

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA
ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

JOSÉ EURÍPEDES PAULINO DA SILVA JÚNIOR
PABLO ANASTÁCIO SOARES

BOBINA DE TESLA

VOTUPORANGA-SP

2024

JOSÉ EURÍPEDES PAULINO DA SILVA JÚNIOR
PABLO ANASTÁCIO SOARES

BOBINA DE TESLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unifev – Centro
Universitário de Votuporanga – para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do professor
Renato Ferrari da Costa.

VOTUPORANGA-SP

2024

Silva Júnior, José Eurípedes Paulino da;.

Bobina de Tesla. / José Eurípedes Paulino da; Silva Júnior; Pablo Anastácio Soares. - Votuporanga. Ed. do Autor, 2024.

55 p., 30cm.: il., tab.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Bacharelado) - UNIFEV - Centro Universitário de Votuporanga, Curso de Engenharia Elétrica, 2024.

Orientador: Prof. Esp. Renato Ferrari da Costa.

1. Nikola Tesla. 2. Bobina. 3. Indução. 4. Eletromagnetismo. I. Soares, Pablo Anastácio. II. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unifev.

Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Bibliotecária Responsável: Marcia Faria Cavalcante - CRB-8/ 10706

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOTUPORANGA
ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

JOSÉ EURÍPEDES PAULINO DA SILVA JÚNIOR
PABLO ANASTÁCIO SOARES

BOBINA DE TESLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unifev – Centro
Universitário de Votuporanga – para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do professor
Esp. Renato Ferrari da Costa.

Aprovado(a): 04/12/2024

Primeiro examinador

Nome: Nelson Bueno Assumpção

Instituição: Centro Universitário de Votuporanga

Segundo examinador

Nome: Jahyr Gonçalves Neto

Instituição: Centro Universitário de Votuporanga

Prof. Orientador

Nome: Renato Ferrari da Costa

VOTUPORANGA-SP

2024

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Aos quatro dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e quatro, às vinte e uma horas e cinquenta minutos, realizou-se no local: LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA II, do Centro Universitário de Votuporanga - Unifev, nas formas e termos regulamentais desta Instituição, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado BOBINA DE TESLA de autoria de JOSÉ EURÍPEDES PAULINO DA SILVA JÚNIOR E PABLO ANASTÁCIO SOARES. A sessão de defesa do trabalho deu-se sob o julgo da Banca Examinadora composta pelos docentes: Prof. Dr. JAHYR GONCALVES NETO, Prof. Especialista NELSON BUENO ASSUMPCAO E Prof. Especialista RENATO FERRARI DA COSTA, e presidida por Prof. Especialista RENATO FERRARI DA COSTA. Iniciado os trabalhos, a presidência deu conhecimento aos membros da banca e aos candidatos sobre as normas que regem a defesa do TCC e definiu-se a ordem a ser seguida pelos examinadores para a arguição. A seguir, os candidatos passaram à defesa do trabalho. Encerrada a defesa, procedeu-se ao julgamento reservado, tendo sido o trabalho **APROVADO**. O parecer da banca examinadora, anunciado publicamente, ficou registrado conforme segue: Os Alunos fizeram a apresentação com Sucesso Nada mais tendo a tratar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos membros da banca e autores do trabalho.

Votuporanga, 04 de dezembro de 2024.

Assinaturas (5 pessoas)

Usuário	Função	Instituição	Lido em	Assinado em	IP
PABLO ANASTÁCIO SOARES	Aluno	UNIFEV	04/12/2024 22:03:47	04/12/2024 22:03:59	167.249.56.197
JOSÉ EURÍPEDES PAULINO DA SILVA JÚNIOR	Aluno	UNIFEV	04/12/2024 22:03:37	04/12/2024 22:04:01	177.50.12.56
Jahyr Goncalves Neto	Banca	UNIFEV	04/12/2024 22:03:08	04/12/2024 22:03:12	172.225.100.147
Nelson Bueno Assumpcao	Banca	UNIFEV	04/12/2024 22:03:11	04/12/2024 22:03:18	179.247.236.139
Renato Ferrari da Costa	Presidente	UNIFEV	04/12/2024 22:03:07	04/12/2024 22:03:19	179.247.228.233

*Banca realizada presencialmente e assinaturas coletadas via aceite eletrônico.



Dedicamos este trabalho as nossas famílias e amigos,
os pilares da nossa formação como ser humano. Que
essa conquista seja a primeira de muitas.

*O indivíduo é efêmero, raças e nações vêm e passam,
mas o homem permanece. Aí reside a profunda
diferença entre o indivíduo e o todo...*

(Nikola Tesla)

RESUMO

Nikola Tesla (1856-1943), um visionário do final do século XIX, fez contribuições revolucionárias no campo da eletricidade e do magnetismo, destacando-se por seu trabalho com a corrente alternada (CA) e pela invenção da Bobina de Tesla. Essa invenção é um dispositivo ressonante de alta frequência, que exemplifica os princípios de indução eletromagnética e ressonância elétrica, sendo capaz de gerar tensões extremamente altas. O presente trabalho busca explorar o legado científico de Tesla, com foco na Bobina de Tesla, sua construção, implicações tecnológicas e educacionais, abordando o uso da bobina como uma ferramenta didática para ensinar conceitos de física e eletromagnetismo a alunos do ensino médio.

Palavras-chave: Nikola Tesla; bobina; indução; eletromagnetismo.

ABSTRACT

Nikola Tesla (1856-1943), a visionary of the late 19th century, made revolutionary contributions to the fields of electricity and magnetism, particularly with his work on alternating current (AC) and the invention of the Tesla Coil. This invention is a high-frequency resonant device that exemplifies the principles of electromagnetic induction and electrical resonance, capable of generating extremely high voltages. This paper seeks to explore Tesla's scientific legacy, focusing on the Tesla Coil, its construction, technological and educational implications, and addressing its use as a teaching tool for conveying concepts of physics and electromagnetism to high school students.

Keywords: Nikola Tesla; coil; induction; electromagnetism.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo Geral	10
1.2	Objetivo Específico	11
1.3	Justificativa	11
1.4	Metodologia	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Biografia de Nikola Tesla	13
2.2	Princípios da Bobina de Tesla	16
2.3	Impacto na Sociedade	18
2.4	Segurança	20
3	DESENVOLVIMENTO	23
3.1	Dimensionamento	23
3.1.1	Cálculos de uma Bobina de Tesla	23
3.1.2	Softwares para o dimensionamento de uma Bobina de Tesla	27
3.1.3	Comparação entre Cálculos e Softwares	33
3.2	Desenvolvimento de uma Bobina de Tesla	34
4	DEMONSTRAÇÃO	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	48
	ANEXO I - MATERIAIS E VALORES	50
	ANEXO II - MATERIAIS E APLICAÇÕES	52
	ANEXO III - PLANO DE AULA	54
	ANEXO IV - QUESTIONÁRIO	57

INTRODUÇÃO

Nikola Tesla, nascido em 1856 na atual Croácia, estudou engenharia elétrica e começou sua carreira trabalhando com Thomas Edison, nos Estados Unidos. No entanto, suas ideias visionárias sobre corrente alternada (CA) entraram em conflito com os interesses comerciais de Edison, levando Tesla a desenvolver seu próprio sistema elétrico. Sua criação mais famosa, a Bobina de Tesla, surgiu como resultado de sua busca por métodos inovadores de transmissão de energia sem fio.

A Bobina de Tesla, inventada no final do século XIX, é um dispositivo ressonante que opera com base na indução eletromagnética. Sua capacidade de gerar tensões extremamente altas, a tornam uma ferramenta poderosa para experimentos científicos. No entanto, além de sua complexidade técnica, a Bobina de Tesla oferece uma oportunidade única de ensinar conceitos abstratos de maneira tangível e envolvente.

Ao longo deste trabalho, foi explorado os princípios da física por trás da Bobina de Tesla, desde a lei de Faraday, sobre a indução eletromagnética, até os fundamentos da ressonância elétrica. Por meio de uma abordagem prática e didática, buscou-se não apenas elucidar os fenômenos observados, mas também instigar a curiosidade e o interesse pela ciência entre os espectadores e estudantes.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral usar uma abordagem criativa para promover o aprendizado de física entre alunos do ensino médio. Através da demonstração do funcionamento de uma Bobina de Tesla, busca-se inspirar uma nova jornada de aprendizado, mostrando como essa invenção pode ser utilizada para ensinar conceitos da Física, transformando as dificuldades que os estudantes enfrentam, de não conseguir visualizar esses conceitos na prática, em aprendizado significativo. Com isso, almeja-se não apenas transmitir conhecimento, mas também inspirar uma nova geração de estudantes a explorar o fascinante mundo da Física e da Engenharia Elétrica.

1.2 Objetivo Específico

O objetivo específico deste trabalho é avaliar a efetividade do uso da Bobina de Tesla na educação, como material didático, realizando uma demonstração aos alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Unifev, enfatizando a capacidade de converter baixa tensão em alta tensão da bobina, com frequência elevada e baixa corrente, ressaltando a importância de componentes como o toroide, o spark gap (centelhador) rotativo e o banco de capacitores. A Bobina de Tesla, com sua capacidade de gerar altas tensões e produzir efeitos visuais impressionantes, oferece uma oportunidade única para ilustrar os fenômenos de indução eletromagnética e ressonância elétrica.

1.3 Justificativa

A escolha de utilizar a Bobina de Tesla como recurso didático neste trabalho, se fundamenta na necessidade de abordar o fenômeno da indução eletromagnética e ressonância elétrica de maneira mais interessante. Além disso, a utilização da Bobina de Tesla permite explorar conceitos da Física através de uma abordagem prática e interativa, proporcionando uma experiência de aprendizado significativa e memorável para os alunos.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada visa proporcionar uma compreensão do impacto histórico e tecnológico da Bobina de Tesla, bem como suas aplicações educacionais, práticas e contribuições para o campo da eletricidade. Os principais elementos metodológicos deste trabalho são:

- **Fundamentação Teórica:** Pesquisa bibliográfica sobre Nikola Tesla, suas obras e contribuições para a Ciência e Engenharia Elétrica. Além das características da Bobina de Tesla e suas implicações tecnológicas.
- **Desenvolvimento:** Dimensionamento da Bobina de Tesla, por meio do método convencional e softwares, assim como o desenvolvimento da mesma.
- **Demonstração:** Foi demonstrado o funcionamento aos estudantes do 3º ano do ensino médio do Colégio Unifev, para a análise do uso da Bobina de Tesla na educação.
- **Resultados e Discussão:** Análise das observações e resultados coletados, por meio da demonstração, abordando suas implicações e contribuições no ensino, principalmente da Física. Além de uma comparação entre os resultados dos cálculos e softwares.
- **Conclusão:** Considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, discutindo as aplicações da Bobina de Tesla como material didático. Além de uma reflexão sobre os parâmetros de saída dos softwares e o legado de Nikola Tesla.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biografia de Nikola Tesla

Nikola Tesla, um dos maiores inventores e visionários da era moderna, nasceu em 10 de julho de 1856 em Smiljan, uma pequena vila no Império Austríaco, atual Croácia. Desde jovem, Tesla demonstrou uma habilidade extraordinária para a compreensão de fenômenos naturais e uma paixão inata pela ciência. Sua infância foi marcada por uma curiosidade incessante e uma imaginação fértil, características que o acompanhariam por toda a vida.

Após completar seus estudos iniciais em Graz, na Áustria, e em Praga, Tesla começou a trabalhar em várias empresas de engenharia elétrica na Europa. Em 1881, ele teve seu primeiro grande avanço ao desenvolver o princípio do campo magnético rotativo, uma descoberta que formou a base para os futuros motores de corrente alternada (CA). Esse conceito revolucionário permitiu a Tesla imaginar um futuro em que a eletricidade pudesse ser distribuída de forma mais eficiente e econômica do que os sistemas de corrente contínua (CC).

Em 1884, Tesla emigrou para os Estados Unidos. Chegando a Nova York, logo conseguiu um emprego na Edison Machine Works, onde suas habilidades excepcionais chamaram a atenção. No entanto, as diferentes visões sobre a distribuição de eletricidade entre Tesla e Edison, levaram a um confronto inevitável. Edison estava profundamente envolvido em sistemas de corrente contínua, enquanto Tesla acreditava firmemente no potencial da corrente alternada. Esse conflito culminou na saída de Tesla da empresa de Edison.

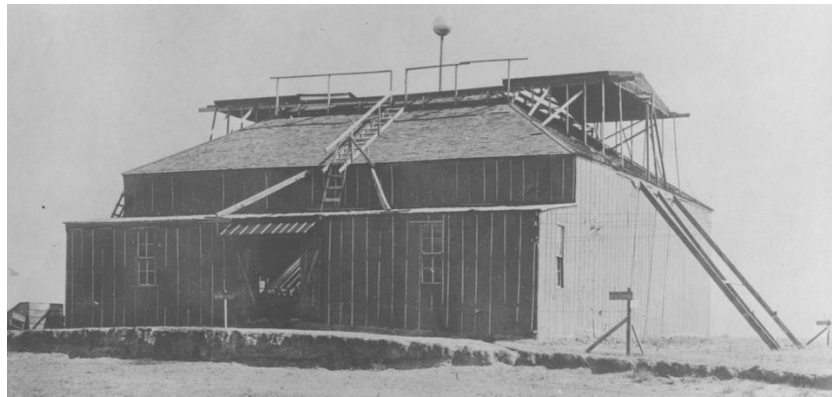
Determinado a seguir seu próprio caminho, Tesla recebeu apoio de investidores, como George Westinghouse, que compartilhavam sua visão sobre a corrente alternada. Com esse apoio, Tesla estabeleceu seu próprio laboratório em Nova York, onde pôde desenvolver e testar suas ideias revolucionárias. Em 1888, ele patenteou o sistema polifásico de corrente alternada, que incluía motores e transformadores capazes de transmitir eletricidade a longas distâncias com eficiência inédita.

No final do século XIX, a "Guerra das Correntes" entre Tesla e Edison atingiu seu ápice. Edison, com o apoio de interesses estabelecidos na indústria elétrica, travou uma campanha agressiva para desacreditar a corrente alternada, alegando que era perigosa e impraticável. Em contrapartida, Tesla e Westinghouse demonstraram de forma convincente a superioridade da corrente alternada em termos de eficiência e segurança. A Exposição Mundial de Chicago de

1893 foi um ponto de virada, onde a iluminação da feira com corrente alternada provou ao mundo a viabilidade e o futuro promissor do sistema defendido por Tesla.

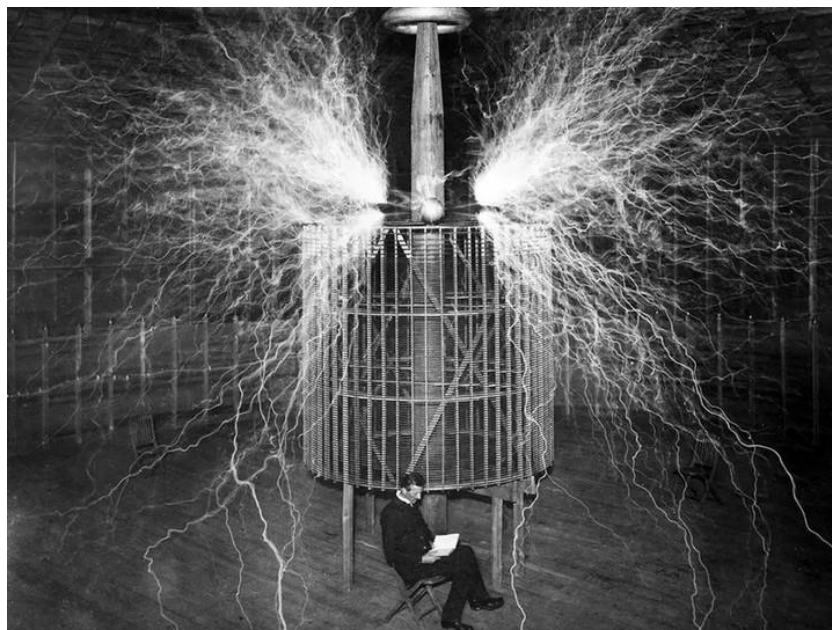
Em 1899, Tesla montou um laboratório experimental (Figura 1) em Colorado Springs, no Colorado. Lá ele desenvolveu uma grande bobina (Figura 2), para estudar fenômenos elétricos de alta voltagem e desenvolver um sistema de transmissão de energia sem fio, visando energizar todo o planeta e enviar sinais ou mensagens instantaneamente e sem interferências.

Figura 1 - Laboratório experimental em Colorado Springs



Fonte: Childress (2017, p. 168).

Figura 2 - Tesla e sua torre experimental em Colorado Springs



Fonte: Tesla (1899).

Outra área de interesse de Tesla em Colorado Springs foi a exploração de raios X. Muito antes de se tornarem uma ferramenta padrão na medicina, Tesla experimentou com tubos de raios X e radiação eletromagnética. Ele identificou muitos dos riscos associados à exposição aos raios X e propôs métodos para mitigar esses perigos. Sua pesquisa contribuiu significativamente para o entendimento inicial dos raios X e seus potenciais usos na medicina.

Em 1900, após suas pesquisas em Colorado Springs, Tesla retornou a Nova York para colocar em prática um dos seus projetos mais ambiciosos, a construção da Torre Wardenclyffe (Figura 3), um gigantesco transmissor de energia sem fio localizado em Long Island. Tesla acreditava que poderia transmitir eletricidade através da Terra e da atmosfera, fornecendo energia gratuita e ilimitada para qualquer lugar do mundo. Embora a torre em si nunca tenha sido completamente construída devido a problemas financeiros, Tesla realizou experimentos e demonstrações com sua bobina lá antes do projeto ser abandonado.

Figura 3 - Torre Wardenclyffe em Long Island, Nova York



Fonte: Childress (2017, p. 170).

Nos anos que se seguiram, Tesla continuou a expandir os limites da ciência e da tecnologia. Ele realizou pesquisas pioneiras em radiofrequência, desenvolvendo os primeiros transmissores e receptores de rádio. Embora a invenção do rádio seja frequentemente atribuída a Guglielmo Marconi, foi Tesla quem fez as descobertas fundamentais que possibilitaram a transmissão sem fio de sinais de rádio. Em 1943, a Suprema Corte dos Estados Unidos reconheceu oficialmente Tesla como o verdadeiro inventor do rádio.

Tesla enfrentou numerosos desafios financeiros ao longo de sua vida. Embora suas invenções tenham gerado fortunas para outros, ele frequentemente lutava para garantir o financiamento necessário para seus projetos. Em seus últimos anos, ele viveu em relativo anonimato e pobreza, hospedado em um hotel em Nova York. No entanto, sua mente inquieta nunca parou de criar. Mesmo nos últimos anos de sua vida, Tesla continuou a patentear novas ideias e sonhar com inovações que poderiam transformar o futuro.

Nikola Tesla faleceu em 7 de janeiro de 1943, deixando um legado de invenções e descobertas que mudaram o mundo. Sua contribuição para a ciência e a tecnologia é inestimável, e seu nome é sinônimo de inovação e genialidade. Embora algumas de suas ideias fossem consideradas fantasiosas em sua época, muitas delas se tornaram realidade ou continuam a ser exploradas por cientistas e engenheiros.

Tesla também previu muitas das tecnologias, que hoje são consideradas essenciais. Ele imaginou a comunicação sem fio global, descrevendo um sistema que se assemelha à internet. Ele também previu dispositivos portáteis que poderiam se comunicar entre si, uma visão que se concretizou na forma de smartphones e outros dispositivos móveis. Essas previsões demonstram a profundidade de sua compreensão e sua capacidade de antecipar o futuro da tecnologia.

2.2 Princípios da Bobina de Tesla

A Bobina de Tesla é um dispositivo elétrico ressonante de alta frequência que tem a capacidade de produzir altas tensões e criar impressionantes arcos elétricos. Esse dispositivo consiste em dois circuitos principais: o primário e o secundário. Nikola Tesla inventou sua bobina por volta de 1891, enquanto repetia e expandia os experimentos de Heinrich Hertz sobre ondas eletromagnéticas, buscando uma forma de transmitir energia elétrica sem a utilização de

fios. Sua invenção foi um marco significativo na história da eletricidade e teve um impacto duradouro na ciência e na tecnologia.

A teoria por trás da Bobina de Tesla começa com o conceito de corrente alternada (CA), que é uma corrente elétrica cujo fluxo de carga elétrica alterna de direção periodicamente. Tesla foi um dos pioneiros no emprego de sistemas em corrente alternada, que se mostraram mais eficientes para a transmissão de energia elétrica em longas distâncias em comparação com os sistemas de corrente contínua (CC). A corrente alternada é importante para o funcionamento da Bobina de Tesla, pois permite a criação de campos elétricos e magnéticos alternados necessários para a indução eletromagnética.

Tesla decidiu alimentar um transformador com o alternador de alta velocidade que ele vinha desenvolvendo como parte de um sistema de iluminação de arco aprimorado, mas descobriu que a corrente de alta frequência superaquecia o núcleo de ferro e derretia o isolamento entre os enrolamentos primário e secundário. Para corrigir esse problema, Tesla mudou o projeto para que houvesse um espaço de ar em vez de material isolante entre os enrolamentos primário e secundário e fez com que o núcleo de ferro pudesse ser removido. Tesla também descobriu que precisava colocar os capacitores, normalmente já usados em tais configurações, entre seu alternador e o enrolamento primário, para evitar queimar a bobina. Ao ajustar a bobina e o banco de capacitores, Tesla descobriu que poderia aproveitar a configuração de ressonância entre os dois para atingir frequências ainda mais altas.

O circuito primário é composto por uma fonte de alta tensão, um banco de capacitores e uma bobina primária. A fonte de alta tensão, geralmente um transformador, carrega os capacitores, que armazenam energia elétrica. Sendo estes descarregados através do spark gap, um dispositivo que permite a passagem de corrente elétrica em altas tensões. Essa descarga cria uma corrente oscilante no circuito primário, que gera um campo magnético variável ao redor do enrolamento primário. Esse campo magnético variável, por sua vez, induz uma corrente elétrica no enrolamento secundário através do princípio da indução eletromagnética.

Já o circuito secundário é composto por uma bobina secundária, que é geralmente enrolada com fio de cobre, e um toroide ou outro terminal de alta tensão. Quando a frequência natural do circuito primário coincide com a do circuito secundário, ocorre a ressonância, permitindo a transferência máxima de energia entre os circuitos. Logo que a corrente oscilante no circuito primário induz uma corrente na bobina secundária, a energia é transferida eficientemente de um circuito para o outro, e como a secundária possui mais espiras que a primária, ocorre uma amplificação da tensão ao terminal final da bobina secundária. Esse

aumento de tensão pode ser suficiente para ionizar o ar ao redor do terminal de alta tensão, criando descargas elétricas que são visíveis a olho nu.

No final de 1892, Tesla descobriu que, ao fazer uma grande bobina com uma única camada de fio no secundário, uma tensão extremamente alta poderia ser produzida com facilidade. Tesla nomeou isso de Bobina de um Quarto de Onda, porque o comprimento do fio na bobina secundária era aproximadamente igual a um quarto do comprimento de onda da oscilação que ela produzia.

Além de sua capacidade de gerar altas tensões e descargas elétricas, a Bobina de Tesla também é capaz de iluminar lâmpadas sem a necessidade de cabos elétricos. Isto é possível devido à alta frequência da corrente oscilante gerada pela bobina, que pode induzir uma corrente elétrica em lâmpadas próximas através do ar. Esse fenômeno demonstra a possibilidade da transmissão sem fio de energia, uma ideia que Tesla explorou extensivamente ao longo de sua vida. Ele imaginou um mundo onde a energia poderia ser transmitida sem fios para qualquer lugar do planeta, eliminando a necessidade de redes de cabos elétricos e possibilitando o acesso à energia em regiões remotas.

A Bobina de Tesla opera com base no princípio da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday. De acordo com a Lei de Faraday, a variação do fluxo magnético através de um circuito induz uma força eletromotriz em um circuito próximo. No caso da Bobina de Tesla, isso é realizado através de um transformador ressonante, onde a energia é transferida do enrolamento primário para o enrolamento secundário sem a necessidade de conexões físicas diretas.

2.3 Impacto na Sociedade

A Bobina de Tesla tem encontrado diversas aplicações práticas ao longo dos anos. Uma de suas utilizações mais comuns é em demonstrações científicas e educativas. As espetaculares descargas elétricas e a capacidade de iluminar lâmpadas sem cabos elétricos fazem desse equipamento uma ferramenta didática poderosa para ensinar princípios de eletricidade e magnetismo.

Em aulas e apresentações, a Bobina de Tesla é usada para demonstrar a indução eletromagnética e a ressonância elétrica, mostrar o comportamento de correntes de alta

frequência, e ilustrar os conceitos de capacitância, indutância e circuitos ressonantes. Esse tipo de ensino prático é fundamental para inspirar a próxima geração de cientistas e engenheiros, mostrando que a física não é apenas uma série de equações abstratas, mas uma ciência viva e dinâmica com aplicações reais e emocionantes.

Já os laboratórios de pesquisa de física utilizam as Bobinas de Tesla para investigar fenômenos de alta frequência e alta tensão. Esses estudos são cruciais para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a compreensão de comportamentos elétricos em condições extremas. Por exemplo, pesquisadores podem usá-la para estudar descargas corona e arcos elétricos, investigar a ionização de gases, e explorar os efeitos de campos elétricos intensos em diferentes materiais.

A Bobina de Tesla também tem sido usada para testar a resistência de equipamentos elétricos a altas tensões, o que é particularmente importante na fabricação de dispositivos que precisam operar de forma segura e confiável sob condições de alta tensão. Esses estudos são cruciais para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a compreensão de princípios fundamentais da física.

No campo da arte e do entretenimento, a Bobina de Tesla tem sido usada para criar efeitos especiais impressionantes em shows ao vivo e produções cinematográficas. As descargas elétricas geradas pela bobina podem ser usadas para criar atmosferas eletrizantes e visuais espetaculares que cativam o público, criando experiências visuais e auditivas únicas. Além disso, artistas e designers têm encontrado inspiração na Bobina de Tesla, utilizando-a para criar obras de arte interativas e instalações que exploram a estética e os sons das descargas elétricas. Essas obras frequentemente combinam ciência e arte, proporcionando ao público uma experiência visual e auditiva única.

As Bobinas de Tesla também estão presentes em aplicações médicas e terapêuticas. Tesla acreditava que a alta frequência e alta tensão poderiam ter benefícios terapêuticos, e algumas dessas ideias foram exploradas no início do século XX. Um exemplo de aplicação médica da tecnologia de Tesla são os dispositivos de diatermia, que usam correntes de alta frequência para aquecer tecidos corporais para tratar lesões musculares e articulares.

No campo da eletrônica, os princípios de alta frequência e alta tensão explorados por Tesla são fundamentais para o funcionamento de muitos dispositivos modernos, como rádios, televisores, e sistemas de comunicação sem fio. A tecnologia de ressonância utilizada na Bobina de Tesla é aplicada em dispositivos como transformadores ressonantes e sistemas de carga sem fio, que estão se tornando cada vez mais comuns em eletrônicos de consumo, como smartphones e veículos elétricos.

A influência de Tesla também se estende ao campo das telecomunicações. Suas ideias sobre a transmissão de energia e informação sem fio foram pioneiras no desenvolvimento de tecnologias de rádio e, posteriormente, de comunicação sem fio. Tesla demonstrou a possibilidade de transmissão de sinais de rádio em longas distâncias, um princípio que foi posteriormente utilizado por Guglielmo Marconi e outros inventores para desenvolver sistemas de rádio comercial. A transmissão sem fio é hoje uma parte integral de nossa vida cotidiana, possibilitando o funcionamento de celulares, Wi-Fi, GPS e muitas outras tecnologias que dependem de comunicação sem fio.

A capacidade da bobina de gerar altas tensões e frequências, transmitir energia sem fio e produzir descargas elétricas espetaculares, faz dela uma ferramenta valiosa para educação, pesquisa e entretenimento. As inovações de Nikola Tesla tiveram uma grande influência em diversos campos da ciência e tecnologia. Seu trabalho permitiu a construção de redes elétricas eficientes e de grande alcance, possibilitando o fornecimento de energia para cidades inteiras e transformando a vida de milhões de pessoas.

2.4 Segurança

Operar uma Bobina de Tesla requer atenção à segurança, devido às altas tensões e frequências envolvidas. Silva (2012, p. 33) cita alguns cuidados para se ter com a Bobina de Tesla:

- Nunca ajuste uma Bobina de Tesla enquanto ligada.
- Os capacitores de alta tensão podem reter uma carga por muito tempo, mesmo após a alimentação ser desligada. Por isso, é necessário descarregar os capacitores antes de ajustar o circuito primário.
- Verifique se as caixas de metal dos transformadores, motores, painéis de controle e outros itens associados à Bobina de Tesla estão adequadamente aterrados.
- Certifique-se que todos estejam longe o suficiente da descarga corona, para não serem atingidos por ela. Além disso, é fundamental não entrar em contato com objetos metálicos que possam estar sujeitos a uma descarga do secundário.
- Verifique se os circuitos estão bem isolados, para que os usuários não entrem em contato com a tensão de linha em corrente alternada (CA).

- Uma chave de segurança deve ser usada no circuito de baixa tensão para evitar o uso não autorizado.
- Não confie no disjuntor doméstico para garantir uma proteção adequada. Use um equipamento de proteção adequado na alimentação, para limitar a corrente máxima do circuito.
- Nunca opere uma Bobina de Tesla em chão molhado ou onde exista um risco de choque significativo.
- Não opere uma Bobina de Tesla quando animais ou crianças estiverem por perto.
- Organize e isole adequadamente os circuitos da Bobina de Tesla.

O circuito primário é capaz de fornecer uma corrente suficiente em uma tensão significativa para parar o coração de uma pessoa (Figura 4). Como seus componentes não são a fonte dos efeitos visuais ou auditivos característicos da bobina, eles podem ser facilmente ignorados como fonte de perigo. Portanto, deve-se manter uma distância segura durante a operação para evitar choques elétricos. Além disso, para minimizar esses riscos, aconselha-se o uso de equipamentos de proteção adequados.

Figura 4 - Lista dos efeitos fisiológicos causados por diferentes valores de corrente

EFEITOS DA CORRENTE NO ORGANISMO HUMANO	
100 μA a 1 mA	- limiar da sensação
1 mA a 5 mA	- formigamento
5 mA a 10 mA	- sensação desagradável
10 mA a 20 mA	- pânico, sensação muito desagradável
20 mA a 30 mA	- paralisia muscular
30 mA a 50 mA	- a respiração é afetada
50 mA a 100 mA	- dificuldade extrema em respirar, ocorre a fibrilação ventricular
100 mA a 200 mA	- morte
200 mA	- queimaduras severas

Fonte: Braga (1999, p. 13).

Se uma pessoa se colocar no caminho da descarga do toroide para o solo, o choque elétrico de baixa corrente pode causar espasmos involuntários de grandes grupos musculares, tendo a possibilidade de induzir fibrilação ventricular com risco de parada cardíaca (Figura 4). Além disso, como citado anteriormente, os capacitores podem permanecer carregados por dias com energia suficiente para dar um choque fatal, por isso, projetos adequados devem incluir resistores de sangria, para descarregar a carga armazenada dos capacitores.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Dimensionamento

Os parâmetros de saída da Bobina de Tesla desenvolvida, foram dimensionados de modo convencional e por meio de softwares disponíveis na internet para essa finalidade. O dimensionamento de uma bobina envolve a definição de parâmetros cruciais, como o número de espiras da bobina secundária, a indutância e a capacitância de ambas as bobinas, assim como a frequência ressonante do circuito LC, a qual otimiza a produção de descargas elétricas.

3.1.1 Cálculos de uma Bobina de Tesla

A bobina secundária possui 15 cm de diâmetro externo e 60 cm de altura. Foi utilizado fio de cobre 24 AWG de 0,2048 mm² de seção e 0,5106 mm de diâmetro, resultando em 19,59 espiras por centímetro de altura. Sendo assim, o comprimento do fio é calculado conforme Equação 1 e o número de espiras da bobina secundária é calculado conforme Equação 2:

$$L = \frac{\pi DAH}{100} = \frac{\pi * 15 * 19,59 * 60}{100} = 553,9 \text{ m} \quad (1)$$

$$N = AH = 19,59 * 60 = 1.175 \text{ espiras} \quad (2)$$

Onde:

L = Comprimento do fio de cobre em metros;

D = Diâmetro externo da bobina secundária em centímetros;

A = Número de espiras por centímetro de altura;

H = Altura da bobina secundária em centímetros;

N = Número total de espiras da bobina secundária.

Para o cálculo da indutância da bobina secundária, a equação de Wheeler deve ser utilizada. Mas antes desse cálculo, a altura e o raio da bobina foram convertidos, pois a equação

em questão é trabalhada em polegadas. Dessa forma, a altura da bobina secundária, que é 60 cm, será 23,62". Já o raio da mesma, que é a metade do valor do diâmetro, 7,5 cm, será 2,953". Sendo assim, a indutância da bobina secundária é calculada conforme Equação 3:

$$L_s = \frac{(NR)^2}{9R + 10H} = \frac{(1175 * 2,953)^2}{9 * 2,953 + 10 * 23,62} = 46.132 \mu H \quad (3)$$

Onde:

L_s = Indutância da bobina secundária em microhenrys;

N = Número total de espiras da bobina secundária;

R = Raio da bobina secundária em polegadas;

H = Altura da bobina secundária em polegadas.

A autocapacitância produzida na bobina secundária, pode ser calculada por meio equação de Medhurst. Para isso, é necessário analisar a Figura 5, a qual dá o valor do coeficiente de Medhurst, por meio da relação altura/diâmetro da bobina secundária.

Figura 5 - Coeficiente H em função da relação L/D

Length	H	Length	H	Length	H
Diameter		Diameter		Diameter	
50	5.8	5.0	0.81	0.70	0.47
40	4.6	4.5	0.77	0.60	0.48
30	3.4	4.0	0.72	0.50	0.50
25	2.9	3.5	0.67	0.45	0.52
20	2.36	3.0	0.61	0.40	0.54
15	1.86	2.5	0.56	0.35	0.57
10	1.32	2.0	0.50	0.30	0.60
9.0	1.22	1.5	0.47	0.25	0.64
8.0	1.12	1.0	0.46	0.20	0.70
7.0	1.01	0.90	0.46	0.15	0.79
6.0	0.92	0.80	0.46	0.10	0.96

Fonte: Adaptado de Medhurst (1947, p. 84).

Como a bobina possui 60 cm de altura e 15 cm de diâmetro, o valor de L/D é 4,0. Assim, o coeficiente H é 0,72. Portanto, a autocapacitância é calculada conforme Equação 4:

$$C_{ac} = HD = 0,72 * 15 = 10,8 \text{ pF} \quad (4)$$

Onde:

C_{ac} = Autocapacitância da bobina secundária em picofarads;

H = Coeficiente de Medhurst (Figura 5);

D = Diâmetro externo da bobina secundária em centímetros.

A capacitância do toroide, em função do diâmetro externo (600 mm) e seção transversal (150 mm), é calculada conforme Equação 5:

$$C_t = \frac{2,8 \left(1,2781 - \frac{d}{D}\right) \sqrt{\frac{\pi}{4} (D - d) d}}{25,4}$$

$$C_t = \frac{2,8 \left(1,2781 - \frac{150}{600}\right) \sqrt{\frac{\pi}{4} (600 - 150) * 150}}{25,4} = 26,09 \text{ pF} \quad (5)$$

Onde:

C_t = Capacitância do toroide em picofarads;

D = Diâmetro externo do toroide em milímetros;

d = Seção transversal do toroide em milímetros.

Já a capacitância da bobina secundária é calculada conforme Equação 6:

$$C_s = 0,29H + 0,41R + 1,94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} = 0,29 * 60 + 0,41 * 7,5 + 1,94 \sqrt{\frac{7,5^3}{60}} = 25,62 \text{ pF} \quad (6)$$

Onde:

C_s = Capacitância da bobina secundária em picofarads;

H = Altura da bobina secundária em centímetros;

R = Raio da bobina secundária em centímetros.

A frequência ressonante para um quarto do comprimento de onda é calculada conforme Equação 7. Mas antes desse cálculo, o comprimento do fio de cobre foi convertido, pois a equação em questão é trabalhada em pés. Dessa forma, o comprimento do fio, que é 553,9 m, será 1.817 pés. Portanto:

$$F = \frac{186.000 * 5.280}{4L} = \frac{186.000 * 5.280}{4 * 1.817} = 135.123 \text{ Hz} \quad (7)$$

Onde:

F = Frequência de $1/4 \lambda$ em hertz;

L = Comprimento do fio de cobre em pés.

Para este projeto foi utilizado dois transformadores com tensão de entrada igual a 127 V, frequência de 60 Hz, tensão de saída unificada de 4.200 V e potência de 2.000 W. Já a corrente foi calculada conforme Equação 8:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2.000}{4.200} = 0,4762 \text{ A} \quad (8)$$

Onde:

I = Corrente de saída do transformador em amperes;

P = Potência do transformador em watts;

V = Tensão de saída do transformador em volts.

Tendo o valor da corrente, é possível calcular a impedância do transformador conforme Equação 9:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{4.200}{0,4762} = 8.820 \Omega \quad (9)$$

Onde:

Z = Impedância do transformador em ohms;

V = Tensão de saída do transformador em volts;

I = Corrente de saída do transformador em amperes.

Já com o valor obtido da impedância, é possível calcular a capacitância em função da frequência do transformador, conforme Equação 10:

$$C_p = \frac{1}{2\pi fZ} = \frac{1}{2\pi * 60 * 8.820} = 300,7 \text{ nF} \quad (10)$$

Onde:

C_p = Capacitância da bobina primária em nanofarads;

f = Frequência de entrada em hertz;

Z = Impedância do transformador em ohms.

Para o cálculo da indutância da bobina primária, foi utilizada a Equação 11. Mas antes desse cálculo, o raio médio e a largura da bobina foram convertidos, pois a equação em questão é trabalhada em polegadas. Dessa forma, o raio médio da bobina primária, que é 16,1 cm, será 6,339". Já a largura da mesma, que é 16,7 cm, será 6,575". Portanto:

$$L_p = \frac{(NR)^2}{8R + 11W} = \frac{(11,88 * 6,339)^2}{8 * 6,339 + 11 * 6,575} = 46,09 \text{ } \mu H \quad (11)$$

Onde:

L_p = Indutância da bobina primária em microhenrys;

N = Número total de espiras da bobina primária;

R = Raio médio da bobina primária em polegadas;

W = Largura da bobina primária em polegadas.

3.1.2 Softwares para o dimensionamento de uma Bobina de Tesla

A Figura 6 apresenta os parâmetros de saída da bobina secundária, calculados pelo software Tesla Coil CAD, após inserir os parâmetros de entrada. Os dados retornados são: proporção entre altura e largura da bobina igual à 4,00:1; quantidade de espiras igual à 1.175; comprimento do fio igual à 553,75 m; indutância secundária igual à 45,81 mH ou 45.810 μH ; frequência de ressonância aproximada à 223,46 KHz ou 223.460 Hz; frequência ressonante para

um quarto do comprimento de onda igual à 135,44 KHz ou 135.440 Hz; autocapacitância secundária igual à 11,07 pF; capacitância do toroide igual à 19,07 pF.

Figura 6 - Tesla Coil CAD: Parâmetros da bobina secundária

Input Parameters	
Diameter of Secondary Coil	150,00 mm
Winding Height of Secondary Coil	600,00 mm
Wire Diameter for Secondary Coil	0,5106 mm
Spacing Between Windings	0,00 mm

Output Parameters	
Aspect Ratio	4,00 : 1
Secondary Turns	1175,00
Secondary Wire Length	553,75 m
Secondary Inductance	45,81 mH
Approximate Resonant Frequency	223,46 kHz
Secondary Quarter Wavelength Resonant Frequency	135,44 kHz
Secondary Self Capacitance	11,07 pF
Toroid Capacitance Required to Form Quarter Wavelength Coil	19,07 pF

Fonte: Autores.

A Figura 7 indica a capacitância da bobina primária necessária para formar um circuito ressonante a 60 Hz em função do transformador utilizado na bobina desenvolvida, calculada pelo software Tesla Coil CAD, após inserir os parâmetros de entrada. Nesse caso, o software retornou que essa capacitância deve ser igual à 0,3008 μ F ou 300,8 nF. Já a Figura 8 apresenta a indutância da bobina primária para cada espira da mesma. Assim, como a bobina desenvolvida tem 11,88 espiras, sua indutância é de aproximadamente 52,08 μ H.

Figura 7 - Tesla Coil CAD: Capacitância da bobina primária

Primary Transformer / Capacitor Matching

Input Parameters

Neon Transformer

Secondary Voltage: 4,20 kV

Secondary Current: 476,20 mA

No. of Transformers: 1

Calculate

OK

Output Parameters

Primary Capacitor Required to Form a Resonant Circuit at 60Hz with Neon Transformers: 0,3008 uF

Fonte: Autores.

Figura 8 - Tesla Coil CAD: Parâmetros da bobina primária

Primary Coil Calculations

Input Parameters

Use Design Information

☒ Primary Circuit Capacitor

☒ Secondary Coil Resonant Frequency

☒ Secondary Coil Diameter

Primary Capacitance: 0,3008 uF

Primary Resonant Frequency: 135,44 kHz

Secondary Coil Diameter: 150,00 mm

Primary Conductor Diameter: 4,00 mm

Primary Turn to Turn Spacing: 11,00 mm

Spacing Between the Secondary and the Inside Turn of the Primary: 13,00 mm

Output Parameters

The primary will need to be tapped between turn 3 and turn 4 to form a resonant circuit at 135,44kHz

Approximate inductance:

Turn 1	0,42uH
Turn 2	1,51uH
Turn 3	3,22uH
Turn 4	5,54uH
Turn 5	8,52uH
Turn 6	12,20uH
Turn 7	16,63uH
Turn 8	21,87uH
Turn 9	27,98uH
Turn 10	35,02uH
Turn 11	43,03uH
Turn 12	52,08uH

Calculate

OK

Fonte: Autores.

A Figura 9 apresenta os parâmetros de saída da bobina secundária, calculados pelo software WinTesla, após inserir os parâmetros de entrada. Os dados retornados são: proporção entre altura e largura da bobina igual à 4,00:1; indutância igual à 38,91 mH ou 38.910 μ H; coeficiente de Medhurst igual à 0,70; autocapacitância igual à 10,48 pF; raio da bobina igual à 2,95" ou 7,493 cm; circunferência da bobina igual à 18,55" ou 47,12 cm; comprimento do fio igual à 1.674,33 pés ou 510,3 m; quantidade de espiras igual à 1.082,88; frequência de ressonância aproximada à 249,20 KHz ou 249.200 Hz; frequência ressonante para um quarto do comprimento de onda igual à 133,45 KHz ou 133.450 Hz. Já a Figura 10 apresenta os parâmetros de saída do toroide, que são: capacitância do toroide igual à 26,07 pF e capacitância da bobina secundária igual à 25,63 pF.

Figura 9 - WinTesla: Parâmetros da bobina secundária

Primary Coil		Secondary Coil		Trans/Cap Match		Topload C		Reference	
Diameter	5.906	in	Radius	2.95	in				
Length	23.62	in	Circumference	18.55	in				
Gauge	24		Length of wire	1674.33	ft				
Turns/Inch	47.26	@ 97 %	Total Turns	1082.88					
H/D Aspect	4.00		Frequency	249.20	KHz				
Inductance	38.91	mH	1/4 Wave	987.40	ft				
Medhurst_K	0.70		Frequency	133.45	KHz				
Self_C	10.48	pf	W/Top Load C of =>	26.07	pf				
			1/4 Wave	1843.88	ft				

Fonte: Autores.

Figura 10 - WinTesla: Parâmetros do toroide

The screenshot shows the 'WinTesla - Tesla Coil Design' window. The 'Secondary Coil' tab is selected. On the left, a text box defines D_t as the diameter of the toroid tube and D_{tc} as the diameter of the toroid (tube center to tube center). Below this, the 'Shape of Top Capacitor' section has 'Toroid' selected with a radio button, and 'Copy To Secondary Sheet' is checked. On the right, a 3D model of a toroid is shown with dimension lines for D_{tc} and D_t . Below the model, input fields show $D_t = 5,90$ in and $D_{tc} = 17,70$ in. At the bottom, two equations are available: 'Use Bert Pool Equation' (unselected) with a capacitance of 26,07 pf, and 'Use Mark Rzeszutowski Equation From Australian Journal of Physics' (selected) with a capacitance of 25,63 pf.

Fonte: Autores.

A Figura 11 apresenta os parâmetros de saída da bobina primária, calculados pelo software WinTesla, após inserir os parâmetros de entrada. Sendo: indutância total igual à 0,0516 mH ou 51,6 μ H; frequência secundária igual à 133,4485 KHz ou 133.448,5 Hz; raio médio igual à 6,97" ou 17,7 cm; diâmetro total igual à 20,96" ou 53,24 cm; comprimento do cabo igual à 42,04 pés ou 12,81 m. Já a Figura 12 indica a capacitância da bobina primária necessária para formar um circuito ressonante a 60 Hz em função do transformador utilizado na bobina desenvolvida. Nesse caso, o software WinTesla retornou que essa capacitância deve ser igual à 0,3008 μ F ou 300,8 nF.

Figura 11 - WinTesla: Parâmetros da bobina primária

WinTesla - Tesla Coil Design

Primary Coil | Secondary Coil | Trans/Cap Match | Topload C | Refer

Inside Diameter	6.929	in	Average Radius	6.97	in
Wire Diameter	0.1575	in	Total Diameter	20.96	in
Spacing	0.4331	in	Length of wire	42.04	ft
Total Turns	11.88		LpCp	1422,453	
			LsCs	1422,370	
Total Inductance	0,0516	mH	Coil Configuration ☒ Flat Archimedes Spiral ☐ Vertical Helix ☐ Inverse Conical 'Saucer' Angle From Horizontal Plane 0		
Secondary Frequency	133,4485	KHz			
Required C	0,0276	uf			
☒ W/Top Load C					

Fonte: Autores.

Figura 12 - WinTesla: Capacitância da bobina primária

WinTesla - Tesla Coil Design

Primary Coil | Secondary Coil | Trans/Cap Match | Topload C | Refer

Primary Transformer Output Voltage	4200	VAC	Capacitor Match 0,3008 uF
Primary Transformer Rated Current	0.4762	A	
Primary Transformer Input Frequency	60	Hz	
Primary Transformer Input Voltage	127	VAC	

Fonte: Autores.

As variações observadas nos parâmetros de saída dos softwares, ao inserir os mesmos parâmetros de entrada, são atribuídas às características das arquiteturas dos programas. Essas características podem amplificar ou intensificar os erros gerados pelos arredondamentos nas variáveis das equações.

3.1.3 Comparação entre Cálculos e Softwares

Os parâmetros de saída calculados pelo método convencional, foram comparados com os gerados pelos softwares Tesla Coil CAD e WinTesla (Tabela 1), utilizando os mesmos parâmetros de entrada para ambos os métodos.

Tabela 1 - Comparação entre Cálculos e Softwares

		Método Convencional	Tesla Coil CAD	WinTesla
BOBINA SECUNDÁRIA	Comprimento do fio de cobre	553,9 m	553,75 m	510,3 m
	Número total de espiras	1.175 espiras	1.175 espiras	1.083 espiras
	Indutância	46.132 μH	45.810 μH	38.910 μH
	Autocapacitância	10,8 pF	11,07 pF	10,48 pF
	Capacitância do toroide	26,09 pF	19,07 pF	26,07 pF
	Capacitância	25,62 pF	-	25,63 pF
	Frequência de $1/4 \lambda$	135.123 Hz	135.440 Hz	133.450 Hz
BOBINA PRIMÁRIA	Capacitância	300,7 nF	300,8 nF	300,8 nF
	Indutância	46,09 μH	52,08 μH	51,6 μH

Fonte: Autores.

Comparando o método convencional com o Tesla Coil CAD, é possível destacar a exatidão do software em relação ao comprimento do fio de cobre, número total de espiras, indutância e autocapacitância, ambos da bobina secundária, assim como a frequência de $1/4 \lambda$ e a capacitância da bobina primária. Em contrapartida, a capacitância do toroide apontou

significativa divergência. Além disso, esse software não apresentou a capacitância da bobina secundária.

Sobre a comparação do método convencional com o WinTesla, é notável a alta precisão do software quanto a autocapacitância, capacitância do toroide e capacitância da bobina secundária, assim como a frequência de $\frac{1}{4} \lambda$ e a capacitância da bobina primária. Contudo, os dados relacionados ao comprimento do fio de cobre, número total de espiras e indutância, ambos da bobina secundária, estão em desacordo.

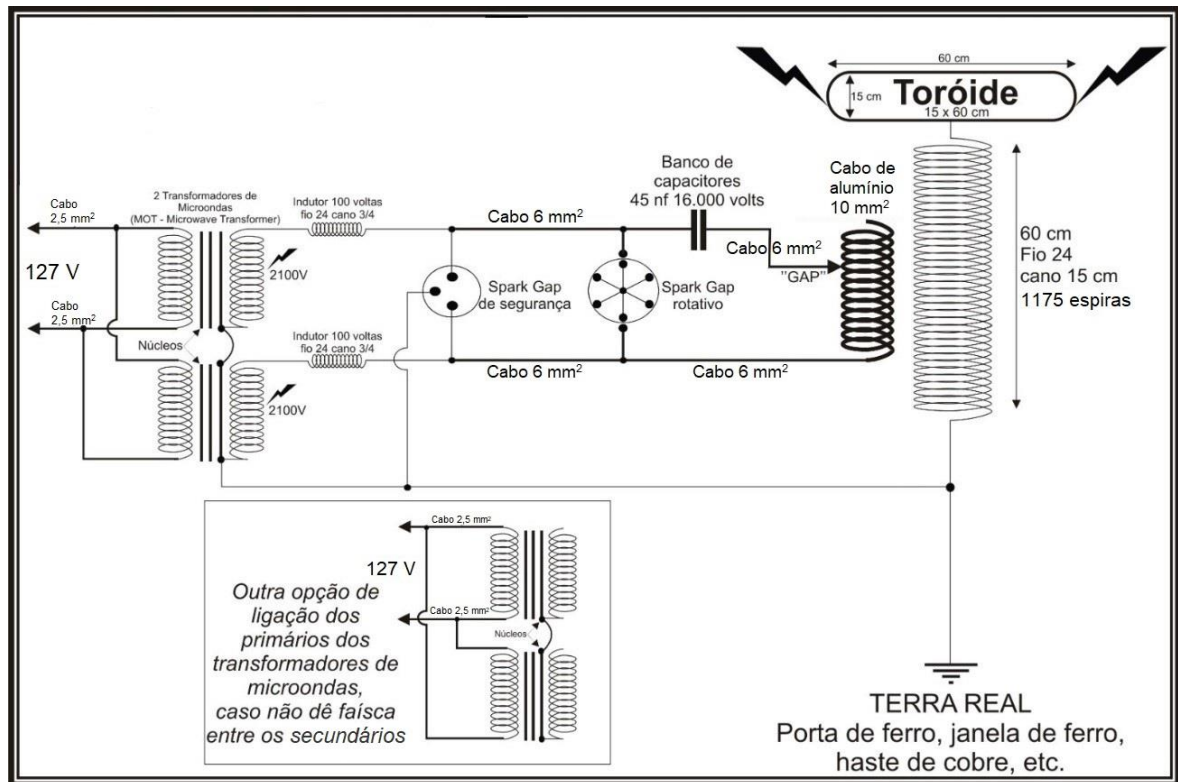
Dentre os parâmetros de saída apresentados, houve uma inconsistência no valor da indutância da bobina primária, onde ambos os softwares nos relatam valores aproximados, mas que não coincidem com o valor calculado pelo método convencional. Diante disso, nota-se que os softwares são consideravelmente confiáveis, mas não substituem a abordagem clássica.

3.2 Desenvolvimento de uma Bobina de Tesla

A Bobina de Tesla desenvolvida para este trabalho, é composta principalmente pelo circuito primário, circuito secundário, toroide, transformadores, banco de capacitores e spark gap (centelhador). A montagem e o funcionamento da bobina, envolvem a aplicação prática dos princípios de indução eletromagnética e ressonância elétrica, assim como demais princípios físicos, o projeto elétrico da bobina (Figura 13) e os cálculos abordados anteriormente no dimensionamento.

O circuito primário é responsável por iniciar a transferência de energia, ele é composto por dois transformadores, cada um com 127 V de tensão de entrada e 2.100 V de tensão de saída; cabo de alumínio de 10 mm² e diâmetro nominal de 4 mm, para enrolamento da bobina primária; 300 capacitores de 15 nF, associados em série-paralelo, totalizando uma capacitância de 45 nF; e um spark gap. Já o circuito secundário é ressonante, o qual amplifica a tensão recebida do circuito primário, sendo constituído por uma bobina de fio de cobre 24 AWG e um toroide como terminal do enrolamento secundário.

Figura 13 - Projeto elétrico da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Um transformador básico consiste em duas bobinas de fio enroladas em torno de um núcleo de ferromagnético. Quando uma corrente alternada passa pela bobina primária, ela cria um campo magnético que induz uma corrente na bobina secundária. Neste protótipo da Bobina de Tesla, os transformadores são usados para aumentar a tensão de entrada antes de ser aplicada ao circuito primário.

O banco de capacitores armazena a energia elétrica no circuito primário antes de ser liberada no spark gap. Nesta bobina, foi utilizado capacitores de alta tensão, conectados na configuração série-paralelo (Figura 14) para obter a capacitância e tensão desejadas, sendo respectivamente de 45 nF e 16.000 V. Lembrando que em série aumenta a tensão suportada e em paralelo aumenta a capacitância total. Já o spark gap, por meio do seu motor rotativo, permite a comutação rápida e eficiente da energia armazenada nos capacitores, criando uma descarga elétrica que excita o circuito ressonante.

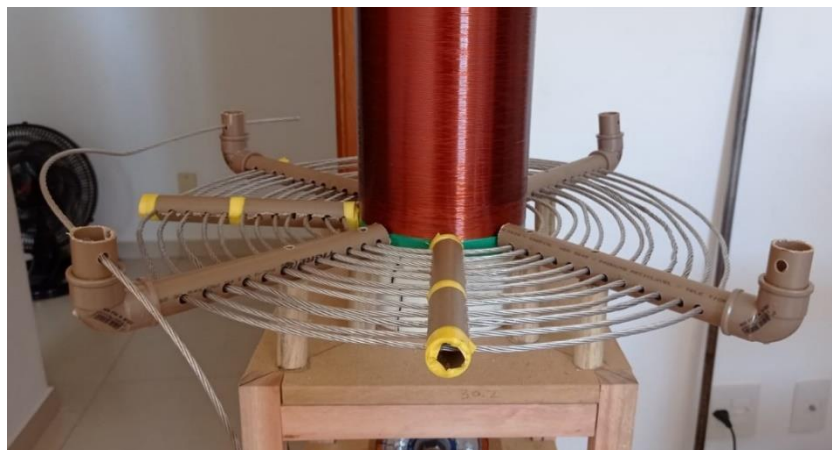
Figura 14 - Construção do banco de capacitores da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Para a construção do circuito primário, foi enrolado cabo de alumínio de 10 mm² em torno de um suporte não condutivo (Figura 15), deixando espaço entre as espiras para evitar arcos elétricos entre elas. Neste projeto a bobina primária tem 11,88 espiras, possibilitando uma baixa indutância, a qual permite a rápida transferência de energia. O banco de capacitores foi conectado ao enrolamento primário, juntamente com o spark gap rotativo. O spark gap deve ser ajustado para disparar a uma dada tensão, liberando a energia acumulada nos capacitores e iniciando a oscilação no circuito primário.

Figura 15 - Bobina primária



Fonte: Autores.

O toroide é feito com duto de coifa de 150 mm de diâmetro e um disco de MDF de 30 cm de diâmetro, o qual é colocado no centro do toroide (Figura 16), resultando em um diâmetro externo total de 60 cm. Esse toroide é colocado no topo da bobina secundária e atua como um terminal de alta tensão, ajudando a regular a descarga elétrica e a estabilizar o campo elétrico gerado. Um ponto relevante a ser considerado é que o diâmetro externo do toroide deve ser equivalente à altura da bobina secundária.

Já para a construção do circuito secundário, foi enrolado o fio de cobre 24 AWG ao redor de um tubo isolante de PVC de 150 mm de diâmetro, até atingir 60 cm de altura desse tubo, para formar a bobina secundária, de modo que as espiras estivessem uniformemente espaçadas e bem fixadas. A bobina tem por volta de 1.175 espiras, pois essa quantidade de espiras maximiza a indução de tensão.

Figura 16 - Construção do toroide da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Visando garantir o correto funcionamento da Bobina de Tesla, foi realizado testes (Figura 17), para identificar possíveis falhas em componentes, e ajustes (Figura 18), para melhorar o seu desempenho. Além disso, os testes também servem para garantir que não haja riscos para os operadores ou espectadores, pois a segurança é fundamental.

Figura 17 - Teste da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Figura 18 - Ajustando a Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Em síntese, segue o funcionamento de uma Bobina de Tesla:

- A tensão de entrada é aplicada aos transformadores, elevando-a para 4.200 V.
- A energia elétrica é armazenada nos capacitores até que a tensão atinja o nível necessário para disparar o spark gap.
- Quando o spark gap dispara, a energia acumulada nos capacitores é liberada no circuito primário, criando uma oscilação de alta frequência.
- A oscilação no circuito primário induz uma corrente ressonante no circuito secundário, resultando em uma tensão extremamente alta na bobina secundária.
- O toroide no topo da bobina secundária regula a descarga elétrica, permitindo a formação de arcos e faíscas visíveis.

Os Anexos I e II detalham as quantidades de materiais utilizados, os valores associados e suas respectivas aplicações. Essa informação é essencial para a análise dos recursos empregados ao longo do trabalho, além de contribuir para a transparência dos gastos. Por meio do Anexo I, é possível verificar que o gasto total final, para a construção desse protótipo da Bobina de Tesla, foi de aproximadamente 3 mil reais.

4 DEMONSTRAÇÃO

Visando avaliar o uso da Bobina de Tesla na educação, foi realizada uma demonstração a duas turmas de alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Unifev. Mas antes, um plano de aula (Anexo III) foi apresentado ao professor de física dessas turmas. Além disso, um questionário de avaliação (Anexo IV) foi desenvolvido, para analisar o conhecimento dos alunos sobre os princípios físicos e eletromagnetismo, antes e depois da demonstração.

No dia 14 de agosto de 2024, foi aplicado o questionário de avaliação aos alunos, para verificar o nível de conhecimento prévio deles. Já no dia 20 de agosto de 2024, foi realizada a demonstração no Colégio Unifev, assim como a segunda aplicação do questionário de avaliação, para comparar e analisar a influência da Bobina de Tesla como material de ensino. Segue registros fotográficos do dia da demonstração (Figuras 19, 20, 21 e 22):

Figura 19 - Início da demonstração da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Figura 20 - Esclarecendo dúvidas sobre a Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Figura 21 - Explicando o funcionamento da Bobina de Tesla



Fonte: Autores.

Figura 22 - Conclusão da demonstração da Bobina de Tesla



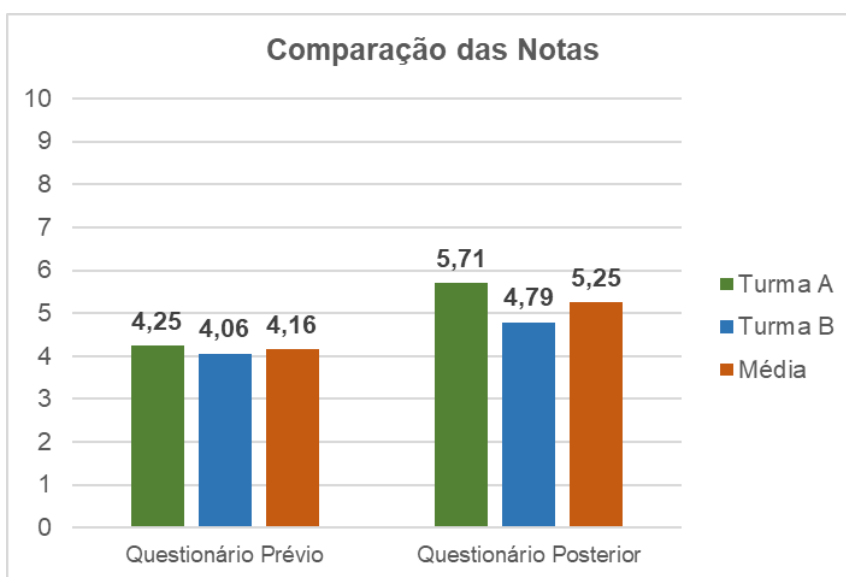
Fonte: Autores.

O modo de avaliação que foi adotado, com um questionário prévio e posterior, tem o caráter formativo, ou seja, é projetado para monitorar o progresso dos alunos durante o processo de aprendizagem, fornecendo feedback imediato sobre o desempenho deles na compreensão do conteúdo. Além disso, essa abordagem permite coletar dados quantitativos e qualitativos, os quais foram fundamentais para a análise. Ao comparar os resultados dos questionários, é possível identificar não apenas o aumento no conhecimento dos alunos, mas também as áreas em que a Bobina de Tesla teve um impacto mais significativo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar o uso da Bobina de Tesla na educação, os dados coletados por meio dos questionários foram comparados, identificando o impacto que a demonstração teve no conhecimento dos alunos, assim como os conteúdos mais e menos afetados. Por meio do Gráfico 1, observa-se que ambas as turmas de alunos do 3º ano do ensino médio do Colégio Unifev apresentaram um conhecimento prévio relativamente semelhante, com a turma A alcançando 4,25 pontos e a turma B 4,06 pontos no questionário inicial.

Gráfico 1 - Comparação das Notas



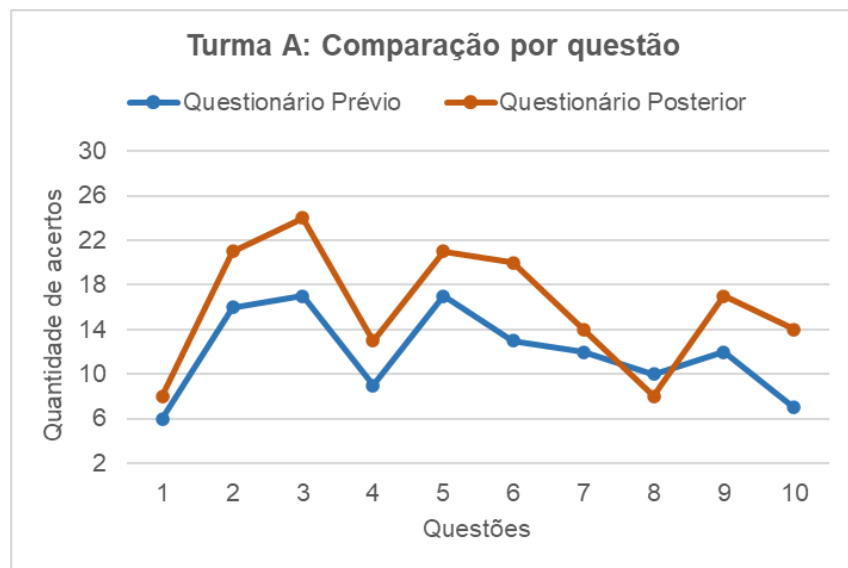
Fonte: Autores.

Após a realização da demonstração da Bobina de Tesla, a turma A não apenas manteve uma pontuação superior, obtendo 5,71 pontos, como também teve um aumento significativo de 1,46 pontos em relação ao questionário prévio, indicando uma absorção eficaz do conteúdo apresentado. Por outro lado, a turma B também apresentou melhora, mas em menor grau, com um aumento de 0,73 pontos, finalizando com 4,79 pontos, sugerindo que a demonstração teve um impacto menor nesse grupo.

Os Gráficos 2 e 3 comparam os resultados do questionário prévio e posterior de cada turma, indicando a evolução unitária por questão. Em relação a turma A, as questões 3, 6 e 10

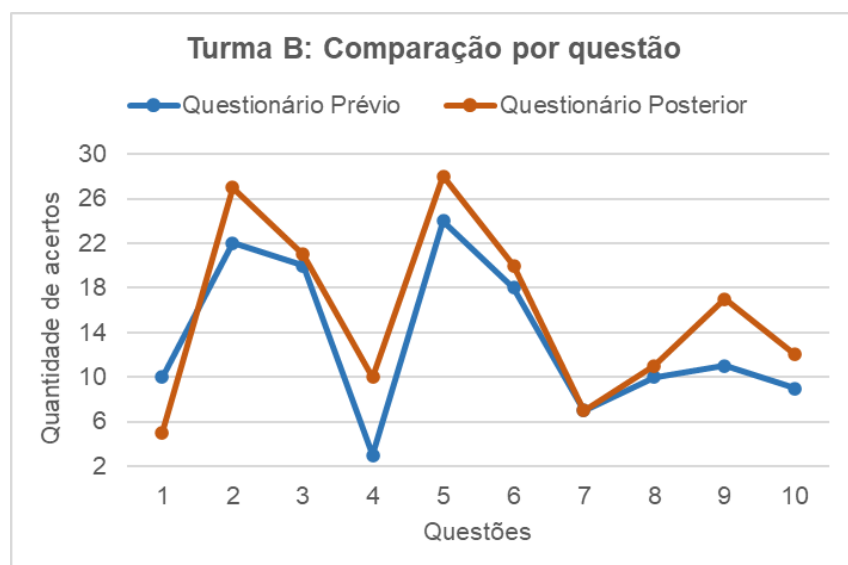
tiveram um aumento significativo de acertos, enquanto a questão 8 sofreu uma redução de acertos após a demonstração. Já a turma B, teve uma melhora na pontuação das questões 4 e 9, em contrapartida não houve variação considerável nas questões 3, 7 e 8. Em particular, a questão 1 da turma B teve o menor aproveitamento entre todas as demais.

Gráfico 2 - Turma A: Comparação por questão



Fonte: Autores.

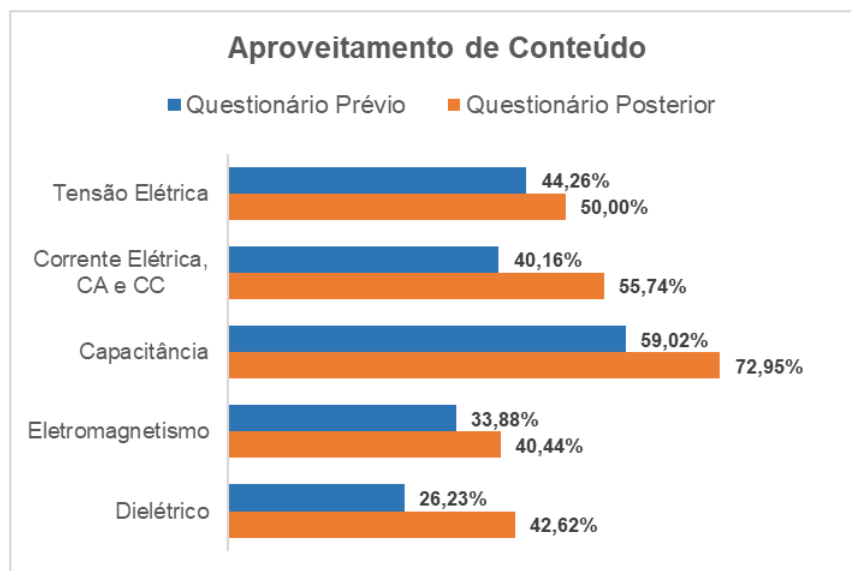
Gráfico 3 - Turma B: Comparação por questão



Fonte: Autores.

O questionário abordou os seguintes conteúdos: Tensão Elétrica; Corrente Elétrica, CA e CC; Capacitância; Eletromagnetismo; Dielétrico. As questões sobre dielétrico apresentaram o melhor aproveitamento, com um aumento de 16,39%, enquanto a questões sobre tensão elétrica registraram o menor progresso, com um aumento de apenas 5,74%. Em particular, o conteúdo sobre capacitância se sobressaiu em ambos os questionários, demonstrando um bom entendimento dos conceitos fundamentais associados. Dessa forma, observa-se que houve uma melhora geral em relação a cada conteúdo presente, conforme indicado no Gráfico 4:

Gráfico 4 - Aproveitamento de Conteúdo



Fonte: Autores.

O fato de que ambas as turmas melhoraram, embora em diferentes graus, é um indicativo de que a Bobina de Tesla é um recurso didático que pode enriquecer o aprendizado de conceitos de física e eletromagnetismo. Esses resultados indicam que métodos de ensino práticos e interativos são promissores no desenvolvimento do conhecimento em física e merecem ser continuados e ampliados nas práticas pedagógicas.

CONCLUSÃO

A análise do impacto da Bobina de Tesla na educação, especialmente no contexto do ensino de física e eletromagnetismo, revela que sua utilização como recurso didático pode ser eficaz, promovendo uma melhoria no aprendizado dos alunos. Os dados obtidos a partir dos questionários mostraram que ambas as turmas de 3º ano do ensino médio apresentaram uma evolução positiva no conhecimento após a demonstração da Bobina de Tesla.

O fato de que as questões relacionadas a conteúdos como dielétrico e capacitância apresentaram o maior aproveitamento, reflete que os alunos conseguiram assimilar conceitos fundamentais associados a esses temas de maneira mais eficaz, especialmente quando esses conceitos foram apresentados de forma prática e interativa. A análise dos resultados individuais das questões também evidenciou a diferença da compreensão dos temas entre as turmas.

Dado o tempo limitado para a demonstração da Bobina de Tesla, a chave para maximizar a eficácia dessa breve interação é reforçar o aprendizado posterior. A integração de recursos audiovisuais e gamificação, que tornam o aprendizado mais lúdico e atraente, pode ser uma maneira eficaz de reforçar os conteúdos e aumentar a retenção das informações, como, por exemplo, simulações virtuais complementares às demonstrações presenciais da Bobina de Tesla, que permitam que os alunos visualizem e manipulem os conceitos de forma mais direta.

Além disso, a comparação entre os métodos convencionais e os softwares especializados, como o Tesla Coil CAD e o WinTesla, destacou que, embora os softwares apresentem precisão em diversos parâmetros, ainda existem divergências, especialmente na indutância da bobina primária. Isso reforça a ideia de que, apesar dos avanços tecnológicos, a abordagem tradicional continua sendo importante para garantir a compreensão dos fenômenos físicos.

Em síntese, os resultados sugerem que a Bobina de Tesla, como material didático, possui grande potencial para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem em física. A sua utilização não só favorece a compreensão teórica, como também motiva os alunos por meio de demonstrações que tornam o conteúdo mais tangível e interessante. Portanto, é recomendado que métodos de ensino que envolvem tecnologias interativas e práticas, como a Bobina de Tesla, sejam ampliados nas práticas pedagógicas, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica e eficaz.

Nikola Tesla foi um gênio incomparável, cuja vida e obra deixaram um impacto duradouro na ciência e na tecnologia. Sua invenção da Bobina de Tesla, junto com suas

inúmeras outras contribuições, continua a influenciar e inspirar gerações de cientistas, engenheiros e inovadores. Seu legado é uma lembrança poderosa de que a curiosidade, a imaginação e a perseverança são as chaves para o progresso humano. Tesla nos ensinou que, com determinação e visão, é possível transformar até mesmo as ideias mais ousadas em realidade, moldando o futuro para melhor.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton C. **Instalações Elétricas sem Mistérios**. 1. ed. São Paulo: Saber, 1999. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/330008539/Instalacoes-Eletricas>. Acesso em: 22 set. 2024.

CHILDRESS, David Hatcher. **As fantásticas invenções de Nikola Tesla**. Tradução Silvia Mariangela Spada. 2. ed. São Paulo: Madras, 2017.

FERREIRA, Marcelo Braguini. **Bobina de Tesla**. Lelo Informática, Lucélia, SP. Canal Lelotrem. Disponível em: <http://www.youtube.com/lelotrem>. Acesso em: 14 abr. 2024.

MEDHURST, R. G. **H.F. Resistance and self-capacitance of single-layer solenoids**. Wireless Engineer. Research Laboratories of The General Electric Company, Limited, Wembley, Inglaterra. p. 80-92, mar. 1947. Disponível em: <https://hamwaves.com/inductance/doc/medhurst.1947.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

SANTOS, Diovanne George Barbosa Sobreira Amorim. **Bobina de Tesla: dimensionamento e fenômenos resultantes**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário Facid Wyden, Campus Horto Florestal, Teresina, 2020. Disponível em: <http://pergamum.integrees.net:8080/pergamumweb/vinculos/00010d/00010d9d.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2024.

SILVA, Domingos Sávio de Souza. **A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do eletromagnetismo**. 2012. 68 f. Monografia (Licenciatura Plena de Física) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: https://www.uece.br/cct/wp-content/uploads/sites/28/2021/08/domingos_s%C3%81vio_de_souza_e_silva.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

SILVA, Iggor Bezerra; NASCIMENTO, Cleydson A. de C.; OLIVEIRA, Nikolas I. F. **Dimensionamento e Estudo sobre uma Bobina de Tesla**. Universidade Federal Rural do Semi-árido. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, v. 3, n. 1, p. 95-102, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/download/10024/10946/60494>. Acesso em: 20 mar. 2024.

TESLA, Nikola. **Como aumentar a energia para a humanidade**: com destaque à energia solar. Tradução Bruno Arderucio Costa. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2023.

TESLA, Nikola. **Minhas invenções**: a autobiografia de Nikola Tesla. Tradução Roberto Leal Ferreira. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2012.

TESLA RESEARCH. Inventions & Experiments of Nikola Tesla. **Formulas for Tesla coils**. Disponível em: <https://teslaresearch.jimdofree.com/tesla-coils/formulas-for-tesla-coils/>. Acesso em: 08 jul. 2024.

ANEXO I - MATERIAIS E VALORES

Materiais	Qnt.	Unid.	Valor em R\$ (unitário)	Valor em R\$ (total)
Abraçadeira PVC 3/4" Fixa Tubo	4	peças	4,00	16,00
Arruela aço inox 304 1/4"	6	peças	0,25	1,50
Arruela lisa galvanizada 1/4"	8	peças	0,27	2,16
Arruela lisa galvanizada 3/8"	11	peças	0,35	3,85
Borne sindal p/ cabo de 6 mm	5	peças	2,60	13,00
Botão voltímetro/amperímetro digital 22 mm	1	peça	80,90	80,90
Cabo cobre singelo 2,5 mm	5	metros	2,30	11,50
Cabo de alumínio nu 10 mm ²	25	metros	6,30	157,50
Cabo de vassoura	1	peça	10,00	10,00
Cabo PP 2x2,5 mm ²	10	metros	5,48	54,80
Cabo PP 3x2,5 mm ²	10	metros	7,84	78,40
Cabo preto singelo 6 mm	3	metros	5,81	17,43
Cabo verde singelo 1,5 mm	2	metros	1,44	2,88
Cabo verde singelo 6 mm	14	metros	4,00	56,00
Cabo vermelho singelo 6 mm	3	metros	5,81	17,43
Caixa passagem PVC 152x109x67 mm	1	peça	13,28	13,28
Cap PVC branco p/ tubo de 150 mm	2	peças	18,90	37,80
Cap PVC branco p/ tubo de 50 mm	1	peça	4,60	4,60
Capacitor de polipropileno 15 nF x 1600 V	300	peças	1,35	405,00
Chapa de aço carbono 3/4x1/8"	0,2	metros	20,00	20,00
Cola branca escolar	1	tubo	7,98	7,98
Condutele 4x2" e tampa cega	1	peça	16,00	16,00
Curva PVC 90° marrom p/ tubo de 3/4"	4	peças	2,25	9,00
Dimer rotativo 1000 W	1	peça	24,50	24,50
Disco de corte p/ metal e aço inox 115x1x22,2 mm	1	peça	9,78	9,78
Disjuntor Monofásico 20 A	1	peça	6,43	6,43
Duto de coifa de alumínio semiflexível 150x3000 mm	3	metros	52,67	158,01
Eletrodo de tungstênio vermelho 3,2 mm	2	peças	14,00	28,00
Espuma expansiva	1	lata	32,50	32,50
Estanho	80	gramas	0,22	17,62
Estrutura de Madeira e MDF	1	peça	560,00	560,00
Fio de cobre 24 AWG	1	kg	189,00	189,00
Fita aluminizada 48 mm x 20 m	1	rolo	14,00	14,00
Fita isolante	3	rolos	11,00	33,00
Flange marrom p/ tubo de 32 mm	1	peça	6,10	6,10

Garra jacaré 100 A	2	peças	12,00	24,00
Grampo tipo U 1,1/2x1/4"	2	peças	14,60	29,20
Isolador modelo castanha 50x60 mm	2	peças	9,13	18,26
Kit com 4 rodas rodízio	1	kit	23,80	23,80
Motor de liquidificador 127 V	1	peça	65,00	65,00
Papel alumínio	1	rolo	5,99	5,99
Parafuso inox 304 sextavado rosca inteira 1/4x1.1/4"	6	peças	5,98	35,88
Parafuso sextavado galvanizado 1/4x1"	5	peças	0,85	4,25
Parafuso sextavado galvanizado 1/4x2"	2	peças	1,10	2,20
Parafusos chipboard 3,5x20 mm	24	peças	0,40	9,60
Plug macho padrão 2P 10 A	1	peça	6,90	6,90
Plug macho padrão 2P+T 10 A	1	peça	4,76	4,76
Porca borboleta rosca 3/8"	2	peças	2,00	4,00
Porca galvanizada 1/4"	24	peças	0,40	9,60
Porca galvanizada 3/8"	8	peças	0,28	2,24
Porca sextavada aço inox 304 1/4"	6	peças	0,85	5,10
Resistor de 10 MΩ	300	peças	0,10	30,00
Serviço de corte a laser	1	serviço	100,00	100,00
Serviço torno	1	serviço	90,00	90,00
Suporte de para-raios	2	peças	3,00	6,00
Terminal fêmea 1,5 a 2,5 mm	6	peças	0,40	2,40
Terminal olhal 1,5 a 2,5 mm	5	peças	0,41	2,05
Terminal olhal 4 a 6 mm	10	peças	0,81	8,10
Termo retrátil	1	metro	1,00	1,00
Transformador 127 V; 2100 V; 2000 W	2	peças	56,90	113,80
Tubo PVC branco 150 mm	2	metros	88,00	176,00
Tubo PVC marrom 3/4"	2	metros	5,47	10,94
Vergalhão roscável 1/4"	1	barra	6,84	6,84
Vergalhão roscável 3/8"	1	barra	19,58	19,58
Verniz spray	2	latas	22,00	44,00
GASTO TOTAL FINAL:			R\$ 2977,44	

ANEXO II - MATERIAIS E APLICAÇÕES

Materiais	Aplicações
Abraçadeira PVC 3/4" Fixa Tubo	Fixar bobinas auxiliares na estrutura principal
Arruela aço inox 304 1/4"	Centelhadores rotativos
Arruela lisa galvanizada 1/4"	Utilização geral
Arruela lisa galvanizada 3/8"	Parte fixa do spark gap
Borne sindal p/ cabo de 6 mm	Realizar emendas de cabo
Botão voltímetro/amperímetro digital 22 mm	Acompanhar tensão e corrente de entrada da bobina
Cabo cobre singelo 2,5 mm	Ligação dos bancos de capacitores ao circuito
Cabo de alumínio nu 10 mm ²	Enrolamento da bobina primária
Cabo de vassoura	Fixar a bobina primária na estrutura principal
Cabo PP 2x2,5 mm ²	Interligar a fonte de energia à central de acionamento
Cabo PP 3x2,5 mm ²	Interligar a central de acionamento à bobina de Tesla
Cabo preto singelo 6 mm	Ligações elétricas entre os equipamentos
Cabo verde singelo 1,5 mm	Sistema de aterramento
Cabo verde singelo 6 mm	Sistema de aterramento
Cabo vermelho singelo 6 mm	Ligações elétricas entre os equipamentos
Caixa passagem PVC 152x109x67 mm	Estrutura da central de acionamento
Cap PVC branco p/ tubo de 150 mm	Finalizar a bobina secundária e fixar a toroide
Cap PVC branco p/ tubo de 50 mm	Estrutura para spark gap de segurança
Capacitor de polipropileno 15 nF x 1600 V	Realizar descargas elétricas na bobina primária
Chapa de aço carbono 3/4x1/8"	Fixação do motor do centelhador rotativo
Cola branca escolar	Colar o papel alumínio na parte central da toroide
Condutele 4x2" e tampa cega	Organizar os fios e cabos elétricos
Curva PVC 90° marrom p/ tubo de 3/4"	Fixação do aterramento de proteção da bobina primária
Dimer rotativo 1000 W	Controlar a velocidade da parte rotativa do spark gap
Disco de corte p/ metal e aço inox 115x1x22,2 mm	Fixação dos centelhadores rotativos
Disjuntor Monofásico 20 A	Proteção geral
Duto de coifa de alumínio semiflexível 150x3000 mm	Toroide
Eletrodo de tungstênio vermelho 3,2 mm	Centelhador da parte fixa do spark gap
Espuma expansiva	Fechamento do duto de coifa da toroide

Estanho	Soldar os capacitores em associação
Estrutura de Madeira e MDF	Estrutura principal
Fio de cobre 24 AWG	Enrolamento da bobina secundária
Fita aluminizada 48 mm x 20 m	Fechamento do duto de coifa da toroide
Fita isolante	Utilização geral
Flange marrom p/ tubo de 32 mm	Fixar a bobina secundária na estrutura principal
Garra jacaré 100 A	Terminais do sistema de aterramento
Grampo tipo U 1,1/2x1/4"	Fixação dos equipamentos na estrutura principal
Isolador modelo castanha 50x60 mm	Isolar a parte fixa do spark gap da estrutura principal
Kit com 4 rodas rodízio	Dar mobilidade
Motor de liquidificador 127 V	Girar a parte rotativa do spark gap
Papel alumínio	Envelopar a parte central da toroide, para melhorar a condução
Parafuso inox 304 sextavado rosca inteira 1/4x1.1/4"	Centelhadores rotativos
Parafuso sextavado galvanizado 1/4x1"	Utilização geral
Parafuso sextavado galvanizado 1/4x2"	Utilização geral
Parafusos chipboard 3,5x20 mm	Fixação dos equipamentos na estrutura principal
Plug macho padrão 2P 10 A	Sistema de desligamento manual
Plug macho padrão 2P+T 10 A	Para ligar o sistema em tomada padrão
Porca borboleta rosca 3/8"	Fixação dos eletrodos do spark gap
Porca galvanizada 1/4"	Utilização geral
Porca galvanizada 3/8"	Parte fixa do spark gap
Porca sextavada aço inox 304 1/4"	Centelhadores rotativos
Resistor de 10 MΩ	Descarregar os capacitores, quando o equipamento for desligado
Serviço de corte a laser	Corte a laser da chapa de metal do spark gap rotativo
Serviço torno	Furos no disco de corte do spark gap rotativo
Suporte de para-raios	Utilizado no spark gap de segurança
Terminal fêmea 1,5 a 2,5 mm	Utilização geral
Terminal olhal 1,5 a 2,5 mm	Utilização geral
Terminal olhal 4 a 6 mm	Utilização geral
Termo retrátil	Isolar e dar resistência aos cabos AWG
Transformador 127 V; 2100 V; 2000 W	Elevar a tensão de entrada
Tubo PVC branco 150 mm	Estrutura da bobina secundária
Tubo PVC marrom 3/4"	Fixação da bobina primária
Vergalhão roscável 1/4"	Fixação do motor do centelhador rotativo
Vergalhão roscável 3/8"	Interligar o centelhador da parte fixa aos cabos
Verniz spray	Isolar a bobina secundária

ANEXO III - PLANO DE AULA



PROFESSORES: José Eurípedes Paulino da Silva Júnior e Pablo Anastácio Soares

DATA DA AULA: 20/08/2024

TEMA: Bobina de Tesla: Eletromagnetismo e Princípios Físicos

1. OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM:

- Compreender os conceitos fundamentais de tensão e corrente, assim como a distinção entre corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC);
- Compreender o conceito de capacitância e como ela afeta o armazenamento de carga em capacitores;
- Compreender os princípios básicos do eletromagnetismo, como correntes elétricas geram campos magnéticos e como variações em campos magnéticos podem induzir correntes elétricas;
- Compreender o conceito de dielétrico e descrevê-lo em termos de comportamento de bobinas.

2. CONTEÚDO:

- Tensão elétrica;
- Corrente elétrica;
- Corrente alternada;
- Corrente contínua;

- Capacitância;
- Eletromagnetismo;
- Dielétrico.

3. MOBILIZAÇÃO PARA A APRENDIZAGEM:

Os alunos serão questionados sobre: como seria se a energia fosse transmitida pelo ar? Após eles se expressarem, será esclarecido que isso é possível e que já acontece no dia a dia, dando como exemplo: Transmissão de Rádio e TV; Comunicação via Satélite; Wi-Fi e Redes Sem Fio; Carregamento de Dispositivos Eletrônicos por Indução. Essa mobilização tem como objetivo demonstrar como a transmissão de energia pelo ar faz parte da nossa realidade.

4. CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO / METODOLOGIA DE ENSINO:

Após a apresentação da mobilização para a aprendizagem, os alunos serão levados ao pátio para a demonstração do funcionamento da Bobina de Tesla, a qual terá a seguinte abordagem:

- I) Em primeiro momento, haverá uma explicação sobre os componentes da bobina, o que são e qual a função deles;
 - II) Posteriormente, o protótipo da Bobina de Tesla será ligado;
 - III) Depois de expor a bobina em funcionamento, haverá uma explicação sobre o que aconteceu e como aconteceu. Com isso, o conteúdo planejado será abordado.
- Finalizado a apresentação da Bobina de Tesla, uma roda de debates será formada.

5. RECURSOS:

Protótipo da Bobina de Tesla.

6. SÍNTESE INTEGRADORA:

Após a demonstração da Bobina de Tesla e sua explicação, uma roda de debates será formada, onde algumas perguntas contextualizadas, sobre o tema abordado, serão feitas aos alunos. Além disso, as dúvidas que os alunos forem tendo serão solucionadas, de maneira dinâmica e com exemplos do cotidiano.

7. AVALIAÇÃO:

Antes da demonstração, um questionário avaliativo será aplicado aos alunos, para identificar o nível de conhecimento prévio dos alunos. Esse questionário será aplicado novamente após a demonstração, para comparar e analisar a influência da Bobina de Tesla como material de ensino. Dessa forma, essa avaliação terá o caráter formativo, ou seja, ela é projetada para monitorar o progresso dos alunos durante o processo de aprendizagem, fornecendo feedback imediato sobre o desempenho deles na compreensão do conteúdo.

ANEXO IV - QUESTIONÁRIO

Disciplina _____	Professor _____	Data _____
Nome do aluno _____		

1. Qual é o conceito fundamental de tensão elétrica?

- a) Tensão elétrica é a medida da intensidade da corrente elétrica em um circuito.
- b) Tensão elétrica é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos.
- c) Tensão elétrica é a quantidade de energia elétrica armazenada em um capacitor.
- d) Tensão elétrica é a resistência oferecida por um componente ao fluxo de corrente elétrica.

RESPOSTA: Letra B.

2. O que é um transformador elétrico?

- a) Dispositivo que armazena energia.
- b) Dispositivo que transfere energia.
- c) Dispositivo que eleva ou reduz a tensão elétrica.
- d) Dispositivo que converte energia solar em elétrica.

RESPOSTA: Letra C.

3. Qual é a diferença entre corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC)?

- a) CA é estática e CC é dinâmica.
- b) CA é de uso específico enquanto CC é mais usada no dia a dia.
- c) CA é usada em baterias e CC em geradores.
- d) CA muda de direção enquanto CC flui em uma única direção.

RESPOSTA: Letra D.

4. Relacione as colunas e marque a alternativa que contém a sequência correta:

(1) Corrente Alternada (CA)

(2) Corrente Contínua (CC)

() Distribuição de energia elétrica em residências e indústrias.

() Dispositivos eletrônicos como baterias e pilhas.

() Painéis solares.

() Eletrodomésticos como geladeiras e máquinas de lavar.

a) 1, 2, 2, 1.

b) 2, 2, 1, 2

c) 2, 1, 1, 2

d) 1, 1, 2, 1

RESPOSTA: Letra A.

5. Como a capacitância afeta o armazenamento de carga em capacitores?

a) A capacitância não influencia o armazenamento de carga em capacitores; é a área das placas que determina essa capacidade.

b) A capacitância afeta diretamente a quantidade de carga que um capacitor pode armazenar para uma dada tensão aplicada.

c) Quanto maior a capacitância de um capacitor, menor será a carga que ele pode armazenar para uma mesma tensão aplicada.

d) Capacitores com menor capacitância têm uma capacidade maior de armazenar carga elétrica para uma mesma tensão aplicada.

RESPOSTA: Letra B.

6. Qual é a função de um capacitor em um circuito elétrico?

a) Aumentar a corrente elétrica.

b) Armazenar energia elétrica.

c) Reduzir a tensão elétrica.

d) Conectar componentes eletrônicos.

RESPOSTA: Letra B.

7. Como correntes elétricas geram campos magnéticos?

- a) Através da movimentação de cargas elétricas, que gera um campo magnético ao redor do condutor.
- b) Pela interação entre ímãs e materiais condutores.
- c) Devido à interação entre elétrons em movimento e o espaço ao redor.
- d) Pela indução eletromagnética, onde correntes elétricas geram campos magnéticos através de variações no fluxo magnético.

RESPOSTA: Letra A.

8. Como variações em campos magnéticos podem induzir correntes elétricas?

- a) Por meio da ação direta dos campos magnéticos sobre os elétrons.
- b) A partir da variação do fluxo magnético através de uma superfície delimitada por um circuito elétrico.
- c) Através da emissão de fótons magnéticos.
- d) Com base na interação entre movimento relativo entre campo magnético e condutores elétricos.

RESPOSTA: Letra B.

9. Sobre o eletromagnetismo:

- I. O eletromagnetismo é a base das comunicações modernas. Ondas de rádio, infravermelho, luz visível e outras formas de radiação eletromagnética são utilizadas para transmitir informações, desde rádio e televisão até comunicações via satélite e internet sem fio.
- II. O eletromagnetismo descreve a interação entre partículas carregadas eletricamente (cargas elétricas) e campos magnéticos.
- III. A interferência eletromagnética é o efeito da sobreposição de campos eletromagnéticos que podem causar distúrbios ou interferências em equipamentos eletrônicos e sistemas de comunicação.
- IV. O eletromagnetismo é essencial para o funcionamento de motores elétricos, transformadores, dispositivos eletrônicos como telefones celulares e computadores.

Assinale a alternativa que contém somente afirmações corretas:

- a) II, III, IV.
- b) III, IV.
- c) I, III, IV.
- d) I, II, III, IV.

RESPOSTA: Letra D.

10. O que é um dielétrico?

- a) Um material que possui alta condutividade elétrica.
- b) Um material que armazena carga elétrica.
- c) Um material que não conduz eletricidade de forma significativa.
- d) Um material que é altamente magnético.

RESPOSTA: Letra C.

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

Eu, José Euripedes Paulino da Silva Júnior
_____, nacionalidade BRASILEIRO, estado civil SOLTEIRO, portador da
Cédula de identidade RG nº. 67.101.196-0, inscrito no CPF/MF sob nº
027.051.321-39, residente à Av./Rua
Ceará, nº. 4194, município de
Votuporanga, Estado de SP, **AUTORIZO** a Unifev –
Centro Universitário de Votuporanga, a disponibilizar publicamente o Trabalho de
Conclusão de Curso (TCC) de minha autoria pela Internet, bem como de preservar a obra
integralmente em seu Repositório Institucional.

Por esta ser a expressão da minha vontade, **DECLARO** o uso acima descrito sem que
nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à minha imagem ou a qualquer
outro e assino a presente autorização.

Votuporanga SP, dia 06 de Dezembro de 2024.

José Euripedes Paulino da Silva Júnior

(Assinatura)

Nome: José Euripedes Paulino da Silva Júnior
Telefone p/ contato: (17) 981119443

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO

Eu, Pablo Anastácio Soares
_____, nacionalidade Brasileiro, estado civil Casado, portador da
Cédula de identidade RG nº. MG-19.295.189, inscrito no CPF/MF sob nº
148.195.996-40, residente à _____ Av./Rua
José Moisés, nº. 1092, município de
Iturama, Estado de MG, **AUTORIZO** a Unifev –
Centro Universitário de Votuporanga, a disponibilizar publicamente o Trabalho de
Conclusão de Curso (TCC) de minha autoria pela Internet, bem como de preservar a obra
integralmente em seu Repositório Institucional.

Por esta ser a expressão da minha vontade, **DECLARO** o uso acima descrito sem que
nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à minha imagem ou a qualquer
outro e assino a presente autorização.

Votuporanga, SP, dia 06 de Dezembro de 2024.

Pablo Anastácio Soares

(Assinatura)

Nome: Pablo Anastácio Soares

Telefone p/ contato: (34) 99665-3736

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA TRATAMENTO DE DADOS

Este documento visa a registrar a manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o Titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para finalidade específica, em conformidade com a Lei nº 13.709/2018 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

Ao manifestar sua aceitação com o presente termo, o TITULAR consente e concorda que a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, doravante denominada CONTROLADORA, tome decisões referentes ao tratamento dos dados pessoais do TITULAR ou dados necessários ao usufruto de serviços ofertados por esta instituição de ensino, bem como realize o tratamento de tais dados, envolvendo operações como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração.

Dados Pessoais: A Controladora fica autorizada a realizar e a tomar decisões referentes ao tratamento dos seguintes dados pessoais do TITULAR: Nome completo; Nome empresarial; Data de nascimento; Número e imagem da Carteira de Identidade (RG); Número e imagem do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF); Número e imagem da Carteira Nacional de Habilitação (CNH); Número do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ); Estado civil; Nível de instrução ou escolaridade; Endereço completo; Números de telefone, WhatsApp e endereços de e-mail; Banco, agência e número de contas bancárias; Comunicação, verbal e escrita, mantida entre o Titular e o Controlador; Certidão de Nascimento e/ou de Casamento; Dados referentes ao local de trabalho; Comprovantes de renda; Comprovante de endereço completo; Dados de saúde.

Finalidades do Tratamento dos Dados: O tratamento dos dados pessoais listados neste termo tem as seguintes finalidades: - Possibilitar que a Controladora identifique e entre em contato com os Titulares para fins de esclarecimentos relativos aos editais. - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados na elaboração de relatórios; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados em documentos financeiros; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados para a execução de editais e auditorias; - Possibilitar que a Controladora utilize o nome completo dos Titulares nas publicações de resultados de editais, chamadas de lista de espera de editais, relações de alunos aptos a recebimento do auxílio, dentre outras publicações relacionadas à transparência da execução dos editais.

Compartilhamento de Dados: A Controladora fica autorizada a compartilhar os dados pessoais dos Titulares com outros agentes de tratamento de dados, caso seja necessário para as finalidades listadas neste termo, observados os princípios e as garantias estabelecidas pela Lei nº 13.709/2018.

Segurança dos Dados: A Controladora responsabiliza-se pela manutenção de medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou qualquer forma de tratamento inadequado ou ilícito.

Em conformidade ao art. 48 da Lei nº 13.709/2018, a Controladora comunicará aos Titulares e à Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) a ocorrência de incidente de segurança que possa acarretar risco ou dano relevante ao Titular.

Término do Tratamento dos Dados: A Controladora poderá manter e tratar os dados pessoais do Titular durante todo o período em que forem pertinentes ao alcance das finalidades listadas neste termo. Dados pessoais anonimizados, sem possibilidade de associação ao indivíduo, poderão ser mantidos por período indefinido.

O Titular poderá solicitar via e-mail ou correspondência à Controladora, a qualquer momento, que sejam eliminados os dados pessoais não anonimizados do Titular. O Titular fica ciente de que poderá ser inviável à Controladora continuar o fornecimento de serviços e programas ao Titular a partir da eliminação dos dados pessoais.

Direitos do Titular: O Titular tem direito a obter da Controladora, em relação aos dados por ela tratados, a qualquer momento e mediante requisição: I - confirmação da existência de tratamento; II - acesso aos dados; III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados; IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto na Lei nº 13.709/2018; V - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 da Lei nº 13.709/2018; VI - informação das entidades públicas e privadas com as quais a controladora realizou uso compartilhado de dados; VII - informação sobre a possibilidade de não fornecer consentimento e sobre as consequências da negativa; VIII - revogação do consentimento, nos termos do § 5º do art. 8º da Lei nº 13.709/2018.

Direito de Revogação do Consentimento: Este consentimento poderá ser revogado pelo Titular, a qualquer momento, mediante solicitação via e-mail ou correspondência à Controladora.

Votuporanga, SP 06 de Dezembro de 2024.

José Euripedes Paulino de Silva Junior

Assinatura do aluno

CPF: 027.051.321-39

RG: 67.101.196-0

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA TRATAMENTO DE DADOS

Este documento visa a registrar a manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o Titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para finalidade específica, em conformidade com a Lei nº 13.709/2018 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

Ao manifestar sua aceitação com o presente termo, o TITULAR consente e concorda que a Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, doravante denominada CONTROLADORA, tome decisões referentes ao tratamento dos dados pessoais do TITULAR ou dados necessários ao usufruto de serviços ofertados por esta instituição de ensino, bem como realize o tratamento de tais dados, envolvendo operações como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração.

Dados Pessoais: A Controladora fica autorizada a realizar e a tomar decisões referentes ao tratamento dos seguintes dados pessoais do TITULAR: Nome completo; Nome empresarial; Data de nascimento; Número e imagem da Carteira de Identidade (RG); Número e imagem do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF); Número e imagem da Carteira Nacional de Habilitação (CNH); Número do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas (CNPJ); Estado civil; Nível de instrução ou escolaridade; Endereço completo; Números de telefone, WhatsApp e endereços de e-mail; Banco, agência e número de contas bancárias; Comunicação, verbal e escrita, mantida entre o Titular e o Controlador; Certidão de Nascimento e/ou de Casamento; Dados referentes ao local de trabalho; Comprovantes de renda; Comprovante de endereço completo; Dados de saúde.

Finalidades do Tratamento dos Dados: O tratamento dos dados pessoais listados neste termo tem as seguintes finalidades: - Possibilitar que a Controladora identifique e entre em contato com os Titulares para fins de esclarecimentos relativos aos editais. - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados na elaboração de relatórios; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados em documentos financeiros; - Possibilitar que a Controladora utilize tais dados para a execução de editais e auditorias; - Possibilitar que a Controladora utilize o nome completo dos Titulares nas publicações de resultados de editais, chamadas de lista de espera de editais, relações de alunos aptos a recebimento do auxílio, dentre outras publicações relacionadas à transparência da execução dos editais.

Compartilhamento de Dados: A Controladora fica autorizada a compartilhar os dados pessoais dos Titulares com outros agentes de tratamento de dados, caso seja necessário para as finalidades listadas neste termo, observados os princípios e as garantias estabelecidas pela Lei nº 13.709/2018.

Segurança dos Dados: A Controladora responsabiliza-se pela manutenção de medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou qualquer forma de tratamento inadequado ou ilícito.

Em conformidade ao art. 48 da Lei nº 13.709/2018, a Controladora comunicará aos Titulares e à Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) a ocorrência de incidente de segurança que possa acarretar risco ou dano relevante ao Titular.

Término do Tratamento dos Dados: A Controladora poderá manter e tratar os dados pessoais do Titular durante todo o período em que forem pertinentes ao alcance das finalidades listadas neste termo. Dados pessoais anonimizados, sem possibilidade de associação ao indivíduo, poderão ser mantidos por período indefinido.

O Titular poderá solicitar via e-mail ou correspondência à Controladora, a qualquer momento, que sejam eliminados os dados pessoais não anonimizados do Titular. O Titular fica ciente de que poderá ser inviável à Controladora continuar o fornecimento de serviços e programas ao Titular a partir da eliminação dos dados pessoais.

Direitos do Titular: O Titular tem direito a obter da Controladora, em relação aos dados por ela tratados, a qualquer momento e mediante requisição: I - confirmação da existência de tratamento; II - acesso aos dados; III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados; IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto na Lei nº 13.709/2018; V - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 da Lei nº 13.709/2018; VI - informação das entidades públicas e privadas com as quais a controladora realizou uso compartilhado de dados; VII - informação sobre a possibilidade de não fornecer consentimento e sobre as consequências da negativa; VIII - revogação do consentimento, nos termos do § 5º do art. 8º da Lei nº 13.709/2018.

Direito de Revogação do Consentimento: Este consentimento poderá ser revogado pelo Titular, a qualquer momento, mediante solicitação via e-mail ou correspondência à Controladora.

Votuporanga, 06 de Dezembro de 2024.

Pablo Amantácio Soares

Assinatura do aluno

CPF: 148.195.996-40

RG: MG-19.295.189

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu, José Euripedes Paulino da Silva Júnior RA 100511, aluno(a) do curso de Engenharia Elétrica da Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, declaro, para todos os fins que se fizerem necessários, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico e referencial conferido ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), isentando a Instituição, o coordenador, o responsável pela disciplina, o orientador e a banca examinadora de todo e qualquer reflexo acerca da pesquisa apresentada.

Estou ciente de que poderei responder administrativa, civil e criminalmente em caso de plágio comprovado.

Votuporanga-SP., 06 de Dezembro de 2024.

José Euripedes Paulino da Silva Júnior
Nome completo do(a) aluno(a)

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu, Pablo Anastácio Soares, RA 103526, aluno(a) do curso de Engenharia Elétrica da Unifev – Centro Universitário de Votuporanga, declaro, para todos os fins que se fizerem necessários, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico e referencial conferido ao Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), isentando a Instituição, o coordenador, o responsável pela disciplina, o orientador e a banca examinadora de todo e qualquer reflexo acerca da pesquisa apresentada.

Estou ciente de que poderei responder administrativa, civil e criminalmente em caso de plágio comprovado.

Votuporanga-SP., 06 de Dezembro de 2024.

Pablo Anastácio Soares

Nome completo do(a) aluno(a)