/2014/01/28/tesla-coil-auto-winder/>>. Acesso em: 01 out. 2020.

KAIZER POWER ELECTRONICS. Bobinas Tesla, alta tensão e eletrônicos. **Kaizer Power Electronics**, 2015. Disponível em: <<https://kaizerpowerelectronics.dk/tesla-coils/drsstc-design-guide/topload/>>. Acesso em: 26 dez. 2020.

KEVIN WILSON. Tesla oil Design Schematic - Constuction. **Teslamap - Tesla Coil design Program**, 2009. Disponível em: <<http://www.teslacoildesign.com/construction.html>>. Acesso em: 02 outubro 2020.

KINDERMMAN, G. **CHOQUE ELÉTRICO**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

LEITE, J. D. C.; RODRIGUES, A.; JÚNIOR, C. A. D. O. M. ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NA VISÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS EM UM CONTEXTO DE FORMAÇÃO CONTINUADA. **IV Simpósio Nacional do Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, 27 a 29 nov. 2014. 7.

MARQUES, G. P. Bobina de Tesla: Dos Circuitos Ressonantes LC aos. **Instituto de Física - UNICAMP**, 2014. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/lunazzi/files/2014/03/981298GustavoP_DavidM_Bobina.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.

MERCADO LIVRE. Transformador Para Luminoso De Gás Neon 15000 V. **Mercado Livre**, 2020. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-959898297-transformador-para-luminoso-de-gas-neon-15000-v-_JM>. Acesso em: 01 out. 2020.

MGP ELÉTRICA. VERNIZ ISOLANTE ISO 1723 130 1L. **MGP Elétrica**, 2013. Disponível em: <<https://www.mgpeletrica.com.br/vernizes/1041-verniz-isolante-iso-1723-13011.html>>. Acesso em: 2 Julho 2020.

MILES, J. A 1.5 Million-Volt Tesla Coil. **John Miles, KE5FX**, 1999. Disponível em: <<http://www.ke5fx.com/tesla.html>>. Acesso em: 09 dez. 2020.

MORAES, R. M. D. A teoria da aprendizagem significativa – tas. **Construir Notícias**, Recife, n. 34, fev. 2021. Disponível em: <<https://www.construirnoticias.com.br/a-teoria-da-aprendizagem-significativa-tas/>>. Acesso em: 03 fev. 2021.

MOREIRA, A. F.; CANDAU, V. M. Educação escolar e cultura(s): construindo caminhos. **REVISTA BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO**, Rio de Janeiro, p. 1-13, 23 Agosto 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-24782003000200012>>. Acesso em: 11 out. 2020.

MOREIRA, F. B.; CANDAU, V. M. Educação escolar e cultura(s): construindo caminhos. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 1-13, Maio 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782003000200012>. Acesso em: 11 out. 2020.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: UNB, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. Contributos do III Encontro Internacional. Peniche: [s.n.]. 2000. p. 47-66.

MOREIRA, M. A. NEGOCIAÇÃO DE SIGNIFICADOS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Porto Alegre, 1, dez. 2008. 2-13. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/ensinosaudeambiente/article/view/21027/12502>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Didáticos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**. 1. ed. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios3.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**. 2ª. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2009. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2021.

MOREIRA, M. A. A EPISTEMOLOGIA DE MATURANA. **SCIELO**, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/20.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

MOREIRA, M. A. O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? **Instituto de Física – UFRGS**, 2010. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2021.

MOREIRA, M. A. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: da visão clássica à visão crítica**. Instituto de Física da UFRGS. Porto Alegre. 2016.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. **Aprendizagem Significativa: a Teoria de David Ausubel**. São paulo: Moraes, 1982.

NEAR COMMUNICATION. Nikola Tesla. **Near Communication**, S/data. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/nearcommunications/nikola-tesla-2>>. Acesso em: 13 Dezembro 2019.

NOGARO, A.; GRANELLA, E. O ERRO NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM. **REVISTA DE CIÊNCIAS HUMANAS**, Frederico Westphalen, v. 5, 2004. ISSN 5. Disponível em: <<http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/viewFile/244/445>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

NUNES, T. O que é ensino por investigação? **Pontodidática**, 2017. Disponível em: <<https://pontodidatica.com.br/o-que-e-ensino-por-investigacao/>>. Acesso em: 20 Dezembro 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica Eletromagnetismo**. 5ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 3, 2014.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 5ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 2, 2014.

O ENGENHOSO EU. APRENDA COMO FUNCIONA E COMO FAZER UMA BOBINA DE TESLA. **O Engenhoso Eu**, 2015. Disponível em: <<http://oengenhosoeu.blogspot.com/2015/07/bobina-de-tesla.html>>. Acesso em: 01 out. 2020.

ONETESLA. User manual - oneTesla. **oneTesla**, 2012. Disponível em: <https://onetesla.com/oneTesla_User_Manual.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

OPOVO ONLINE. Saiba como proceder quando uma oscilação de energia queima seu eletrodoméstico. **OPOVO online**, 2017. Disponível em: <<https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/eusebio/2017/05/oscilacao-de-energia-queima-eletrodomesticos-de-moradores-do-eusebio.html>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

PAPIEWSKI, J. How to Calculate Voltage by Spark Gaps. **SCIENCING**, 2018. Disponível em: <<https://sciencing.com/calculate-voltage-spark-gaps-8776030.html>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

PAUL'S TESLA COIL BLOG. Ordered Bigger Toroid. **Paul's Tesla Coil Blog**, 2011. Disponível em: <<http://paul-walsh.blogspot.com/2011/09/ordered-bigger-toroid.html>>. Acesso em: 08 Julho 2020.

PAZ, D. M. D. S. A DIMENSÃO SOCIAL E RECEPTIVA DO PROCESSO DE LEITURA: UMA CONCEPÇÃO INTERACIONISTA. **UFSM - Universidade Federal de santa Maria**, 2000. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/lec/02_00/Dioni-L&C4.htm>. Acesso em: 03 fev. 2021.

PEREIRA, J. E.; DICKMAN, A. G. Objetivos das aulas experimentais no ensino superior na visão de professores e estudantes da engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 42, p. 1-9, Junho 2020. ISSN e20200096. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbef/v42/1806-9126-RBEF-42-e20200096.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2020.

PEREIRA, O.; LIMA, T. Desafio, Discussão e Respostas. **SciELO**, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eins/v16n2/pt_1679-4508-eins-16-02-eED4362.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2020.

POZO, J. I. **Aquisição de Conhecimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. **Aprendizagem e o Ensino de Ciências: do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PUC RIO - DEE DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA. SIMULAÇÕES EM ENGENHARIA ELÉTRICA. **PUC Rio - DEE Departamento de Engenharia Elétrica**, S/Data. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/26288/introducao.html>>. Acesso em: 10 Junho 2020.

QUEIROZ, A. C. M. D. Comentários sobre bobinas de Tesla. **COE UFRJ**, 24 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/tesla/BobinadeTesla.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2020.

RABELO, A. Psicologia Cognitiva. **ScienceBlogs Brasil**, 2010. Disponível em: <<https://www.blogs.unicamp.br/socialmente/2010/06/28/psicologia-cognitiva/>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

REGO, T. C. **VYGOTSKY - Uma pespectiva histórico-cultural da educação**. Petrópolis: Vozes, 1995.

RICO, R. O QUE PREVÊ A BNCC PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS? **Nova Escola**, 2020. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/bncc/conteudo/61/o-que-preve-a-bncc-para-o-ensino-de-ciencias>>. Acesso em: 11 out. 2020.

SABER ELÉTRICA. Como fazer aterramento – Confira a Importância de um Aterramento Elétrico Eficiente. **Saber Elétrica**, 2020. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/como-fazer-aterramento/>>. Acesso em: 01 out. 2020.

SEDUC - RS. Novo Ensino Médio. **Portal educação**, 2019. Disponível em: <<http://portal.educacao.rs.gov.br/novo-ensino-medio>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SILVA, N. S.; PORTES, W. BOBINA DE TESLA. **Anais do EVINCI - UniBrasil**, 2017. Disponível em: <<https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/anaisevinci/article/view/3671>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

SILVEIRA, F. L. D. Fios elétricos oxidados. **Instituto de Física - UFRGS - CREF**, 2017. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=fios-eletricos-oxidados>>. Acesso em: 26 dez. 2020.

SKEPTICS STACKEXCHANGE. Did Edison refuse to pay Tesla saying "You dont understand our American humor"? **Skeptics Stackexchange**, 2016. Disponível em: <<https://skeptics.stackexchange.com/questions/31254/did-edison-refuse-to-pay-tesla-saying-you-dont-understand-our-american-humor>>. Acesso em: 25 dez. 2020.

SNEZANA ŠARBOH. The patents of Nikola Tesla. **ELSEVIER**, Belgrado, nov. Servia.

SOUZA, S. R. D.; ROZAL, F. Instrução por modelagem de David Hestenes: uma proposta de ciclo de modelagem temático e discussões sobre alfabetização científica.

Amazônia | Revista de Educação em Ciências e Matemática, Belém, 2016 01 - 07 2016. 99-115.

SPERANDIO, M. R. D. C. UMA PROPOSTA NA PERSPECTIVA DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO PARA PROFESSORES DOS ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL. **Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do paraná - UTFPR**, 2017. Disponivel em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3017/2/LD_PPGEN_M_Sperandio%2C%20Maria%20Regina%20da%20Costa_2017_1.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

TAVARES, P. D. A. Metodologias ativas: o papel do professor como facilitador do aprendizado dos alunos. **Nova Escola**, 2019. Disponivel em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/15340/metodologias-ativas-o-papel-do-professor-como-facilitador-do-aprendizado-dos-alunos>>. Acesso em: 20 Junho 2020.

TERAHATA, A. A proposta investigativa para o ensino de Ciências da Natureza: uma perspectiva para engajar estudantes a partir da BNCC. **Apoio a aula**, 2019. Disponivel em: <<http://apoioaaula.com.br/blog/2019/08/08/a-proposta-investigativa-para-o-ensino-de-ciencias-da-natureza-uma-perspectiva-para-engajar-estudantes-a-partir-da-bncc/>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

THE INSTITUTE FOR HUMAN & MACHINE COGNITION. Joseph D. Novak. **The Institute for Human & Machine Cognition**, 2018. Disponivel em: <<https://www.ihmc.us/groups/jnovak/>>. Acesso em: 03 fev. 2021.

TIPLER , P.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros Mecânica, Oscila es, Ondas e Termodinâmica**. 6^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2029.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientista e Engenheiros Eletricidade e Magnetismo**. 6^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2009.

UFMG - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS TRANSDISCIPLINARES. Humberto Maturana - Universidade do Chile. **UFMG - Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares**, 2020. Disponivel em: <<https://www.ufmg.br/ieat/2011/09/humberto-maturana/>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

UNESP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA. Corre a o do Fator de Potência em Sistemas Industriais. **UNESP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**, 2013. Disponivel em:

<<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/capitulo-4-2013-2s.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

USP - INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS. Laboratório de Eletricidade e Magnetismo. **USP - Instituto de Física de São Carlos**, 2010. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/12-CircuitosdeCorrenteAlternada-I.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2020.

VIEIRA, F. A. D. C. **Ensino por Investigação e Aprendizagem Significativa Crítica: análise fenomenológica do potencial de uma proposta de ensino**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Bauru. 2012.

VIEIRA, L. C. CIRCUITOS DE SEGUNDA ORDEM. **UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Página pessoal**, 2018. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vieira/el63a-eletricidade/aulas-teoricas>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

WATANABE, A. M.; DOS SANTOS, A.; BUENO, P. R. Harmonical oscillator and electro-mechanical analogy: an interdisciplinary experiment to high precision mass variation measurements. **SCIELO**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 57 - 75, 2009.

WIKIMEDIA COMMONS. Tesla bobina 4. **Wikimedia Commons**, 2017. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_coil_4.svg>. Acesso em: 13 Dezembro 2019.

WIKIMEDIA COMMONS. Nikola Tesla no laboratório sau din Colorado Springs. **Wikimedia Commons**, 2020. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikola_Tesla_in_laboratorul_sau_din_Colorado_Springs.jpg>. Acesso em: 07 Dezembro 2020.

WIKIMÉDIA COMMONS. OneTeslaTS DRSSSTC Tesla Coil. **Wikimédia Commons**, 2020. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OneTeslaTS_DRSSSTC_Tesla_Coil.jpg>. Acesso em: 8 Julho 2020.

WIKIPÉDIA. Bobina de Tesla em Questacon, na Austrália, no National Science and Technology Centre museum. **Wikipédia**, 2005. Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Tesla#/media/Ficheiro:Lightning_simulator_questacon02.jpg>. Acesso em: 1 Julho 2020.

WIKIPÉDIA. Bobina de tesla. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Tesla>. Acesso em: 1 Julho 2020.

WIKIPEDIA. David Hestenes. **WIKIPÉDIA**, 2020. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/David_Hestenes>. Acesso em: 04 fev. 2021.

WIKIPÉDIA. Interacionismo. **WIKIPÉDIA**, 2020. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Interacionismo#:~:text=Interacionismo%20%C3%A9%20a%20intera%C3%A7%C3%A3o%20entre,aconte%C3%A7am%20mudan%C3%A7as%20no%20seu%20desenvolvimento.>>. Acesso em: 03 fev. 2021.

WIKIPÉDIA. Philip Johnson-Laird. **WIKIPÉDIA**, 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Philip_Johnson-Laird>. Acesso em: 03 fev. 2021.

WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉDIA LIVRE. Bobina de Tesla - Tesla coil. **Wikipédia**, ca.2010. Disponível em: <https://pt.qwe.wiki/wiki/Tesla_coil>. Acesso em: 07 Julho 2020.

WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉDIA LIVRE. Lista de municípios de Pernambuco por IDH-M. **Wikipédia, a enciclopédia livre.**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_munic%C3%ADpios_de_Pernambuco_por_IDH-M#:~:text=O%20IDH%20do%20estado%20do,os%20diversos%20pa%C3%ADses%20do%20mundo.>. Acesso em: 11 out. 2020.

YOUNG, H. D.; FEEDMAN, R. A. **Física Termodinâmica e Ondas**. Tradução de Adir Moysés Luiz. 10ª. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, v. 2, 2006.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física Eletromagnetismo**. Tradução de Adir Moysés Luiz. 10ª. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, v. 3, 2006.

ZEUSAPHONE LLC. Ultimate High-Performance Engineering. **zeusaphone LLC**, 2007. Disponível em: <<https://zeusaphone.com/performance/>>. Acesso em: 08 Julho 2020.

APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL E PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação apresentada ao
Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física da Universidade Federal
de Pernambuco como requisito parcial
para obtenção do título de mestre em
Ensino de Física **Área de concentração:**
Formação de Professores de Física em
Nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Charlie Salvador Goncalves – UFPB

CARUARU
2020

MAVIAEL BEZERRA DE SOUZA

**FAÇA E USE UMA BOBINA DE TESLA PARA AS AULAS DE
ELETROMAGNETISMO**

Dissertação apresentada ao Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de
Física da Universidade Federal de
Pernambuco como requisito parcial
para obtenção do título de mestre em
Ensino de Física

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Charlie Salvador Goncalves
Universidade Federal da Paraíba (Orientador)

Prof. Dr. Augusto Cesar Lima Moreira
Universidade Federal de Pernambuco (Examinador Interno)

Prof. Dr. José Américo Moura
Universidade Federal do Vale do São Francisco (Examinador Externo)

LISTA DE FIGURAS

Figura 28 -	Esquema da bobina de tesla.....	137
Figura 29 -	Banco de capacitores.....	142
Figura 30 -	Aterramento com haste de cobre.....	147
Figura 31 -	Avaliação do conhecimento prévio.....	153
Figura 32 -	Esquema para sintonia por “antena receptora”.....	156
Figura 33 -	Sugestão para maquete para demonstração do para-raios.....	157

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 30 - Bobina montada.....	138
Fotografia 31 - Detalhe da base da bobina.....	139
Fotografia 32 - Um transformador NST (Transformador de Letreiro Neon).....	139
Fotografia 33 - Centelhador fixo.....	140
Fotografia 34 - Confeção do capacitor caseiro.....	141
Fotografia 35 - Capacitor de poliéster caseiro.....	141
Fotografia 36 - Capacitores de filme de poliéster industriais.....	142
Fotografia 37 - Bobina primária em forma de cone invertido.....	143
Fotografia 38 - Fio esmaltado 32 AWG.....	144
Fotografia 39 - Bobina secundária.....	144
Fotografia 40 - Banho de verniz isolante.....	145
Fotografia 41 - Verniz LACKTHERM WEG.....	145
Fotografia 42 - Descargas depois de alguns ajustes.....	147
Fotografia 43 - Uma casca esférica em aço inox.....	148
Fotografia 44 - Um toroide em alumínio.....	148
Fotografia 45 - Um toroide feito de tubo de cobre.....	148
Fotografia 46 - Ajuste da indutância da bobina primária.....	149
Fotografia 47 - Um teste de descarga.....	150
Fotografia 48 - Duas configurações baseadas no mesmo projeto.....	150
Fotografia 49 - Kit de Experimentos.....	151

LISTA DE QUDROS

Quadro 9 -	Quadro de segurança.....	134
Quadro 10 -	Componentes da bobina de Tesla.....	137
Quadro 11 -	Plano de aula: Aulas 1 ,2 e 3.....	152
Quadro 12 -	Plano de aula: Aulas 4, 5 e 6.....	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 -	Dimensionamento de fio e disjuntor para chuveiro elétrico.....	135
Tabela 4 -	Seção dos condutores para instalações elétricas.....	136
Tabela 5 -	Corrente máxima para condutores x diâmetro.....	136
Tabela 6 -	Características do verniz isolante.....	146

LISTA DE SÍMBOLOS

NST	Transformado para tubos de gás neon
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PVC	Policloreto de Vinila
AWG	Escala Americana Normalizada
GND	Filtro Graduado de Densidade Neutra
IEDE	Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional

SUMÁRIO

1	A MONTAGEM DA BOBINA.....	135
1.1	A MONTAGEM DA BASE DA BOBINA	138
1.2	O TRANSFORMADOR DE ALIMENTAÇÃO PRIMÁRIA.....	139
1.3	O CENTELHADOR.....	140
1.4	O CAPACITOR.....	140
1.5	A BOBINA PRIMÁRIA	142
1.6	A BOBINA SECUNDÁRIA	143
1.7	O ATERRAMENTO	146
1.8	OS PRIMEIROS TESTES	147
1.9	ALGUMAS MUDANÇAS.....	148
2	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	151
3	SUGESTÕES PARA UTILIZAÇÃO DA BOBINA DE TESLA	155

Mensagem ao Professor

Prezado (a) professor (a),

Este trabalho foi desenvolvido para ajudá-lo em suas aulas de eletromagnetismo tornando-as lúdicas, mais interessantes e até inesquecíveis. Esperamos contribuir para melhoria do ensino de física e estimulá-lo, junto com seus estudantes para o engajamento e defesa da ciência e tecnologia.

Este produto Educacional foi desenvolvido durante o Mestrado Nacional profissional em Ensino de Física – MNPEF e aplicado em uma Escola de Referência em Ensino Médio – EREM, na cidade de Belo Jardim – PE. Este material é composto pelo manual de montagem de uma bobina de Tela de baixa potência e de um conjunto de sequências didáticas destinado ao professor (a) para aplicação nas aulas de e demonstrações lúdicas de eletromagnetismo nas turmas de segundo e terceiro anos de Ensino médio.

O equipamento foi dimensionado usando o software WinTesla e desenvolvido usando materiais de fácil aquisição no comércio local. Vários outros materiais poderão ser utilizados, mas estes materiais sugeridos foram testados e aprovados para a montagem deste equipamento. Vários testes e aferição de parâmetros elétricos foram efetuados antes de escolher a configuração mais eficiente para a montagem de sua bobina. Serão apresentados a seguir.

Para um bom desenvolvimento deste projeto não será preciso um curso especial de eletricidade, mas sim de uma boa parcela de paciência, conhecimentos básicos de eletromagnetismo e respeito às normas e procedimentos de segurança para o uso de equipamentos elétricos. O quadro 9 apresenta um resumo dos cuidados e procedimentos de segurança.

Quadro 9 – Quadro de segurança.

Cuidados durante o uso da bobina. Respeite os procedimentos de segurança para o uso de equipamentos elétricos

ALTA TENSÃO E ALTA FREQUÊNCIA: A tensão de saída da bobina Tesla é de mais de um quarto milhões de volts de eletricidade de alta frequência, em correntes de até dezenas de miliampères.

CUIDADO COM AS DESCARGAS DO TOPO DA BOBINA: Risco de queimadura desagradável; para pessoas com problemas cardíacos e pessoas que usam marca-passo o choque pode ser potencialmente fatal.



CUIDADO COM A BOBINA PRIMÁRIA: Embora a voltagem seja menor, aproximadamente 15 KV AC, a bobina primária pode ser ainda mais perigosa do que as faíscas do topo. O primário carrega até centenas de amperes de corrente. Para referência, apenas 10mA em seu coração são suficientes para matá-lo. **NUNCA FAÇA MANUTENÇÃO COM A BOBINA LIGADA, RETIRE A TOMADA DA FONTE PRIMÁRIA SEMPRE QUE FOR FAZER ALGUM REPARO OU AJUSTES NA BOBINA.**

Requer supervisão de adultos

•Usuários com menos de 18 anos só devem usar este produto sob a supervisão de um adulto experiente.



Pessoas portadoras de marca-passo

Pessoas que usam marca-passo o choque pode ser potencialmente fatal.



Produção de Ozônio

A alta temperatura das descargas da bobina faz com que os gases que constituem o ar formem outros compostos, incluindo ozônio (que muitas vezes pode ser sentido quando a bobina está em operação) e óxidos de nitrogênio. Mantenha a área de trabalho da bobina Tesla bem ventilada para evitar o acúmulo de gases irritantes, como ozônio e óxidos de nitrogênio, que se tornam tóxicos se concentrados.



Risco de incêndio

Os arcos da bobina de Tesla podem incendiar objetos inflamáveis. Mantenha todos os objetos inflamáveis longe da bobina de Tesla enquanto ela estiver em operação.



Proteção auricular

A bobina de tesla é extremamente barulhenta, recomenda-se uso de protetor auricular.



Óculos de segurança

O centelhador emite radiação ultravioleta, é recomendado óculos de proteção contra raios UV.



Emissão de RF

Mantenha os componentes eletrônicos sensíveis longe da bobina de Tesla o tempo todo. Use todo o comprimento do cabo de fibra ótica incluído para distanciar seu computador da bobina de Tesla.



Recomendações importantes

- Mantenha seu espaço de trabalho limpo e organizado.
- Sempre obedeça o bom senso.
- Não continue a trabalhar se em algum momento se sentir desconfortável com os perigos.
- Trabalhe sempre com a mente clara. Não trabalhe quando estiver cansado.
- Tenha cuidado ao soldar; o chumbo é perigoso e o ferro está extremamente quente.

Fonte: https://onetesla.com/oneTesla_User_Manual.pdf (2014)

Nota: Acesso em 22 de setembro de 2020

1 A MONTAGEM DA BOBINA

A bobina de Tesla tradicional é um experimento de poucos componentes e de montagem de média complexidade. A maior dificuldade será ajustar os parâmetros para um bom rendimento.

A Bobina de Tesla é um transformador ressonante capaz de gerar uma tensão altíssima com grande simplicidade de construção (SILVA e PORTES, 2017). As bobinas de grande potência acima de 3 kVA exigem uma alimentação da rede elétrica especial. Vale lembrar que a Bobina de Tesla é um equipamento indutivo. Todo indutor gera potência reativa, diminuindo o fator de potência do equipamento ao qual pertence. Sendo assim, caso a rede elétrica não tenha sido dimensionada para suportar este equipamento, não tente ligá-la. Este é o caso das escolas da rede pública, que possuem, em sua maioria, tomada domésticas insuficientes para acionar uma bobina com um transformador de 3 kVA a 15 kVA, por exemplo. Indutores, quando superdimensionados para a carga que devem alimentar, consomem uma quantidade de energia reativa relativamente grande se comparada à energia ativa de um chuveiro elétrico por exemplo (veja a Tabela 3), contribuindo para um fator de potência baixo. Mesmo uma bobina de potência média, de 1 kVA até 3 kVA, exige uma corrente elevada na alimentação, e o ideal, para efeitos didáticos, é o uso de uma bobina de pequeno porte, como proposta neste trabalho, com transformadores cuja potência é no máximo de 1 kVA.

Tabela 3 - Dimensionamento de fio e disjuntor para chuveiro elétrico.

Enquanto o chuveiro elétrico é um equipamento resistivo, a bobina de Tesla (BT) é um equipamento indutivo e por isso, não podem ser comparados. A BT consome uma corrente elétrica (devido à potência reativa) muito maior.

Tensão	Potência do chuveiro	Fiação (mm ²)	Disjuntor (A)
127 V	4500 até 5500 W	10	50 A
220 V	4500 até 5500 W	4	25 A
	5501 W a 6800 W	6	32 A
	6801 W a 7900 W	10	40 A

Fonte: <https://www.g20brasil.com.br/chuveiro-sua-instalacao-eletrica-esta-adequada-ao-uso/> (2016)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2020

A ideia da bobina na escola é para que o professor possa usar a bobina na sala de aula, nas tomadas próximas a sua mesa, a mesma tomada que os alunos usam para carregar o celular ou deixá-la no laboratório da escola, ou seja, tomadas de uso

geral monofásicas, normalmente com fiação de 2,5 mm², dimensionadas conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Seção dos condutores para instalações elétricas.

A NBR5410 normatiza a área mínima de um condutor elétrico para as diversas aplicações.

SEÇÃO MÍNIMA DOS CONDUTORES		
Informações extraídas da norma NBR 5410		
Tipo de instalação	Utilização do circuito	Seção mínima do condutor isolado (mm ²)
Instalações fixas em geral	Circuitos de iluminação	1,5
	Circuitos de força (tomadas)	2,5
	Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5
Ligações flexíveis feitas com cabos isolados	Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
	Para qualquer outra aplicação	0,75
	Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75

Fonte: <https://www.totalconstrucao.com.br/bitola-de-fio/> (2019)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2020

O fio de 2,5 mm² limita a corrente na tomada para no máximo 24 A. Para se ter uma ideia dessa relação entre fio e potência da tomada, pode-se tomar como base a Tabela 5.

Tabela 5 – Corrente máxima para condutores x diâmetro.

SEÇÃO	DIÂMETRO	BITOLA	CORRENTE MÁXIMA (A)
mm ²	mm	AWG NBR NM 247-3	
1.0	1.13	16	14
1.5	1.38	14	17
2.5	1.78	12	24
4.0	2.26	10	32
6.0	2.76	8	41
10.0	3.57	6	57

Corrente conforme NBR 5410/2004 - B1

imagemesonhd

Fonte: <https://www.totalconstrucao.com.br/bitola-de-fio/> (2019)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2020

Depois destes parâmetros iniciais, vamos a construção a da bobina. Os principais componentes de uma bobina com centelhador (tipo SGTC) estão descritos no Quadro 10.

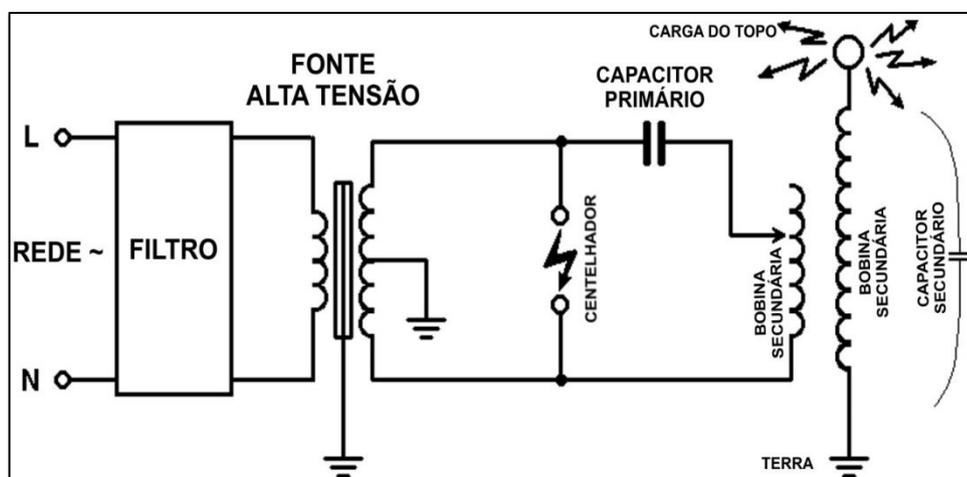
Quadro 10 - Componentes da bobina de Tesla

Materiais
Transformador
Base
Centelhador
Banco de capacitores
Bobina primária
Bobina secundária
Toroide

O diagrama elétrico de ligação destes componentes é apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Esquema da bobina de tesla.

O diagrama é de uma bobina de Tesla original produzida por Nikola Tesla, por volta de 1890.



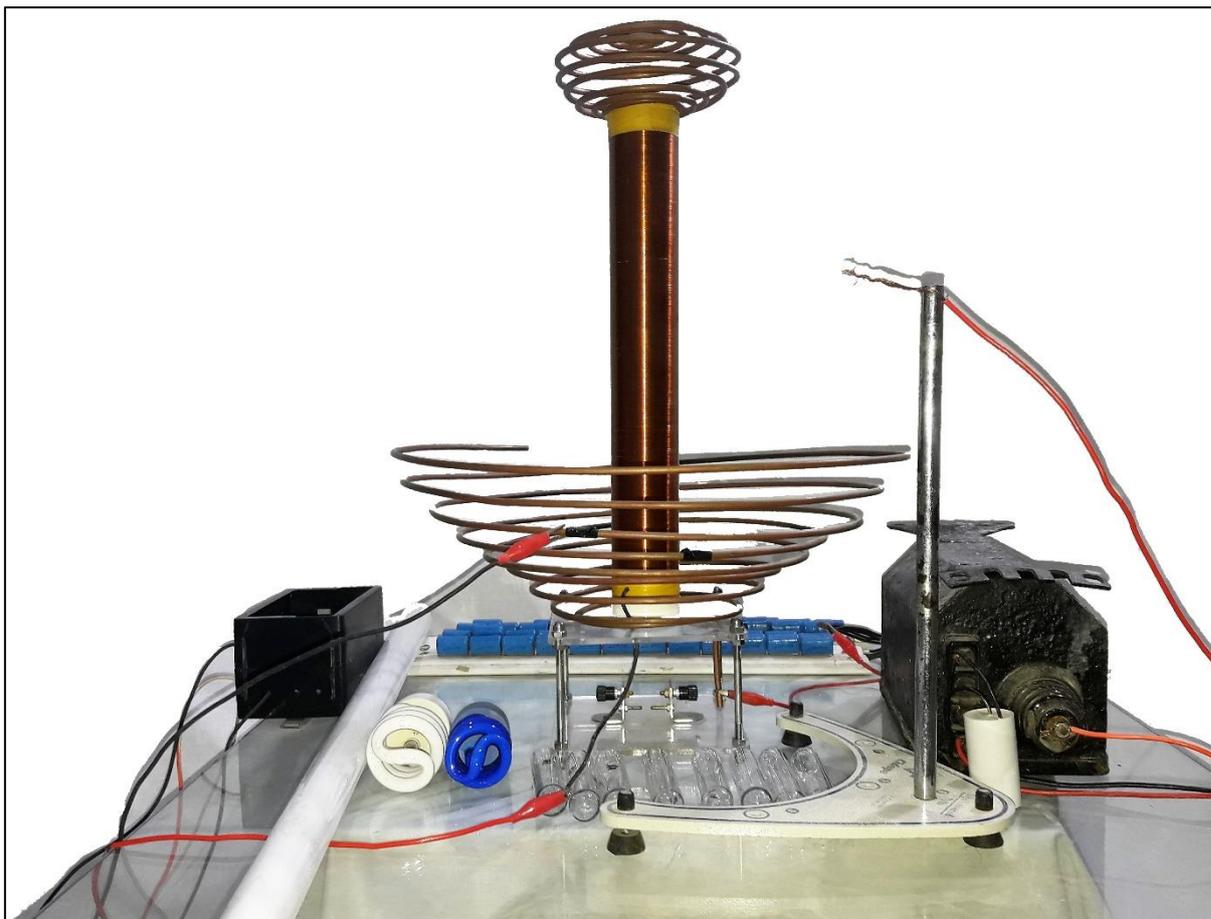
Fonte: <https://sites.google.com/site/nearcommunications/nikola-tesla-2> (2011)

Nota: Acesso em 13 de dezembro de 2019.

Depois de montada, a bobina deve ficar com uma aparência semelhante à mostrada na Fotografia 30. Dispositivos de segurança (disjuntor Diferencial Residual - DR) e de proteção da rede elétrica (filtros para as altas frequências produzidas pela bobina, protegem a rede contra ruídos de radiofrequência (RF), que causam interferências em eletrônicos em geral) não aparecem na imagem, mas são bem-vindos ao projeto.

Fotografia 30 - Bobina montada.

Ao final da montagem, sua bobina terá esta aparência.



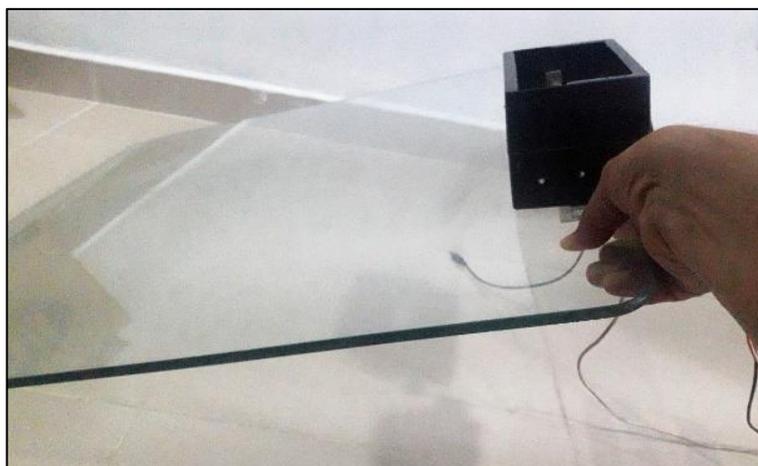
Fonte: O Autor (2021).

1.1 A MONTAGEM DA BASE DA BOBINA

A bobina deve ser montada sobre uma base de vidro de 8 mm (Fotografia 31), a base é fixa pois a bobina é pequena e leve. Caso queira adicionar uma plataforma com rodinhas, tipo carrinho, para facilitar a movimentação no ambiente. A base deve ser de material isolante, nela será fixado o centelhador e servirá de apoio para o restante da montagem. OBS: Jamais use uma base metálica, pois a alta tensão da alimentação primária é um risco constante, mesmo para transformadores de baixa potência.

Fotografia 31 - Detalhe da base da bobina.

A base deve de material isolante. Jamais use uma base metálica, pois a alta tensão da alimentação primária é um risco constante.



Fonte: O Autor (2019).

1.2 O TRANSFORMADOR DE ALIMENTAÇÃO PRIMÁRIA

O transformador usado é um NST, Neon Signal Transformer (Transformador de Letreiro Neon), com tensão elétrica de saída de 15 kV e corrente de 30 mA (Fotografia 32).

Fotografia 32 – Um transformador NST (Transformador de Letreiro Neon).

Ainda é encontrado no comércio local, mesmo ficando obsoleto devido à substituição por letreiros de LED.



Fonte: <http://www.teslacoildesign.com/construction.html> (2009)

Nota: Acesso em 30 de setembro de 2020

1.3 O CENTELHADOR

O centelhador é do tipo estático e ajustável, ele dispara quando a d.d.p. no capacitor atinge o valor da rigidez dielétrica do ar entre seus terminais, normalmente esse é o valor da d.d.p. de alimentação da fonte primária. É construído usando dois parafusos de latão e colocado dentro de uma caixa plástica para evitar o brilho da luz emitida e suprimir o ruído acústico (ver a Fotografia 33).

Fotografia 33 - Centelhador fixo

Parafusos de latão. A caixa plástica reduz o brilho da luz emitida das descargas elétricas e suprime o ruído acústico.



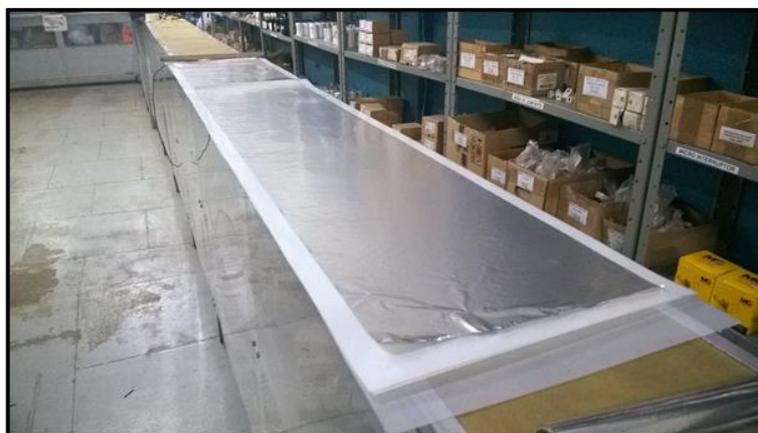
Fonte: O Autor (2020)

1.4 O CAPACITOR

Dois tipos de capacitores foram testados e são equivalentes. Um usou um capacitor caseiro, construído com folhas de poliéster e papel alumínio enrolados em forma de cilindro com terminais elétricos nas extremidades das folhas de alumínio. Na Fotografia 34, as folhas estão dispostas num balcão e ainda sem os terminais. As folhas de poliéster podem ser compradas em lojas de materiais elétricos e as de alumínio são as mesmas usadas na cozinha para embalar alimentos.

Fotografia 34 - Confeção do capacitor caseiro.

Folhas de alumínio formam as placas do capacitor entre as folhas isolantes de poliéster. Possui 3m de comprimento x 0,5m de largura.

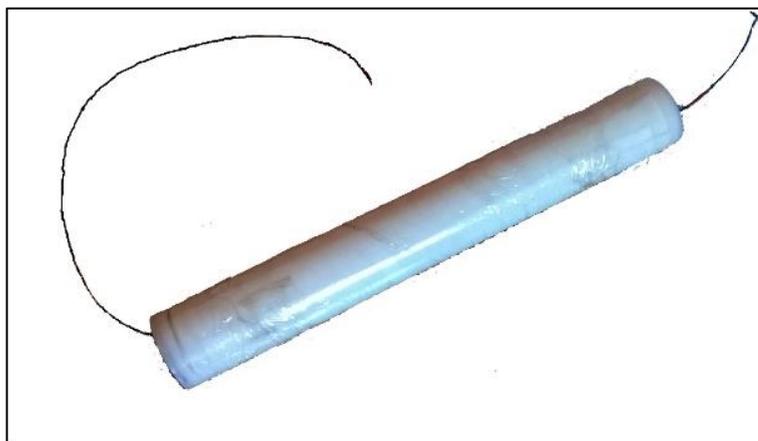


Fonte: O Autor (2019)

A Fotografia 35 mostra o capacitor caseiro de poliéster concluído.

Fotografia 35 - Capacitor de poliéster caseiro.

Formato de cilindro de 10 cm de diâmetro x 50 cm de altura. Em cada placa do capacitor foi adicionado um terminal elétrico.



Fonte: O Autor (2019).

Um outro tipo de capacitor, este agora comercial, pode ser usado. Montado em configuração de banco de capacitores. Com capacitância total de 15,6 nF e uma d.d.p. de 16 kV, este banco é formado por 50 capacitores de poliéster ligados em configuração série e paralela conforme apresentado na Fotografia 36.

Fotografia 36 - Capacitores de filme de poliéster industriais.

As lacunas observadas são dos capacitores que queimaram durante os testes. Aqui foram usados 50 capacitores de 47 nF / 1,6 kV.

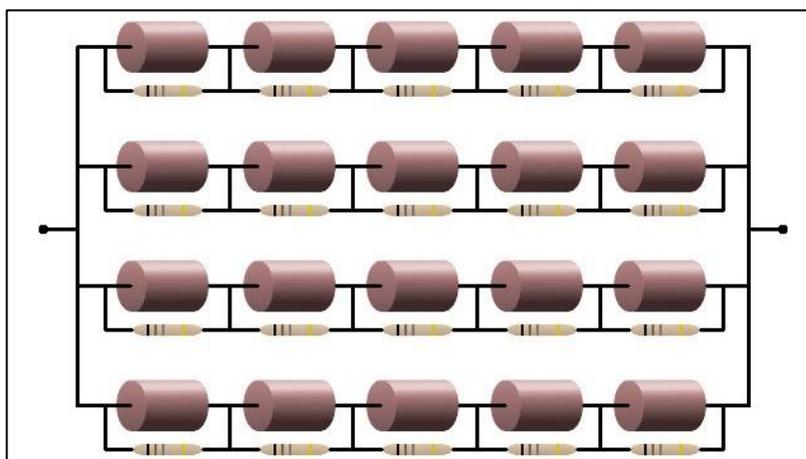


Fonte: O Autor (2019).

Para a configuração do banco de capacitores considere a d.d.p. de saída do transformador de 8 kV e capacitância de 32 nF sugerida pelo software Wintesla. Como no comércio dificilmente se encontra um capacitor de poliéster com essas especificações, use 20 capacitores de 40 nF – 2 kV. Cada fileira tem cinco capacitores em série, que equivale a um capacitor de 8 nF – 10 kV, e quatro fileiras dessas em paralelo, o capacitor equivalente da associação é exatamente de 32 nF – 10 kV. Para evitar acidente com acúmulo de carga no banco de capacitores após o uso da bobina, pode-se utilizar resistores de 100 M Ω - 2000 V em paralelo com cada capacitor, para garantir um descarregamento seguro do equipamento após seu uso (ver Figura 29).

Figura 29 - Banco de capacitores.

Associação mista com 20 capacitores de 8nF / 2kV dispostos em 4 linhas paralelas composta de 5 componente ligados em série e paralela.



Fonte: <http://www.teslacoildesign.com/construction.html> (2009)

Nota: Acesso em 12 de outubro 2020

1.5 A BOBINA PRIMÁRIA

A bobina primária pode ser feita de fio rígido esmaltado, tubo de cobre ou barramento de cobre ou alumínio. Essa bobina tem poucas espiras (baixa indutância),

é fácil de ser construída e pode ser de várias formas possíveis. Foram testadas uma bobina cilíndrica, uma plana e depois uma em forma de cone invertido, todas apresentam vantagens e desvantagens.

Sugerimos a montagem de uma bobina em forma de cone invertido, feita com tubo de cobre utilizados em refrigeração para condicionadores de ar. A bobina primária deverá ficar apoiada numa pequena base de acrílico acima do centelhador. A base da bobina secundária ficará parafusada no centro da mesma, sobre a base de acrílico. A Fotografia 37 mostra a bobina primária em forma de cone invertido montada.

Fotografia 37 - Bobina primária em forma de cone invertido.

Observe ao centro da base de acrílico, a fixação de uma tampa de PVC rígido de 50 mm para o encaixe da bobina secundária.



Fonte: O Autor (2020)

1.6 A BOBINA SECUNDÁRIA

A bobina secundária terá formato cilíndrico com diâmetro de 50 mm e composta de 1500 espiras de fio esmaltado 32 AWG (Fotografia 38). Como sustentação do cilindro, a bobina deverá ser enrolada sobre um tubo de PVC com espiras bem arrumadas lado a lado, sem deixar sobrepor umas nas outras. A montagem desta bobina exige paciência e cuidado devido à fragilidade mecânica do fio e de seu esmalte.

Fotografia 38 - Fio esmaltado 32 AWG.

Foi usado para a confecção da bobina secundária com 1500 espiras dispostas lado a lado.



Fonte: O Autor (2019).

O tubo de PVC usado como suporte da bobina deve ser de 50 mm de diâmetro e terá 320 mm de altura. Para ajudar a manter o fio mais estável na hora do bobinamento use fita isolante para fixar e dar uma pausa no processo de bobinamento. Mantenha o fio esticado. OBS: as espiras não podem se sobrepor e não deve haver espaço entre elas. (Fotografia 39).

Fotografia 39 - Bobina secundária.

O fio usado é muito fino e delicado, além disso, o número de espiras é grande. Isso torna o processo cansativo. Tenha paciência e para pausar o processo use uma fita isolante para manter o fio esticado durante sua pausa.

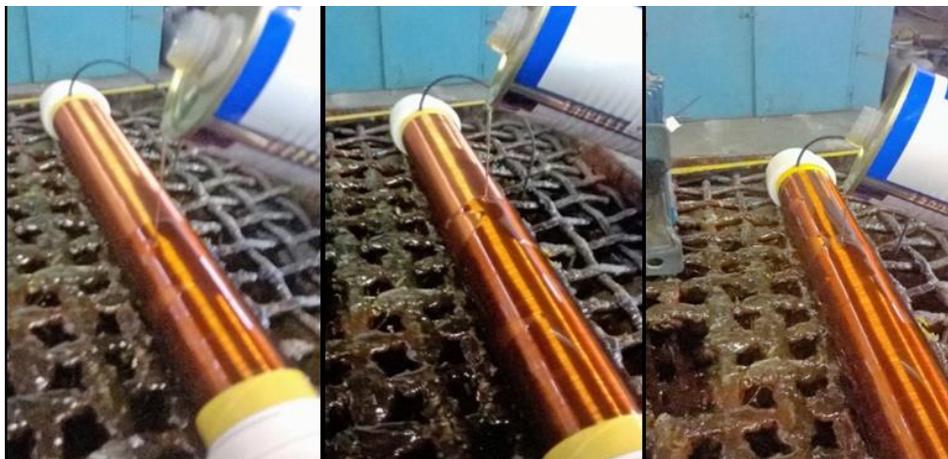


Fonte: O Autor (2019)

Um banho de verniz isolante (Fotografia 40) será necessário para aumentar a rigidez mecânica e dielétrica do enrolamento.

Fotografia 40 - Banho de verniz isolante.

O verniz isolante servirá para manter a configuração das espiras, também como proteção e isolamento elétrico geral e aumento da rigidez dielétrica.



Fonte: O Autor (2019).

Use verniz tipo VERNIZ LACKTHERM 1303 B da WEG, a base de poliéster e secagem a ar (Fotografia 41). Após 24 horas de secagem, a bobina secundária estará pronta para uso. Esse verniz tem características específicas, é indicado para impregnação de enrolamentos de motores, geradores, bobinas de transformadores, placas de circuito impresso e indutores em geral.

Fotografia 41 - Verniz LACKTHERM WEG.

Verniz usado para manter a configuração do enrolamento das espiras e proteção elétrica e mecânica da bobina secundária.



Fonte: O Autor (2019).

A Tabela 6 descreve as principais características do verniz utilizado.

Tabela 6 - Características do verniz isolante

PROPRIEDADES	Unidade	Especificado	Método
Aspecto	-	Âmbar	Visual
Diluyente recomendado	-	ISO S 135	-
Densidade à 25°C	g/cm ³	0,850 - 0,890	ASTM D 1475
Viscosidade F3 à 25°C	S	25 - 35	ASTM D 1200
Teor de Sólidos	%	33 - 37	ABNT NBR 7340
Rigidez Dielétrica	kV/mm	60 mínimo	ABNT NBR 6529

Fonte: <https://www.mgpeletrica.com.br/vernizes/1041-verniz-isolante-iso-1723-13011.html> (2013)

Nota: Acesso em 02 de julho de 2020.

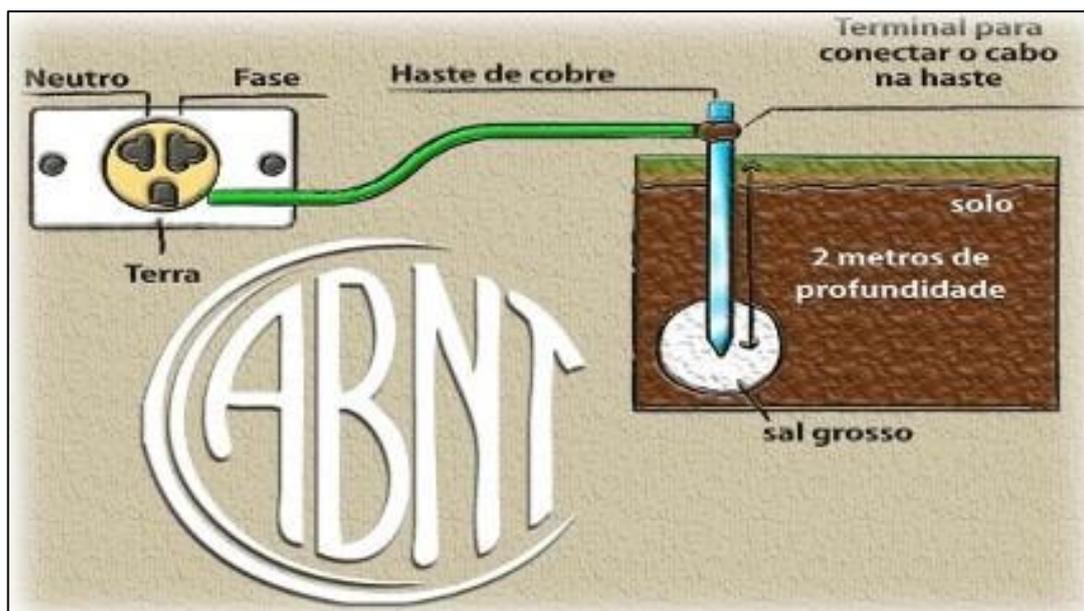
1.7 O ATERRAMENTO

O aterramento é fundamental em todos os projetos que envolvem eletricidade e na bobina de Tesla não poderia ser diferente. Esse aterramento tem como principal função a proteção, seja do usuário ou do equipamento. Na bobina de Tesla o aterramento se comporta como uma das armaduras do capacitor secundário e é peça fundamental para um bom funcionamento do equipamento. O aterramento mais eficiente é uma haste de cobre enterrada no solo com tratamento químico. A Figura 30 mostra o processo.

OBS: Não é aterramento ligar o fio terra a um simples prego na parede, um objeto de metal pequeno enterrado ou em um objeto de metal de grande porte como uma esquadria de porta ou janela. Nos locais de solo úmido e bom condutor, basta uma barra de metal para se ter um bom aterramento, mas existem locais de solo arenoso ou seco em que é preciso colocar várias barras e ligá-las em conjunto para se obter um bom aterramento (BRAGA, 2020).

Figura 30 - Aterramento com haste de cobre.

Para sua segurança e do equipamento, providencie um bom aterramento elétrico.



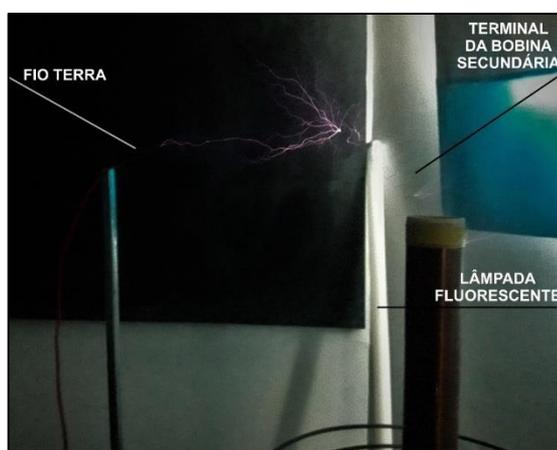
Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/como-fazer-aterramento/> (2020)

Nota: Acesso em 01 de outubro de 2020

1.8 OS PRIMEIROS TESTES

Depois de todos os componentes prontos, a bobina apresentará descargas corona com cerca de 10 cm a 20 cm. Sempre que se altera algum parâmetro, a bobina apresenta um comportamento diferente, as vezes para melhor e as vezes para pior. É preciso testar inúmeras vezes, até se conseguir um resultado satisfatório. A Fotografia 42 mostra um desses resultados.

Fotografia 42 – Descargas depois de alguns ajustes.



Fonte: O Autor (2019).

1.9 ALGUMAS MUDANÇAS

Esta seção descreve algumas alterações opcionais que poderão aumentar a eficiência do projeto.

Acrescentado uma casca esférica metálica (Fotografia 43), um toroide metálico (Fotografia 44) ou uma estrutura toroidal como na Fotografia 45 (construída com o mesmo tubo de cobre usado na bobina primária, é possível aumentar a eficiência da bobina na produção de raios.

Fotografia 43 – Uma casca esférica em aço inox.

Utilizada como estrutura de topo aumenta a eficiência na produção de raios da bobina de Tesla.



Fonte: O Autor (2020).

Fotografia 44 – Um toroide em alumínio.

Utilizado como estrutura de topo aumenta a eficiência na produção de raios da bobina de Tesla.



Fonte: O Autor (2020).

Fotografia 45 – Um toroide feito de tubo de cobre.

Utilizado como estrutura de topo aumenta a eficiência na produção de raios da bobina de Tesla.

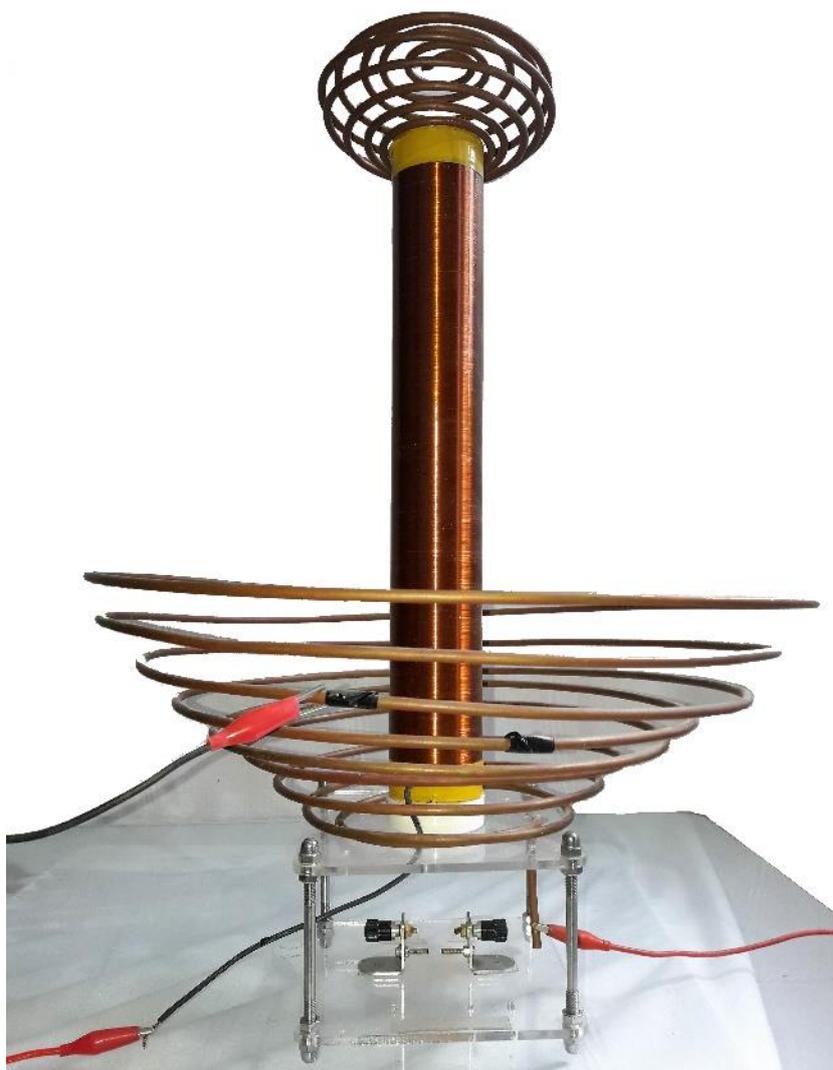


Fonte: O Autor (2020)

A adição destas estruturas no topo provocou significativas mudanças para melhor no comportamento da bobina. Acrescentando uma estrutura metálica no topo, aumenta-se a capacitância do circuito secundário e, com a indutância do secundário e a capacitância do primário fixas, deve-se aumentar a indutância do primário para manter a igualdade de frequência dos circuitos. Foram usadas “garras jacaré” para facilitar o ajuste e sintonia para a nova configuração (Fotografia 46).

Fotografia 46 – Ajuste da indutância da bobina primária.

A conexão em espiras diferentes provoca alteração da indução no processo de sintonia entre os circuitos primário e secundário.



Fonte: O Autor (2020)

Sempre que for feita uma mudança no circuito primário, serão necessários novos ajustes no circuito secundário e vice-versa, buscando uma melhor eficiência, veja a Fotografia 47 no modo negativo. A Fotografia 48 mostra duas versões do mesmo projeto.

Fotografia 47 – Um teste de descarga.

A imagem está em modo negativo para evidenciar os raios saindo do toroide para a haste de aterramento.



Fonte: O Autor (2020).

Fotografia 48 – Duas configurações baseadas no mesmo projeto.

Duas bobinas feitas com fio de mesmo diâmetro, mas com número de espiras diferentes. Com adição de estruturas de topo diferentes. Cada alteração exige uma modificação de sintonia nos circuitos ressonantes.

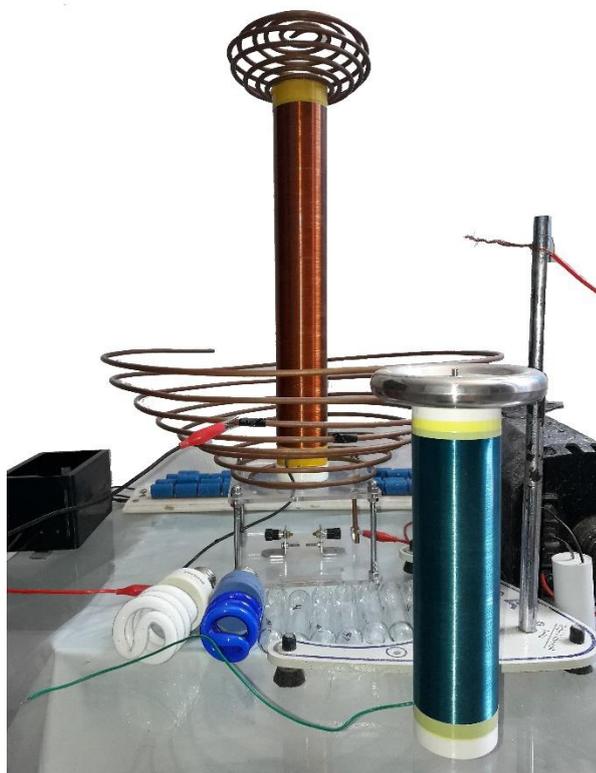


Fonte: O Autor (2021).

Após a bobina montada e com os circuitos sintonizados será possível adicionar alguns componentes periféricos para formar kit excepcional de experiências de eletromagnetismo parecido com o apresentado na Fotografia 49.

Fotografia 49 – Kit de Experimentos.

Na imagem pode ser observado além da Bobina de Tesla, uma série de componentes e dispositivos periféricos que farão parte do seu kit de experimentos. São eles: Bobina secundária com número diferente de espiras, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas incandescentes, LEDs, tubos de gases rarefeitos, galvanômetros, bússola, rádio AM/FM entre outros.



Fonte: O Autor (2021).

2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática a seguir foi usada para avaliar a eficiência de aplicação da Bobina de Tesla em sala de aula e faz parte do produto educacional apresentado. Contudo, é livre para utilização e divulgação, servindo apenas como referência o para que você professor possa adaptar às suas necessidades. Durante a primeira aula sobre o assunto eletromagnetismo deixe o equipamento coberto e só o descubra no final da aula. Deixe a curiosidade permear os estudantes enquanto aplica o questionário sugerido. Depois das aulas de experimentos com o equipamento e posteriormente às discussões, repita a aplicação do questionário pós-teste. Apresentaremos planos para apenas 3 semanas com 2 aulas geminadas de 50 minutos cada. Contudo, é possível utilizar a bobina por muito mais tempo, dependendo da habilidade do apresentador, inclusive nas feiras de ciência.

Ao final deste texto é apresentado uma série de componentes e dispositivos adicionais para incrementar o kit de experimentos em eletromagnetismo.

Quadro 11 - Plano de aula: Aulas 1 ,2 e 3

ASSUNTO: O eletromagnetismo	DURAÇÃO: 3 aulas de 50 min
OBJETIVOS	
GERAL	
<ul style="list-style-type: none"> • Abordar temas relacionados ao pré-teste. 	
ESPECÍFICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Discutir as ondas eletromagnéticas, lei de Faraday, circuitos oscilantes, descargas elétricas. • Abordar temas paralelos como ionização de gases, oscilações mecânicas e ressonância. 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados:	
<ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aula de exposição de conteúdo. 	
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento individual, participação nas discussões, comprometimento durante a aula. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Datashow • Quadro branco 	
REFERÊNCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997. • MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003. • HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1º edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010. 	

Fonte: O Autor (2020)

Figura 31 – Avaliação do conhecimento prévio

MNPEF Mestrado Nacional
 Profissional em
 Ensino de Física
 Polo 46, CAA – UFPE



Para responder a atividade proposta, siga os seguintes critérios:

- **Responda sem pesquisa e consulta ao colega .**
- **Destaque as questões que desconhece totalmente.**

INSTRUÇÕES Você está recebendo um instrumento de aprendizagem que verificará seu conhecimento prévio. Trata-se apenas de um ponto de partida para a discussão posterior. Você dispõe de 30 minutos para responder e pode fazê-lo utilizando caneta de qualquer cor. Quando concluir, sinalize.

- **Depois discuta com o colega as questões que destacou e responda.**

Imagem do Brasão da escola	NOME DA ESCOLA PRÉ-TESTE Assunto: A bobina de Tesla	
<i>FÍSICA</i>	<i>Nome do professor:</i>	<i>DATA</i>
<i>ALUNO</i>	<i>Nº:</i>	<i>TURMA</i>

1. Você sabe quem foi Nikola Tesla?
2. O que sabe sobre a bobina de Tesla?
3. Qual a lei da Física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica?
4. O que é um circuito RLC?
5. As oscilações elétricas têm alguma semelhança com as oscilações mecânicas? Explique.
6. Como são produzidas as ondas eletromagnéticas?

7. Que tipo de onda eletromagnética é emitida pela bobina?
8. O que é gás ionizado?
9. O que são descargas corona?
10. Existe alguma relação entre os raios produzidos na bobina e os raios da natureza?

Fonte: O Autor (2020)

Quadro 12 - Plano de aula: Aulas 4, 5 e 6

ASSUNTO: O eletromagnetismo	DURAÇÃO: 3 aulas de 50 min
OBJETIVOS	
GERAL	
<ul style="list-style-type: none"> • Estimular interesse dos estudantes pela Ciência. 	
ESPECÍFICOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Despertar o interesse dos estudantes pelos temas discutidos na aula anterior. • Abordar temas relacionados ao experimento. • Estimular a pesquisa científica. 	
CONTEÚDO DA AULA	
Assuntos abordados:	
<ul style="list-style-type: none"> • O campo elétrico • O potencial elétrico • O campo magnético • A lei de Faraday • O circuito RLC • Oscilações mecânicas e elétricas • As ondas eletromagnéticas • Ionização de um gás 	
METODOLOGIA DE ENSINO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aula experimental. 	
AValiação DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento individual, participação nas discussões, comprometimento durante a aula. 	
RECURSOS NECESSÁRIOS	
<ul style="list-style-type: none"> • A bobina de Tesla, lâmpada de gás, bobina circura de fio esmaltado, lâmpada de LED. 	
REFERÊNCIAS	

- RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. Os Fundamentos da Física. 6ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Moderna, 1997.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Física (Ensino Médio). 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Scipione, 2003.
- HELOU, D.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. Tópicos de Física. 1ª edição, Vol. 3. São Paulo, Editora Saraiva, 2010.

Fonte: O Autor (2020)

3 SUGESTÕES PARA UTILIZAÇÃO DA BOBINA DE TESLA

1. Experimento: Ondas de rádio

A bobina de Tesla atua como um transmissor de rádio mesmo se nenhuma descarga estiver sendo produzida. Para demonstrar isso, use um rádio sintonizado em uma frequência livre no modo amplitude modulada - AM ou ondas curtas. Se por acaso tiver produção de faíscas no topo, o sinal enviado aumenta de amplitude e, conseqüentemente, o ruído captado no rádio será mais evidente. Com um rádio portátil, os alunos podem se deslocar pela sala enquanto detectam a variação da amplitude do sinal. Devem chegar à conclusão de que a amplitude do sinal é inversamente proporcional à distância da Bobina de Tesla. Fazendo esta demonstração ao ar livre pode-se fazer uma escala qualitativa de ruído em função da distância linear.

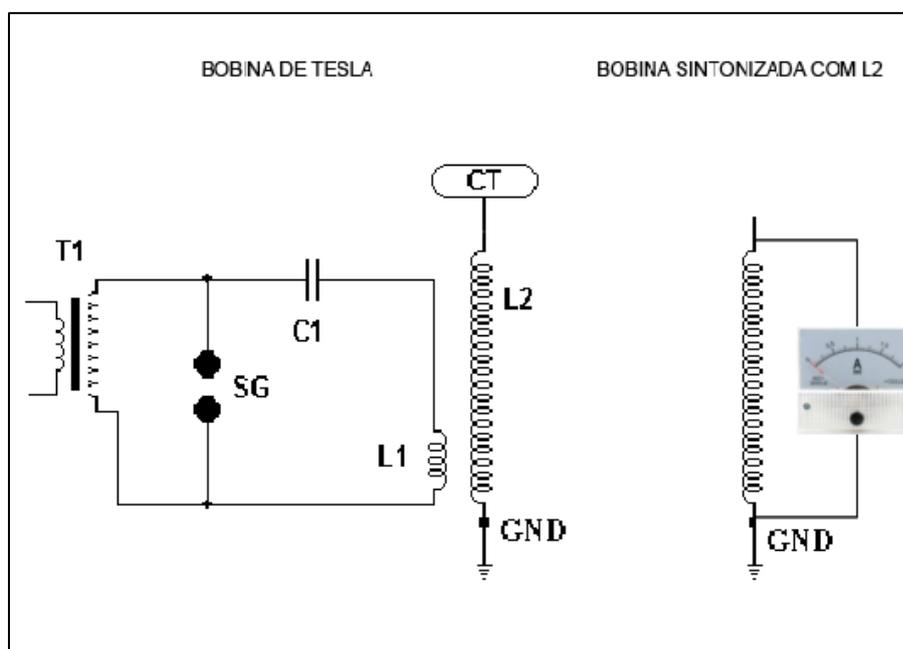
2. Experimento: Princípio de Sintonia de um rádio

Usando uma bobina secundária idêntica à da Bobina Tesla, o princípio de transmissão e recepção de ondas de eletromagnéticas pode ser demonstrado. A bobina receptora irá captar o sinal das ondas emitidas entrando em “ressonância” por ter as mesmas características física da bobina secundária pertencente à bobina de Tesla (Figura 32). Para a verificação do funcionamento será preciso conectar um LED às extremidades da bobina como sensor qualitativo ou ainda um galvanômetro funcionando como sensor quantitativo. Um amperímetro analógico na escala de $1 \mu\text{A}$ ou um voltímetro analógico na escala de $1 \mu\text{V}$ será suficiente para que seja verificado o deslocamento do ponteiro. Da mesma forma, deslocando este aparato em uma área

aberta será possível fazer uma escala de funcionamento desta transmissão. Veja que este era o ponto chave de Nikola Tesla: A transmissão de energia sem fios. Aproveite aqui para discutir com os estudantes o princípio dos carregadores de celular sem fios.

Figura 32– Esquema para sintonia por “antena receptora”.

Um voltímetro analógico na escala de $1 \mu\text{V}$ ou um amperímetro analógico na escala de $1 \mu\text{A}$ pode ser utilizado como galvanômetro.



Fonte: http://www.uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_view/138-a-versatilidade-da-bobina-de-tesla-na-pratica-docente-do-ensino-de-isica?tmpl=component&format=raw (2012).

Nota: Acesso em 24 de fevereiro de 2021.

3. Experimento: Ionização de gases

A bobina também pode ser usada para acender uma lâmpada de tubo tipo fluorescente desligada. Apenas segurá-lo perto do tubo produz uma luz perceptível em uma sala com pouca iluminada. Se houver descarga sobre a lâmpada, o brilho da lâmpada aumenta consideravelmente. Por segurança, é preferível usar calçado com sola de borracha e evitar ficar próximo a mesas, quadros negros, paredes, entre

outros. Aproveite para discutir sobre os tipos de lâmpadas e sobre os processos de geração de plasma.

4. Experimento: Blindagem eletrostática (gaiola de Faraday)

Pode-se usar um recipiente metálico, uma lata de leite por exemplo. Coloca-se uma lâmpada fluorescente compacta dentro da lata e deixa outra fora, ambas próximas a bobina. Ligando a bobina a lâmpada na lata não acende.

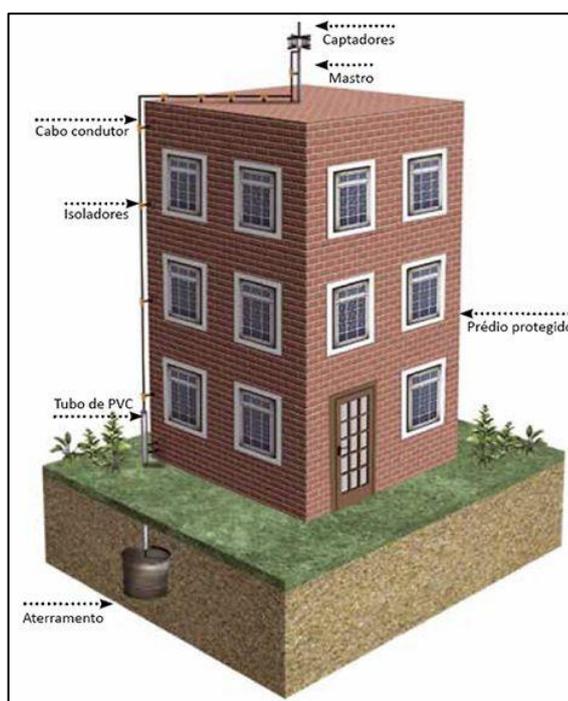
5. Experimento: Espectroscopia

Descargas de cores diferentes podem ser produzidas usando os tubos de hélio, hidrogênio, neônio, gases nobres em geral a baixa pressão e outros tubos de descarga usados em espectroscopia.

6. Experimento: Para-raios (o poder das pontas)

Pode-se construir uma maquete de uma casa ou prédio e colocar uma agulha ou um objeto pontiagudo, aterrado sobre o teto, simulando o para-raios. No topo da bobina pode-se também utilizar um objeto pontiagudo para direcionar as descargas sobre a maquete (Figura 33).

Figura 33 – Sugestão para maquete para demonstração do para-raios



Fonte: <https://py3cvsc Claudio.files.wordpress.com/2014/09/aterramentos.jpg> (2014)

Nota: Acesso em 24 de fevereiro de 2021.

7. Experimento: Globo de plasma

Prenda uma lâmpada incandescente numa haste isolante, pode ser um tubo de PVC ou uma haste de madeira seca, ambos aterrados, e aproxime da bobina, deixando as descargas atingirem o terminal metálico da lâmpada. A ionização do gás no interior da lâmpada irá se ionizar, produzindo plasma. Aproveite para discutir as diferenças entre uma lâmpada incandescente e uma lâmpada de plasma. As diferenças entre suas eficiências energéticas na transformação de energia elétrica em energia luminosa. Qual o papel das lâmpadas LED e como a luz é produzida neste dispositivo eletrônico?

REFERÊNCIAS

BRAGA, N. C. A importância do aterramento (EL048). **Instituto Newton C. Braga**, 2020. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/instalacoes-residenciais/6645-a-importancia-do-aterramento>>. Acesso em: 18 dez. 2020.

G20. Chuveiro: Sua instalação elétrica está adequada ao uso? **G20**, 2016. Disponível em: <<https://www.g20brasil.com.br/chuveiro-sua-instalacao-eletrica-esta-adequada-ao-uso/>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

MGP ELÉTRICA. VERNIZ ISOLANTE ISO 1723 130 1L. **MGP Elétrica**, 2013. Disponível em: <<https://www.mgpeletrica.com.br/vernizes/1041-verniz-isolante-iso-1723-1301l.html>>. Acesso em: 2 Julho 2020.

NEAR COMMUNICATIONS. Nikola Tesla. **Near Communications**, 2011. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/nearcommunications/nikola-tesla-2>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

ONETESLA. User manual - oneTesla. **oneTesla**, 2012. Disponível em: <https://onetesla.com/oneTesla_User_Manual.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

PY3CVSCLAUDIO'S BLOG. POSTS COM TAG "PARA RAIOS". **PY3CVSCLAUDIO'S BLOG**, 2014. Disponível em: <<https://py3cvsclaudio.wordpress.com/tag/para-raios/>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

SILVA, D. S. D. S. E. **A VERSATILIDADE DA BOBINA DE TESLA NA PRÁTICA DOCENTE DO ENSINO DO ELETROMAGNETISMO**. UFCE. Fortaleza, p. 50-55. 2012.

TESLA COIL DESIGN. Tesla Coil Schematic. **Tesla Coil Design**, 2009. Disponível em: <<http://www.teslacoildesign.com/construction.html>>. Acesso em: 30 set. 2020.