

O TREM SUPERCONDUTOR COM ENFOQUE CTS

THE SUPERCONDUCTOR TRAIN WITH CTS APPROACH

Anderson da Silva Cunha¹, Deise Miranda Vianna², Marcos Binderly Gaspar³

¹Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro/cunha_ufrj@yahoo.com.br

²Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro/deisemv@if.ufrj.br

³Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro/mgaspar@if.ufrj.br

RESUMO

Este trabalho aborda o estudo do trem que se locomove com tecnologia supercondutora, levando à compreensão de seu funcionamento, juntamente com as consequências que esta tecnologia proporciona à sociedade e ao meio ambiente. A supercondutividade é um conhecimento de difícil acesso para o aluno do ensino médio, pois para obter o entendimento quantitativo deste fenômeno é necessário o estudo da Mecânica Quântica. Contudo, o fenômeno supercondutivo chamado de Efeito Meissner, foi estudado qualitativamente a partir das seguintes leis do eletromagnetismo: Faraday, Lenz e Ampère. Foi elaborado um conjunto de Atividades Investigativas com enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), para entender as leis citadas. Foram criados materiais didáticos: textos, vídeos, experimentos de baixo custo, assim como realizados debates em grupos. Foi aplicado em uma turma da Nova Educação de Jovens e Adultos pertencente ao Módulo 4. Os estudantes se empenharam nas práticas investigativas e conseguiram explicar a causa da levitação do trem supercondutor.

Palavras-chave: Ensino de Física, CTS, Efeito Meissner, Atividades Investigativas.

ABSTRACT

This work deals with the study of the train that moves with superconducting technology, leading to the understanding of its operation, along with the consequences that this technology provides to society and the environment. Superconductivity is a knowledge difficult to access for the high school student, because to obtain the quantitative understanding of this phenomenon requires the study of Quantum Mechanics. However, the superconductive phenomenon called the Meissner Effect was studied qualitatively from the following laws of electromagnetism: Faraday, Lenz, and Ampère. A set of Investigative Activities with a CTS (Science-Technology-Society) approach was developed to understand the laws cited. Didactic materials were created: texts, videos, experiments of low cost, as well as realized group discussions. It was applied to a New and Young Adult Education class in Module 4. The students engaged in investigative practices and were able to explain the cause of levitation of the superconducting train.

Key words: Physics education, CTS, Meissner Effect, Investigative Activities.

INTRODUÇÃO

Sabe-se das dificuldades que o Ensino de Física enfrenta para inserir a Física Moderna no ensino regular. Mesmo com toda tecnologia ao alcance do estudante, entender o funcionamento de certos avanços tecnológicos e conseguir refletir sobre o seu papel na dinâmica do contexto social e ambiental é ainda uma barreira difícil a ser atravessada em sala de aula.

Como estratégia para ultrapassar tal dificuldade, faz-se necessário um ensino que não seja focado em exercícios matematizados e repetitivos (tradicionalmente utilizados), mas que leve o aluno a entender (de maneira qualitativa e/ou quantitativa) os fenômenos físicos presentes nas tecnologias e refletir sobre os seus impactos na sociedade e no meio ambiente. Para isso, o aluno deve deixar de ser um mero espectador do ensino e o professor, a fonte de transmissão do conhecimento.

Este trabalho é dedicado ao estudo do Trem Supercondutor, focando somente na causa de sua levitação (CUNHA, 2018) e nas mudanças que ele pode acarretar no modo de viver das pessoas e na natureza (poluição sonora, por exemplo). Como estratégia metodológica de ensino utilizada, foi elaborada uma sequência de Atividades Investigativas com enfoque CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade).

A causa da levitação do Trem Supercondutor se dá por um fenômeno físico conhecido por Efeito Meissner. Para alcançar o seu entendimento completo, faz-se necessária a utilização da Mecânica Quântica, contudo, é possível levar esse conhecimento ao estudante do ensino médio sem adentrar nesta área tão complexa. Em suma, quando um material que consegue fazer a transição para o estado supercondutor¹ é imerso em um campo magnético externo (e fazendo sua temperatura reduzir até um determinado valor), surgem correntes superficiais (Lei de Faraday) que induz um campo magnético (Lei de Ampère) no sentido oposto à variação do fluxo magnético externo (Lei de Lenz), causando assim, a expulsão do campo magnético externo do seu interior (Efeito Meissner) (OSTERMANN, 2005). Essa corrente elétrica superficial não é formada por elétrons comuns, mas por pares de elétrons que possuem spin e momentos opostos, chamados de Pares de Cooper. Logo, se um dos objetivos deste trabalho é

¹ Nem todo material consegue fazer a transição para a fase supercondutora.

ensinar qualitativamente a causa da levitação do Trem Supercondutor, é indispensável o entendimento das seguintes Leis do Eletromagnetismo: Lei de Ampère, Lei de Faraday e Lei de Lenz.

Então para que o estudante possa entender toda essa dinâmica, o desenvolvimento desse trabalho foi dividido em três etapas: a **1ª Etapa** é dedicada à contextualização e problematização do Trem Supercondutor no meio social e ambiental através de três textos e por um debate simulado; a **2ª Etapa** é o momento em que os estudantes possuem o primeiro contato visual com a tecnologia através de um vídeo retirado da internet e, além disso, ganham a oportunidade de especular o que eles acreditam ser necessário para entender a causa de sua levitação; e na **3ª Etapa** eles começam a trabalhar os conceitos físicos envolvidos na levitação que termina com o entendimento qualitativo do Efeito Meissner.

A atividade foi aplicada no segundo semestre de 2017 para uma turma da última série da Nova Educação de Jovens e Adultos (NEJA 4) que era constituída 18 alunos frequentes. As respostas aqui apresentadas foram gravadas e transcritas por nós. Ressaltamos que os alunos assinaram um termo autorizando de gravação e utilização de voz e imagem.

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E ALGUNS RESULTADOS OBTIDOS

1ª Etapa – Contextualização e problematização do Trem Supercondutor

É nesta etapa que os alunos discutem sobre as características mais relevantes do MAGLEV (Magnetic Levitation Train), ressaltando os seus pontos positivos e negativos e comparando com outros meios de transportes. Para tanto, a turma é dividida em grupo, no máximo, quatro alunos e são entregues três textos com perguntas abertas ao final de cada um. Os textos podem ser encontrados em (CUNHA, 2018) e nos links a seguir: Texto 1: *Poluição veicular: um problema global e local*²; Texto 2: *Uma opção de transporte*³; Texto 3: *Uma decisão estratégica*⁴.

2 <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>

3 <http://200.20.53.3:8081/Portal/Noticias/INEA0127231&lang=#ad-image-0>

4 <http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/veiculo.html>

Após a leitura dos textos e das respostas às perguntas abertas, o professor convida a turma a começar um debate simulado, dividindo a classe em três grandes grupos: o primeiro grupo deve ser responsável pela defesa da ampliação do MAGLEV na sociedade, o segundo deve ser contra sua ampliação e o terceiro grupo possui o papel de mediador da discussão, ressaltando as argumentações apresentadas por cada grupo e questionando-as com outras questões. No fim do debate simulado, os alunos são convidados a responderem a uma questão aberta: “**Você concorda com a utilização do trem MAGLEV na nossa sociedade? Justifique sua resposta**”. A seguir são apresentadas duas respostas⁵ dadas no dia da aplicação:

“Sim, pela diminuição dos gases poluentes, o custo, e a implantação da tecnologia em nosso país. Essa avançaria em muito em um futuro próximo. Pois hoje não temos evolução suficiente, no entanto, o trabalho começa agora.” (Mariana).

“Ainda não. Nossa sociedade ainda tem que ser muito conscientizada para essa evolução na área de transporte, no futuro sim.” (Tiago).

Destacamos os textos acima por terem proporcionado a discussão em sala de aula.

2ª Etapa – A Tecnologia do Trem Supercondutor

Até o momento desta etapa, os alunos não tinham feito o contato visual com a tecnologia debatida anteriormente. Um dos objetivos desta etapa se dá com um vídeo que pode ser acessado pelo endereço: *UFRJ desenvolve trem de levitação magnética*⁶. O vídeo apresenta o Trem Supercondutor e deixa abertura para que os alunos especulem o que eles acreditam ser preciso saber para entender a causa de sua levitação. Na Figura 1, está uma das especulações feitas pelos alunos:

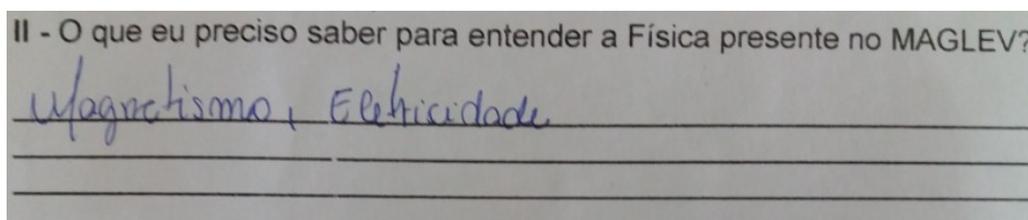


Figura 1: Apresentação da resposta feita pelo aluno.

⁵ Os nomes dos alunos de cada citação são inventados com o intuito de conservar a integridade do estudante.

⁶ <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2016/03/ufrij-desenvolve-trem-de-levitacao-magnetica.html>.

3ª Etapa – A Física envolvida no Trem Supercondutor

Como já mencionado antes, para que o estudante possa alcançar o conhecimento qualitativo da causa da levitação do Trem Supercondutor será necessária a compreensão da Lei de Ampère, Lei de Faraday e da Lei de Lenz. Então essa etapa é dividida em três momentos: o 1º *Momento* é dedicado à Lei de Ampère; o 2º *Momento* trata sobre a Lei de Faraday e a Lei de Lenz; e o 3º *Momento* a compreensão do Efeito Meissner.

1º Momento: Lei de Ampère

A atividade sobre a Lei de Ampère possui enfoque investigativo⁷. No início o professor propôs um problema aos alunos que deveriam solucioná-lo utilizando do equipamento experimental deixado a disposição. Os componentes do experimento e a sua montagem estão expostos na Tabela 1 e na Figura 2. Observe que o fio de cobre começa passando pela parte superior do aparato, transpassa pelo centro da folha de papel (perpendicular) e atravessa a parte inferior do aparato de madeira, mantendo suas duas extremidades livres na parte de trás do aparato.

Tabela 1: Lista de materiais para a atividade da Lei de Ampère⁸

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Pilha tipo D - 1,5 V	1	2,00
Fio de cobre esmaltado – Diâmetro de 0,32 mm	50 cm	15,80/100 g
Folha de papel A4	1	0,10
Aparato de madeira	1	---
Bússola – Diâmetro de 15 mm	1	7,00

O problema proposto pelo professor é: “**De que forma é possível criar campo magnético?**”. Em seguida, o professor convida os alunos a aproximar a bússola⁹ do fio de cobre colocando-a sobre a folha de papel e, em seguida, ligando os terminais do fio a uma pilha tipo D de 1,5 V. Com isso, a agulha da bússola irá se deslocar e então começa

7 No dia de aplicação da atividade, o autor encontrou problemas de segurança ao redor da instituição que prejudicou seriamente o processo investigativo, sendo forçado a improvisar outra estratégia pedagógica.

8 Todos os preços dos componentes experimentais usados neste trabalho foram pesquisados em janeiro de 2018.

9 Os alunos precisam conhecer o funcionamento de uma bússola, o conceito de campo magnético e de corrente elétrica.

a atividade de investigação com o intuito de responder a pergunta inicial. Muitos alunos mapearam a direção da agulha da bússola em diferentes posições na folha de papel. Após muita discussão entre os alunos e com o professor, um aluno chegou à seguinte conclusão¹⁰ sobre a causa do movimento da agulha da bússola:



Figura 2: Aparato de madeira com o fio de cobre passando pela folha de papel.

Então esse movimento a energia dos elétrons organizados forma uma energia magnética, alguma coisa ligada a isso?... Quando a gente conecta a pilha nos fios, os elétrons se organizam e essa organização deles, lembra que vimos no desenho que eles geram uma energia? E isso gera algum campo magnético ou alguma coisa do tipo. (Mariana)

Note que a resposta do aluno é a Lei de Ampère. No fim da atividade, o professor escreveu na lousa a Lei de Ampère de maneira formal.

2º Momento: Lei de Faraday e Lei de Lenz

A atividade da Lei de Faraday-Lenz também possui viés investigativo e de baixo custo. Na Tabela 2 estão os materiais usados e na Figura 3 o aparato experimental:

Tabela 2: Lista de materiais para a atividade da Lei de Faraday-Lenz.

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Ímã de neodímio (2R = 13 mm; h = 5 mm)	2	6,00
Suporte de madeira (20 x 5 x 5 cm ³)	1	---
Fio de cobre esmaltado – Diâmetro de 0,32 mm	1,5 m	15,80/100g
Arame galvanizado – Diâmetro de 1,65 mm	50 cm	1,00/metro
Régua de plástico de 15 cm	1	1,00

¹⁰ Transcrição da fala do aluno.

Lixa de unha de 10 cm	1	0,20
-----------------------	---	------

Como antes, o professor propõe um problema à turma para que eles solucionem utilizando o que eles observam no aparato experimental à disposição. O problema proposto é: “É possível ter corrente elétrica em um fio condutor sem usar uma fonte de tensão convencional? Como?”.

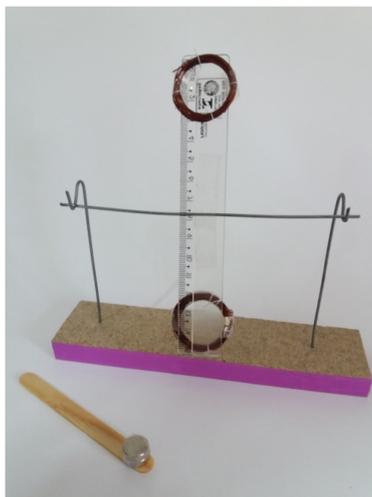


Figura 3: Aparato experimental composto por uma régua que tem em suas extremidades bobinas de cobre presas por fita colante. A régua está presa no arame galvanizado pela mesma fita colante e o sistema (régua com as bobinas) pode girar 360° em torno do seu eixo horizontal. Além disso, os ímãs estão presos na lixa pela mesma fita colante.

Antes de lançar o problema principal aos alunos, o professor aproximou os ímãs de neodímio do centro de uma das bobinas que, conseqüentemente, sai do seu ponto de equilíbrio. Então, após os alunos terem observado o efeito, o professor iniciou a atividade com o problema principal. Essa atividade leva um tempo considerável, pois é provável (e assim ocorreu) que os alunos tentem entender o motivo do sistema se movimentar para depois tentar responder ao problema inicial. Na Figura 4 está uma das respostas dadas por um dos alunos juntamente com a sua transcrição para melhor visualização:

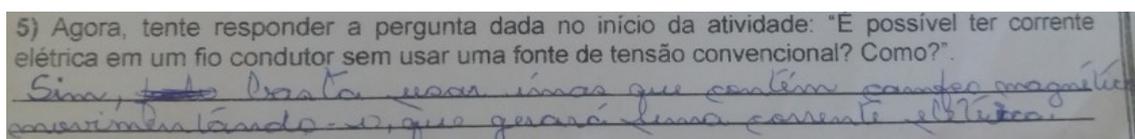


Figura 4: Resposta ao problema inicial dada por um aluno.

Sim, pelo [sic] basta usar ímãs [sic] que contém campo magnético movimentando-o, que gerará uma corrente elétrica. (Rodrigo)

A resposta dada corresponde à formulação da Lei de Faraday. No fim da atividade, o professor explica a causa do movimento do sistema quando o ímã é aproximado do centro de uma das bobinas e enuncia as Leis de Faraday e de Lenz¹¹.

3º momento: Efeito Meissner

A atividade do Efeito Meissner não é uma atividade de baixo custo (como observado na Tabela 3). Então, para que a atividade possa ser acessível para qualquer professor, confeccionamos um vídeo (*Investigando o Supercondutor*) de livre acesso¹². Ressalto que o vídeo só será efetivo se as atividades anteriores forem devidamente trabalhadas em sala de aula.

Tabela 3: Lista de materiais para a atividade do Efeito Meissner.

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Ímã de neodímio (2R = 13 mm; h = 5 mm)	1	6,00
Pedaço de madeira (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Pedaço de isopor (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Pedaço de ferro (2R = 1 mm; h = 8 mm)	1	---
Pedaço de plástico (4 x 2 x 2 cm ³)	1	---
Supercondutor cerâmico (disco de 20g)	1	900,00
Nitrogênio líquido	1 litro	10,00/litro
Garrafa térmica de 600 mL	1	10,00
Pinça de plástico	1	5,00
Placa de petri	1	4,00
Caixa de isopor (5 x 3 x 5 cm ³)	1	5,00

O vídeo é dividido em três partes. Na primeira parte, os materiais que são utilizados no vídeo são apresentados e, em seguida, esses materiais são aproximado das vizinhanças do supercondutor para investigar se ele interage com algum deles. Já na segunda parte do vídeo, o supercondutor é posto sobre uma placa de petri e resfriado com nitrogênio líquido, feito isso, volta-se a investigar se ocorre interação com os outros materiais (haverá repulsão entre o supercondutor e o ímã). Essa etapa é

11 Contudo, no dia em que ocorreu a aplicação da atividade, a Lei de Lenz não foi alcançada pelos alunos.

12 <https://www.youtube.com/watch?v=GDL9xM8cEgs&feature=youtu.be>.

importante, pois ressaltou a dependência do fenômeno com a temperatura. Na terceira e última parte, o supercondutor foi resfriado na presença dos materiais. Isso é feito para destacar que, para ocorrer levitação supercondutora, não basta baixar a temperatura do supercondutor com o nitrogênio, mas é preciso também que ele esteja imerso em um campo magnético externo.

No dia de aplicação da atividade, o professor pausou o vídeo em diversos momentos para investigar o que eles creditavam que iria ocorrer em seguida. Como nas etapas anteriores, os alunos possuíam um material complementar que continha uma série de perguntas que os levavam a refletir sobre o que estava sendo observado. Por fim, os alunos foram convidados a tentar explicar a causa da levitação do ímã sobre o supercondutor, utilizando as leis aprendidas anteriormente. Nas Figuras 5 e 6, estão duas respostas (juntamente com as suas transcrições para melhor visualização do leitor) dadas pelo mesmo aluno na tentativa de explicar o fenômeno:

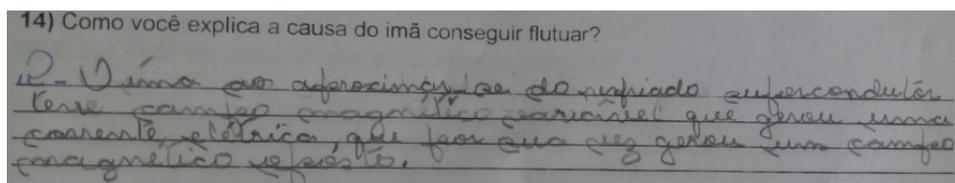


Figura 5: Resposta dada pelo aluno para a causa da levitação do ímã sobre o supercondutor.

O ímã [sic] ao aproximar-se do resfriado supercondutor teve campo magnético variável que gerou uma corrente elétrica, que por sua vez gerou um campo magnético oposto. (Rodrigo)

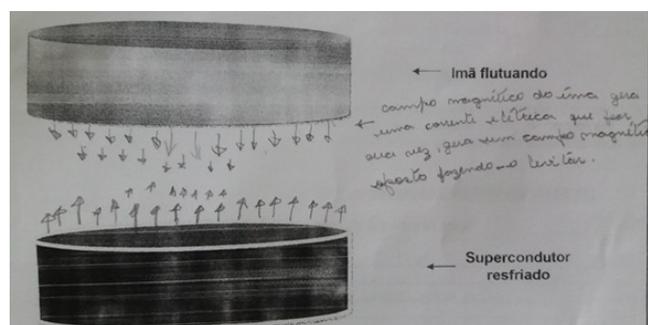


Figura 6: Desenho da causa da levitação do ímã sobre o supercondutor.

Campo magnético do ímã [sic] gera uma corrente elétrica que por sua vez, gera um campo magnético oposto fazendo-o levitar. (Rodrigo)

Na Figura 5, o aluno apresenta a Lei de Faraday quando escreve “... teve campo magnético variável que gerou uma corrente elétrica ...”, em seguida utilizou a Lei de Ampère quando menciona “... que por sua vez gerou um campo magnético ...” e finaliza com a Lei de Lenz “... oposto”. Na Figura 6, o aluno demonstra no desenho os campos magnéticos provenientes de cada material para ressaltar que a levitação se dá pela interação desses campos. No fim da atividade, o professor mencionou com mais detalhes o que estava ocorrendo no supercondutor, ressaltando que o campo magnético do ímã não conseguiu penetrar no material e que a corrente elétrica formada em sua superfície é constituída de pares de elétrons de momentos e spins opostos e, por fim, anunciou que esse fenômeno é chamado de Efeito Meissner.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho visa inserir um tópico da Física Moderna no ensino médio através de uma sequência de Atividades Investigativas com enfoque CTS. Neste sentido, o aluno adquiriu uma nova postura, tirando-o do posto de espectador do ensino e o fazendo participar do processo de construção do conhecimento. Entendemos que com as atividades propostas os alunos conseguiram atingir a compreensão das Leis do Eletromagnetismo (com exceção da Lei de Lenz) e souberam aplicá-las com o intuito de entender a causa da levitação do Trem Supercondutor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUNHA, A.S. Levitando com a Física. 2018. 170f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OSTERMANN, F.; PUREUR, P. **Supercondutividade. Temas atuais de Física**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.