

Uma mini bobina de tesla de baixo custo para a utilização em sala de aula

Marco Aurélio do Espírito Santo^{1, #}
Juscelino Campos de Carvalho
Júnior²

Jefferson Adriano Neves³
Monique Pacheco do Amaral¹

¹Instituto Federal do Rio de Janeiro,
Campus Volta Redonda, Volta
Redonda, RJ, Brasil.

²Universidade Federal Fluminense,
Campus Niterói, Niterói, RJ, Brasil.

³Universidade Federal de Lavras,
Lavras, MG, Brasil.

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de construção de um recurso experimental de baixo custo para o ensino de eletromagnetismo denominado mini bobina de Tesla. O dispositivo foi confeccionado com base em uma fonte de tensão contínua, um transistor, um resistor, dois diodos e fio esmaltado. Ele possibilita investigar em sala de aula e, de maneira segura, fenômenos eletromagnéticos, como indução eletromagnética, propagação de ondas eletromagnéticas, descargas elétricas, ação de um campo eletromagnético em um gás a baixa pressão e tecnologia de transmissão de energia.

Palavras-chave: bobina de Tesla; atividade experimental de baixo custo; eletromagnetismo

1. Introdução

Os conteúdos de eletromagnetismo presentes no Ensino Médio e no Ensino Superior são abstratos, normalmente abordados por meio de aulas que podem levar os discentes ao desinteresse e à apatia. Nesse cenário, compreende-se que a experimentação em situações em que os estudantes buscam solucionar problemas, pode contribuir para uma aula mais dinâmica e interativa. No entanto, os recursos físicos necessários, como laboratórios e instrumentos, estão muito além da realidade das escolas públicas brasileiras devido ao seu alto custo financeiro. Uma alternativa interessante é a montagem de experimentos didáticos por meio de materiais de custo reduzido ou mesmo reaproveitados de sucata.

Nesse contexto, este artigo tem por objetivo apresentar, detalhadamente, a construção de um recurso didático com custo reduzido para ensinar eletromagnetismo aos discentes. O recurso em questão é uma mini bobina de Tesla (mBT) confeccionada com base em componentes de eletrônica básica que apresentam funcionalidades semelhantes à bobina desenvolvida por Tesla, mas sem apresentar alta tensão e correntes elevadas, eliminando, dessa forma, os riscos de choque elétrico e de queimaduras que a bobina original poderia causar.

Para apresentar a confecção da mBT, este artigo está estruturado da seguinte forma: na segunda seção, é apre-

sentada a bobina de Tesla tradicional; o circuito elétrico da mBT é apresentado na terceira seção; a quarta seção detalha a montagem; a quinta seção, o funcionamento e, finalmente, na sexta seção, são tecidas as considerações finais.

2. A bobina de Tesla

Na segunda metade do século XIX, Nikola Tesla, nascido em 1856 no extinto império austríaco, onde hoje é a Croácia, emigrou para os Estados Unidos, onde se naturalizou. Tesla efetuou vários estudos na área da eletricidade, abrangendo desde os seus princípios físicos até a sua utilização comercial. Um

Os conteúdos de eletromagnetismo presentes no Ensino Médio e no Ensino Superior são abstratos, normalmente abordados por meio de aulas que podem levar os discentes ao desinteresse e à apatia. A experimentação em situações em que os estudantes buscam solucionar problemas pode contribuir para uma aula mais dinâmica e interativa

dos problemas em que Tesla contribuiu significativamente foi na geração e distribuição de energia elétrica por meio de correntes elétricas alternadas. Na época, a energia era distribuída por corrente contínua, o que causava um grande desperdício devido ao efeito Joule nos condutores utilizados [1].

Tesla realizou experimentos com correntes alternadas de alta frequência, procurando uma nova forma de gerar e de distribuir energia elétrica. Ele montou os primeiros alternadores utilizados pela companhia de George Westinghouse na geração de energia elétrica através de correntes alternadas. Seus estudos teóricos e experimentais deram origem aos modernos sistemas de potência elétrica em corrente alternada [2].

Por volta de 1890, Tesla inventou uma das suas mais conhecidas criações:

[#]Autor de correspondência. E-mail: marco.santo@ifrr.edu.br.

a bobina de Tesla (BT), que consiste em um transformador com núcleo de ar que eleva a tensão e a frequência. Com a BT, são possíveis demonstrações elétricas bastante interessantes, como o campo eletromagnético gerado por ela, que possibilita acender lâmpadas fluorescentes e de néon dispostas a vários metros de distância, dependendo somente da potência gerada pela bobina. A BT proporciona efeitos elétricos visíveis, como o efeito corona, as faíscas brilhantes e ruidosas idênticas a relâmpagos [3].

A BT é um transformador composto de dois circuitos básicos: o circuito primário e o circuito secundário. A Fig. 1 representa esquematicamente o circuito de uma BT segundo a Ref. [4].

Como mostrado na Fig. 1, o circuito primário da BT é composto por um transformador (T_p) responsável pela corrente elétrica através do capacitor (C_p) e do indutor (L_p). Na Fig. 1, o trecho A e B é o faiscador ou centelhador uma interrupção no circuito com a função de transferir energia do capacitor para a bobina primária (indutor). O faiscador é formado, na maior parte das vezes, de dois cilindros de latão presos a suportes isolantes, um deles fixo e outro móvel, de modo que a distância entre eles possa ser regulável. A variação dessa distância muda a potência de saída da bobina. No circuito secundário, há um indutor L_s , que é formado por milhares de espiras de fio de cobre.

Quando o circuito é acionado, o transformador T_p rompe a rigidez dielétrica do ar, provocando uma centelha entre os pontos A e B. Com a centelha, o ar é ionizado e conduz corrente elétrica, fechando o circuito primário. A carga acumulada no capacitor flui para o indutor L_p , percorrido por um pulso de corrente e gerando um campo eletromagnético ao redor do indutor L_s . Esse indutor absorve a energia do campo e amplifica a voltagem, produzindo altas

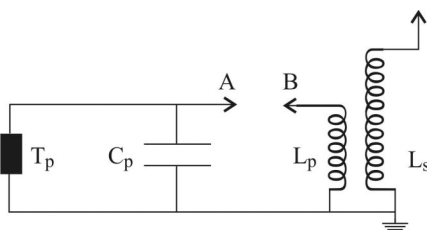


Figura 1 - Circuito de uma bobina de Tesla: transformador primário (T_p), capacitor primário (C_p), indutor primário (L_p) e indutor secundário (L_s). Fonte: Ref. [4].

voltagens que podem alcançar centenas de milhares de volts nos extremos do indutor secundário [4].

A operação de uma BT em sala de aula apresenta uma série de riscos inerentes à constituição do equipamento e aos efeitos físicos que gera. Esse equipamento expõe professores e alunos a altas correntes e tensões, a capacitores carregados, à fiação exposta, a fortes campos elétricos e magnéticos, a correntes induzidas, ao perigo de incêndio, a perigos químicos e de explosão, à emissão de ozônio, à luz ultravioleta e ao ruído alto [3].

Uma alternativa interessante à BT é a denominada mini bobina de Tesla (mBT), proposta em artigos como os de Lukovic [5] e Manchanda [6]. Uma mBT é um transformador de núcleo de ar que aumenta uma tensão de corrente contínua (CC) muito baixa para uma tensão CA alta. Isso cria um campo eletromagnético no espaço ao redor da bobina muito semelhante ao da BT tradicional. No entanto, a mBT funciona com correntes elétricas baixas, o que lhe permite ser operado de forma segura em sala de aula.

3. O circuito elétrico da mini bobina de Tesla

O projeto da mBT aqui apresentado foi elaborado tendo como base os trabalhos de Lukovic [5], de Manchanda [6]. Esse artefato também é apresentado em muitos sites de divulgação científica, por exemplo, no canal do Youtube Manual do Mundo¹, em que é demons-

trada a montagem da mBT. Contudo, ela é mostrada sem uma fundamentação ou um nível de detalhamento que auxilie o professor na aquisição de componentes para construí-la, na montagem do recurso didático ou em sua operação.

A mBT é um oscilador de alta frequência alimentado por uma fonte de corrente contínua que tem em sua estrutura um transistor para alternar a tensão contínua nos indutores, de modo a reproduzir parte dos efeitos de uma BT. A Fig. 2 mostra esquematicamente o circuito da mBT proposta neste trabalho.

Para este projeto, foram utilizadas uma fonte de tensão contínua de 9 V e uma corrente máxima de 1 A. O custo da fonte foi de R\$ 20,00, podendo ser utilizada também uma bateria comum de 9 V, o que reduz bastante o custo, ficando a critério do professor e sua disponibilidade financeira para a confecção do recurso didático.

O transistor utilizado para o circuito montado é do tipo NPN, que são semicondutores eletrônicos capazes de controlar e comutar corrente elétrica em um circuito. A Fig. 3 apresenta o esquema elétrico de um transistor tipo NPN e o dispositivo real utilizado, cuja referência é TIP31C e que custou R\$ 2,00.

O transistor utilizado possui três terminais para conexão, chamados de base (B), coletor (C) e emissor (E). Esse dispositivo atua no circuito como um “nó” elétrico; a corrente entra pelo coletor e pela base e sai pelo emissor. A cor-

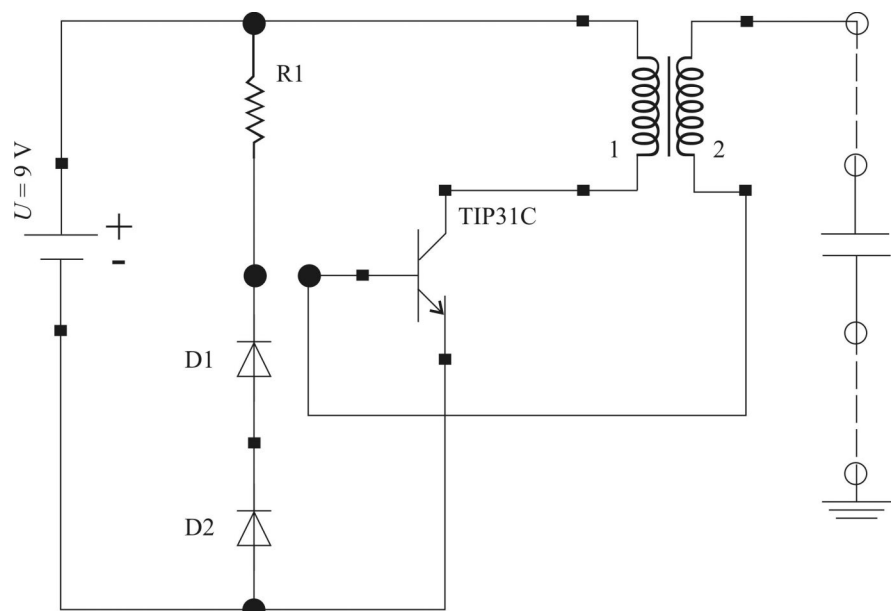


Figura 2 - Circuito elétrico da mini bobina de Tesla.

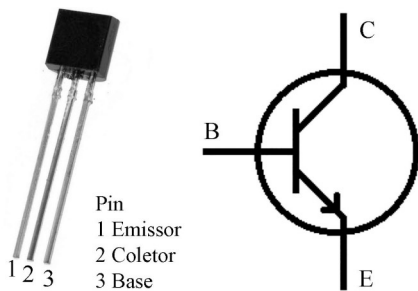


Figura 3 - Esquema de um transistor NPN e o dispositivo real. Fonte: Ref. [7].

rente de base é a responsável por controlar o fluxo de corrente elétrica entre o coletor e o emissor do transistor.

No circuito da Fig. 2, estão presentes também dois diodos semicondutores. O diodo semicondutor é um dispositivo eletrônico feito de silício ou germânio, cuja função é retificar a corrente elétrica ou chavear um circuito. No circuito da mTB, foram utilizados dois diodos N4007 ao custo de R\$ 0,40 cada. A Fig. 4 mostra a representação esquemática de um diodo e o dispositivo real utilizado no circuito.

Há no circuito da mTB um resistor R de 100 kΩ, que tem como finalidade reduzir a tensão em um trecho do circuito, transformando energia elétrica em energia térmica através do efeito Joule que por sua vez, é provocada pela resistência de materiais que constituem sua estrutura interna. O custo desse resistor foi de R\$ 0,15.

O indutor primário da bobina foi construído com poucas voltas quando comparado ao circuito secundário, o que torna este projeto muito semelhante ao da bobina de Tesla original. O fio utilizado foi um AWG 17 esmaltado retirado de sucata eletrônica. Com o auxílio de palitos de picolé e de cola quente, esse indutor foi montado formando um círculo com cerca de 5,45 cm de diâmetro e com espaçamento de aproximadamente 0,5 cm de cada enrolamento, totalizando seis voltas. A Fig. 5 apresenta o indutor construído.

O indutor secundário foi construído com um cano de PVC de uma polegada, onde o fio esmaltado foi enrolado de modo que em cada enrolamento a dis-

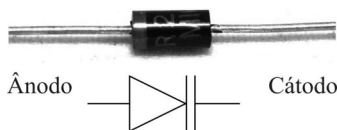


Figura 4 - Diodo semicondutor N4007 e sua representação no diagrama de circuitos. Fonte: Ref. [7].

tância entre as espiras fosse a menor possível para obter, dessa forma, um indutor de alta eficiência. Os materiais utilizados para fixação foram cola quente e fita crepe.

A confecção do indutor primário seguiu o modelo de Silva [2]. Neste trabalho, o indutor secundário tem 12,5 cm de altura. A quantidade de fio e de espiras para esse indutor foi determinado a partir do diâmetro do fio utilizado e da Eq. (1)

$$k = \frac{1}{D}, \quad (1)$$

onde k representa o número de voltas por centímetro e D representa o diâmetro do fio. Nesse caso, utilizou-se o fio esmaltado AWG 31, onde $D = 0,02268$ cm. Substituindo esse valor na Eq. (1), chega-se a $k = 44,09$ voltas/centímetro. O número de voltas para construir o indutor secundário é dado pela Eq. (2)

$$N_s = kH = 551 \text{ voltas.} \quad (2)$$

Nesta expressão, H é o tamanho do cano utilizado ou a altura do indutor secundário.

O diâmetro das espiras formadas ao enrolar o tubo de PVC é dado por

$$d = (2.D + 2,5) \text{ cm} = 2,5 \text{ cm,} \quad (3)$$

onde $D = 0,02266$ cm (referente ao fio utilizado, AWG 31) e o diâmetro do tubo de PVC é de 2,5 cm.

A partir do valor de k , H e d , pode-se também estimar a quantidade de fio necessária para o enrolamento do indutor secundário em metros utilizando a

expressão:

$$l_s = \frac{\pi dkH}{100}. \quad (4)$$

onde l_s = comprimento do fio em metros, d = diâmetro externo da bobina, H = altura do indutor e k = número de voltas por centímetro. O valor 100 é uma constante adimensional que surge na conversão de centímetro para metro.

Substituindo os valores dos parâmetros d , k e H na Eq. (4), chega-se ao valor de 43,3 m de fio necessário para o indutor secundário.

Após enrolar o fio no tubo de PVC em uma das extremidades, foi soldado um fio comum e, na outra, foi colocado uma bola de isopor envolvida com papel alumínio em contato com a extremidade do fio do indutor. Essa esfera servirá como um capacitor esférico com a finalidade de acumular cargas no topo do indutor secundário. Como no trabalho de Silva [2], utilizou-se aqui uma esfera de isopor de 3,5 cm de diâmetro. Esse capacitor tem função semelhante ao capacitor na forma de toroide presente no topo do indutor secundário da BT. A Fig. 6 mostra o indutor secundário após a montagem.

4. Montagem da mini bobina

Após a montagem dos indutores, o passo final são a soldagem dos componentes eletrônicos e a fixação do circuito. Para esta etapa, além dos componentes descritos nas seções anteriores, foram utilizados: solda, alicate de corte e uma pistola de cola quente.

Iniciou-se a soldagem dos dois diodos e do resistor em série. Deve-se ter cuidado na ligação do resistor no termi-

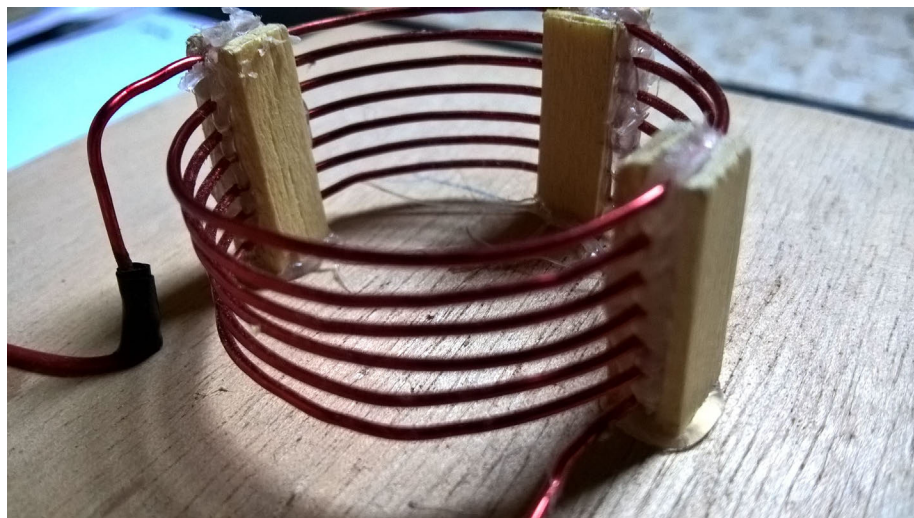


Figura 5 - Indutor primário da mini bobina de Tesla.



Figura 6 - Indutor secundário com capacitor esférico de alumínio.

nal do diodo: o resistor tem que ser soldado no terminal positivo do diodo.

O passo seguinte foi soldar e identificar os terminais do transistor. Este processo é importante pois implica no funcionamento correto do circuito. Pa-

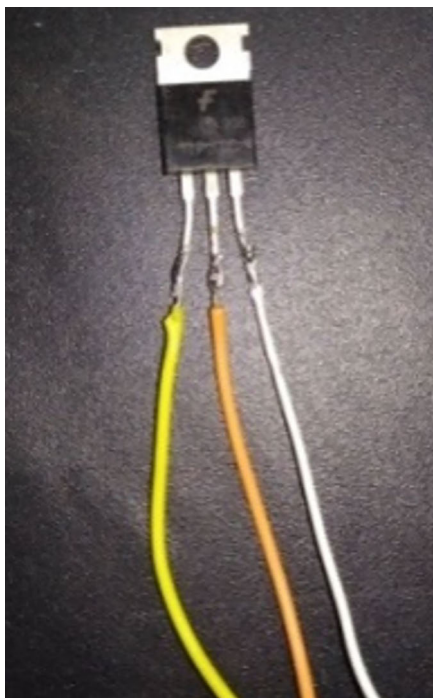


Figura 7 - Soldagem de fios nos terminais do transistor.

ra facilitar a identificação dos terminais, foram utilizados fios de cores distintas da seguinte forma:

Na Fig. 7, da esquerda para a direita, a base (fio amarelo), o coletor (fio laranja) e o emissor (fio branco).

Na sequência, os fios foram soldados nos indutores. Fios coloridos foram utilizados novamente para facilitar a identificação: a cor verde indica o indutor secundário e as cores vermelha e laranja indicam o indutor primário. A Fig. 8 apresenta os indutores com os fios soldados.

Para soldar as partes do circuito aos indutores, teve-se como base o diagrama de circuito da Fig. 2. Nele, o circuito formado pelo resistor e pelos diodos está em paralelo com o indutor primário, e a bobina secundária está em série com o resistor e paralela aos diodos. Com base nessas considerações, os terminais dos indutores foram soldados. Para fixar o circuito, utilizou-se uma placa de madeira de dimensões 20 cm × 15 cm. Também pode-se optar pela montagem sobre uma placa de ensaio, o que facilita bastante o processo e dispensa o procedimento de soldagem. A Fig. 9 apresenta a mBT montada e os fios do circuito soldados.

Comparado ao projeto original da Bobina de Tesla, não há um capacitor no circuito do artefato montado. Isso se deve às características físicas do indutor secundário formado por inúmeras voltas, uma vez que há uma capacitância distribuída por conta da proximidade da disposição dos enrolamentos do indutor, resultando em um circuito do tipo indutivo capacitivo. Essa capacitância é um elemento importante para que o circuito ressoe como a bobina tradicional de Tesla. Sem ela, o circuito

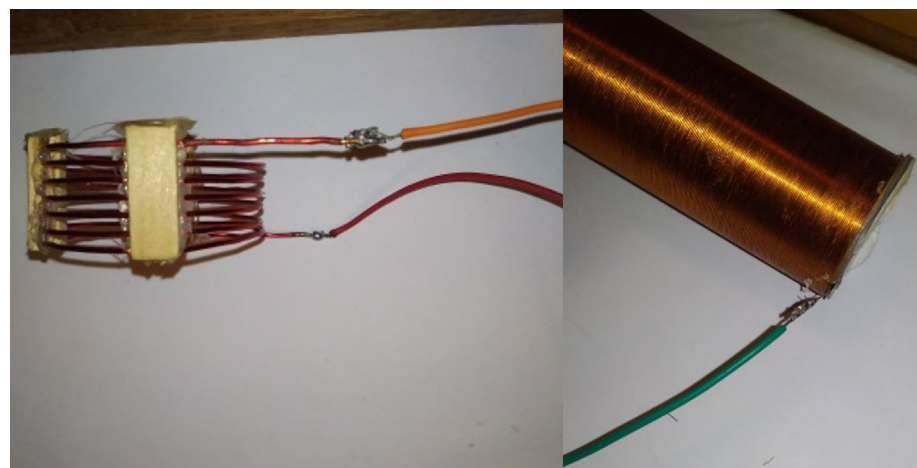


Figura 8 - Indutores primário e secundário com os fios soldados para a conexão no circuito.



Figura 9 - Base da mini bobina com o circuito resultante.

não funcionaria.

5. O funcionamento da mini bobina de Tesla

O funcionamento da mBT pode ser explicado através da lei de indução de Lenz-Faraday. Ela mostra que uma variação de fluxo magnético ($\Delta\phi$) no tempo (Δt) induz uma força contra eletromotriz definida por

$$\varepsilon = \frac{-\Delta\phi}{\Delta t}. \quad (5)$$

Essa indução no indutor primário é proveniente da variação do fluxo magnético, pois o fato de o circuito ligar e desligar (repentina e continuamente) pela ação do transistor provoca uma

mudança no campo magnético desse indutor. Finalmente, o campo magnético variável do indutor primário induz um fluxo magnético variável no indutor secundário, resultando em um campo magnético variável de alta frequência.

Uma forma interessante de mostrar o campo eletromagnético gerado pela mBT em sala de aula é utilizar a ação desse campo sobre um gás a baixa pressão. Aproximando uma lâmpada fluorescente (que pode estar queimada) do indutor secundário, observa-se que ela se ilumina [5]. Quanto maior a proximidade do secundário, maior é a intensidade da luminosidade do gás. A luminescência da lâmpada é produzida pela ionização do gás em seu interior provocada pelo campo eletromagnético de alta frequência emitido pelo secundário. Afastando a lâmpada da bobina, observa-se a diminuição da luminosidade, indicando uma relação direta entre a iluminação da lâmpada (é preciso ter cuidado, pois a lâmpada não entra em funcionamento de fato) e a mBT. A Fig. 10 apresenta esse efeito com o recurso didático desenvolvido.

Outro experimento que pode ser utilizado para mostrar a emissão de ondas eletromagnéticas é a interferência no sinal de rádio causada pelo campo eletromagnético da mBT. Com um rádio sintonizado na faixa do MHz e aproximando-o do secundário, será ouvido um chiado forte que aumenta ou diminui conforme a distância entre o rádio e a bobina.

O equipamento apresenta um risco baixo de choques elétricos e de queimaduras. Com um multímetro na função amperímetro, mediu-se a corrente no circuito primário, obtendo 25,0 mA. Pa-



Figura 10 - Lâmpada fluorescente na presença da mini bobina de Tesla.

ra a medida da tensão de pico no primário, foi utilizado um osciloscópio e o valor de pico medido foi de 50 V. Mesmo com estes dados, alguns cuidados devem ser observados para uma operação segura do equipamento:

- Manusear o equipamento em lugares limpos e secos.
- Utilizar equipamentos de segurança para isolamento elétrico (incluir calçados com solados de borracha, tênis ou botas de couro).

- Não manuseá-lo próximo a equipamentos eletrônicos, pois o campo eletromagnético gerado pelo secundário pode danificá-los.
- Não usar tensão alternada para alimentar este circuito, uma vez que ele não foi projetado para essa finalidade.
- Não usar tensões DC muito elevadas; neste trabalho, utilizou-se uma tensão de 9 V.

6. Considerações Finais

O recurso didático desenvolvido neste artigo tem funcionalidades semelhantes às da bobina de Tesla, mas apresentando um custo financeiro menor. Estima-se que o valor total para desenvolver o equipamento foi de R\$ 50,00. A mBT se mostra adequada para demonstrações em sala de aula, pois os riscos de choque elétrico e de queimaduras são baixos. A corrente que circula no primário foi de apenas 25,0 mA e a tensão de pico 50 V, valores muito menores quando comparados aos da BT tradicional.

Como instrumento didático, a mBT permite a abordagem de tópicos fundamentais do eletromagnetismo: lei de indução de Faraday, transformadores, ondas eletromagnéticas, transmissão de energia sem fio, entre outros. Acredita-se que o instrumento didático desenvolvido, aliado às estratégias de ensino, como o ensino por investigação, pode contribuir de maneira efetiva para o processo de ensino-aprendizagem do eletromagnetismo.

Recebido em: 9 de Junho de 2021

Aceito em: 14 de Setembro de 2021

Referências

- [1] L.B. Badur, G. Barreto, L.T. Manera, R.R.F. Attux, in: *Anais do XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, Natal, 2016, p. 1. Disponível em <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/3/anais/anais.html>, acessado em 10 de maio de 2021.
- [2] D.S.S. Silva, *A Versatilidade da Bobina de Tesla na Prática Docente do Ensino de Eletromagnetismo*. Trabalho de Conclusão de Curso, UECE, 2012.
- [3] C.E. Laburú, S.M. Arruda, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **21**, 217 (2004)
- [4] A.J. Chiquito, F. Lanciotti Jr., *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 69 (2000).
- [5] M. Lukovic, S. Antić, V. Lukovic, in: *6th International Conference, Faculty of Technical Sciences*, Cacak, Sérvia, 2016, p.57. Disponível em http://www.ftn.kg.ac.rs/konferencije/tio2016/en_zbornik.html. Acessado em 03 de abril de 2021.
- [6] P. Manchanda, *International Journal For Research in Applied Science & Engineering Technology* **4**, 579 (2016).
- [7] J.C. Carvalho Jr., *A Construção de um Oscilador de Alta Frequência e uma Proposta de Ensino por Investigação: Uma Possibilidade para o Ensino de Eletromagnetismo*. Trabalho de Conclusão de Curso, IFRJ, 2018.

Nota

¹*Manual do Mundo - Faça uma mini bobina de Tesla caseira. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=w2bZGKNwB4Y>, acesso em 10/1/2021.*