



O martelo de Thor magnético: Associação de um experimento de física do Caminhão com Ciência com super heróis usando *project based learning*

• • • • •

Adriano Marcus Stuchi*

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

Wésley Lima da Paz

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

Leonardo dos Santos Vaz

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

Fabio Rocha Gomes Jardim

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

George Kouzo Shinomiya

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

Fábio Alexandre Martins Monteiro

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

RESUMO

O artigo descreve a construção de um experimento projetado para a ação de extensão Caminhão com Ciência da UESC com inspiração nas histórias em quadrinhos e filmes do personagem Thor. O experimento pode ser elaborado junto a estudantes usando a metodologia *project based learning* para desenvolver ações de ensino e aprendizagem de física, bem como para simplesmente ser utilizado em feiras de ciências e exposições. A ideia foi construir uma base onde possa ser depositado uma réplica do martelo de Thor de madeira, que somente poderia ser retirado por uma pessoa digna que desvendasse

os segredos da montagem. Um circuito eletrônico no corpo do martelo, ligado a um eletroímã potente, se comunica por radio frequência com outro eletroímã na base. A força magnética entre ambos só pode ser anulada quando o circuito do martelo é desligado pelo acionamento de um reed switch que funciona como interruptor.

Palavras-chave: eletromagnetismo; *project based learning*; ensino de física; Caminhão com Ciência; eletrônica

• • • • •

1. Introdução

O Caminhão com Ciência é uma ação de extensão da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) que promove exposições científicas itinerantes em escolas da região sul da Bahia desde o ano de 2006. Ao longo desses anos, as exposições de física têm se notabilizado pelo grande interesse dos alunos dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Experimentos como a bobina de Tesla, o gerador de Van der Graff e Mirage, por exemplo, fazem muito sucesso pelos efeitos visuais, barulhos e brincadeiras que possibilitam.

A estratégia adotada pela monitoria da área de física consiste em chamar a atenção de forma lúdica inicialmente, para depois propor questionamentos que deem abertura para diálogos envolvendo conceitos físicos e aplicações tecnológicas. Como se trata de uma exposição que promove a educação não formal, a princípio sem vínculos mais restritos com a escola formal, há uma ampla liberdade para a abordagem de diversos assuntos relacionados aos experimentos, mas sem

aprofundamento dos temas.

Os diálogos em torno de experimentos do Caminhão com Ciência são rápidos e muitas vezes despertam o interesse dos alunos e professores para serem explorados com mais detalhes em casa, na sala de aula ou em feiras de ciências. Sendo assim, o objetivo deste artigo é dar uma contribuição aos professores de física que desejam aproveitar o entusiasmo e o interesse dos estudantes para trabalharem os conteúdos dos experimentos em sala de aula, usando uma metodologia em que construam o próprio conhecimento de forma a imitarem o fazer científico em laboratórios e centros de pesquisa.

Bell [1] afirma que *project based learning* (PBL) ou, em tradução livre, aprendizagem fundamentada em projetos, é uma abordagem de aprendizagem que propõe uma infinidade de estratégias fundamentais para o engajamento bem-sucedido para o século XXI. O fato de estudantes conduzirem a própria aprendizagem por meio de investigações, bem como trabalharem colaborativamente para pesquisar e criar projetos que refletem seu conhecimento, é muito benéfico como abordagem à instrução.

Situações criadas num PBL despertam a curiosidade natural dos alunos.

“A gênese de um projeto é uma investigação. Os alunos desenvolvem uma pergunta e são guiados através de pesquisas sob a supervisão do professor.” [1, p. 36] (tradução nossa). O PBL permite aos alunos aprender fazendo e aplicando ideias, engajados em situações similares à realidade do trabalho profissional científico [3].

Os diálogos em torno de experimentos do Caminhão com Ciência são rápidos e muitas vezes despertam o interesse dos alunos e professores para serem explorados com mais detalhes em casa, na sala de aula ou em feiras de ciências

*Autor de correspondência. E-mail: stuchi@uesc.br

O PBL aplicado em sala de aula leva os estudantes a investigar questões, propor hipóteses e explicações, discutir suas ideias, desafiar as ideias dos outros e testar novas ideias. Mais além, os estudantes serão capazes de usar os conceitos estudados para explicar novas situações e fazer construções fora da sala de aula, formando conexões do conhecimento anterior com problemas mais gerais. As pesquisas têm demonstrado que estudantes engajados no PBL destacam-se em relação a estudantes que passam por processos tradicionais de ensino [3].

Cientistas que estão pesquisando a estrutura cognitiva para compreensão profunda que governa a aprendizagem relatam que nas escolas se ensina um conhecimento superficial em detrimento de um conhecimento profundo. O PBL pode ser uma alternativa de abordagem curricular que amplia o envolvimento dos estudantes no ensino e os ajuda a construir uma compreensão mais profunda de conceitos científicos [3].

É nesse contexto que o presente trabalho apresenta a construção de um “martelo de Thor magnético”, cujas motivações e procedimentos são adequados ao PBL e podem ser reproduzidos nas escolas. São desenvolvidos para a realização desse projeto saberes em física (eletricidade, eletromagnetismo e mecânica), eletrônica, desenho técnico e artes. O experimento do martelo de Thor foi desenvolvido pelos integrantes do Caminhão com Ciência da UESC.

O principal argumento para supor que a construção do experimento aqui mostrado motivaria os alunos a aprenderem mais sobre física e tecnologia, além das brincadeiras que ele proporciona no manuseio, está no fato de que os filmes de super-heróis têm levado um grande público aos cinemas, num mercado que movimenta bilhões de dólares. Isso significa que muitas pessoas — entre eles, em grande parte, adolescentes — se interessam ou se identificam com essas figuras originadas das histórias em quadrinhos (HQs).

Sendo assim, buscando criar uma construção conceitual com base no conhecimento prévio do público acerca do personagem Thor e seu poderoso martelo, denominado Mjöllnir, decidiu-

se juntamente com os integrantes do projeto Caminhão com Ciência colocar em prática a ideia de construir um Mjöllnir magnético com características físicas similares à arma desse personagem para auxiliar na explicação de fenômenos eletromagnéticos.

Para a melhor organização do artigo, primeiramente é mostrada a construção do martelo, comentando os procedimentos feitos durante a elaboração do projeto, para depois serem feitas considerações da montagem aplicando a metodologia do PBL usando essas informações. A solução realizada pela equipe do Caminhão com Ciência é aqui apresentada. Há, no entanto, um número indeterminado de maneiras como o experimento pode ser construído.

2. Visão geral do experimento

Thor, deus nórdico dos trovões e das batalhas, filho de Odin, usa o martelo *Mjöllnir* e o cinturão *Megingjörd*, que potencializa sua força [5]. Nos filmes se vê o martelo ser usado como arma e Thor dificilmente erra seus alvos com ele. O martelo lhe confere também o poder de alçar voos em grandes velocidades. Quando lançado, volta sempre para as mãos do herói. Somente Thor é digno de portá-lo. Por isso os poderes mágicos do martelo não permitem que seja retirado por mais ninguém da posição deixada por Thor. No entanto, nos filmes e histórias em quadrinhos alguns personagens conseguiram segurar, manipular e até destruir o martelo, mas não se sabe o motivo de se tornarem dignos para tal feito.

A inspiração inicial para o projeto do experimento veio de um vídeo publicado no *YouTube*¹ em que um programador americano constrói um martelo magnético e realiza inúmeras brincadeiras com as pessoas nas ruas de uma cidade dos Estados Unidos, desafiando essas pessoas a erguer o martelo de Thor do chão.

No vídeo em questão, o martelo é posicionado sobre a superfície de objetos metálicos, como por exemplo tampas de bueiros. Além do mais, o circuito eletrônico projetado desabilita o campo magnético produzido pelo martelo por meio da instalação de um sensor de impressão digital no martelo; dessa forma, permite apenas que o portador

da digital registrada na programação possa levantar o martelo.

A princípio, a ideia era deixar todos os componentes do experimento dentro do próprio martelo, como no vídeo em que nos inspiramos; porém, com o andamento dos trabalhos, devido à falta de recursos, outro arranjo foi construído com o material disponível. Ao embutir o sensor de toque do cabo, o eletroímã e a bateria dentro da estrutura do Mjöllnir, observou-se, pelos testes realizados, que seria necessário adquirir um eletroímã compacto de 12 V com capacidade para erguer 100 kg, para que a vida útil da bateria recarregável usada em *nobreaks* fosse maior, já que os experimentos devem permanecer funcionais por um período de 8 h nas exposições.

Além disso, eliminou-se o circuito projetado que, inspirado no vídeo, permite que apenas o portador da digital registrada na programação do Arduino usada pudesse levantar o martelo. Isso foi mudado para que todos pudessem ser dignos de levantar o martelo, desde que se interessassem em descobrir seus “segredos” científicos e tecnológicos. Com isso, uma alternativa também para o sensor capacitivo de toque, que aciona o circuito do eletroímã, foi buscada. A montagem ficou assim mais simples, por não haver mais a necessidade de um microcontrolador nem de programação.

Foi então realizada uma mudança significativa no projeto inicial, pela qual o experimento incluiria não mais somente o Mjöllnir, mas sim o martelo e uma base. Nessa base estaria fixado um eletroímã que não utilizaria mais baterias recarregáveis, mas sim uma fonte ligada diretamente na rede elétrica. Como o eletroímã da base foi adaptado de um transformador de alta tensão encontrado em fornos de microondas, a montagem não suportava mais o uso de baterias recarregáveis, pois ocorria uma descarga muito rápida que não permitia que o experimento funcionasse pelo tempo necessário numa exposição.

Além dessa adaptação, foi feita uma comunicação sem fio do Mjöllnir com a base, para que se tornasse possível acionar o eletroímã com um simples toque no cabo. Inicialmente, essa comunicação se deu com um conjunto emissor-receptor de radiofrequência (RF) para Arduino. No entanto, notou-se em testes um elevado *delay* entre a comunicação do transmissor com o receptor da base, que permitia ao visitante de uma

Cientistas que estão pesquisando a estrutura cognitiva para compreensão profunda que governa a aprendizagem relatam que nas escolas se ensina um conhecimento superficial em detrimento de um conhecimento profundo

exposição retirar o martelo da base se o puxasse rapidamente. A solução encontrada foi usar transmissor e receptor de carrinhos simples de controle remoto, que se movem apenas para a frente e para trás.

São detalhadas neste artigo as construções de duas versões do martelo, sugerindo o PBL para implementação em sala de aula. Os procedimentos de montagem mostrados podem ser utilizados por um professor de física, tendo como base o PBL para fazer com que os próprios alunos construam aparatos iguais ou semelhantes a esse para exposições em feiras de ciências ou demonstrações em aulas de física.

3. Montagem do experimento com a base

Para o funcionamento desse projeto, foram elaborados dois circuitos eletrônicos, um presente na base e outro no martelo. Percebeu-se a necessidade de haver comunicação entre os circuitos, e para isso foram utilizados um transmissor e um receptor de carrinhos de controle remoto, daqueles mais simples, que permitem mover apenas para a frente e para trás.

Para a construção completa desse experimento, pode-se dividi-lo em 4 partes fundamentais: 1) projeto do circuito eletrônico da base; 2) construção da base; 3) projeto do circuito eletrônico do martelo, e 4) construção do martelo.

Para a confecção desse experimento foram usados os seguintes materiais:

- 3 Transistores NPN BC548 (baixa potência)
- 1 Transistor T1: Tip 41C
- 3 Resistores 1 M Ω /1 K Ω / 470 Ω
- 2 Reguladores LM7805
- Receptor RF (carrinho de controle remoto)
- Transmissor RF (carrinho de controle remoto)
- Madeira MDF
- Chapas de alumínio
- 1 Bateria 9 V
- 1 Chave magnética (Reed Switch)
- 2 Interruptores
- 1 Ponte retificadora de alta potência P2: SkB7/04
- 1 Ponte P1: DC w10M - baixa potência
- 1 Capacitor C1: 35 V 2200 μ F
- 1 Capacitor C2: 250 V 4700 μ F
- 1 Relé 12v 250VAC
- 1 Transformador: 6 V de 200 mA
- 1 Transformador modificado: 12 V

26 A

- 1 Eletroímã: Transformador de microondas.

As 4 partes do projeto serão descritas a seguir.

3.1. Projeto do circuito eletrônico da base

Os dois componentes principais nesse circuito são o receptor de radiofrequência e o eletroímã. Esses dois componentes devem ser alimentados por uma fonte de tensão contínua. Como a tensão da rede elétrica é alternada, há a necessidade de uma conversão de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC). Essa conversão é muito comum na maioria dos eletroeletrônicos, como aparelhos de televisão e computadores, por exemplo, pois esses equipamentos funcionam internamente com tensão contínua.

O equipamento que faz essa conversão é denominado fonte de alimentação, que possui os retificadores, que fazem a corrente circular em apenas

um sentido, e os filtros, que nada mais são que capacitores que suavizam a forma da onda após os retificadores [6]. A Fig. 1 resume os componentes necessários para realizar a conversão CA/CC.

Os retificadores são constituídos de diferentes combinações de diodos; a forma mais utilizada de retificador é de onda completa em ponte. Essa configuração é apresentada na Fig. 2, onde é mostrado um circuito que tem como entrada a tomada da rede elétrica, um transformador que reduz a tensão e em seguida o retificador de onda completa em ponte, sendo também apresentada a forma de onda da saída.

Sendo assim, o circuito eletrônico para alimentar o eletroímã é constituído de um transformador, do retificador de onda completa em ponte e de um capacitor para suavizar a forma de onda, apresentado na Fig. 3.

O eletroímã nada mais é que uma bobina composta por condutor percorrido por um fluxo de corrente, enrolado sobre um núcleo de material de alta permeabilidade magnética (material



Figura 1 - Componentes de uma fonte de alimentação. Fonte: Adaptado de Malvino e Bates [6].

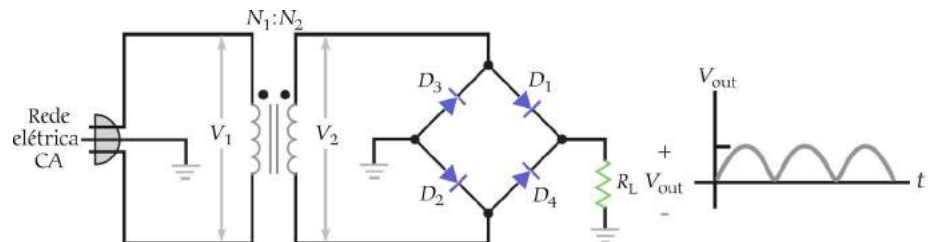


Figura 2 - Retificador de onda completa em ponte. Fonte: Adaptado de Malvino e Bates [6].

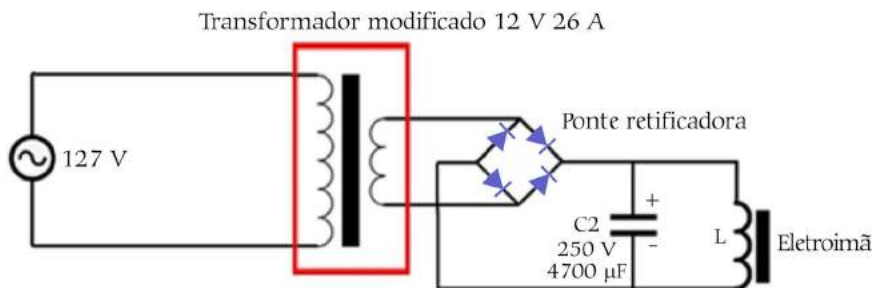


Figura 3 - Circuito do eletroímã.

ferromagnético) [7]. Dessa forma, é gerado um campo magnético concentrado e forte. A Fig. 4 apresenta um esboço de uma bobina sem o núcleo de ferro magnético; o fluxo magnético linear no centro da bobina dá origem às polaridades norte e sul nas extremidades [7].

Por convenção, a indicação pelos símbolos • e x representam o sentido da corrente saindo e entrando no plano da folha, respectivamente. A intensidade do campo magnético em Tesla, no interior da bobina, é determinada a partir da lei de Ampère e expressa por:

$$B = \mu \cdot i \cdot \frac{N}{L},$$

onde μ é a permeabilidade magnética do meio no interior da bobina em Wb/A.m, i é a corrente no fio em A, e N/L é número de espiras por unidade de comprimento (m) [7].

Para alimentar o outro componente importante do circuito da base, que é o receptor de radiofrequência (RF), é utilizado um transformador de 127 V/6 V, outro retificador de onda completa em ponte, um capacitor e, constatando-se pelas especificações técnicas do receptor e transmissor que ele operava em uma tensão de 5 a 6 V, foi utilizado um regulador de tensão do tipo LM7805, que fez a regulação da saída do capacitor para 5 V. A Fig. 5 apresenta o circuito eletrônico para alimentar o receptor.

Ao receptor chegará informação do

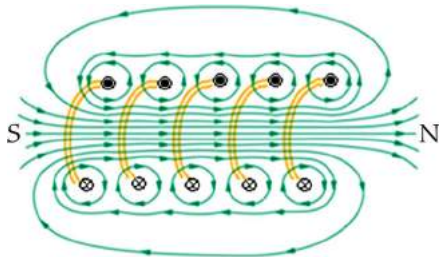


Figura 4 - Direção e sentido do fluxo magnético gerado pela bobina. Fonte: Halliday e Resnick [7].

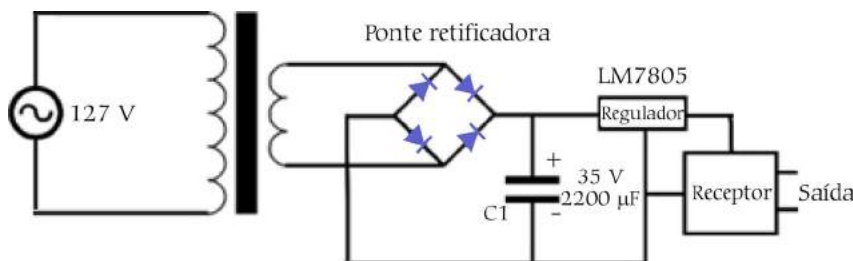


Figura 5 - Circuito do eletroímã.

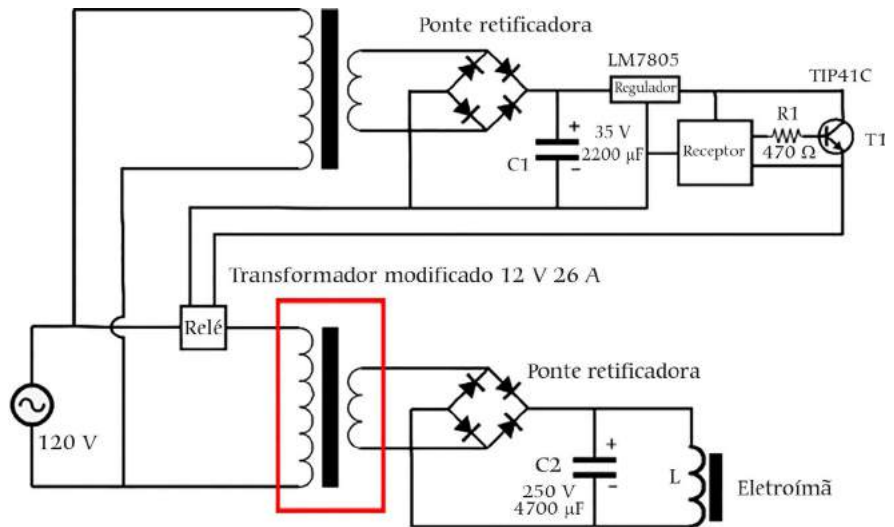


Figura 6 - Circuito completo da base do martelo de Thor.

transmissor que estará dentro do martelo, de modo que ao receber tal informação ativará o eletroímã, ou seja, a saída do receptor deverá chavear o circuito do eletroímã. Esse chaveamento pode ser conseguido por meio de um transistor acionando um relé. O transistor funcionará como uma chave. Em um transistor NPN é necessária uma tensão positiva atuando na sua base, para que o fluxo de corrente possa acontecer do coletor para o emissor.

O acionamento do transistor resultará na passagem de corrente elétrica que dispara o relé, que por sua vez possibilita a passagem da corrente elétrica para o transformador que alimenta o circuito do eletroímã. O circuito completo da base fica como apresentado na Fig. 6.

O eletroímã foi feito a partir do primário de um transformador de alta tensão de forno de micro-ondas de 20 L com 700 W de potência. O transformador de 6 V para alimentá-lo deve ser da mesma potência que o forno, para que não haja superaquecimento. Se o transformador for de potência menor (funciona com transformadores com até metade da potência do micro-ondas

usado), deve ser refrigerado em óleo. A redução da tensão contribui para que o eletroímã não aqueça muito, comprometendo a segurança do experimento.

Para a construção do eletroímã a partir de um transformador de alta tensão de micro-ondas, retiramos a parte da bobina secundária e fizemos um corte transversal de modo a deixar somente o espaço da bobina primária (Fig. 5).

3.2. Construção da base

A segunda etapa do projeto foi a construção da base do martelo, que é uma estrutura onde foi disposto o martelo para a exposição. Nela está contido todo o circuito eletrônico apresentado anteriormente, ou seja, o receptor, juntamente com o eletroímã responsável pela fixação temporária do martelo.

Para a construção dessa estrutura, optou-se pela utilização da madeira como matéria prima, por ser um material acessível, ligeiramente rígido e que atendia às necessidades da construção da base. Essa base tem o formato de uma torre retangular com uma fundação em formato circular, onde o público subiria para tentar a retirada do experimento, conforme a Fig. 8.

O corte das peças da torre foi feito com uma serra “tico-tico”. A junção dessas peças foi feita com pregos e cola de madeira, para depois ser feita a pintura. Na parte traseira da base, abrimos uma janela para realizar a montagem elétrica no interior da estrutura, além de servir também como um meio para reparar possíveis danos, ou até mesmo para realizar alguma melhoria no sistema.

3.3. Projeto do circuito eletrônico do martelo

Como a ideia desse experimento é desafiar os espectadores a retirar o martelo da base, foi feita no projeto eletrônico do martelo a adição de sensores no cabo para que identificasse um

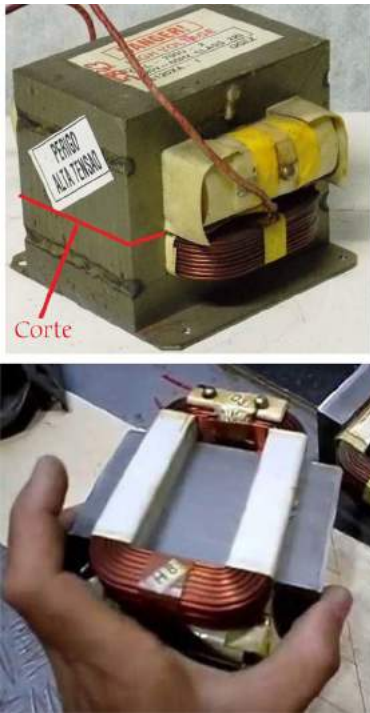


Figura 7 - Transformador de alta tensão de micro-ondas antes e depois do corte.

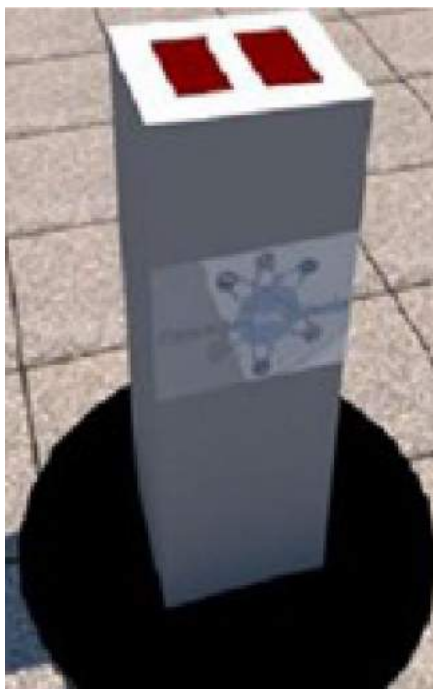


Figura 8 - Base do martelo de Thor.

simples toque quando alguém tentasse retirá-lo da base. Dessa forma, ao se pegar no cabo os sensores acionariam o transmissor, para que o receptor posicionado na base alimentasse o eletroímã, tornando impossível a retirada do martelo da base.

Os dois componentes principais nesse circuito são o transmissor de radiofrequência e os sensores no cabo. Esses dois componentes devem ser alimentados por uma fonte de tensão contínua, da mesma forma que no circuito da base. Para esse circuito foi usada uma pilha de 9 V. O transmissor opera numa tensão de 5 a 6 V, por isso inserimos um regulador de tensão que fez a redução da tensão da bateria de 9 V para 5 V, como desejado.

Os sensores são ligados ao transmissor de radiofrequência através de transistores. Dessa forma, os sensores são conectados a uma junção de dois transistores NPN de baixa potência conectados em uma ligação do tipo Darlington; o objetivo dessa ligação é multiplicar o ganho de corrente [6].

Como já mencionamos, para um transistor NPN ser acionado é necessária uma tensão positiva atuando na sua base. No circuito sensor, essa passagem da corrente para a base do transistor se dá pela pele do indivíduo que tentar levantar o martelo. A Fig. 9 apresenta o circuito eletrônico do transmissor e dos sensores.

Os contatos a serem utilizados no cabo do martelo foram ligados intercalados inicialmente na base do primeiro transistor da ligação *Darlington* (sensor 2) e o segundo contato do sensor 1 nos coletores dos transistores. Quando o visitante põe a mão no cabo do martelo

a corrente elétrica flui pela pele e estabelece o contato entre os sensores, acionando o transmissor RF para travar magneticamente o martelo na base. Sendo assim, uma das formas de conseguir levantar o martelo seria segurar no cabo pegando apenas em um único sensor, porém isso é muito improvável de ser feito na primeira tentativa, pois os sensores 1 e 2 são posicionados muito próximos, como mostramos na Fig. 12.

Com o intuito de o monitor da exposição surpreender os expectadores levantando o martelo do Thor com facilidade, foi adicionada uma outra parte no circuito eletrônico do martelo, ou seja, uma forma secreta de desligar o transmissor de RF. Para isso, foi implementado no circuito uma chave magnética, denominada *reed-switch*. Esse componente é uma chave que funciona por campo magnético, fechando seus contatos internos quando é aproximado um ímã, por exemplo. Ao ser retirado o ímã, seus contatos abrem-se novamente. Sendo assim, a chave magnética foi inserida no circuito propositalmente antes do regulador de tensão que fornece a alimentação para o transmissor, de acordo com a Fig. 10.

Ao se analisar o circuito, percebe-se que, ao se acionar a chave magnética, a corrente elétrica prefere passar pelos terminais da chave magnética e fechar o circuito, em vez de seguir em frente até o transmissor.

Portanto, para levantar o martelo facilmente basta aproximar um ímã da chave magnética, daí a ideia de posicionar essa chave magnética no interior do cabo. Dessa forma, o expositor do experimento pode utilizar um ímã

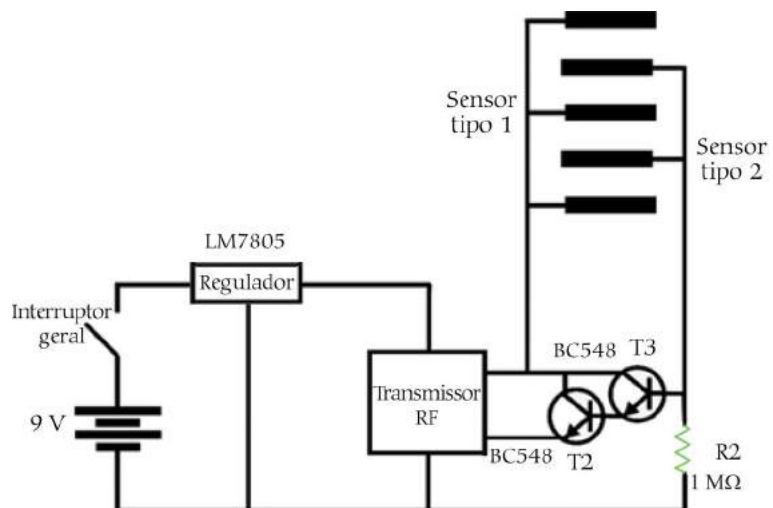


Figura 9 - Circuito do transmissor e sensores.

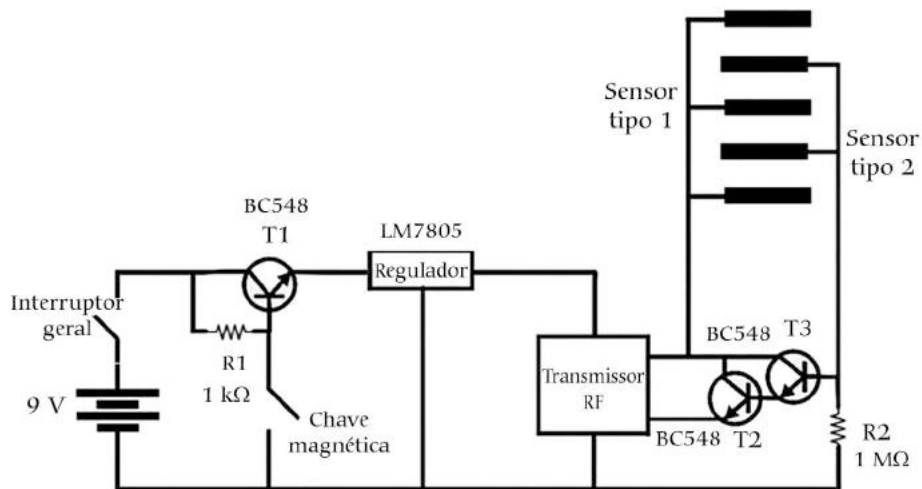


Figura 10 - Circuito completo do martelo de Thor.

discretamente na mão — por exemplo, debaixo de um curativo adesivo. Quando aproximar a mão da região da chave magnética, levantará o martelo com facilidade.

Ao aproximar a mão contendo o ímã do circuito eletrônico do cabo do martelo, na região onde está presente a chave magnética, todo o circuito transmissor é desativado, possibilitando assim a retirada do martelo da base, tendo sido, portanto, considerado "digno" para conseguir utilizar o martelo, como na lenda de Thor [5].

É importante salientar que, com esse modelo de circuito elétrico, o experimento só será ligado quando alguém tocar nos sensores presentes no cabo do Mjölñir, economizando energia e aumentando sua vida útil.

3.4. Construção do martelo

Para essa etapa, foi necessário termos uma ideia da distribuição espacial do Mjölñir. Para isso, foi desenvolvido um modelo tridimensional utilizando o programa *SketchUp* 2017, versão para estudante, seguindo as dimensões

mostradas na Fig. 11. O uso de ferramentas de modelagem 3D é de grande ajuda, pois exibe uma visão preliminar do projeto antes de sua construção, permitindo até mesmo correções em termos de design.

Toda a estrutura do martelo foi feita em madeira mole, para facilitar a usinagem, com espessura de 2 cm (essa medida pode variar um pouco, desde que a caixa do martelo fique resistente). O modelo foi construído de modo a aproximar-se ao máximo do que foi idealizado para o tamanho real do artefato.² Além disso, foi importante também deixar o máximo de seu interior vazio, para a instalação dos circuitos elétricos e do bloco feito com chapa metálica, mantendo o design do *Mjölñir* fiel ao formato da arma exibida nos filmes.

Feitos os cortes, passamos à etapa de entalhe e acabamento. Com base em imagens obtidas na internet, são feitos os detalhes em baixo relevo, que podem ser feitos com formão ou microrretífica, de modo a eliminar as imperfeições no entalhe. Feito isso, as peças são

pintadas com tinta spray prateada encontrada em lojas de materiais para construção.

O cabo do Mjölñir foi construído em cano PVC de 1 polegada de diâmetro e aproximadamente 30cm de comprimento. Os detalhes de alumínio foram moldados de acordo com o visual do martelo de Thor dos filmes, conforme apresentado na Fig. 12.

Em cada detalhe, presos no cano com rebite, colocamos os polos dos sensores de toque de maneira alternada para facilitar o toque das mãos nos dois tipos de sensores usados (sensores 1 e 2 da Fig. 9), acarretando a ativação do circuito do eletroímã que impede o indivíduo de levantar o martelo. Esses contatos podem ser feitos de alumínio estilizado, para que o martelo fique parecido com o de Thor, devendo estar bem próximos. Os polos do sensor capacitivo foram conectados a cada um dos detalhes por meio de fios internos no cano. No cabo também foi adicionada a chave magnética internamente, conforme já apresentado na Fig. 10.

A estrutura física do martelo é apresentada na Fig. 13(a). A bateria que alimenta o circuito eletrônico do martelo fica na parte superior do cabo, para que seja fácil a sua retirada para recarga ou reposição. Juntamente com essa bateria há um interruptor para o desligamento do circuito do Mjölñir quando não utilizado, conforme apresentado na Fig. 13(b). Toda a parte do circuito eletrônico à esquerda do regulador de tensão (Fig. 10) deve ficar dentro do cabo, para facilitar o manuseio.

A parte maior e mais pesada da

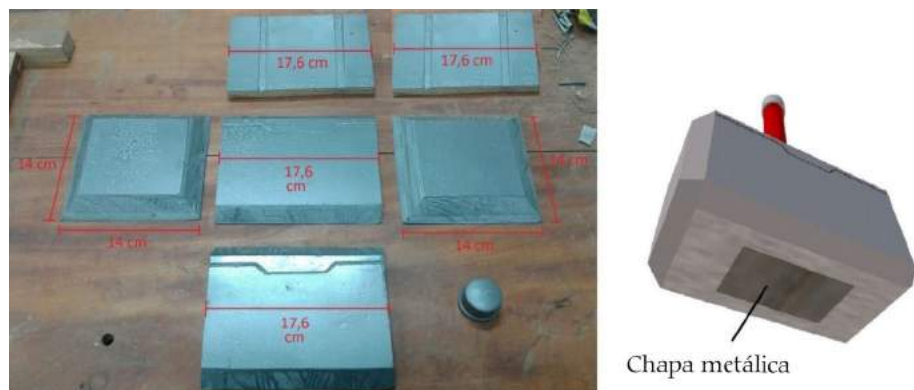


Figura 11 - Dimensões do Mjölñir e perspectiva 3D.

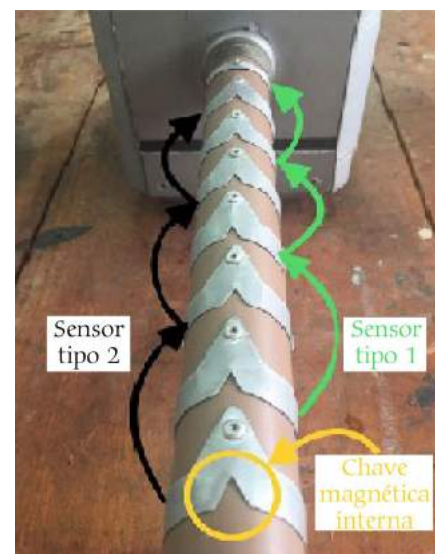


Figura 12 - Detalhe do cabo do martelo.

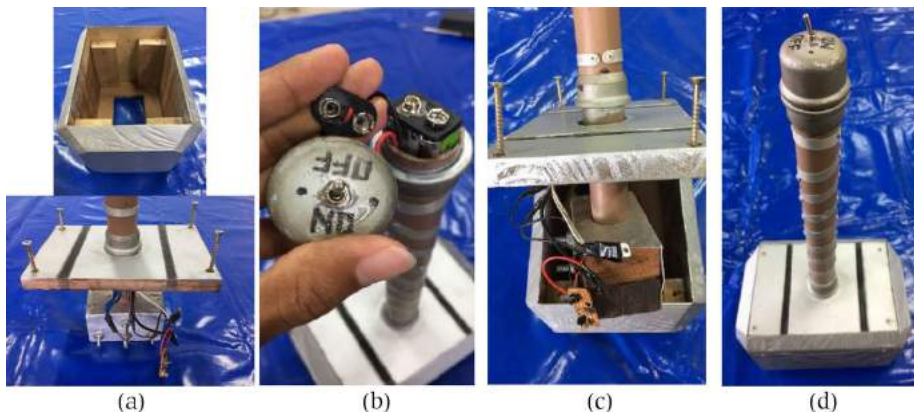


Figura 13 - Montagem do martelo de Thor; (a) estrutura física, (b) alimentação de 9 V do circuito, (c) circuito dos transistores e transmissor, (d) martelo finalizado.

cabeça do martelo é o bloco de madeira envolvido por uma chapa metálica. O bloco de madeira fica isolado dos circuitos internos do corpo do martelo e serve para ser atraído pelo eletroímã que fica na base do experimento. Em nossa montagem, parafusamos o bloco com a chapa no cano de PVC. Abaixo mostramos fotos da montagem Fig. 13 (c). A Fig. 13(d) apresenta toda a estrutura física do martelo construída.

Realizamos testes para verificar se as peças se encaixavam dentro do modelo, calçando o bloco metálico para que não se movimentasse. Assim, a montagem ficou robusta e segura para ser manipulada por crianças e adolescentes nas escolas visitadas pelo Caminhão com Ciência.

4. Montagem do experimento sem a base

Apresentamos na Fig. 14 o circuito do martelo em que a base seria eliminada, ficando mais parecido com o vídeo em que nos inspiramos para a construção:

Esse circuito tem dois tipos de transistor: o transistor TIP 41C de alta potência e o BC548. Como a base foi eliminada nesse caso, será necessária uma chapa grossa de ferro ou aço para que o martelo se fixe pela ação da força magnética gerada no eletroímã, como uma tampa de bueiro, por exemplo.

Para o eletroímã que pesquisamos

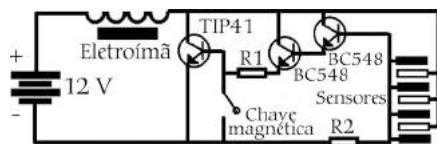


Figura 14 - Circuito único a ser adaptado dentro do martelo.

no mercado com capacidade de carga de 100 kg e tensão de 12 V, seriam necessárias no mínimo duas baterias de *nobreak* de 6 V e 1.3 A ligadas em série para o funcionamento do martelo. Pelas dimensões das baterias encontradas no mercado, estimamos que o corpo interno do martelo pode comportar duas delas, além do circuito. A autonomia pode variar de acordo com a qualidade das baterias, mas teoricamente seriam de um pouco mais de uma hora de funcionamento ininterrupto.

Com a chave magnética desligada, o circuito amplifica a corrente, que é conduzida pelas mãos da pessoa que segura o cabo do martelo através dos transistores BC548, por serem do tipo NPN ligados com o coletor no polo positivo da bateria e a base nos terminais do cabo do martelo, permitindo uma polarização positiva da base com fluxo amplificado de corrente no sentido coletor-emissor.

Esse fluxo positivo de corrente alcança a base do transistor TIP 41C, que também é NPN. Nessa configuração, o transistor mencionado promove a amplificação da corrente da bateria que passa pelo eletroímã através do fluxo que vai do coletor ao emissor. Como essa corrente é relativamente alta, é preciso que esse transistor seja de alta potência e esteja conectado a um dissipador de calor.

A situação muda quando a pessoa que conhece o segredo do martelo aproxima um ímã da chave magnética. Nessa situação, vai haver uma divisão

de tensão no circuito com o resistor 2, não permitindo o funcionamento do eletroímã.

5. Project based learning

Associada à experiência do Caminhão com Ciência, observamos em escolas públicas em que realizamos oficinas para ensino de física já há alguns anos a tímida participação dos alunos e o baixo interesse pela disciplina, mesmo em atividades envolvendo ciência e tecnologia como, por exemplo, a aplicação de *smartphones* ao ensino de física. Aliado a isso, constatamos que muitos alunos, mesmo com boas notas, ainda não conseguem ter uma compreensão profunda dos conteúdos desenvolvidos na escola em ciência, literatura ou matemática, como nos mostram Krajcik e Blumenfeld [3].

Krajcik e Blumenfeld [3] recomendam que as questões propostas no PBL devem ser de um grau de dificuldade tal que permita aos estudantes planejar e executar investigações; que sejam relevantes e tenham rico conteúdo científico; que se alinhem ao fazer dos cientistas, e que sejam contextualizadas no mundo real, além de inusitadas, importantes, significativas, empolgantes e éticas.

As questões propostas no PBL devem ser de um grau de dificuldade tal que permita aos estudantes planejar e executar investigações que sejam relevantes e tenham rico conteúdo científico, que se alinhem ao fazer dos cientistas, e que sejam contextualizadas no mundo real

contextualizadas no mundo real, além de inusitadas, importantes, significativas, empolgantes e éticas.

Ao longo do projeto, as questões devem remeter aos conceitos a serem abordados, que nesse caso são ondas

eletromagnéticas, indução eletromagnética, força magnética, potência elétrica, retificação de corrente elétrica, amplificação de corrente elétrica e emissão e recepção de radiofrequência, a depender da montagem a ser executada.

Apresentamos a seguir a síntese das ideias de Krajcik e Blumenfeld [3] sobre as principais ações na perspectiva característica do PBL:

1. Deve haver uma questão principal que represente um problema a ser resolvido.
2. Os estudantes devem explorar a questão central, participando em processos de investigação para resolução do problema proposto como performance central. Conforme os estudantes exploram a situação-problema, devem aprender e aplicar importantes ideias na disciplina.
3. Professores, estudantes e

- comunidade em geral podem e devem se engajar num trabalho colaborativo na busca de solução para a situação-problema.
- Quando engajados em processo de investigação, os estudantes aprendem tecnologias que os ajudam a participar de atividades que normalmente estariam além de suas habilidades.
 - Os estudantes criam uma série de produtos que levam à solução da situação-problema; esses produtos constituem-se de artefatos publicamente compartilhados que representam a aprendizagem da classe [3].

Pesquisas na área de ensino de ciências têm apontado que a aprendizagem profunda ocorre quando os aprendizes constroem ativamente a compreensão em experiências em que efetivamente interagem com o mundo. “O desenvolvimento da compreensão é um processo contínuo que requer do estudante uma construção e reconstrução do que sabe a partir de novas experiências e ideias” [3, p. 318 – 319, tradução nossa].

Krajcik e Blumenfeld [3] afirmam ainda que as referidas pesquisas mostram que a aprendizagem acontece quando os alunos estão situados em um contexto real de produção do conhecimento, assim como na prática de trabalhos científicos nos quais planejam investigações, realizam explicações, propõem modelos e apresentam as ideias aos pares.

Os melhores resultados em termos de aprendizagem ocorrem quando professores, estudantes e comunidade trabalham juntos na construção de um conhecimento compartilhado. Estratégias para promover a participação dos alunos na construção dos conceitos aplicados a cada etapa da montagem do experimento são uma função essencial do professor. Deve ser incentivado o emprego de ferramentas tecnológicas e matemáticas como demonstrações, vídeos, games, simulações computacionais, tabelas e gráficos ou artefatos físicos. Todas essas experiências são importantes para que os estudantes estejam sempre revendo e refletindo sobre seu trabalho [3].

Ao professor, cabe a reflexão sobre quais as tarefas que seus alunos podem realizar e como essas ações se aproximam do que se pretende cognitivamente alcançar. Na maioria das escolas não há laboratório de física e os

professores geralmente não têm conhecimento profundo de eletrônica. Por isso, propomos que se ajudem os alunos a compreender os fenômenos físicos que permitem o funcionamento do martelo passo a passo, oferecendo as construções em eletrônica como elementos de tecnologia que no final de cada etapa viabilizam as propriedades físicas desejadas para o instrumento, tendo sido estas previamente debatidas, discutidas e compreendidas coletivamente.

Nesse sentido, Bell [1] afirma que o PBL também promove a aprendizagem social, ampliando as habilidades de comunicação, negociação e colaboração. Estudantes envolvidos nesses projetos tornam-se bons debatedores de ideias e bons ouvintes em seus grupos. Habilidades como a escuta ativa aumentam a capacidade de colaboração e a criatividade. Gerar ideias em grupo é fruto de respeito pela equipe e constitui habilidades fundamentais de comunicação produtiva. Bell [1] recomenda ainda que os alunos façam autoavaliação no final do projeto, não apenas do aprendizado de conteúdos e procedimentos, mas também do sucesso das interações sociais.

6. Project based learning aplicado à construção coletiva do martelo de Thor

Os procedimentos de montagem mostrados anteriormente podem ser utilizados por um professor de física tendo como base o PBL para fazer com que os próprios alunos construam aparatos iguais ou semelhantes para uma feira de ciências, por exemplo. As principais dificuldades e soluções dos problemas encontrados pelos monitores do Caminhão com Ciência são relatadas no passo a passo da construção do experimento.

As situações às quais os conceitos seriam aplicados são de ficção, mas estão presentes na consciência da imensa maioria dos adolescentes que frequentam aulas de física no Ensino Médio, devido ao grande sucesso dos personagens, principalmente no cinema. O objetivo central desse PBL seria aprofundar a compreensão de conceitos de eletromagnetismo e eletrônica, bem como de procedimentos de investigação científica para elabo-

ração do martelo de Thor. O recorte da situação vista nos filmes seria aquela em que mais ninguém consegue levantar o martelo do super-herói por não ser uma pessoa “digna” para isso. Um exemplo dessa situação está numa cena do filme *Vingadores: era de Ultron*.³

Schiefele [4] chama a atenção para a importância da definição de interesse como uma característica motivacional específica do conteúdo, onde entram o sentimento e o valor de forma seletiva. O interesse é fundamental para a compreensão em profundidade de textos, o uso de estratégias de aprendizagem e a qualidade da experiência emocional enquanto se aprende.

Schiefele [4] classifica ainda o interesse individual como uma orientação de longo prazo para um tipo de objeto, atividade ou área de conhecimento que podem repercutir no sujeito em uma relação de valor ou sentimento. A autora deduz que interesses individuais determinam a força e a natureza da orientação motivacional que um aluno adota em uma situação específica. Sendo assim, o interesse deve ser indicativo de orientações motivacionais específicas e em consequência de resultados de aprendizagem também específicos.

A dignidade está relacionada a uma qualidade moral que impõe respeito, por isso soa como uma provocação que motiva as pessoas a tentar levantar o martelo. Na brincadeira proposta com o experimento, essa ideia é transposta como uma qualidade daquele que tem um melhor conhecimento científico e técnico que possibilite a façanha. Para se tornar digno diante de um protótipo de martelo semelhante ao do personagem Thor, é necessário removê-lo de um local estabelecido, por meio de estratégias que possam criar e anular forças eletromagnéticas entre a cabeça do

martelo e uma base.

A partir daí, pode ser elaborada uma pergunta central para que se estabeleçam as diretrizes iniciais para a realização do projeto e motive os alunos: como reproduzir a situação dos filmes de super-heróis em que somente o mais digno conseguiria retirar o martelo de uma base? Essa questão pode ser ou não definida pelo professor com a colaboração dos alunos ou de membros da comunidade escolar. O mais importante é que as

Estudantes envolvidos nesses projetos tornam-se bons debatedores de ideias e bons ouvintes em seus grupos de trabalho. Habilidades como a escuta ativa aumentam a capacidade de colaboração e a criatividade

ações curriculares devem ser realizadas em torno dela para conduzir os estudantes a se engajarem na exploração das possíveis soluções.

Desde o início os alunos podem ser divididos em grupos para apresentarem suas propostas. O professor pode viabilizar o teste dessas propostas e os debates para a construção das primeiras ideias do projeto. No debate inicial, a questão norteadora deve estar relacionada ao tipo de força que poderia ser gerada de maneira relativamente fácil para que vencesse o puxão dos braços de uma pessoa para tentar levantar o martelo.

As escolhas dos alunos são fundamentais para o PBL e indicam a direção a ser seguida no processo, sob supervisão e orientação do professor. Estudantes com ideias ou habilidades semelhantes podem trabalhar em cooperação. Ao professor cabe estar atento se os resultados ao longo do projeto contemplam as escolhas e ações dos alunos [1].

O projeto nasce com a atribuição pelo professor das fases que o compõem e como cada grupo de alunos pode se responsabilizar por elas e os resultados a serem obtidos. Bell [1] fala da importância de os resultados serem compartilhados com um público-alvo de acordo com o tema a ser pesquisado e a apropriada escolha da audiência, como pais, professores ou comunidade em geral, por exemplo. A autora reforça a necessidade de se estabelecerem metas para os alunos em cada fase do PBL. O professor tem a responsabilidade de conferir se os grupos de alunos estão no caminho certo, se estão desenvolvendo todas as suas habilidades e se trabalham com responsabilidade.

No PBL sobre o martelo de Thor, as etapas a serem cumpridas podem ser divididas na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos, na construção do corpo e/ou da base do martelo em madeira e na aplicação da tecnologia necessária para a obtenção dos fenômenos desejados. O projeto que apresentamos tem a “cara” do Caminhão com Ciência da UESC. Cada projeto deve refletir as características peculiares dos seus autores.

A discussão pode iniciar com o vídeo do YouTube para a problematização da situação de “dignidade”

relacionada a se levantar o martelo. O vídeo da brincadeira feita pelo jovem americano pode mostrar que é possível reproduzir a mesma situação em determinado contexto. Uma pequena edição do vídeo seria necessária para que os alunos não vissem ainda o martelo pronto, mas visualizassem apenas as brincadeiras feitas com o instrumento em situações reais.

Depois de ampla discussão e contextualização promovida por um grupo de alunos responsáveis pela pesquisa e discussão, por exemplo, a força magnética

pode ser consensual como a mais viável para a produção dos efeitos observados no martelo, com apresentação de modelos de como essa força atuaria no sistema.

Como essa força poderia ser produzida seria a próxima

etapa. Nesse momento, o professor pode orientar os alunos a fazerem demonstrações com eletroímãs de baixo custo para uma investigação de suas propriedades. O objetivo dessa etapa é possibilitar aos alunos perceber a dependência da intensidade do campo magnético produzido com a corrente elétrica contínua de uma fonte.

Sabendo disso, uma pesquisa em grupo na internet é uma possibilidade de se relacionar tipos de eletroímãs que se adequariam à montagem, ou seja, que a força produzida não seja vencida por um homem forte. Como construir um circuito que alimente um eletroímã potente para um dispositivo portátil como o Mjöltnir? Ampla debate será necessário, levando em consideração as observações feitas na seção sobre a montagem dos circuitos. Por fim, o professor pode oferecer a tecnologia de montagem do martelo que mostramos. Bell [1] recomenda a documentação de todas essas ações.

A depender do interesse dos alunos e dos conhecimentos do professor em eletrônica, as discussões podem ser muito aprofundadas. A internet oferece muitos projetos de circuitos retificadores e amplificadores de corrente que podem ser usados, a depender das escolhas feitas para o projeto. A adequação das sugestões dadas nessas pesquisas dos alunos ao propósito final da montagem será orientada pelo professor, sempre questionando e buscando fazer com que aprofundem seus conhe-

cimentos em ciência e tecnologia.

Uma leitura muito recomendada para o ensino de física para o Ensino Médio está no volume 3 da obra de Alberto Gaspar [2], onde o autor dá os fundamentos de transistores e diodos, fundamentais para os circuitos amplificadores e retificadores de corrente elétrica.

A eventual falta de experiência dos alunos em eletrônica pode ser suplantada com pesquisas e apresentação de conceitos básicos como ligações em série e paralelo, solda, montagem de circuitos, diodos e suas funções aplicadas ao projeto, transistores e suas funções aplicadas ao projeto, sensores e chaves magnéticas, todos orientados e organizados pelo professor para dar suporte aos alunos para a construção do Mjöltnir desde os fundamentos básicos. A obra de Newton Braga⁴ sobre eletrônica e seus fundamentos pode ser usada para auxiliar nas escolhas feitas ao longo do projeto e fundamentar esses momentos.

7. Considerações finais

Nossa intenção maior é contribuir para que os alunos possam dar vazão ao interesse e à empolgação que demonstram nas exposições do Caminhão com Ciência da UESC.

O interesse pela física que gera motivação a realizar algo é muito difícil de se conquistar na escola contemporânea. Todas as ações aqui propostas podem gerar bons resultados na aprendizagem da disciplina, bem como em suas aplicações tecnológicas por meio da eletrônica, aliadas à educação para o trabalho colaborativo com implicações para a vida em sociedade e seus desafios.

As interações sociais proporcionadas pelo PBL por meio de trabalho em grupo, debates, divulgação de resultados e investigações, por exemplo, faz com que os alunos possam se sentir elementos fundamentais na construção de um produto que gerou conhecimento, suscitado por seu próprio esforço, atribuindo-lhe assim maior valor e significado.

Temos aqui também uma proposta que busca dar contribuições para a transposição da educação não formal, característica das exposições itinerantes do Caminhão com Ciência e tantos outros projetos similares, para a educação formal das escolas. Esse intercâmbio é sempre muito requisitado por professores e alunos nos locais que visitamos e pode ser a fonte que fomenta

O intercâmbio mais longo entre ações itinerantes de popularização da ciência como o Caminhão com Ciência e as escolas, sempre muito requisitado por professores e alunos nos locais visitados, pode fomentar um novo ânimo para aulas de física

um novo ânimo nas escolas, ampliando o alcance das ações de projetos de popularização da ciência como o nosso.

Referências

- [1] S. Bell, The Clearing House. **83**,(2010).
- [2] A. Gaspar, *Compreendendo a Física - Manual do Professor* (Editora Ática, 2013), 2ªed.
- [3] J.S. Krajcik, P.C. Blumenfeld, *Project Based Learning. In: R.K. Sawyer*. (Cambridge Handbook of the Learning Science. Cambridge University Press, 2006)
- [4] U. Schiefele, Educational Psychologist. **26**, (1991).
- [5] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Thor>.
- [6] A. Malvino, D. Bates, *Eletrônica Volume 1*. (AMGH, 2016).
- [7] D. Halliday, R. Resnick, *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. (LTC, 2016).

Note

¹https://youtu.be/a_a9X669pNw

²Sites como <http://blogdebrinquedo.com.br/2012/01/27/replica-perfeita-de-mjolnir-o-martelo-de-thor/> oferecem as dimensões de réplicas do martelo original usado nas produções cinematográficas.

³<https://www.youtube.com/watch?v=50QyREMIFfk>

⁴<http://www.newtonbraga.com.br>