



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



**POTÊNCIA ELÉTRICA VERSUS LUMINOSIDADE:
UMA ABORDAGEM DA EFICIÊNCIA DE LÂMPADAS**

Gabrielle Barbosa Aragão

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:
Hugo Milward Riani de Luna
Carlos Eduardo Aguiar

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

POTÊNCIA ELÉTRICA VERSUS LUMINOSIDADE:
UMA ABORDAGEM DA EFICIÊNCIA DE LÂMPADAS

Gabrielle Barbosa Aragão

Orientadores:
Hugo Milward Riani de Luna
Carlos Eduardo Aguiar

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Hugo Milward Riani de Luna (Presidente)

Dr. Sidnei Percia da Penha

Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

A659p Aragão, Gabrielle Barbosa
Potência elétrica versus luminosidade: Uma abordagem da eficiência de lâmpadas / Gabrielle Barbosa Aragão - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2020.
ix, 80 f.: il.;30cm.
Orientadores: Hugo Milward Riani de Luna; Carlos Eduardo Aguiar
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2020.
Referências Bibliográficas: f. 43-45.
1. Ensino de Física. 2. Analogia. 3. Eficiência de lâmpadas. 4. Potência luminosa. 5. Potência elétrica I. de Luna, Hugo Milward Riani II. Aguiar, Carlos Eduardo. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Potência elétrica versus luminosidade: Uma abordagem sobre eficiência de lâmpadas.

Dedico esta dissertação a Artur Gomes Souza que há tempos tem sido meu melhor amigo e companheiro.

Agradecimentos

A meus pais e irmãos que sempre me apoiaram e me incentivaram a alcançar meus objetivos.

A minha madrinha, Sônia, que sempre esteve presente comemorando minhas conquistas e me ajudando a superar as derrotas.

Ao meu marido e grande companheiro de vida, Artur, que sempre foi meu ponto de apoio em todas as horas desta jornada.

Ao meu orientador, Hugo Luna, por toda a paciência, dedicação e disponibilidade para que este trabalho fosse concretizado.

Ao meu coorientador, Carlos Aguiar, por embarcar nessa jornada comigo e com o Hugo.

A todos os professores que de alguma forma me influenciaram a chegar até aqui. Em especial a duas professoras que marcaram a minha trajetória. Deise Miranda que com os conhecimentos que compartilha me incentiva a buscar sempre ser uma professora melhor. E a Maria Darci Godinho da Silva, que além de professora se tornou minha amiga.

Aos amigos que a UFRJ me possibilitou ter, que me acompanham e torcem por mim.

Ao Flávio, da oficina mecânica do Instituto de Física da UFRJ, que colaborou com a construção do experimento.

Aos membros da banca que disponibilizaram seu tempo para ler este trabalho e dar excelentes contribuições.

E finalmente, aos colegas de mestrado pelas trocas de conhecimento que nos foram permitidas ao longo do curso.

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

RESUMO

POTÊNCIA ELÉTRICA VERSUS LUMINOSIDADE: UMA ABORDAGEM DA EFICIÊNCIA DE LÂMPADAS

Gabrielle Barbosa Aragão

Orientadores:

Hugo Milward Riani de Luna
Carlos Eduardo Aguiar

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Apresentamos neste trabalho uma atividade experimental sobre a eficiência de lâmpadas. Através do uso de analogias, os conceitos de voltagem, corrente e potência elétrica são apresentados de forma acessível mesmo a alunos que estão tendo contato com circuitos elétricos pela primeira vez. A medida da luminosidade das lâmpadas é realizada com o sensor de luz ambiente de um smartphone, simultaneamente às medidas de corrente e tensão a partir das quais a potência elétrica é calculada. A aplicação da atividade no ensino médio é relatada e seu resultado discutido.

Palavras-chave: Ensino de Física, Analogia, Circuitos Elétricos, Luminosidade, Potência Elétrica, Eficiência de Lâmpadas.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

ABSTRACT

ELECTRIC POWER VERSUS LUMINOSITY: AN APPROACH TO THE EFFICIENCY OF LAMPS

Gabrielle Barbosa Aragão

Supervisor(s):
Hugo Milward Riani de Luna
Carlos Eduardo Aguiar

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

In this work we present an experimental approach to the efficiency of lamps. Exploring analogies, the basic concepts of voltage, current and electric power are introduced to students who may not have studied electric circuits before. Measurements of luminosity are carried out with the ambient light sensor of a smartphone combined with the measurements of current and voltage, from which the electric power is calculated. We also describe a classroom activity based on this approach and the results are discussed.

Keywords: Physics education, Analogy, Electric Circuits, Luminous Power, Electric Power, Efficiency of Lamps.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Concepções dos estudantes sobre circuitos elétricos..... | 3 |
| 2.1 Resultados de uma pesquisa com alunos de graduação..... | 3 |
| 2.2 Trabalhos prévios sobre eficiência luminosa..... | 9 |
| 3. Analogia como ferramenta de ensino | 12 |
| 3.1 Analogias no ensino de ciências..... | 12 |
| 3.1.1 O processo de aprendizagem e as analogias..... | 13 |
| 3.1.2 Analogia na visão do estudante e seu uso como recurso em aula. | 13 |
| 3.1.3 O conceito de analogia e suas vantagens e desvantagens..... | 14 |
| 3.2 Exemplos de analogias aplicadas ao caso do circuito elétrico. | 15 |
| 3.2.1 Exemplos de analogias aplicadas ao tema circuitos elétricos..... | 15 |
| 3.2.2 A escolha da analogia para nossa aula..... | 17 |
| 4. Montagem do aparelho de medida | 19 |
| 4.1 Do papel ao experimento..... | 19 |
| 4.2 O equipamento experimental..... | 19 |
| 4.3 O sensor de luz ambiente do smartphone | 21 |
| 4.4 O Luxímetro | 23 |
| 4.5 A escolha das lâmpadas..... | 25 |
| 4.6 Primeiros testes com o aparato experimental | 26 |
| 5. Relato da experiência em sala de aula | 31 |
| 5.1 Local de aplicação e público alvo..... | 31 |
| 5.2 A aplicação da atividade..... | 31 |
| 5.2.1 A aula..... | 31 |
| 5.2.2 Desenvolvimento da atividade..... | 36 |
| 5.2.3 Resultado das medidas dos alunos..... | 37 |
| 5.2.4 Respostas do questionário pós-experimento | 38 |
| 6. Considerações finais | 41 |
| Referências bibliográficas | 43 |
| Apêndice A: Questionário aplicado aos alunos de graduação..... | 46 |
| Apêndice B: Uma aula sobre potência elétrica e brilho de lâmpadas | 50 |

| | |
|---|----|
| Apêndice C: Uma atividade experimental sobre eficiência luminosa..... | 66 |
| Anexo A: Guia para construção de uma fonte de tensão variável de 12V e 1A | 77 |

1. Introdução

A sala de aula é um lugar desafiador de se estar. É um lugar de desenvolvimento de ideias e criatividade, é onde somamos conhecimento e os contextualizamos com o cotidiano. No entanto, nem sempre esse é o cenário encontrado no ensino de ciências nas escolas brasileiras. A sala de aula se tornou um lugar não convidativo ao aluno para se expressar e expor suas ideias. Nós, professores, queremos que os alunos prestem atenção à aula para que possamos envolvê-los com o conteúdo dos nossos cursos, mas será mesmo que temos o direito de pedir isto aos nossos alunos? Em contrapartida, será que podemos tornar as aulas mais convidativas e interessantes para que tenhamos sua atenção sem ter que pedi-la? Um bom ponto de partida pode ser relacionar a física com o cotidiano dos alunos, trazendo para a sala de aula problemas práticos cuja solução atraia sua atenção.

Nosso foco neste trabalho é o estudo de circuitos elétricos, mais especificamente, o estudo da potência consumida por uma lâmpada e sua relação com a luz emitida. A escolha de lâmpadas mais eficientes é um problema do cotidiano do aluno, que impacta, por exemplo, o orçamento familiar. E a discussão sobre eficiência de lâmpadas envolve conhecimentos sobre circuitos elétricos. Apesar deste ser um tema recorrente na literatura sobre ensino de física (ver por exemplo: Rocha, 2003; Souza, 2011), há poucos trabalhos aplicáveis ao contexto escolar abordando a eficiência de lâmpadas.

A grande quantidade de trabalhos sobre circuitos em geral é justificada pela complexidade dos tópicos abordados e pela dificuldade em discuti-los nos diversos níveis de ensino. Esta complexidade torna difícil apresentar a questão da eficiência de lâmpadas a alunos que ainda não estudaram formalmente circuitos elétricos, embora os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+, 2006) sugiram que o tema “Equipamentos Elétricos e Telecomunicações” seja abordado ao longo de todas as séries do ensino médio. Mas e se houvesse uma forma simples de explicar pelos menos os conceitos básicos de circuitos elétricos necessários a discussão sobre eficiência: corrente, voltagem e potência elétrica? Neste trabalho propomos realizar isso utilizando analogias, que podem fazer uma ponte entre o que os alunos já sabem e o novo

conhecimento abordado. E o melhor, há diversos tipos de analogias que podem ser exploradas nos mais diversos níveis de ensino.

No que diz respeito ao uso de novas tecnologias na sala de aula, praticamente em todas elas têm pelo menos um aluno com um smartphone, ou os próprios professores os têm. Este aparelhinho tão abominado em sala pelos professores e tão amado pelos alunos tem consigo um mundo de possibilidades para ser explorado em nossas aulas. Estas vão desde usar uma simples gota d'água para falar de óptica (Lang, 2016), estendendo-se até o uso de seus sensores digitais para uma aula de mecânica (Vieira, 2013). Afinal o smartphone está repleto de sensores, como magnetômetro, acelerômetro e luxímetro (medidor de luz ambiente). O desafio é escolher por onde começar. No nosso caso utilizaremos o luxímetro como sensor de luminosidade.

Nesta dissertação abordaremos a eficiência de lâmpadas, um tema que por sua importância no dia a dia acreditamos interessar aos alunos. Através da utilização de analogias, essa é uma discussão que pode ser feita mesmo com estudantes que não tiveram uma introdução formal à teoria de circuitos, embora não esteja restrita a eles.

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira. No capítulo 2 discutimos algumas dificuldades que os alunos encontram no aprendizado de circuitos elétricos. Em particular mostramos, a partir de um questionário, que mesmo alunos que ingressam na universidade não compreendem corretamente a relação entre os conceitos básicos de circuitos elétricos e a luminosidade de uma lâmpada. No mesmo capítulo apresentamos alguns trabalhos sobre eficiência de lâmpadas que encontramos na literatura. No capítulo 3 falamos sobre o uso de analogias em sala de aula e damos alguns exemplos que podem ser utilizados para o ensino de conceitos básicos de circuitos elétricos. No capítulo 4 descrevemos a montagem do aparato de medida da eficiência da lâmpada, a ser utilizado com os alunos em aula. Exemplos de medidas realizadas com este aparato também são apresentadas nesse capítulo. No capítulo 5 apresentamos um relato das aulas onde os conceitos básicos foram expostos, seguidos de medidas da eficiência luminosa que foram realizadas pelos alunos. No capítulo 6 apresentamos nossas considerações finais. O questionário sobre os conceitos de circuitos e eficiência de lâmpadas está no apêndice A. O roteiro da aula expositiva sobre circuitos, baseada em analogias, está no apêndice B. A construção e utilização do aparato de medida estão descritos no apêndice C.

2. Concepções dos estudantes sobre circuitos elétricos

Segundo Duit (1997) em seu artigo “*Learning and understanding key concepts of electricity*” vários problemas aparecem quando falamos com nossos alunos sobre eletricidade. O primeiro deles é que o senso comum utiliza palavras do meio científico para nomear conceitos mas dá a eles um sentido diferente do aplicado pela comunidade científica, o que provoca certa confusão quando o assunto vira objeto de estudo.

Outra dificuldade, que aparece com as crianças mas se mantém até o ensino médio, é o conceito de que a corrente elétrica é consumida, que permanece atrativo aos estudantes mesmo depois da instrução (Duit, 1997). Esta ideia se apóia no fato de que em algum momento a bateria “esvazia” e deixa de funcionar. Os alunos também apresentam dificuldade em enxergar o circuito como um todo, eles tendem a compartimentar. Por exemplo, crianças não conseguem “enxergar” que para um circuito funcionar é preciso que este esteja fechado. Ou ainda, em uma associação de resistores eles não conseguem ver que o que acontece depois no circuito é consequência do que ocorreu onde houve a associação. Essas e outras dificuldades conceituais tornam o ensino de eletricidade mais complexo que o esperado.

Ainda nesse artigo, Duit conclui que uma das formas de superar as dificuldades é através de experimentos que confrontem os pontos de vista dos estudantes com o resultado da investigação de fenômenos. Desafiar as ideias dos estudantes é uma parte crucial do processo de aprendizagem.

2.1 Resultados de uma pesquisa com alunos de graduação

Diante de tantas concepções errôneas ou conceitos não compreendidos que os alunos da educação básica carregam consigo mesmo depois de concluírem o ensino médio, resolvemos propor um questionário rápido a alunos de graduação (do ciclo básico) que iriam começar a disciplina “Laboratório de Eletromagnetismo”. Esses alunos compunham duas turmas, uma de Licenciatura em Química e uma de Licenciatura em Física, totalizando 20 alunos. O objetivo do nosso questionário foi verificar se estes alunos sabem conceitos básicos de circuitos elétricos e se eles têm

alguma noção sobre potência luminosa de lâmpadas. O questionário pode ser encontrado no apêndice A.

As perguntas do questionário podem ser separadas em três grupos: as questões de 1 a 5 estavam relacionadas as informações que constam nas embalagens de lâmpadas; as questões 6 e 7 são perguntas sobre alguns conceitos relacionados a circuitos elétricos; já as questões de 8 a 11 abordavam consumo de energia elétrica e compra de lâmpadas. A seguir será apresentada uma análise sobre as respostas dos estudantes a cada uma das questões.

A questão 1 fazia uma comparação entre duas lâmpadas, ambas incandescentes de mesma potência, 100W, mas diferentes tensões, 110V e 220V. Foi pedido aos alunos que dissessem qual o consumo (por unidade de tempo) de energia elétrica de cada lâmpada. Surpreendentemente, 35% dos alunos não respondeu ou respondeu errado a esta questão.

A questão 3 comparava 4 tipos de lâmpadas: incandescente, halógena, fluorescente e LED. Foi solicitado que os alunos, a partir das informações disponíveis nas embalagens, apontassem qual das lâmpadas apresentava o maior consumo de energia elétrica e quanto seria. Todos os alunos responderam que a lâmpada incandescente era a que mais consumia energia elétrica. Entretanto alguns alunos não responderam o valor do consumo, o que deixou uma questão em aberto: eles disseram que a lâmpada incandescente era a que mais consumia porque compararam as informações ou porque o senso comum diz isso?

A questão 4 perguntava quais informações da embalagem eram importantes na hora de comprar uma lâmpada. A maioria dos alunos respondeu que ao comprar uma lâmpada eles observam a potência, por representar o consumo de energia, e a voltagem pois essa deve se adequar a rede de energia elétrica na qual a residência está inserida. Alguns poucos alunos responderam que se informariam sobre o brilho da lâmpada associado à eficiência desta.

As questões 2 e 5 abordavam maneiras de especificar o brilho de uma lâmpada. Alguns alunos relacionaram a informação sobre potência com o brilho da lâmpada, um número menor relacionou o brilho com a quantidade de lúmens. Um número parecido associou o brilho da lâmpada à corrente.

Dois perguntas deste questionário sintetizavam o conhecimento conceitual dos alunos acerca do tema circuitos elétricos e potência luminosa. A questão de número 6 pedia aos alunos que definissem os conceitos de voltagem, corrente elétrica, potência elétrica e potência luminosa. Já a sétima questão perguntava quais dos conceitos que o aluno definiu na questão anterior poderiam ser relacionados entre si e de que forma. Os resultados dessas perguntas estão apresentados nos gráficos 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4. É importante deixar registrado que quando o aluno apresentou uma resposta parcialmente correta, esta foi classificada como “satisfatória” nos gráficos.

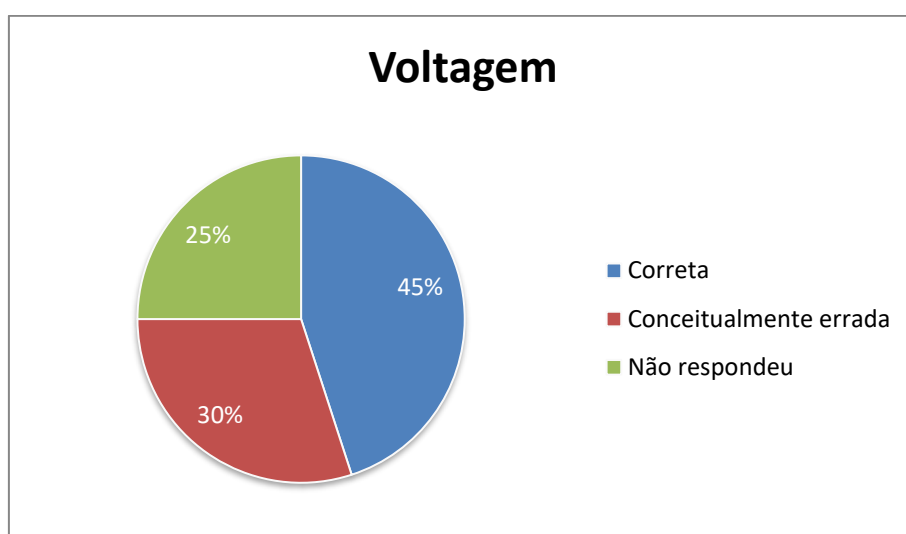


Gráfico 2.1: Percentual das respostas de dois grupos de alunos de graduação sobre a definição de voltagem.

Sobre o conceito de voltagem (diferença de potencial elétrico em um circuito), era esperado que os alunos de ambas as turmas obtivessem uma alta taxa de acertos, pois é um conceito exaustivamente trabalhado durante o ensino médio. O gráfico 2.1 mostra que, apesar dessa expectativa, mais da metade dos alunos deram respostas conceitualmente erradas ou sequer responderam. Voltagem é um conceito presente no dia a dia das pessoas, mas aparentemente isso não contribuiu para o seu aprendizado.

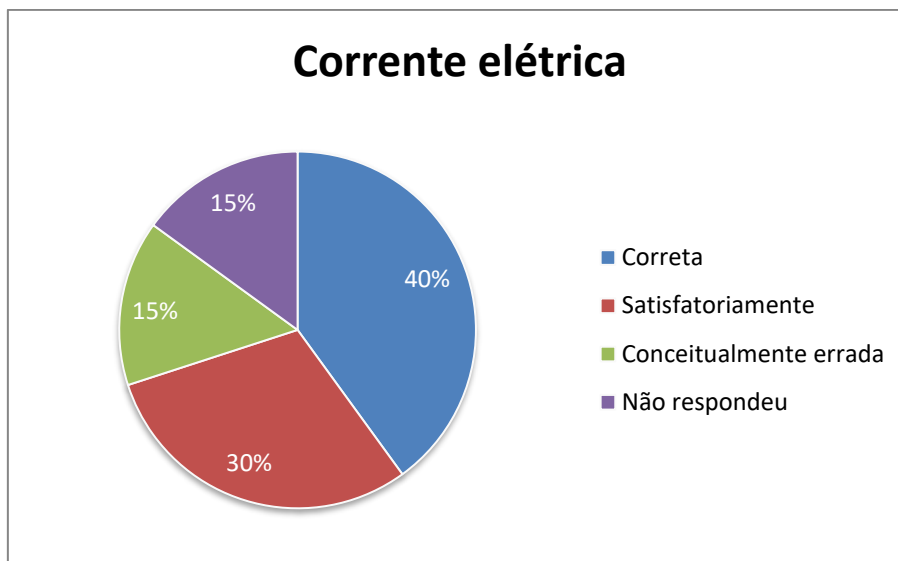


Gráfico 2.2: Percentual das respostas de dois grupos de alunos de graduação sobre a definição de corrente elétrica.

No caso da corrente elétrica o resultado mostrou que este é um dos conceitos mais bem fixados entre os alunos. Como podemos ver pelo gráfico 2.2, 70% dos alunos conseguiu dar a definição deste conceito, com palavras ou matematicamente, de forma satisfatória ou correta.

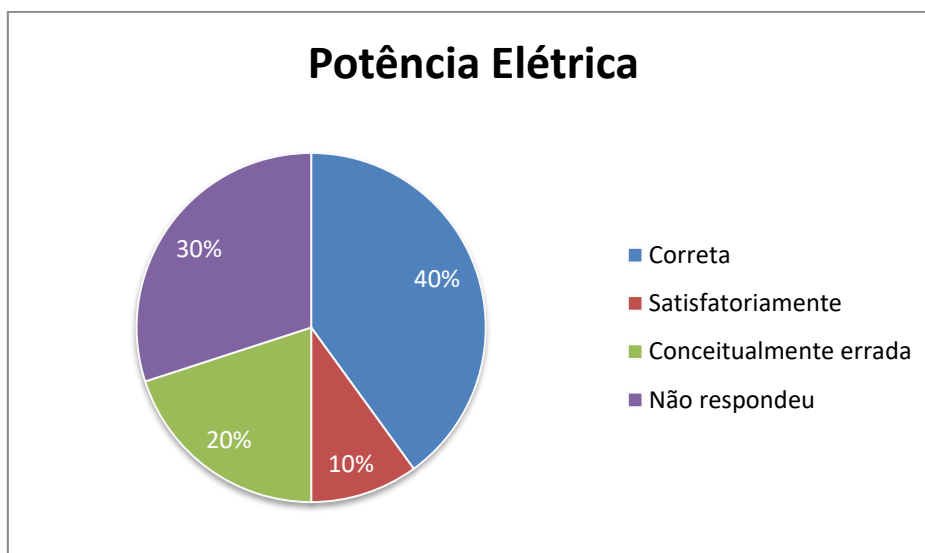


Gráfico 2.3: Percentual das respostas de dois grupos de alunos de graduação sobre a definição de potência elétrica.

Os resultados para potência elétrica são mostrados no gráfico 2.3. Potência elétrica não é um conceito trivial, em particular no que toca a compreensão de que há

trabalho sendo realizado. Os alunos, na sua grande maioria, estão habituados a pensar trabalho como o resultado de uma força que atua em um sistema, por exemplo, empurrar um bloco de massa conhecida. Para tal, o exemplo mecânico é perfeito, pois há possibilidade de visualização concreta das forças que atuam sobre o sistema. Já em um circuito elétrico não temos esse recurso visual.

Em muitos cursos introdutórios de física, potência elétrica é definida apenas por sua fórmula, frequentemente presumindo que o aluno irá naturalmente fazer as conexões com outras potências, como a mecânica, que eles já estudaram. Pelo resultado de nosso questionário somente 50% dos alunos conseguiu fazer a correta relação da potência com a energia consumida em um intervalo de tempo.

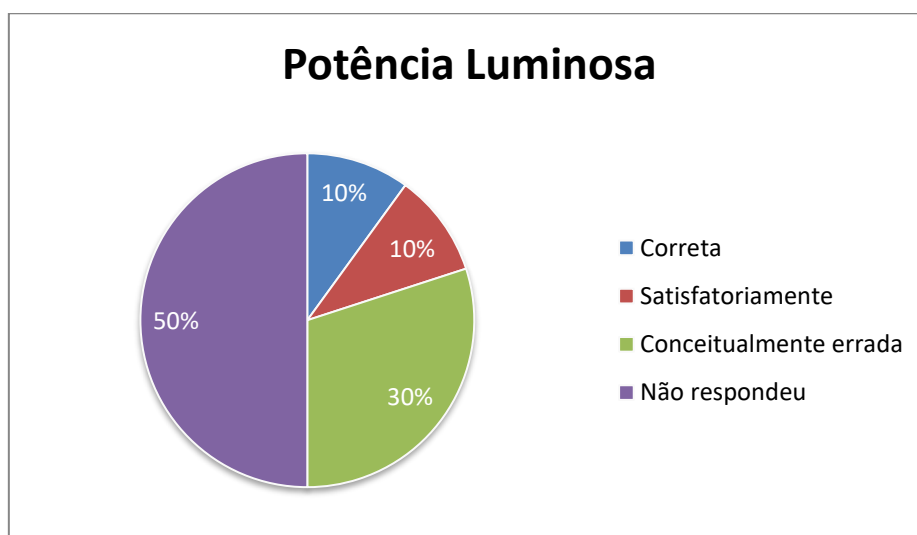


Gráfico 2.4: Percentual das respostas de dois grupos de alunos de graduação sobre a definição de potência luminosa.

Quanto à potência luminosa, este não é um tema muito abordado nas salas de aula. Geralmente aparece mais como um assunto secundário em questões que buscam integrar potência elétrica e calor. Provavelmente por este fato a taxa de respostas corretas tenha sido tão baixa, como mostra o gráfico 2.4.

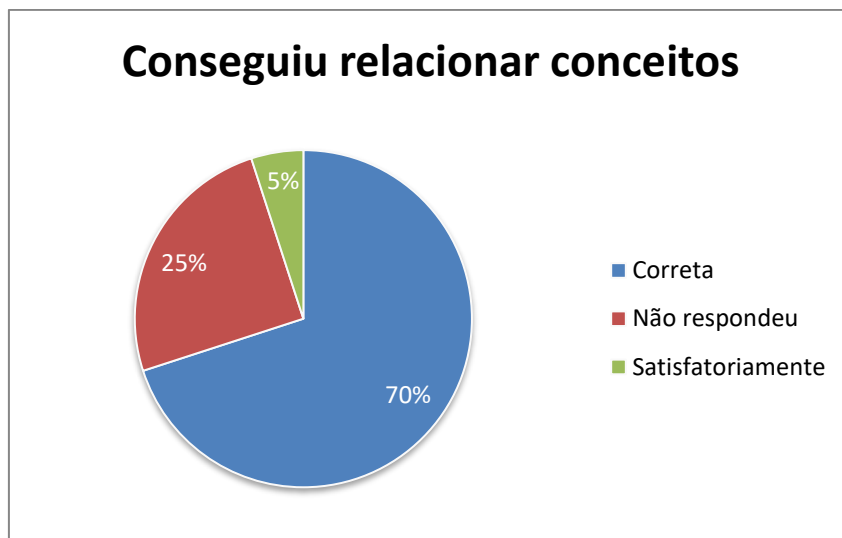


Gráfico 2.5: Percentual das respostas de dois grupos de alunos de graduação sobre a relação entre os conceitos de voltagem, corrente elétrica e potência elétrica.

A sétima pergunta relaciona os conceitos abordados na questão 6. A maioria dos alunos conseguiu relacionar potência elétrica, voltagem e corrente elétrica, como pode ser visto resumidamente no gráfico 2.5. Alguns fizeram a relação entre voltagem e corrente elétrica utilizando a resistência elétrica, que não havia sido mencionada no questionário. É importante mencionar que grande parte das respostas a essa pergunta consistiu em colocar a fórmula do cálculo de potência elétrica somente, sem quaisquer justificativas.

Se voltarmos aos gráficos anteriores veremos que o percentual de alunos que responderam, pelo menos satisfatoriamente, as definições de potência elétrica, corrente e voltagem é menor do que os que conseguiram fazer as correlações. Vale ressaltar que a maioria das respostas foram dadas em forma de fórmula, o que não deixa claro se o conceito foi compreendido ou apenas uma fórmula foi decorada. A comparação do percentual de respostas às questões sobre conceitos e à questão sobre correlações entre esses conceitos sugere que estes não foram bem compreendidos pelos alunos.

As questões 8 e 9 eram sobre consumo de energia elétrica. Queríamos saber se os alunos fazem correlação entre a potência elétrica e a energia elétrica consumida por aparelhos elétricos. A maioria respondeu que o consumo de energia está ligado a potência dos aparelhos (os valores em Watts), mas poucos mencionaram o tempo que esses aparelhos ficam ligados. Cerca de metade não conseguiu estimar o consumo de energia elétrica de suas residências.

As perguntas 10 e 11 foram sobre o selo do Inmetro que atualmente é obrigatório nas embalagens das lâmpadas LED e contém informações sobre a potência, fluxo luminoso e eficiência luminosa. Queríamos saber se os alunos verificavam o selo antes de adquirir uma lâmpada e se essas informações eram consideradas relevantes na hora da compra. Em geral, eles afirmaram que o selo mostra que o produto foi testado e portanto é confiável. No entanto alguns relacionaram as informações à “eficiência do produto”, sem entrar em detalhes. Apesar de muitos deles não compreenderem a função do selo do Inmetro, 60% respondeu que verifica as informações no selo antes de adquirir um produto eletroeletrônico.

As respostas obtidas pelo questionário nos mostram que os conceitos que foram abordados ao longo deste, em geral, não foram bem compreendidos, apesar de alguns deles serem assunto estudado, tradicionalmente, ao longo de quase um semestre durante o ensino médio.

2.2 Trabalhos prévios sobre eficiência luminosa

Faremos nesta seção um resumo de alguns trabalhos sobre eficiência luminosa que encontramos na literatura em ensino de física. Como veremos há relativamente poucos trabalhos sobre o tema.

Até onde sabemos há apenas uma dissertação sobre o tema (Rocha, 2018). Neste trabalho, Rocha se propõe a explorar a física de dispositivos semicondutores de forma lúdica, através de uma sequência didática pautada no ensino investigativo e na linha de pesquisa de CTS. Para tal, ele explora o funcionamento dos LEDs como tema de sala de aula através de 10 atividades. Estas falam sobre conscientização do consumo de energia elétrica e evolução das formas de produzir iluminação, utilizando textos publicados na grande mídia. O autor também realiza atividades como identificação de características de alguns tipos de lâmpadas, montagem de circuitos elétricos utilizando LEDs, comportamento elétrico de diodos, e barreira de potencial de LEDs de diferentes cores. Rocha também faz uma discussão sobre materiais condutores, isolantes e semicondutores e o funcionamento de semicondutores, utilizando perguntas instigadoras. Ele finaliza as atividades propostas com uma atividade de comparação de

eficiência energética entre uma lâmpada incandescente e um LED, muito semelhante à que apresentamos nesta dissertação.

Quando procuramos por artigos na área de ensino também não encontramos muito material. Na verdade são apenas dois.

Klein et al. (2014) partem de uma montagem experimental bem próxima da que utilizamos neste trabalho. Eles discutem o funcionamento dos sensores de luz ambiente e mostram que a iluminância¹ (o fluxo luminoso por unidade de área no sensor) decai com o inverso do quadrado da distância. Ele também menciona uma limitação da utilização do sensor como instrumento de medida, pois depois de certa distância sua acurácia diminui.

Sans et al. (2016) utilizam uma montagem experimental bem similar à de Klein. Eles iniciam o trabalho definindo eficiência luminosa e explicando a medida de iluminância. O foco principal do trabalho é a comparação da iluminância e da eficiência luminosa entre diferentes lâmpadas: LEDs de diversas cores, uma halógena e uma incandescente. Suas medidas são feitas para diferentes distâncias entre o sensor de luz do smartphone e a lâmpada. Eles mostram a validade da lei do inverso do quadrado da distância para a iluminação sobre um detector de luz. E concluem que das fontes luminosas testadas, a lâmpada incandescente apresenta a menor eficiência e um LED de alto brilho é o mais eficiente.

Alguns textos de cunho mais técnico foram úteis durante o desenvolvimento deste trabalho. Três deles estão descritos a seguir.

O artigo de Mendes Jr et al. (2013) apresenta uma leitura leve e de fácil compreensão sobre os sensores de luz ambiente de um ponto de vista prático, porém sem ser excessivamente técnico. A nota técnica *Ambient Light Sensor (ALS) Applications in Portable Electronics*², apesar de não ter foco em ensino, apresenta em termos técnicos o sensor de luz ambiente, seu funcionamento, estrutura e aplicações em aparelhos eletrônicos portáteis. Outra nota técnica útil é *Ambient-Light Sensing Optimizes Visibility and Battery Life of Portable Displays*³. Assim como o texto anterior

¹ Neste texto utilizaremos a palavra luminosidade como sinônimo de iluminância.

² https://www.rohm.com/documents/11308/12928/CNA09016_wp.pdf

³ <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN5051.pdf>

este traz informações técnicas sobre o sensor de luz ambiente, embora seja mais focado na sensibilidade do sensor em diferentes comprimentos de onda.

3. Analogia como ferramenta de ensino

Neste capítulo faremos uma análise sobre o conceito de analogia e sua aplicação no ensino de circuitos elétricos. Falaremos também de alguns tipos específicos de analogia que podem ser aplicadas e porque escolhemos a analogia que iremos adotar.

3.1 Analogias no ensino de ciências

A análise apresentada e todas as citações são baseadas no texto “*On the role of analogies and metaphors in learning science*” de Reinders Duit (Duit, 1991). Todas as citações desse artigo são traduções livre da autora desta dissertação.

Analogias são constantemente utilizadas no ensino de ciências. Esse uso se justifica pelo fato da analogia fazer uma ponte entre o conhecimento prévio do aluno e conceitos mais complicados. Como exemplo, no caso desta dissertação, queremos que o estudante compreenda os conceitos básicos de circuitos elétricos, de forma que ele possa criar uma imagem mental dos conceitos, fazendo uma conexão com seus saberes anteriores.

Buscando definir o significado de analogia e diferenciá-lo do conceito de metáfora, Duit se utiliza dos significados empregados na literatura. Ele definiu a analogia como “comparação entre estruturas de dois domínios”. Estas estruturas ditas análogas possuem simetria e baseados nestas similaridades, entre o alvo (conceito que se quer estudar) e o análogo (conceito já dominado pelo aprendiz e que será utilizado para comparar suas semelhanças com conceito alvo), serão construídas as analogias.

Sobre o significado de metáfora, ele afirma que “Metáforas sempre tem o aspecto de surpresa; elas provocam anomalias. Metáforas são comparações onde a base da comparação precisa ser revelada ou criada pelo destinatário da metáfora.” Em outras palavras metáforas são comparações, muitas vezes quase que por absurdo, que buscam provocar um choque em quem as recebe e não são facilmente entendidas fora de contexto.

De certa forma, analogias e metáforas são comparações mas que trilham caminhos diferentes. As analogias buscam fazer comparações de forma explícita de fato

comparando as partes dos dois domínios, enquanto que metáforas também fazem comparações mas de forma a destacar as diferenças entre os domínios.

3.1.1 O processo de aprendizagem e as analogias

O processo de aprendizagem é um processo de assimilação. Os novos esquemas são gerados pelas analogias e transferidos para as estruturas de domínio, o que é um processo bem parecido com o processo de acomodação de Piaget (Duit, 1991). As analogias atuam no sentido de relacionar a nova informação com o concreto, relacionar o já aprendido anteriormente com o novo. Segundo Duit, “aprender é um processo ativo de construção; e aprender só é possível baseado em algum conhecimento já adquirido” e é “fundamentalmente construir similaridades entre o novo e o que já se sabe, esse é o aspecto enfatizado pela analogia no ensino construtivista.”

Ainda segundo Duit, a visão construtivista da aprendizagem admite que muito do aprendido seja em termos do crescimento conceitual, como uma corrente de acontecimentos, mas a principal diferença é que frequentemente a aprendizagem não é uma simples cadeia de conhecimento, mas uma construção totalmente nova.

3.1.2 Analogia na visão do estudante e seu uso como recurso em aula.

Analogias são estratégias espontâneas para os estudantes. O uso delas aparece naturalmente quando um novo conceito é apresentado. Além disso, também são utilizadas para auxiliar na resolução de problemas. Analogias são recursos que os alunos aplicam em seu dia a dia para compreender as novas estruturas de conhecimento.

O uso de analogias faz parte do processo de aprendizagem. Mas como analogias são utilizadas para aproximar conhecimentos, muitas vezes se faz necessário o uso de mais de uma para fazer a conexão, pois analogias são nada mais que uma tentativa de aproximar conceitos e por isso não são representações perfeitas. Quase nunca se consegue criar uma analogia que representa fielmente o conceito que se quer trabalhar com os estudantes, então se faz necessário o uso de múltiplas analogias para compor todo um conhecimento.

Para que uma analogia seja realmente um recurso no processo de aprendizagem se faz necessário que os estudantes tenham familiaridade com o análogo. É preciso

então questionar os estudantes se eles conhecem a situação análoga que se quer usar, se não houver essa compreensão prévia a analogia simplesmente não funciona, pois a comparação será entre duas situações que o estudante não compreende.

Nem sempre é interessante fazer o uso de analogias, estas somente surtem efeito quando o alvo é uma situação que apresenta dificuldade na compreensão, como por exemplo conceitos sobre circuitos elétricos. Se o alvo é de fácil aprendizagem não se faz necessário o uso de analogias, pois o efeito desta não terá o poder de envolver o estudante e fazer com que pareça um desafio criar as pontes entre esses dois grupos de conhecimentos. Estes desafios serão de tamanhos diferentes para cada estudante. Para os que já tem algum conhecimento prévio sobre o assunto talvez o desafio apresentado não pareça tão grande e para este a analogia não se fará tão interessante. Já para os outros alunos, esta analogia talvez seja a chave para que ele compreenda o novo assunto.

O uso de analogias é comum tanto nas salas de aula quanto nos livros texto de ciências; segundo Duit isto ocorre principalmente no ensino de física. Há diversos artigos publicados sobre as analogias usadas nos livros didáticos de física como os de Kopp (2019), Rosa (2016) e Silva (2010). Estes trabalhos mostram o quanto o uso da analogia está inserido no contexto de sala de aula.

3.1.3 O conceito de analogia e suas vantagens e desvantagens

Resumindo o que está nas subseções anteriores, uma boa definição do emprego de analogias é:

“Uma analogia serve a uma função explicativa quando são colocados novos conceitos e princípios em termos familiares. Ela serve a uma função criativa quando estimula a solução de problemas existentes, a identificação de novos problemas e a geração de hipóteses.” (Glynn et al., 1989, p.383 apud Duit,1991)

Em outras palavras “analogias são relações entre partes das estruturas de dois domínios (...) comparações das similaridades entre duas estruturas dominantes” (Duit,1991).

Analogias são recursos valiosos que podem ser utilizados em sala de aula, mas como toda adaptação possui vantagens e desvantagens, pois são limitadas. Quando bem escolhidas, analogias têm o poder de abrir novas perspectivas para os alunos, facilitar a compreensão de conteúdos de forma a ilustrar novos conceitos e até mesmo motivar os estudantes a comparar as diferenças entre os domínios que estão sendo estudados. Uma das desvantagens do uso de analogias se dá quando o aluno não tem total domínio sobre o conceito análogo, logo ele carregará suas concepções erradas para o novo domínio, o conceito alvo. Outra desvantagem é que não é possível encontrar analogias que se encaixam perfeitamente no alvo, isto pode provocar alguns problemas de erros conceituais por faltar algum detalhe no conceito análogo para representar uma parte do conceito alvo. Uma forma de melhorar essa deficiência é o uso das múltiplas analogias, ou seja, usar analogias complementares a analogia principal. Na próxima seção apresentaremos várias analogias que têm sido utilizadas no ensino de circuitos elétricos e discutiremos suas vantagens e desvantagens.

3.2 Exemplos de analogias aplicadas ao caso do circuito elétrico.

Em uma busca rápida na literatura pode-se encontrar diversas analogias para o ensino de circuitos elétricos. Este é um dos temas onde mais se faz uso de analogias, e um dos mais citados como exemplo de aplicação de analogias. Esta seção é dedicada a mostrar alguns exemplos do uso de analogias aplicados ao ensino de circuitos. Também apresentaremos e justificaremos a analogia utilizada nesta dissertação.

3.2.1 Exemplos de analogias aplicadas ao tema circuitos elétricos

As analogias que serão apresentadas aqui foram adaptadas do artigo “*Going with the flow: Using analogies to explain electric circuits*” de Walker e Garlovsky (Walker, 1997). Para cada uma delas, apresentaremos suas vantagens e desvantagens.

A mais clássica analogia utilizada para circuitos elétricos é a relação com algum circuito hidráulico que envolva circulação de água. Sistemas hidráulicos estão presentes na vida dos alunos todos os dias e não é complicado entender que a água circula pelos canos de uma casa. Nesta analogia temos muitos elementos a serem comparados com os vários componentes do circuito elétrico. Por exemplo, os canos fazem o papel dos fios,

a bomba pode ser comparada à fonte de energia elétrica, um estreitamento no cano pode representar uma resistência e etc. Esta analogia aparentemente perfeita falha no quesito de não ser um sistema fechado. Geralmente a água é utilizada para as mais diversas atividades domésticas mas ela sempre vai embora pelo encanamento de esgoto, o que dificulta para o aluno entender que circuitos elétricos precisam ser, necessariamente, fechados.

Uma versão interativa de analogia seria pedir que os alunos simultaneamente tentassem sair da sala de aula e todos percorressem os corredores estreitos da escola. Uma excelente escolha para explicar corrente e resistência elétrica já que as portas e corredores estreitos representariam bem estes papéis. A desvantagem desta é que não é necessariamente um circuito fechado e não há um paralelo para a bateria.

A corrente de uma bicicleta também é um bom representante de um circuito elétrico. Quando os pedais são pressionados para baixo pelo ciclista a correia transfere a energia para a roda para mover a bicicleta. A grande vantagem deste modelo é que assim como no circuito elétrico a resposta do acionamento é quase instantâneo e a energia envolvida realiza algum trabalho. A desvantagem deste modelo é que ao cessar a energia fornecida pelo ciclista à roda não para de girar imediatamente, como aconteceria a corrente elétrica num circuito elétrico onde assim que desconectamos a fonte de energia a corrente elétrica cessa imediatamente. Rankhumise (2014) faz o uso deste modelo de analogia.

O sistema circulatório sanguíneo é outro exemplo de analogia que pode ser usado para o circuito elétrico. Possui uma fonte que fornece energia ao sistema (coração) e partículas que circulam nesse sistema, como as hemoglobinas que carregam oxigênio e o transferem as outras células assim como num circuito elétrico onde os elétrons transferem energia ao sistema. A desvantagem vem de um fator comum com ao circuito elétrico: não é possível visualizar. Esta analogia, se feita, será totalmente imaginativa e baseada em modelos que conhecemos.

Os alunos sentados em círculo de mãos dadas é outra possibilidade de analogia a ser feita. A “mensagem” seria os alunos apertando as mãos uns dos outros simbolizando a “passagem” dos elétrons. Uma boa representação de que a corrente é invisível mas podemos sentir seus efeitos e mostra que um circuito precisa ser fechado para funcionar. No entanto esta é uma analogia pobre pois não temos um equivalente a bateria, não

funciona continuamente e a energia envolvida não realiza trabalho. Como abordagem inicial para crianças do primeiro segmento do ensino fundamental é bom começo para trabalhar o assunto.

Ainda outra possibilidade é um trem que transporta carvão e se move entre um depósito e um forno. Nesta analogia o trem representa os elétrons transportando energia e percorrendo um circuito fechado. O depósito faz o papel da bateria provendo a energia ao sistema que é levada ao forno para realizar algum trabalho. Essa analogia possibilita que os alunos participem criando, através de desenhos, o caminho a ser percorrido pelo trem, o que pode levar a bifurcações e um debate sobre o que acontece num circuito elétrico quando há “mais de um caminho” para os elétrons percorrerem. Essa analogia apresenta duas principais desvantagens: o trem não é um bom representante da corrente elétrica, uma vez que para ser uma boa comparação esse trem deveria ser contínuo e ocupar todo o caminho da estrada de ferro, e os alunos acharem que o trem volta vazio para o depósito, dando a falsa sensação de que os elétrons perdem sua energia quando participam do funcionamento de algo.

Um último exemplo é um carrinho de mão que transporta areia e a deposita em um buraco que deve ser preenchido. É uma boa representação para a transferência de energia feita pelo elétron transitando em um condutor, mas falha no sentido de que o circuito não necessariamente será visto como fechado. A areia pode ser confundida com um elemento vital para o funcionamento do circuito, e também não há equivalentes aos outros elementos de um circuito elétrico.

Como vimos, existem diversas possibilidades de analogias que podem ser utilizadas para facilitar a aprendizagem de circuitos elétricos. A escolha a ser feita por cada professor dependerá de suas turmas e o conhecimento prévio demonstrado pelos grupos de alunos que as compõe (Silva, 2009).

3.2.2 A escolha da analogia para nossa aula

Inspirados pela mais clássica das analogias para circuitos elétricos, o sistema hidráulico, resolvemos adaptá-la, tornando-a mais apropriada ao estudo da eficiência luminosa, no qual os conceitos mais importantes são potência, corrente e voltagem.

A analogia utilizada foi uma roda d'água que pode ou não ser conectada a um moinho; o ideal é que se diga aos alunos que essa roda d'água realiza algum trabalho. A

representação da diferença de potencial elétrico é feita pela queda d'água, a lâmpada é representada pela própria roda e a corrente de água é a representante da corrente elétrica. Até este momento o problema relatado pelas diversas sugestões de analogias descritas acima se encontrava presente nesta versão de sistema hidráulico, o circuito estava aberto. Para contornar esse problema o ciclo da água foi acrescentado. Com isso, o Sol fará o papel da bateria do circuito, levando, por evaporação e precipitação, a água que passou pela roda de volta ao alto da queda d'água, fechando o circuito. A figura 3.1 resume a analogia proposta.

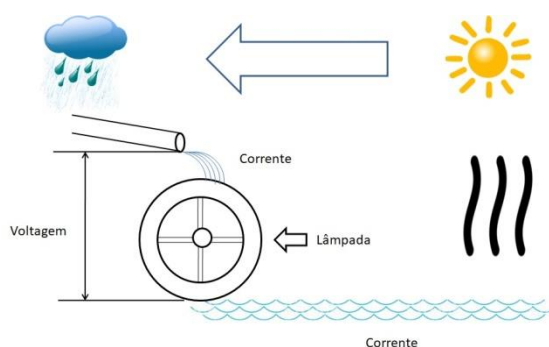


Figura 3.1: Representação visual da analogia apresentada.

Para explicar potência elétrica comparamos uma pequena cascata e uma grande cachoeira. Estas fornecem, devido à altura da queda d'água, energias de diferentes valores para fazer a roda d'água girar. Mesmo para uma queda de altura fixa, a passagem de diferentes quantidades de água pela roda também altera a energia que ela recebe; um filete de água transferiria menos energia que uma torrente. Na analogia esses dois fatores, altura da queda e fluxo de água, transformam-se em voltagem e corrente elétrica. Com isso é possível compreender a relação equivalente para potência elétrica, $P = Vi$.

Maiores detalhes de como esses conceitos e as analogias foram trabalhados na aula que precedeu a aplicação do experimento sobre potência luminosa e como estas analogias se conectam entre si serão descrito no capítulo 5, “Relato da experiência em sala de aula”.

4. Montagem do aparelho de medida

4.1 Do papel ao experimento

O experimento proposto surgiu da necessidade de esclarecer para os estudantes os conceitos básicos de circuitos elétricos. Aos professores parecem simples os conceitos de corrente elétrica, voltagem e potência elétrica. No entanto para nossos alunos esses conceitos se mostram de difícil compreensão (Duit,1997), como pudemos ver no capítulo anterior onde foi discutido o uso de analogias no ensino.

A proposta de material experimental surgiu a partir da ideia de integrar um dos sensores do *smartphone* com um experimento que pudesse ser feito em de sala de aula abordando o conceito de potência elétrica juntamente com o conceito de potência luminosa. Queríamos que a interação entre esses conceitos fosse capaz de ser um exemplo mais concreto e ligado ao dia a dia do aluno, indo além da simples análise da medição de potência usando resistores. Estes, muitas vezes revelam-se em sala de aula como sendo uma “caixa preta” a qual os alunos devem aceitar que de alguma forma ali há consumo de energia elétrica e conseqüentemente potência elétrica. Como alternativa, escolhemos a medição da luminosidade de lâmpadas, pois além de estar inserida no cotidiano, há o elemento visual (brilho) conjugada a facilidade da medição da grandeza física da luminosidade através dos sensores embutidos nos *smartphones*. Outro ponto importante foi a preocupação de se buscar materiais que sejam de fácil acesso aos professores, que fossem duráveis e de fácil transporte.

4.2 O equipamento experimental

O aparato experimental utilizado (figura 4.1) consiste em um trilho para teto utilizado para iluminação que pode ser encontrado em lojas de lustres. Este é vendido a metro, mas para cada montagem experimental utilizamos apenas 50cm de trilho. Este trilho possui embaixo das partes emborrachadas laterais um fio de cobre rígido que conduzirá a corrente elétrica quando o circuito for fechado. Em uma das pontas do trilho, por questão de segurança durante a utilização, uma vez que o manuseio experimental se dará pelo aluno, é colocado um acabamento (figura 4.2) apenas para

assegurar que o estudante não esteja sujeito a um choque elétrico. Na outra ponta do trilho foram soldados dois bornes, um em cada fio de cobre lateral, para conexão dos cabos que irão para a fonte e/ou multímetro, bornes estes que podem ser encontrados em lojas de eletrônica (figura 4.3). Para fechar o circuito precisaremos de dois encaixes para este tipo de trilho que são encontrados nas mesmas lojas onde se pode comprar o trilho (figura 4.4).

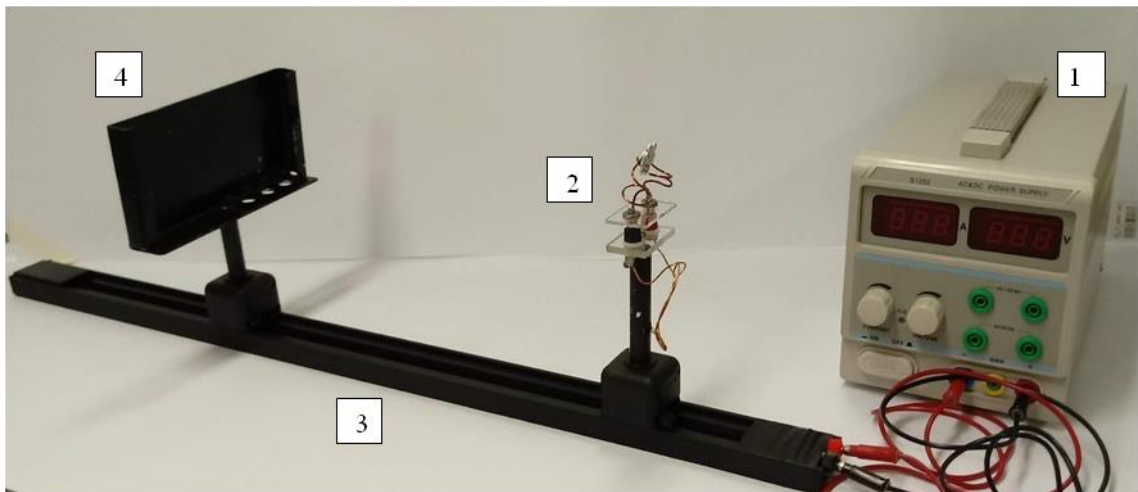


Figura 4.1: Aparato experimental composto por uma fonte de tensão variável (1), uma lâmpada com suporte (2), um trilho para teto (3), suporte para smartphone (4) e cabos banana-banana.



Figura 4.2: Acabamento para trilho para teto.

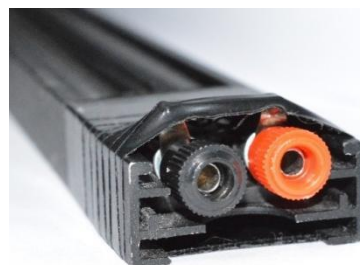


Figura 4.3: Detalhe dos bornes soldados em uma das pontas do trilho.

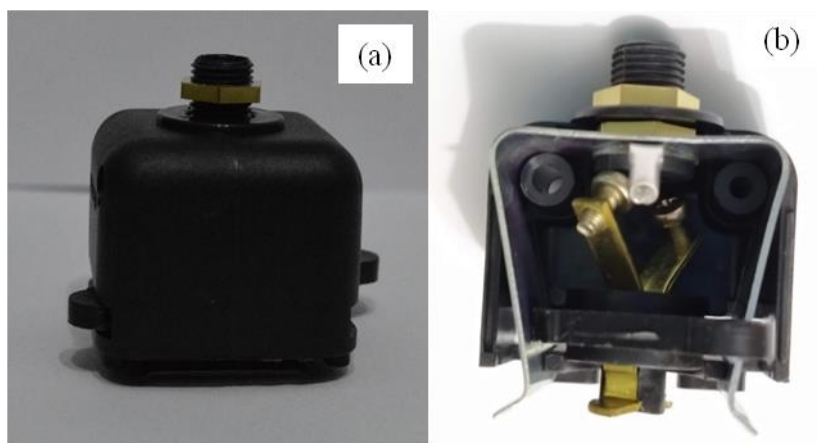


Figura 4.4: Encaixe para trilho para teto fechado (a) e aberto (b).

Além desse material o professor precisará produzir um suporte para smartphone, de forma que o sensor de luz ambiente do celular esteja na mesma altura que a lâmpada, e um encaixe para as lâmpadas. No caso da montagem apresentada, ambos foram construídos pela oficina mecânica do Instituto de Física da UFRJ. A base de apoio para o celular que pode ser substituída por um apoio para celular de mesa e alguns livros para o ajuste de altura. Para o encaixe das lâmpadas foram produzidas peças de acrílico onde foram fixados bornes para facilitar a troca das lâmpadas.

A fonte de tensão utilizada nesta montagem é uma fonte comercial, pois esta faz parte do acervo da escola em que a atividade foi aplicada. No entanto, nem todas as escolas têm acesso a essas fontes comerciais, e por serem pesadas, são difíceis de transportar. Assim, no anexo A está disponível uma versão de baixo custo que foi retirada de uma antiga revista de eletrônica e foi montada em uma das aulas do programa de mestrado.

Além do material já citado será necessário também um *smartphone* que possua sensor de luz ambiente e um aplicativo para medir a luminosidade das lâmpadas envolvidas no experimento. Outras versões da montagem experimental apresentada podem ser encontradas na literatura em Klein (2014) e em Rocha (2018).

4.3 O sensor de luz ambiente do smartphone

Os *smartphones* atualmente possuem uma variedade de sensores para melhorar a experiência do usuário, tais como sensor de campo magnético, de som, de temperatura,

acelerômetro, de pressão, de orientação, giroscópio, luz ambiente e etc. Para este experimento utilizaremos o sensor de luz ambiente. Este normalmente fica localizado próximo a saída de som interna do *smartphone* (figura 4.5). Uma definição do que é um sensor de luz ambiente é descrita em Mendes (2013):

“... Sensor de Luz Ambiente é uma combinação de componentes, ou seja, um dispositivo composto de um elemento transdutor, principalmente fotodiodos, e um elemento de controle (como um transistor ou um microcontrolador), que capta a luz ou o brilho ambiente e a transforma em valores de corrente ou tensão...”



Figura 4.5: Destaque da localização do sensor de luz ambiente no smartphone LG K10 2017.

Ainda em Mendes (2013) sobre o alcance de utilização, “*sobre o espectro de sensibilidade, os sensores de luz ambiente possuem valores semelhantes ao olho humano. (...) a faixa da banda espectral varia de 360 a 970 nm, com pico em 570nm (...) se assemelhando a faixa visível do ser humano (400nm a 700nm)*”. Por conta dessa faixa de sensibilidade e pela praticidade de estar disponível na maioria dos aparelhos *Android* escolhemos utilizá-lo como medidor de luminosidade. Para tal é necessário também o uso de um aplicativo para que sejam feitas as medidas. Vale ressaltar que como o sensor de luz ambiente trabalha na faixa do visível, pois tentar imitar a sensibilidade do olho humano, não é possível fazer medidas na faixa do infravermelho ou do ultravioleta.

4.4 O Luxímetro

Usado por fotógrafos, arquitetos, engenheiros (Landgraf, 2002) e até mesmo profissionais da área de meio ambiente (Suganuma, 2008), o luxímetro é um aparelho medidor de intensidade luminosa que pode ser utilizado em diversas situações para medir quantidade de luz incidente.

Em nossa atividade optamos, por uma questão de praticidade, usar um aplicativo de celular que juntamente com o sensor de luz ambiente desempenha a função de medidor de intensidade luminosa. Por este motivo, neste experimento usamos o aplicativo *Luxímetro* (figuras 4.6 e 4.7) como nosso medidor. Existem diversos aplicativos que cumprem a mesma função, a escolha deste aplicativo se deu pela interface de utilização ser simples e indicar na própria tela de utilização o maior e o menor valor medido desde que o aplicativo foi iniciado.



Figura 4.6: Logo do aplicativo Luxímetro.



Figura 4.7: Tela do smartphone com o aplicativo Luxímetro em funcionamento.

Uma observação que deve ser feita é que este aplicativo não se encontra disponível para o sistema *IOS*. Houve algumas tentativas de utilização de outros aplicativos deste sistema operacional para o experimento, mas não foi encontrado nenhum outro aplicativo que cumprisse a mesma função nos aparelhos *iPhone*. Não se sabe exatamente o porquê, mas os aplicativos deste sistema em que houve tentativa de utilização sempre abriam a câmera do celular para fazer a medida e estas não condisseram com os valores que deveriam ser apresentados quando eram alterados os valores de corrente elétrica e diferença de potencial elétrico. Em outros aparelhos, como alguns modelos mais recentes das marcas *Samsung* e da *Motorola*, também não é possível fazer as medidas, pois estes aparelhos não possuem o sensor de luz ambiente e utilizam no lugar deste sensor a câmera para fazer o ajuste do brilho da tela. Por isso é recomendado verificar com antecedência se a turma na qual o professor pretende aplicar a atividade tem um número mínimo de aparelhos *smartphone* necessários a atividade.

Outro aspecto importante a ser ressaltado diz respeito à unidade de medida. Nas embalagens de lâmpadas LED não aparece a unidade de medida Lux mas aparecem as unidades Lúmen (lm) para fluxo luminoso e Lúmen por Watt (lm/W) para indicar a eficiência luminosa (figura 4.8). Como o nosso instrumento de medida é o sensor de luz ambiente do *smartphone*, este utiliza como unidade de medida o lux que apresenta a seguinte equivalência com o lúmen: lux é lúmen/m², o que mostra que nosso sensor e, portanto, nossas medidas dependem da distância entre fonte emissora de luz e sensor. A grandeza física que medimos com o lux é a luminosidade.



Figura 4.8: Exemplo de um selo do Inmetro de uma lâmpada LED de 15W.

4.5 A escolha das lâmpadas

Existem 3 tipos de lâmpadas que podem ser escolhidas para a este experimento, a halógena, a fluorescente e a LED (branco). Optou-se pela halógena e pela LED por serem mais fáceis de serem encontradas no mercado de eletrônica e também por essas lâmpadas representarem os extremos opostos de consumo energético para lâmpadas.

A lâmpada halógena (figura 4.9) escolhida para o experimento foi a de 10W e 6V, pois permitia uma boa faixa de dados a serem coletados. Em paralelo foi escolhida a LED de 3W e 3V (figura 4.10) pois não foram encontradas lâmpadas LED de 10W no mercado que fossem de LED único, sempre que encontrávamos LED de potência superior a 3W elas eram um conjunto de LEDs como a da figura 4.11. Trabalhar com LEDs “não únicos” acarreta o problema de ter múltiplas fontes de luz que pode não se comportar como uma fonte pontual, que é justamente o oposto do que se quer. Queremos que as lâmpadas sejam o mais parecidas possível para que se possa compará-las na mesma faixa de funcionamento e nas mesmas condições.



Figura 4.9: Lâmpada halógena utilizada.



Figura 4.10: Lâmpada LED utilizada.

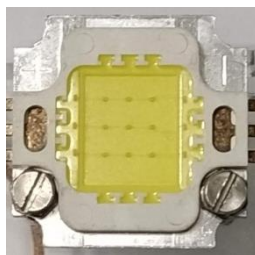


Figura 4.11: Lâmpada LED de 10W constituída por um array.

Talvez esta comparação não pareça justa, pois a lâmpada halógena de 10W tem seu pico de luminosidade próximo a sua potência máxima de utilização assim como a LED tem seu pico em 3W. Queremos trabalhar com os valores máximos da potência de cada lâmpada, pois quando colocadas num circuito elétrico em condições normais é nesta faixa que irão funcionar. A princípio esta parece uma comparação injusta já que a halógena utiliza uma potência aproximadamente três vezes maior que a LED, mas logo no início da tomada de dados notamos que a LED tem uma larga vantagem na questão da energia luminosa. Seu brilho é muito mais intenso desde o começo da emissão de luz comparada a halógena. É importante notar que a lâmpada halógena neste experimento teve seu último dado tomado próximo aos 6V enquanto que a lâmpada LED nos permitiu ultrapassar um pouco seu limite de utilização chegando a ter seu último ponto medido em 4V.

4.6 Primeiros testes com o aparato experimental

Com o experimento construído passamos a fase de testes. Nos primeiros testes com o experimento utilizamos lâmpadas halógenas de 10W, 20W e 50W e uma lâmpada LED de 10W (sendo um conjunto de 9 pequenos LEDs ligados em série, este conjunto também é conhecido como *array*) para verificar quais lâmpadas seriam mais propícias para a atividade com os alunos. Nossos testes começaram com as 3 lâmpadas halógenas e podem ser resumidos no gráfico 4.1.

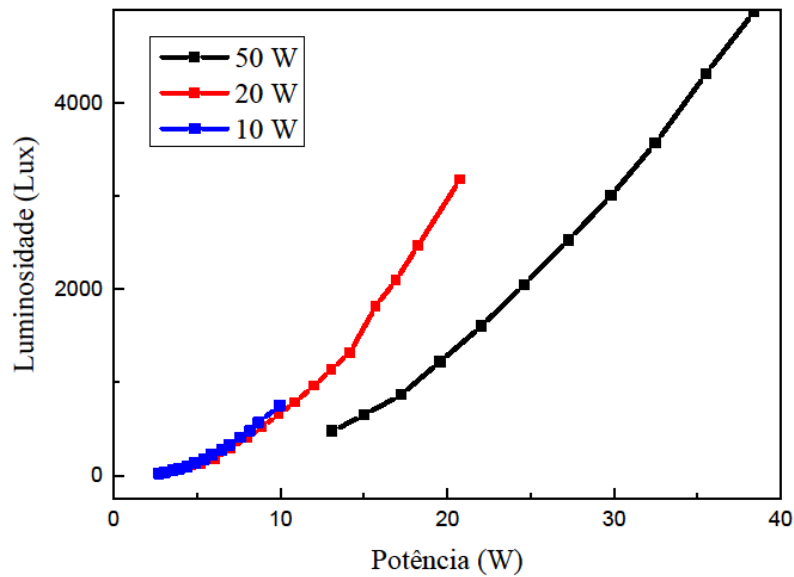


Gráfico 4.1: Emissão de luz com aumento progressivo da potência elétrica para lâmpadas halógenas de 10W, 20W e 50W.

A partir destes dados concluímos que as lâmpadas halógenas têm um comportamento de crescimento de luminosidade bem parecido e elas precisam de certa corrente elétrica e voltagem para que comecem a emitir algum brilho luminoso. As lâmpadas de 10W e 20W apresentam brilho bem antes da lâmpada de 50W que só emitiu algum brilho após a potência elétrica superar os 10W. Isto porque as lâmpadas são construídas para funcionar próximo a sua potência elétrica máxima, no caso da lâmpada de 50W seu brilho máximo será quando a potência elétrica consumida por ela for próxima a 50W. As lâmpadas de 10W e 20W tem uma faixa de funcionamento bem parecida. Optamos pela de 10W pois como pode ser notado ela possui uma boa faixa de trabalho e a princípio nossa lâmpada LED seria de 10W também, acreditamos que seria melhor comparar lâmpadas de mesma potência máxima. No entanto optamos por não utilizar esta lâmpada LED por ser um conjunto de LEDs e acabar se comportando como uma fonte de luz extensa quando próxima ao sensor de luz ambiente do *smartphone*, ou seja, não seria “visto” pelo sensor como uma fonte pontual. A escolha para a lâmpada LED foi uma de 3W e 3V que acabou sendo a que utilizamos com os alunos na aplicação da atividade. Comercialmente foi o maior valor de potência que encontramos para LEDs únicos.

Segundo a teoria, a luminosidade é dada pela razão fluxo luminoso por unidade de área. A luminosidade é a medida da percepção do olho humano para o brilho luminoso (Klein, 2014). O sensor de luz ambiente tenta reproduzir a sensibilidade do nosso olho para captação de brilho e, portanto, suas medidas são feitas em *lux* que é a unidade de medida de luminosidade. Assim como o nosso olho ao afastar a fonte luminosa do sensor é bastante perceptível que a taxa de captação da luz diminui. (gráfico 4.2)

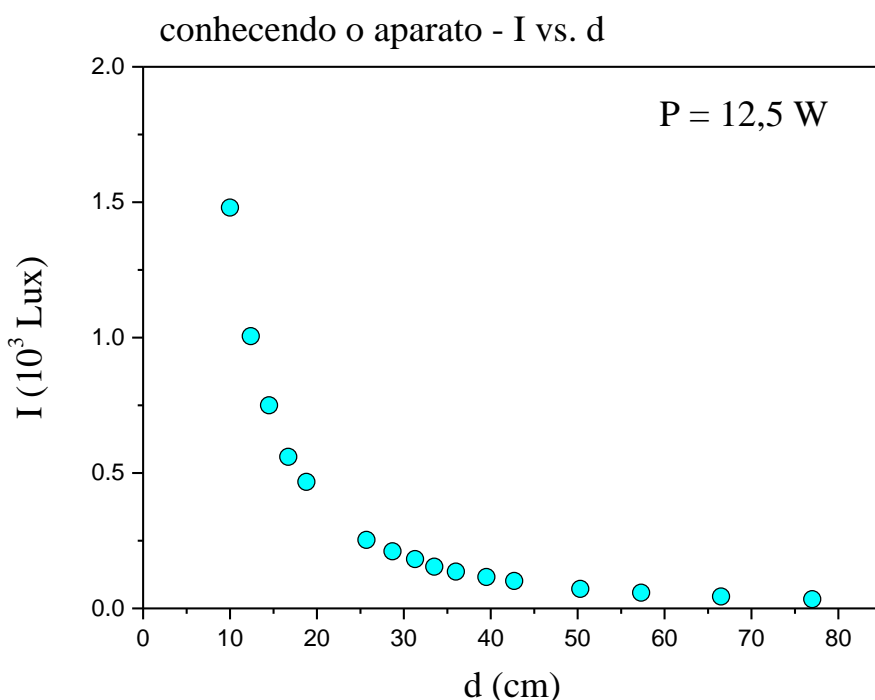


Gráfico 4.2: Decaimento da captação do sensor de luz ambiente com o afastamento de uma lâmpada halógena de 20W do sensor.

O próximo passo para validar nosso experimento foi descobrir qual seria a melhor faixa de trabalho para a distância. Próximo ao sensor do *smartphone* a lâmpada pode se comportar como uma fonte extensa, neste caso sua dimensão teria de ser levada em consideração. Muito afastada a intensidade detectada fica da ordem da iluminação de fundo⁴ comprometendo a precisão do valor medido. Colocando o sensor em uma posição fixa e afastando a fonte de luz conseguimos determinar que o sensor do *smartphone* LG K10 2017 tem uma boa faixa de detecção da luz emitida pela lâmpada

⁴ Consideramos fundo a luz ambiente somada a luz da lâmpada espalhada no ambiente.

entre 10cm a 40cm. Em distâncias menores que 10cm o sensor não consegue ver a luz da fonte como pontual e para valores maiores que 40cm a luz ambiente (luz de fundo) se confundiu com a luz emitida pela lâmpada⁵, por isso temos o decaimento dos valores dos dados no gráfico 4.3.

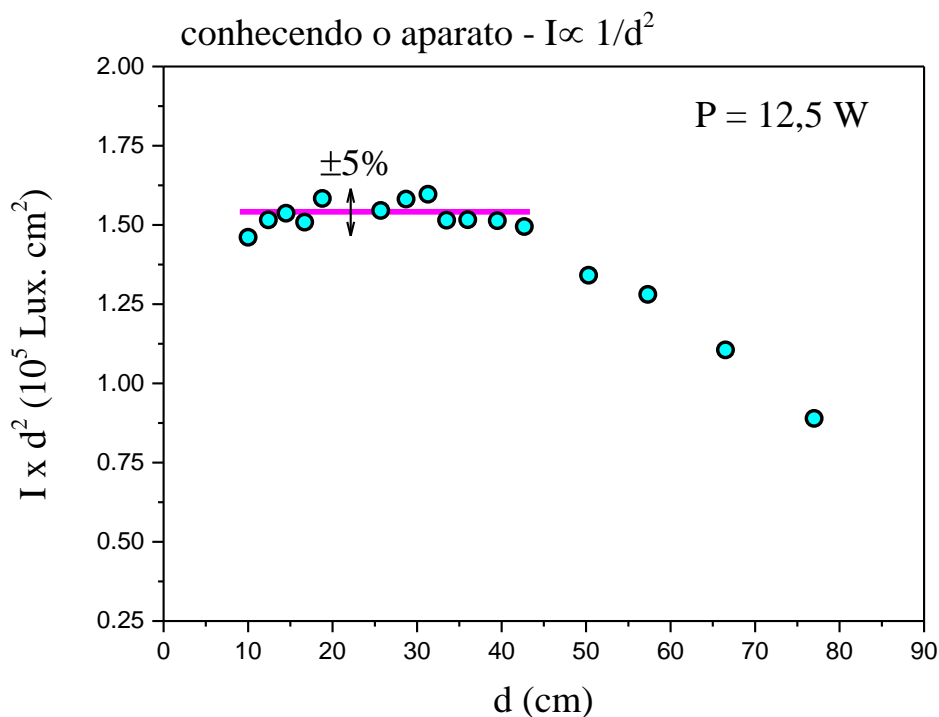


Gráfico 4.3: Faixa de sensibilidade do sensor de luz ambiente do smartphone LG K10 2017.

Após saber o comportamento do nosso experimento e verificar que seu funcionamento é de acordo com o esperado pela teoria. Utilizamos nosso aparato para medir a luminosidade versus potência elétrica de uma lâmpada halógena de 10W e uma lâmpada LED de 3W. A partir desta medida conseguimos calcular a eficiência luminosa de cada uma e compará-las.

Como é possível ver no gráfico 4.4 a lâmpada LED apresenta crescimento de sua intensidade luminosa desde o começo das medições, enquanto que a lâmpada halógena só apresenta luminosidade a partir de um valor de potência significativo (aproximadamente 2W) e o aumento do seu brilho se dá forma bastante lenta. Apesar de

⁵ Todos os valores utilizados tiveram a luz ambiente descontada. Essa luz ambiente foi medida antes da lâmpada estudada ser ligada e posteriormente descontada do valor obtido pelo luxímetro ao ligar a lâmpada.

a lâmpada LED ser de apenas 3W em sua potência máxima seu brilho é aproximadamente 4 vezes maior que o brilho da lâmpada halógena em sua potência máxima. O que mostra que a lâmpada LED é realmente mais eficiente do ponto de vista luminoso, ela emite um brilho muito intenso mesmo com baixa potência. Já lâmpada halógena demora bastante para emitir uma quantidade de luz que seja de fato satisfatória para iluminação.

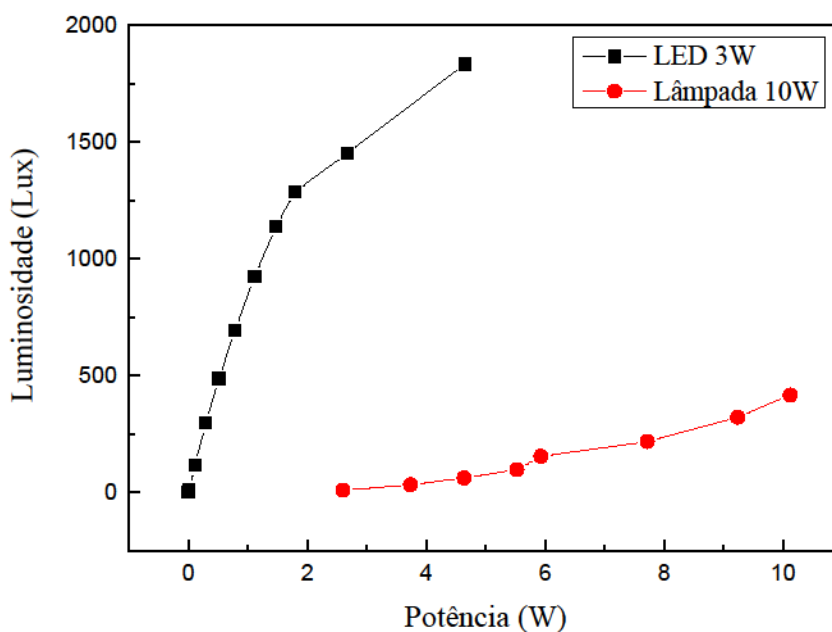


Gráfico 4.4: Comparação entre a luminosidade em lux versus potência elétrica em Watts consumida por uma lâmpada halógena e uma LED.

A partir do resultado do gráfico 4.4 achamos interessante propor aos alunos que trabalhassem com estas lâmpadas. Elas refletem bem a diferença de consumo energético e iluminação que é possível com cada lâmpada. Este gráfico é bem ilustrativo no sentido de comparar as lâmpadas e mostrar para os alunos como consumo energético e o trabalho obtido (como o brilho da lâmpada, neste caso) não necessariamente crescem na mesma proporção.

Após essa análise concluímos que, para a aplicação em sala de aula, a escolha destas lâmpadas seria adequada para que os alunos fossem capazes de explorar os conceitos de potência elétrica e luminosidade, sendo capazes de refletir sobre a questão energética.

5. Relato da experiência em sala de aula

5.1 Local de aplicação e público alvo

A atividade foi aplicada em uma escola particular na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. Participaram da atividade alunos de 1^a e 2^a série do Ensino Médio. Nenhum destes alunos teve instrução formal sobre o conteúdo da atividade antes da aplicação. No total, a atividade foi aplicada a 15 grupos com um número de 4 a 7 estudantes cada. A atividade foi realizada com 1 ou 2 grupos de alunos de cada vez e foi uma aula extra da disciplina Laboratório de Física, que normalmente possui 2 tempos seguidos, totalizando uma aula de 1h e 30min, por semana.

5.2 A aplicação da atividade

A aplicação da atividade foi realizada em duas etapas, sendo a primeira uma aula expositiva e a segunda a atividade experimental. A seguir será descrito o conteúdo abordado na aula e, posteriormente, a atividade seguida dos resultados da interação com os alunos. O material aqui descrito está disponível nos apêndices B e C.

5.2.1 A aula

Inicialmente, a pergunta colocada como ponto de partida foi: “Como medir o brilho de uma lâmpada?”. Esta pergunta foi a motivação para o aluno pensar na eficiência de lâmpadas, como se pode efetuar uma medida dessa eficiência e que dados são utilizados para calcular essa eficiência.

Em seguida introduzimos aos alunos os elementos básicos necessários para o funcionamento de uma lâmpada, como uma fonte de energia elétrica, fios, corrente elétrica e a própria lâmpada. Para melhor compreender como esses elementos se relacionam foi proposta uma analogia capaz de relacionar grandezas elétricas, corrente e potencial elétrico, com trabalho e potência. A analogia escolhida foi a de uma roda d’água. Na analogia, a roda d’água faz o papel da lâmpada no circuito elétrico, o

elemento que se quer fazer funcionar e que consome energia. A corrente de água tem a mesma função que a corrente elétrica, no caso da água fazer a roda girar e no caso da corrente elétrica fazer a lâmpada brilhar. A altura de queda da água em relação ao nível da água abaixo da roda está relacionada à energia potencial gravitacional, a qual fará o papel da diferença de potencial elétrico, a “voltagem”. Fez-se necessário acrescentar o ciclo da água à analogia, para que haja um circuito fechado, tendo o Sol como fonte de energia para que a água volte ao início da queda (figura 5.1).

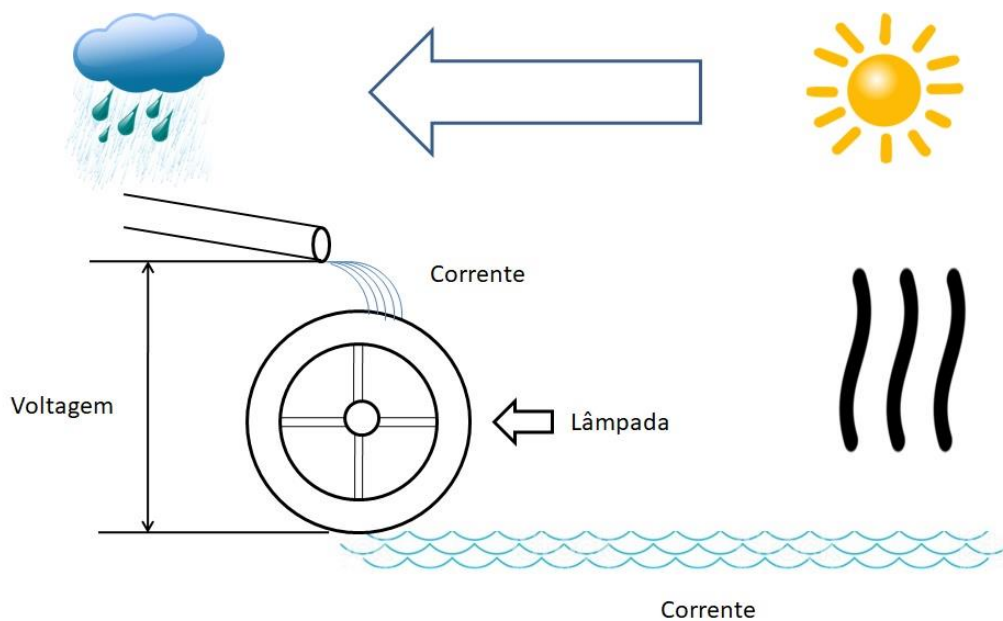


Figura 5.1: Representação visual da analogia utilizada.

Para chegar ao conceito de potência elétrica faremos uma análise da correspondente energia consumida pela roda d’água. Vamos supor que uma massa de água m passa pela roda durante um tempo t , caindo de uma altura h . A energia que essa quantidade de água transmite à roda é

$$E = mgh.$$

A energia por unidade de tempo consumida pela roda, a potência, é então

$$P = \frac{E}{t} = \frac{m}{t} gh.$$

Definindo a corrente de água como a massa que passa pela roda por unidade de tempo

$$j = \frac{m}{t}$$

podemos escrever a potência consumida como

$$P = jgh.$$

Definindo também a diferença de potencial gravitacional

$$U = gh$$

obtemos finalmente que

$$P = Uj.$$

Na analogia a massa de água que passa pela roda torna-se a carga elétrica que atravessa a lâmpada. Pode-se argumentar que as moléculas de água em movimento seriam análogas às cargas que se movem em um condutor (elétrons). (figura 5.2)

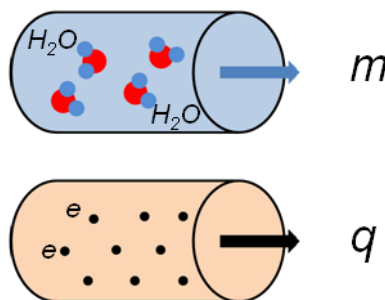


Figura 5.2: O fluxo de água é análogo ao fluxo de carga elétrica, ou, se quisermos, as moléculas de água fazem o papel dos elétrons.

Como na analogia a massa m de água corresponde à carga elétrica q , a corrente de água $j = m/t$ corresponderá à corrente elétrica $i = q/t$. Da mesma maneira a diferença de potencial gravitacional $U = gh$ corresponderá à diferença de potencial elétrico V . Com isso a potência dissipada na roda, $P = Uj$, torna-se a potência dissipada na lâmpada

$$P = Vi$$

que é o resultado que gostaríamos de ilustrar com a analogia.

A analogia entre as transformações de energia na roda d'água e na lâmpada está esquematizada na figura 5.3.

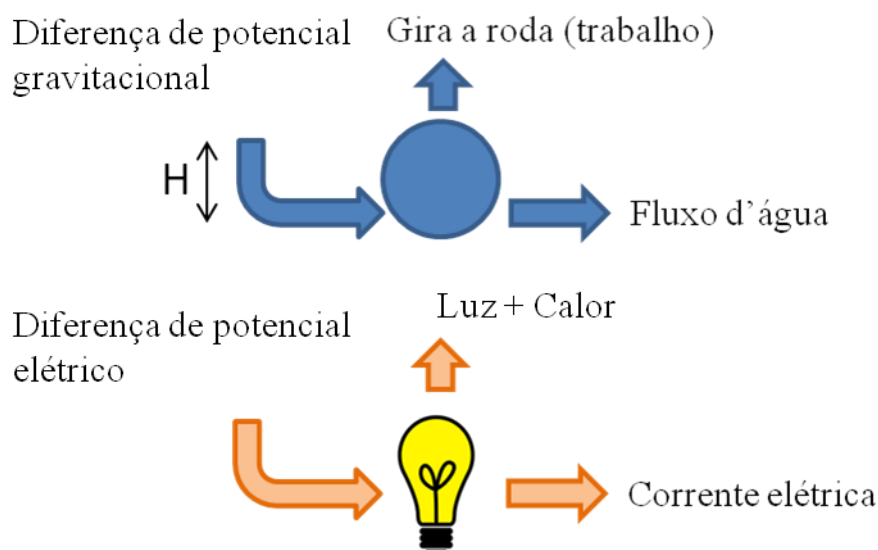


Figura 5.3: Comparação entre os efeitos provocados pela passagem de água em uma roda d'água e a corrente elétrica passando por uma lâmpada.

Seguimos a aula falando sobre a conta de energia elétrica. Mostramos que a companhia de energia elétrica cobra a energia consumida durante um período (normalmente de 30 dias) e que essa energia cobrada é a potência consumida por cada aparelho elétrico da residência durante o tempo em que este fica ligado. Em outras palavras, caso se queira estimar o valor a ser cobrado na próxima conta de energia elétrica, basta verificar o valor da potência de cada aparelho e multiplicar esse valor pelo tempo que o aparelho fica ligado durante os 30 dias, assim teremos a potência total consumida (PTC) por aparelho. Somando a PTC de todos os aparelhos vamos encontrar a energia consumida pela residência, bastando apenas multiplicar o valor da energia pelo valor monetário que a companhia elétrica cobra por unidade de energia (kWh). Toda essa discussão levou os alunos a repensarem seus consumos e o porquê de seus pais reclamarem sobre as luzes da casa acesas sem necessidade ou seus vários eletrônicos ligados simultaneamente.

A discussão da conta de luz estendeu-se para os tipos de lâmpadas que se encontram no mercado e o funcionamento básico de cada uma dessas lâmpadas (incandescente, halógena, fluorescente e LED). Falamos que todas as lâmpadas

transformam energia elétrica em energia luminosa, mas cada uma delas utiliza um processo diferente. A lâmpada incandescente é uma lâmpada que funciona aquecendo um filamento de tungstênio e que por este motivo transforma muita energia elétrica em calor (efeito Joule), o que ocasionou o seu banimento do mercado brasileiro. A lâmpada halógena tem o mesmo princípio de funcionamento da incandescente mas possui dois bulbos onde no mais interno é colocado um gás halógeno que faz com que sua durabilidade seja um pouco maior do que a lâmpada incandescente. A lâmpada fluorescente funciona com um gás interno e uma camada de fósforo que recobre o vidro internamente, os elétrons desse gás quando submetidos à corrente elétrica ganham energia e mudam de camada atômica, como esses elétrons ficam instáveis, eles voltam para sua camada original emitindo a energia absorvida em forma de luz (fótons). Boa parte dessa luz é emitida como ultravioleta mas é transformada em luz visível pela camada de fósforo. Já a lâmpada LED é composta de um material semicondutor que ao ser atravessado por corrente elétrica emite luz visível. Após o breve relato sobre o funcionamento de cada tipo lâmpada demos prosseguimento a aula partindo para a parte experimental.

Para a atividade experimental foi proposto que os estudantes deveriam determinar qual das lâmpadas entre uma LED e uma halógena era a mais eficiente. Eficiência luminosa aparece nas embalagens das lâmpadas LED em unidades de:

$$\frac{lm(lúmen)}{W(Watt)}$$

No entanto, como apresentado no capítulo 4, no experimento não utilizamos a unidade de medida *lúmen* pois essa corresponde ao fluxo luminoso em um cone (ângulo sólido). Por conta do medidor utilizado, o smartphone, a unidade com a qual trabalhamos é o *lux*, que corresponde ao fluxo luminoso sobre uma área determinada. Para efeitos de comparação da eficiência luminosa de diferentes lâmpadas não há prejuízo ao substituir *lúmen* por *lux*, desde que a distância entre lâmpada e sensor seja constante. Logo, para os alunos nesta atividade, a eficiência luminosa que eles devem encontrar tem unidade:

$$\frac{lux}{W}$$

5.2.2 Desenvolvimento da atividade

O aparato experimental descrito no capítulo 4 já se encontrava montado na bancada quando os alunos chegaram. Faltava somente agregar o *smartphone* e as lâmpadas. O ajuste inicial da fonte de tensão variável também já se encontrava devidamente feito. As instruções dadas aos alunos antes da realização da atividade experimental consistiram em apresentar o material sobre a bancada, a explicação de como funciona o sensor de luz ambiente do *smartphone* e onde ele se localiza. Foi feito um pedido para que um aluno de cada grupo que possuísse um *smartphone*, preferencialmente do sistema *Android*, baixasse o aplicativo Luxímetro. Seguiu-se uma breve explicação sobre como operar a fonte de tensão variável, como seria feita a leitura dos dados e os limites aplicados, pois cada lâmpada utilizada possui um limite de voltagem à qual ela pode ser submetida. Um valor próximo desse limite deveria ser o último dado a ser tomado e assim seria obtido o valor máximo, ou bastante próximo do máximo, para a luminosidade máxima emitida de cada lâmpada. Ao final foi pedido que eles preenchessem em seus grupos os relatórios com dados tomados.

O questionamento principal feito aos alunos antes do início da parte prática foi que eles deveriam determinar qual lâmpada, entre uma halógena e uma LED, era a mais eficiente. Com os dados tomados os estudantes foram levados a calcular a potência de cada lâmpada (vide apêndice B) com o sucessivo aumento da corrente elétrica, da voltagem e conseqüentemente da luminosidade. No questionário pós-experimento os alunos deveriam identificar quais grandezas físicas entre corrente elétrica, voltagem, potência elétrica e luminosidade, deveriam ser relacionadas para que se pudesse determinar a eficiência das lâmpadas. Eles também deveriam responder o que acontece com a parte da energia elétrica que não é transformada em energia luminosa quando uma lâmpada está acesa. E qual das lâmpadas, novamente entre LED e halógena, eles comprariam para suas residências.

5.2.3 Resultado das medidas dos alunos

As medidas de eficiência de lâmpadas foram realizadas na segunda parte da aula. Após uma descrição do equipamento e a realização de uma medida guiada pelo professor em cada grupo, os alunos prosseguiram com a tomada de dados independentemente. Essas medidas foram realizadas sem aparente dificuldade. Ao final eles compararam as luminosidades e potências das diferentes lâmpadas e determinaram qual era a mais eficiente.

O resultado obtido por um dos grupos de alunos está apresentado nas figuras 5.4 e 5.5.

| Lâmpada (Led) | | | | Medidas Pot (W) | |
|---------------|-------|------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Medidas | i (A) | Tensão (V) | Luminosidade (lux) | Medidas | Pot (W) |
| 1 | 0,03 | 0,28 | 214 | 1 | $8,4 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 0,19 | 3,0 | 541 | 2 | 0,57 |
| 3 | 0,28 | 3,1 | 822 | 3 | 0,868 |
| 4 | 0,32 | 3,2 | 925 | 4 | 1,024 |
| 5 | 0,35 | 3,2 | 996 | 5 | 1,12 |
| 6 | 0,39 | 3,3 | 1074 | 6 | 1,287 |
| 7 | 0,40 | 3,3 | 1097 | 7 | 1,32 |
| 8 | 0,43 | 3,3 | 1158 | 8 | 1,419 |
| 9 | 0,53 | 3,5 | 1330 | 9 | 1,855 |
| 10 | 0,78 | 3,8 | 1762 | 10 | 2,964 |

Figura 5.4: Resultados obtidos por um grupo para a lâmpada LED.

| Lâmpada (Halógena) | | | | Medidas Pot (W) | |
|--------------------|-------|------------|--------------------|-----------------|---------|
| Medidas | i (A) | Tensão (V) | Luminosidade (lux) | Medidas | Pot (W) |
| 1 | 0,97 | 2,2 | 12 | 1 | 2,134 |
| 2 | 1,00 | 2,4 | 19 | 2 | 2,4 |
| 3 | 1,14 | 3,0 | 40 | 3 | 3,42 |
| 4 | 1,19 | 3,3 | 55 | 4 | 3,57 |
| 5 | 1,25 | 3,6 | 78 | 5 | 4,5 |
| 6 | 1,32 | 4,0 | 109 | 6 | 5,28 |
| 7 | 1,4 | 4,5 | 174 | 7 | 6,3 |
| 8 | 1,49 | 5,0 | 255 | 8 | 7,45 |
| 9 | 1,53 | 5,3 | 310 | 9 | 8,109 |
| 10 | 1,6 | 5,9 | 438 | 10 | 9,44 |

Figura 5.5: Resultados obtidos por um grupo para a lâmpada halógena.

Esses resultados estão resumidos no gráfico 5.1. Podemos notar a semelhança com o gráfico 4.4 mostrado no capítulo 4. Cabe ressaltar que o gráfico 5.1 não foi feito pelos alunos, pois não houve tempo hábil durante a aula em que atividade foi desenvolvida. Também foi não possível retornar em outra aula para rediscutir os resultados encontrados com os alunos, pois esta foi uma aula extra e os assuntos abordados não fazem parte do currículo destes alunos nas séries em questão.

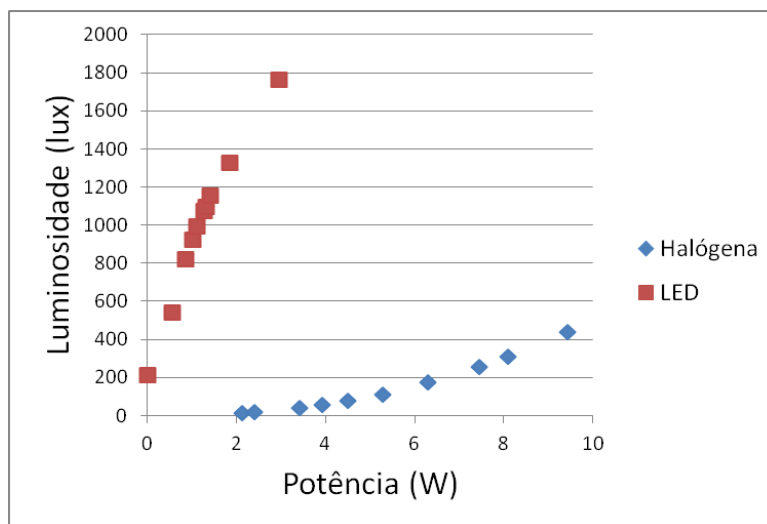


Gráfico 5.1: Luminosidade versus potência elétrica para as duas lâmpadas investigadas pelos alunos.

5.2.4 Respostas do questionário pós-experimento

A partir das respostas dos estudantes ao questionário aplicado após a realização do experimento, pudemos concluir que a grande maioria dos estudantes entendeu que as grandezas físicas relevantes para quantificar a eficiência de lâmpadas são a potência elétrica e a luminosidade (figura 5.6). Alguns grupos de alunos chegaram até mesmo à conclusão que estas se relacionam através de uma razão.

- a) A partir das grandezas medidas anteriormente (V , i , Pot e Lux) invente uma grandeza para "quantificar" a eficiência das lâmpadas, qual seria a unidade desta sua grandeza?

Potência e lux, pois foram as duas grandezas comparadas para verificar a eficiência.

Figura 5.6: Destaque da resposta de um dos grupos ao item a do questionário pós-experimento.

Todos os grupos de alunos, por já terem ouvido falar e comprovado experimentalmente pela atividade prática, concluíram que a lâmpada LED é mais eficiente, pois seu consumo energético é muito menor comparada às lâmpadas halógenas. E que mesmo a lâmpada LED sendo o tipo de lâmpada mais eficiente disponível no mercado não temos uma lâmpada ideal onde todo o consumo energético seja transformado apenas em energia luminosa, sempre temos uma perda de energia em forma de calor (figuras 5.7 e 5.8).

b) Baseando-se nesta sua grandeza qual lâmpada você levaria para casa? Por quê?

Handwritten response in cursive: "Led, pois ela precisa de uma quantidade de potência menor e emite mais luz, comparada com a alógena. Ou seja, ela gasta menos energia e emite mais luz, tendo, assim, uma eficiência maior."

Figura 5.7: Destaque da resposta de um dos grupos ao item b do questionário pós-experimento.

c) Você percebeu que nas lâmpadas energia elétrica é transformada energia luminosa. Então se para iluminar seu quarto de forma equivalente uma lâmpada gasta mais energia elétrica que outra, para onde deve estar indo este "desperdício" de energia?

Handwritten response in cursive: "Essa energia está sendo convertida em calor, portanto, quanto menos ~~calor~~ for convertida em energia calor por uma lâmpada, maior será a conversão em energia luminosa, portanto maior será a eficiência."

Figura 5.8: Destaque da resposta de um dos grupos ao item c do questionário pós-experimento.

Por fim, apresentamos uma compilação das respostas dos grupos de estudantes ao questionário pós-experimento no quadro 5.1.

| Perguntas feitas no questionário pós-experimento | Respostas do questionário da atividade | Nº de grupos |
|--|---|---------------------|
| Grandeza escolhida para quantificar a eficiência das lâmpadas. | Nenhuma conclusão | 1 |
| | Somente a potência | 1 |
| | Lux/Pot | 2 |
| | E (de eficiência) | 1 |
| | Pot/Lux | 2 |
| | Pot e Lux | 8 |
| | Pot+Lux | 1 |
| Qual lâmpada levaria para casa? Por quê? | LED. Não justificou. | 1 |
| | LED. Menor potência. | 1 |
| | LED. Menor gasto/ Mais eficiente. | 14 |
| O que acontece com a energia não transformada em luz? | Não respondeu | 1 |
| | Calor | 14 |
| | Para o ambiente | 1 |

Quadro 5.1: Compilação de respostas dos alunos ao questionário pós-experimento.

6. Considerações finais

Ensinar física não é tarefa fácil. Muitos pesquisadores têm nos mostrado que a física parece um mistério indecifrável para nossos alunos. O tema eletricidade, em especial, parece envolver quase que mágica para nossos alunos, pois o objeto de estudo é invisível. Muito do que falamos para eles só é possível ver através de números em instrumentos de medida. Mas podemos através do uso de analogias criar imagens mentais, através de outros conhecimentos adquiridos previamente, de como essas interações invisíveis se dão e tornar o que antes parecia tão complicado em um conhecimento intuitivo.

Nesta dissertação buscamos, através do uso de uma analogia aliada a uma atividade experimental, uma alternativa para o ensino dos conceitos básicos sobre a eficiência energética de lâmpadas. Fizemos uma conexão com elementos já conhecidos para explicar corrente elétrica e voltagem, passando pelo importante ponto de que o circuito precisa ser fechado para funcionar, para chegar de forma quase natural à relação entre potência elétrica, corrente elétrica e voltagem. Construímos um aparato simples para analisar a eficiência de diferentes lâmpadas, que incluía um smartphone como sensor de intensidade luminosa.

Utilizando a analogia e o aparato experimental foi possível investigar a eficiência de lâmpadas com alunos que nunca haviam estudado eletricidade. Eles foram capazes de comparar lâmpadas e determinar qual seria a mais eficiente. Também puderam entender que, pelo menos em parte, a ineficiência de certas lâmpadas está associada ao “desperdício” de energia em forma de calor.

Em aplicações futuras deste trabalho gostaríamos que a aula com a aplicação experimental pudesse dispor de um tempo maior de exploração. Os alunos costumam demonstrar mais interesse nas atividades quando tornamos eles o centro da aula, quando fazemos perguntas que os instigam a participar da aula. Quanto mais interações, mais “mão na massa” eles colocam, mais significativa se torna a atividade para eles. E essa atividade se torna aquela aula em que o aluno, muito tempo depois de ter concluído seus estudos, se lembra. Um primeiro passo nesse sentido é o que buscamos fazer na aplicação deste trabalho, uma abordagem dialógica onde buscamos trazer elementos do cotidiano, como lâmpadas e contas de luz, para uma discussão em sala de aula onde

refletimos juntos sobre o que as informações que dispomos podem nos dizer e como elas impactam nosso dia a dia.

De maneira mais geral, este trabalho sugere que é possível tratar temas importantes nos dias de hoje, como eficiência energética, de forma acessível mesmo a estudantes que ainda não dominam todos os conceitos envolvidos. O uso de analogias e experimentos parece ser um caminho interessante nesse sentido, que merece ser mais investigado.

Referências bibliográficas

(Duit, 1991) Duit, R. “On the role of analogies and metaphors in learning science”. *Science education*, vol.75, n.6, p.649-672, 1991.

(Duit, 1997) Duit, R.; Von Rhöneck, C. “Learning and understanding key concepts of electricity”. *Connecting research in physics education with teacher education*, v.1, p.1-6, 1997.

(Klein, 2014) Klein P.; et al. “Classical experiments revisited: smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics”. *Physics Education*, v.49, n.4, p.412, 2014.

(Kopp, 2019) Kopp, F. A.; de Almeida, V. “Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol.36, n.1, p.69-98, 2019.

(Landgraf, 2002) Landgraf, M.; Pietrobon, C.; Guimarães, E. “Estudo do desempenho térmico e visual dos blocos F67 e G56 da Universidade Estadual de Maringá”. ENTECA 2002 - III Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura.

(Lang, 2016) “Usando uma gota de água para produzir macro fotografias”. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=usando-uma-gota-de-agua-para-produzir-macro-fotografias>>. Acesso em outubro de 2019.

(Mendes, 2013) Mendes Jr, J. J. A.; Stevan Jr, S. L. “LDR e sensores de luz ambiente: funcionamento e aplicações”. *Semana de Eletrônica e Automação 2013*. UTFPR, Ponta Grossa - PR, Junho 2013.

(PCN+, 2006) Brasil, “Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias.” Brasília: MEC, 2006.

(Rankhumise, 2014) Rankhumise, M. P.; Imenda, S. N. “Using a Bicycle Analogy to Alleviate Students’ Alternative Conceptions and Conceptual Difficulties in Electric Circuits”. *Mediterranean Journal of Social Sciences - MCSEER Publishing*. vol.5, n.15, p.297-302, 2014.

(Rocha, 2003) da Rocha Filho, J. B., Coelho, S. M., Salami, M. A., Maciel, M. R., & Schrage, P. U. “Resistores de papel e grafite: Ensino experimental de eletricidade com papel e lápis”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol.20, n.2, p.228-236, 2003.

(Rocha, 2018) Rocha, J. M. da. “Uma eletrodinâmica para a era digital: a Física dos semicondutores e a revolução do uso de LEDs na iluminação”. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

(Rosa, 2016) Rosa, C. T. W. da, Cótica, R. P., & Henrique, L. “Analogias no estudo de eletricidade nos livros didáticos de física”. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol.15, n.3, p.363-379, 2016.

(Sans, 2016) Sans, J. A.; Gea-Pinal, J.; Gimenez, M. H.; Esteve, A. R.; Solbes, J.; Monsoriu, J. A. “Determining the efficiency of optical sources using a smartphone’s ambient light sensor”. *European Journal of Physics*, vol.38, n.2, p. 025301, 2016.

(Silva, 2009) Silva, L. L.; Terrazzan, E. A. “Familiaridade de alunos de ensino médio com situações análogas”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol.26, n.1, p.145-172, 2009.

(Silva, 2010) Silva, C. A. S.; Martins, M. I. “Analogias e metáforas nos livros didáticos de física”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol.27, n.2, p.255-289, 2010.

(Souza, 2011) Souza Filho, M. P. D., Boss, S. L. B., Caluzi, J. J., & Mianutti, J. “Sugestão de experimentos de eletricidade e magnetismo para a utilização no Ensino Fundamental”. *A Física na Escola*, p.30-33, 2011.

(Suganuma, 2008) Suganuma, M. S.; Torezan, J. M. D.; Cavalheiro, A. L.; Vanzela, A. L. L.; Benato, T. “Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura”. *Revista Árvore*, vol.32, n.2, p.377-385, 2008.

(Vieira, 2013) Vieira, L. P. “Experimentos de Física com Tablets e Smartphones”. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

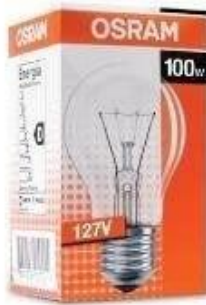
(Walker, 2016) Walker, M. D.; Garlovsky, D. “Going with the flow: Using analogies to explain electric circuits”. *School science review*, vol.97, n.361, p.51-58, 2016.

Apêndice A: Questionário aplicado aos alunos de graduação

Questionário preliminar

Com base nos seus conhecimentos sobre eletrodinâmica responda as perguntas a seguir:

Observe as embalagens apresentadas a seguir de duas lâmpadas incandescentes e responda as questões de 1 e 2 :



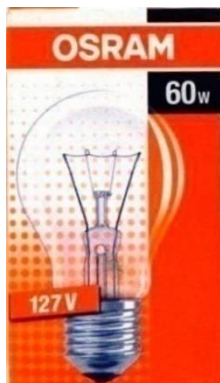
Lâmpada 1



Lâmpada 2

1. As embalagens dispõem de duas informações. Com base apenas nessas informações você é capaz de dizer qual o consumo de energia elétrica de cada uma? Se sim, quanto seria?
2. Olhando as informações dispostas nas embalagens você consegue propor alguma relação para saber qual o brilho que cada lâmpada produz? Se sim, qual relação seria essa?

Com base nas informações apresentadas a seguir responda as questões de 3 a 7:



Lâmpada
Incandescente



Lâmpada
Halógena



Lâmpada
LED



Lâmpada
Fluorescente

3. Olhando para as embalagens apresentadas, você consegue dizer qual destas lâmpadas apresenta maior consumo de energia elétrica? Qual o valor desse consumo?

4. Quais informações contidas nas embalagens são relevantes para você comprar uma lâmpada? Por quê?

5. Qual informação seria necessária para você escolher a lâmpada que apresenta maior luminosidade?

6. Explique com suas palavras o que é:
 - a) Voltagem

 - b) Corrente elétrica

 - c) Potência elétrica

 - d) Potência luminosa

7. Quais conceitos que você acabou de explicar podem se relacionar entre si? De que forma eles se relacionam?

Sobre a conta de energia elétrica responda as questões de 8 a 11:

8. O que é cobrado na sua conta de energia elétrica?
9. Se você fosse estimar o valor da próxima conta de energia elétrica da sua residência qual seria o procedimento adotado?
10. Você já observou que até as lâmpadas hoje em dia tem selo do Inmetro? Você sabe o que quer dizer esse selo?
11. Você leva em consideração o selo do Inmetro quando você vai adquirir um produto que consome energia elétrica?

Nota dos autores sobre as questões 1 e 3: Apesar de não estar explícito que o consumo é por unidade de tempo, esperávamos que a omissão desta expressão não acarretasse dificuldade de resposta para os alunos que participaram da pesquisa. Caso aplique este questionário atente para a necessidade de acrescentar esta informação.

Apêndice B: Uma aula sobre potência elétrica e brilho de lâmpadas



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



MNPEF

Uma aula sobre potência elétrica e brilho de lâmpadas

Gabrielle Barbosa Aragão

Hugo Milward Riani de Luna

Carlos Eduardo Aguiar

Material instrucional associado à
dissertação de mestrado de Gabrielle
Barbosa Aragão, apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2020

Caro(a) professor(a), o material apresentado a seguir é uma sugestão de aula sobre potência elétrica, passando pelos conceitos de voltagem e corrente elétrica, culminando em luminosidade (medida do brilho de uma fonte luminosa) com uso de analogias. Os slides que fazem parte desta aula serão apresentados a seguir sempre comentados. Essa aula foi planejada para ser ministrada em 2 tempos de aula de 45min cada.

Como medir o brilho de uma lâmpada?

Nossa aula começa com uma pergunta instigadora e cuja resposta não é trivial para os alunos. Dê um tempo para os alunos sugerirem repostas para a pergunta.



(preço, potência elétrica e formato), você quer a ajuda deles para determinar qual a melhor opção para você adquirir.

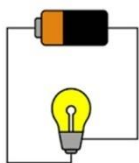
Conte uma história aos seus alunos. A sugestão que damos é dizer que você precisa trocar uma lâmpada na sala da sua casa e que você quer escolher uma lâmpada que ilumine bem o ambiente, mas que não gaste muita energia elétrica. Como temos todas essas opções no mercado e elas são diferentes



Discuta com os alunos que para escolher uma lâmpada, primeiro precisa-se entender o que faz a lâmpada brilhar.

A partir daqui vamos começar a discutir circuitos elétricos.

O que faz uma lâmpada brilhar?



Aqui é feita a primeira abordagem sobre a conexão entre as lâmpadas e circuitos elétricos. O primeiro elemento que os alunos irão mencionar é que a lâmpada deve estar ligada a uma fonte de energia, neste esquema nossa fonte está representada pela pilha e de fios, nossos condutores de corrente elétrica. É interessante fazer uma observação de que a

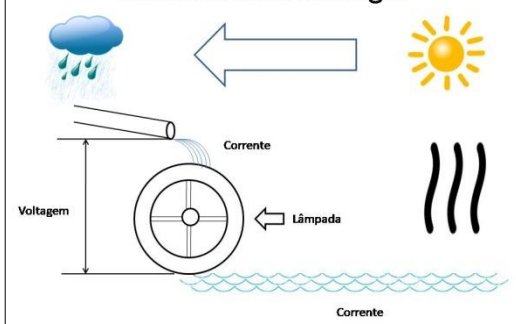
lâmpada possui pólos, assim como a pilha, e é preciso que cada fio seja conectado em um pólo diferente.

Fazendo uma analogia



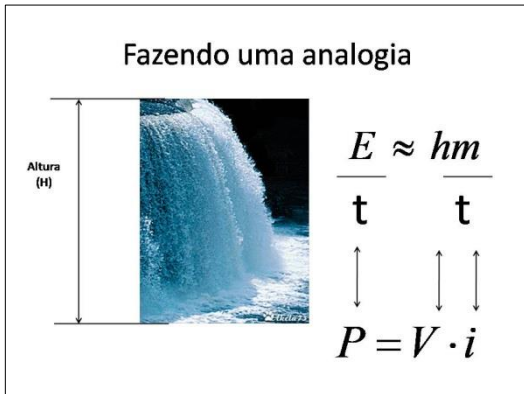
A partir daqui vamos usar a analogia de um circuito elétrico com uma roda d'água. Como toda analogia, a ideia é comparar os dois. Então, uma sugestão é que você diga que o circuito anterior é muito parecido com a roda d'água apresentada na figura. Esta comparação gerará um “choque” nos alunos.

Fazendo uma analogia



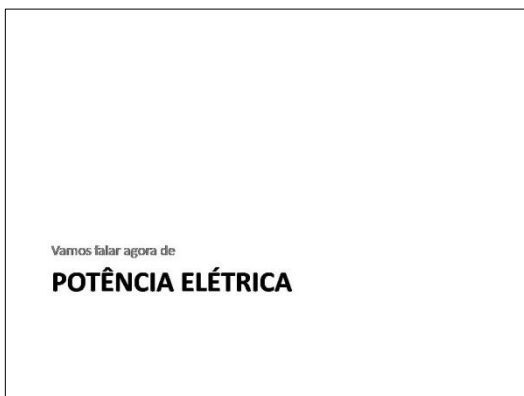
Uma versão esquemática da roda d'água é apresentada na figura ao lado. Aqui faremos as conexões entre o circuito elétrico e nossa analogia. A corrente d'água representa a corrente elétrica, a voltagem corresponde à queda d'água e a lâmpada é representada pela roda d'água, que é o elemento queremos que funcione.

Acrescentamos o ciclo da água para que nosso circuito feche. Você pode justificar o uso desse ciclo, argumentando que o Sol é como uma bomba de aquário que impulsiona a água do próprio aquário da parte de baixo para a parte de cima assim como no circuito onde a fonte também faz o papel de impulsionar os elétrons a voltarem para ela.



Para introduzir o conceito de potência elétrica vamos precisar de uma segunda analogia, preferencialmente dentro da mesma temática. Escolhemos uma queda d'água para traçar uma correlação entre voltagem, corrente elétrica e potência elétrica de forma que a introdução do conceito de potência elétrica se dê de forma

natural. Usamos a analogia com uma cachoeira e a ideia de que a mudança da altura da queda d'água muda a “força” com a qual a água impacta o corpo que está embaixo. A altura da queda segue a mesma ideia da analogia anterior a essa, sendo a voltagem. O volume de água (nossa massa por unidade de tempo) faz o papel da corrente elétrica, uma vez que a corrente elétrica é definida matematicamente como carga por unidade de tempo, sendo assim um bom paralelo. E por último utilizamos a ideia de que a energia da queda d'água é diretamente proporcional a altura da queda e ao volume de água, que combina bem com a definição de potência.



Como potência é um conceito que não havia sido comentado antes mas é uma palavra conhecida dos alunos, vamos passar alguns slides contextualizando este conceito.



Potência elétrica talvez não seja um conceito conhecido para os alunos, mas a ideia é mostrar que em nosso mundo tecnológico praticamente todos os aparelhos que os alunos usam vão ter sua potência especificada. Na figura temos um carregador de iPhone, um selo do Inmetro de chuveiro

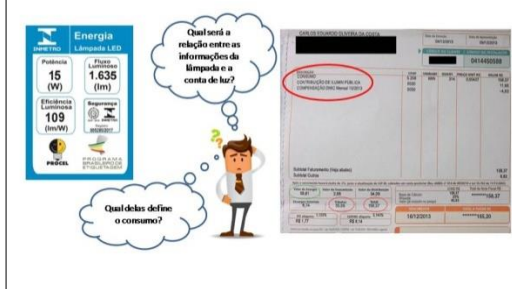
elétrico e uma etiqueta de um refrigerador, sempre destacado em cada imagem a potência do aparelho, para mostrar que esta informação está sempre presente nos aparelhos que são ligados a rede de energia elétrica.

Potência elétrica

- Definimos potência elétrica como a energia consumida por algum dispositivo por unidade de tempo.
- Por exemplo: uma lâmpada de 60W consome 60J (joules) de energia por segundo.

É importante reforçar o que alcançamos com a segunda analogia, então passamos a definição formal de potência elétrica, e um exemplo prático do cotidiano do aluno.

Conta de energia elétrica



Um ponto de interesse dos alunos nas aulas sobre potência elétrica é sempre quando falamos da conta de luz. Para fazer uma conexão com os slides anteriores e dar sequência ao assunto, propomos que a turma seja questionada sobre a conexão entre o que foi trabalhado até agora e a conta de luz. Mas especificamente o que é importante saber

sobre a conta de luz e o que estamos de fato pagando. Nossa sugestão é que pergunte aos alunos qual das informações do selo do Inmetro tem ligação direta com a conta de luz. Também mostre o cálculo da conta de luz ($E = Pot \times tempo$) e explique que o que se paga na conta de luz é a energia consumida.

Tipos de lâmpadas



Aqui acontece um resgate do tema inicial da aula. Começamos nossa discussão com os alunos a partir do tema lâmpadas. A proposta deste slide é falar um pouco sobre o funcionamento de cada tipo de lâmpada presente no mercado e o porquê da lâmpada incandescente ter sido proibida de ser comercializada.



Começando a “amarrar” nosso assunto. Este slide mostra que alguns fabricantes de lâmpadas LED mostram em suas embalagens a equivalência entre as lâmpadas LED, fluorescente e halógena. E esta é a forma mais prática de se comparar as lâmpadas, através da sua potência. Na teoria, os brilhos das lâmpadas comparadas seriam os mesmos.

A partir deste ponto vamos precisar do aparato experimental descrito no material complementar a este, intitulado “Uma atividade experimental sobre eficiência luminosa utilizando o smartphone” (que pode ser encontrado na página do Instituto de Física da UFRJ), que são as instruções da montagem experimental do aparato utilizado a seguir.

Vamos utilizar a montagem experimental para mostrar de forma prática a eficiência luminosa, deixando que os alunos cheguem à conclusão de qual lâmpada é mais eficiente (entre uma halógena e uma LED).

Os próximos slides são orientações da atividade experimental para medir a luminosidade de lâmpadas. Para isto precisaremos que os alunos saibam utilizar alguns instrumentos de medida. Também será necessário que os alunos sejam separados em grupos e que para cada grupo haja um kit com o aparato experimental (consultar material complementar citado acima) e um smartphone *Android* com um aplicativo de luxímetro instalado.



Apresentamos o multímetro aos alunos e explicamos rapidamente seus possíveis usos. Dependendo da montagem que você vai utilizar em aula será necessário que os alunos saibam utilizar e fazer a leitura dos dados em um multímetro. Uma rápida explicação já é suficiente para nosso experimento.

Atividade:
Medindo a potência de lâmpadas

- Utilizando a fonte de tensão variável.



Será preciso também uma fonte de tensão variável. Utilizamos esta da foto pois fazia parte do acervo da escola onde esta aula foi aplicada. No entanto se você não possuir uma fonte tensão variável existe um anexo na dissertação da qual este material faz parte com instruções para a montagem de uma fonte caseira de tensão variável de 0 a 12V e

1A. Será necessário ensinar aos alunos a operarem a fonte de forma que eles não “queimem” as lâmpadas utilizadas durante o experimento.

Atividade:
Medindo a potência de lâmpadas

- Vamos precisar de 1 smartphone por grupo e faremos o download do aplicativo Luxímetro.



Será preciso um smartphone de sistema *Android* que possua um sensor de luz ambiente com um aplicativo de luxímetro instalado. Utilizamos este da foto que tem o nome de Luxímetro e pode ser encontrado gratuitamente na *Play Store* da *Google*. O interessante seria a utilização do smartphone de um aluno de cada grupo, caso

seja possível. Aqui é importante explicar brevemente como esse sensor funciona, sua localização no smartphone e o que mediremos com ele.

O luxímetro é um medidor de luminosidade e tem como unidade de medida o lux. Luminosidade é potência luminosa por metro quadrado. O luxímetro é utilizado em smartphones para medir a luminosidade ambiente e mudar o brilho da tela automaticamente gerando uma economia de bateria. No smartphone quem faz o papel de luxímetro é o sensor de luz ambiente, este tenta imitar a sensibilidade do olho humano para luz e ajustar o brilho de acordo com o que seria mais agradável para os olhos do usuário.



para economizar tempo de aula. A fonte e a necessidade dos multímetros irão depender da montagem que você executar com eles.

Atividade:
Medindo a potência de lâmpadas

- Vamos utilizar para o nosso experimento duas lâmpadas:
- uma halógena de 10W e 6V
- uma LED 3W e 3V

A montagem do equipamento experimental deve ficar similar ao da foto do slide ao lado. É interessante colocar uma foto do aparato montado por você para que os alunos saibam como deve ser a montagem que eles devem executar. Uma sugestão é já deixar o equipamento montado previamente sobre as mesas faltando apenas o smartphone

Vamos medir a luminosidade de duas lâmpadas, uma LED e uma halógena. As lâmpadas utilizadas aqui podem ser encontradas em lojas de eletrônica. Para fotos das lâmpadas utilizadas ver o material complementar de montagem do experimento.

O importante sobre as lâmpadas que serão utilizadas é que estas tenham o valor da potência o mais próximo possível. É importante também que a lâmpada LED seja de LED único, o maior valor de potência que encontramos para este tipo de lâmpada foi de 3W.

A atividade experimental começa neste ponto. Existe um relatório que acompanha este experimento e que se encontra no final deste material. Ele contém as instruções para que os alunos executem a prática experimental proposta e é importante que cada grupo tenha uma cópia.

Atividade:
Medindo a potência de lâmpadas

- Utilizando o aparato experimental anote a voltagem, a corrente elétrica e a potência luminosa em 10 pontos.
- Comece colocando uma das lâmpadas numa distância de 30cm do sensor de luz ambiente do celular.
- *Os pontos escolhidos para tomar os dados serão os pontos de menor valor de voltagem (de forma crescente) onde houver estabilidade de valores para a voltagem.*

É bom que algumas instruções sejam reforçadas mesmo que já estejam descritas no relatório da atividade, como por exemplo pedir aos grupos que anotem os valores da corrente elétrica, da voltagem e da

luminosidade (valor mostrado em lux no aplicativo do smartphone) de 10 pontos distintos conforme eles aumentam o valor da voltagem.

Atividade:

Medindo a potência de lâmpadas

- Lembre-se de **não ultrapassar** a voltagem de 6V para a lâmpada halógena.
- Para a lâmpada LED tente tomar os valores de forma que o último **não ultrapasse** 3V.
- Após tomar os dados faça um único gráfico de $i \times Pot$ para as duas lâmpadas.

Cada lâmpada tem um valor máximo de voltagem. Com a lâmpada halógena ultrapassar esse valor fará com que ela queime. Com a lâmpada LED é possível ultrapassar em 1V este valor mas é recomendado não fazê-lo. Pois também pode ocasionar a queima da lâmpada.

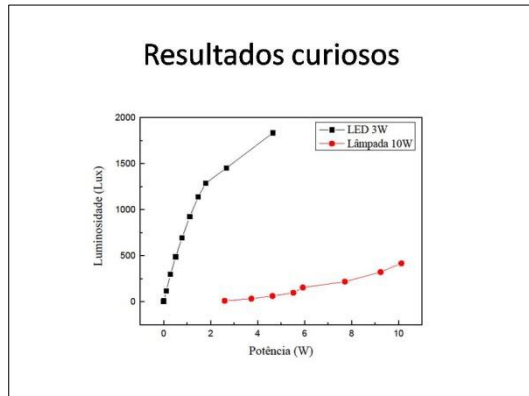
Seria interessante que os alunos produzirem um gráfico após a tomada de dados, mas a escala deste gráfico teria que ser dada previamente, pois é trabalhoso encontrar uma escala que comporte todos os dados em um mesmo gráfico, caso este seja feito em papel milimetrado. Uma opção é fazer o gráfico no Excel, mas sabemos que na maioria das escolas não será possível. Na aplicação realizada desta aula, mesmo sem a produção do gráfico, os alunos conseguiram chegar aos resultados esperados.

Atividade:

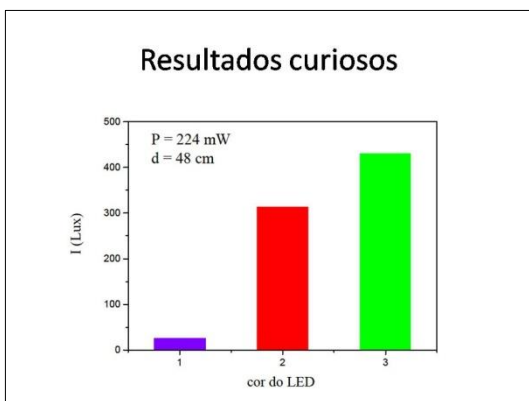
Medindo a potência de lâmpadas

- Definimos eficiência de uma lâmpada como a razão entre a luminosidade produzida e consumo energético (potência x tempo). Quanto menor o consumo de eletricidade para a produção de luminosidade mais eficiente é a lâmpada.
- Com base no gráfico que você montou qual das lâmpadas é mais econômica? Por quê?

Após o preenchimento do roteiro da atividade é importante a aula ter uma conclusão. Sugerimos que seja uma discussão com toda a turma sobre os resultados encontrados por eles.



O gráfico que eles devem encontrar ao final do relatório é semelhante a este ao lado. Mesmo que você opte por não pedir que os alunos construam o gráfico mostre este para fins de comparação de resultados.



Um resultado curioso que pode gerar algumas discussões com a turma é este ao lado. Note como a luminosidade do LED verde é bem maior que os outros LEDs. Isto por que o sensor utilizado imita o olho humano e nós temos maior sensibilidade a cor verde por ser o pico de emissão do espectro do Sol.

Você pode reproduzir esse último experimento com os seus alunos, para isto basta utilizar o mesmo aparato experimental que você acabou de utilizar e 3 LEDs coloridos (um de cada cor), escolher uma distância fixa e medir a luminosidade de cada um deles colocando aproximadamente a mesma corrente elétrica e a mesma voltagem, para que todos sejam medidos sob a mesma potência elétrica. Observe que a potência dos LEDs utilizados é bem pequena, então tenha bastante cuidado ao explorar o uso dos LEDs coloridos.

Nota dos autores: Caro(a) professor(a), caso você possa dispor de mais 2 tempos de aula para aplicação da aula e atividade proposta sugerimos que a aula seja separada nas seguintes etapas:

- a) Aula inicial com a apresentação das grandezas físicas;
- b) Atividade intermediária sobre montagens de circuitos elétricos. Sugerimos que seja uma atividade prática.
- c) Sugestões de como fazer as medições das grandezas voltagem, corrente elétrica, potência elétrica e luminosidade pelos alunos;
- d) Montagem final com o equipamento descrito nos slides e volta da questão “como medir o brilho de uma lâmpada?”

Finalizando a aula com a discussão dos resultados encontrados por eles, podendo se estender ao questionamento se os alunos concordam com o banimento das lâmpadas incandescente do mercado.

Nomes: _____ Turma: _____

ATIVIDADE: Comparando eficiência de lâmpadas: LED vs. Halógena

Nesta atividade iremos comparar a eficiência de lâmpadas a partir do gráfico entre o consumo de energia elétrica e a luminosidade emitida por 2 tipos de lâmpadas: uma halógena e outra de LED.

1. Material:

Para esta atividade precisaremos de:

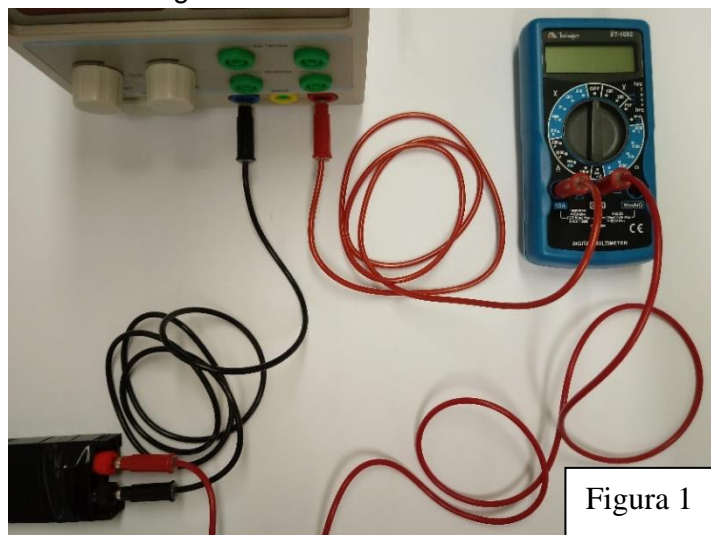
- 1 trilho eletrificado de 60cm
- 1 smartphone com o aplicativo Luxímetro instalado
- 1 fonte de tensão DC variável
- 1 lâmpada LED de 3W e 3V
- 1 lâmpada halógena de 10W e 6V
- 1 suporte para o smartphone
- 1 suporte para lâmpadas
- 1 multímetro
- 3 cabos banana-banana

Leia com atenção as instruções a seguir ANTES de realizar a atividade.

2. Procedimento experimental:

Antes de começar a atividade faremos alguns ajustes:

- a) Certifique-se que a fonte se encontra desligada.
- b) Posicione o smartphone no suporte com o aplicativo já aberto.
- c) Posicione o suporte para lâmpadas no trilho a uma distância de aproximadamente 30cm do smartphone.
- d) Posicione uma das lâmpadas no suporte de lâmpadas que já deve estar encaixado no trilho.
- e) Use as travas da base dos suportes para fixá-los no trilho caso já não estejam.
- f) Conecte os fios conforme figura 1.



3. Atividade experimental:

- a) Faça um desenho esquemático da montagem experimental.
- b) Ligue a fonte de tensão e verifique se ambos os mostradores estão mostrando o valor zero.
- c) Gire a chave do multímetro para a posição 200mA.
- d) Gire lentamente o botão “corrente” da fonte de tensão até que a lâmpada comece a mostrar um pequeno brilho.
- e) Anote na tabela a seguir os valores de tensão (V), intensidade da corrente elétrica (A) e luminosidade (Lux) mostrados respectivamente na fonte de tensão variável, multímetro e aplicativo de celular.
- f) Aumente **lentamente** o valor da intensidade da corrente elétrica girando o botão da fonte e anote os valores. Repita este procedimento 10 vezes e complete a tabela a seguir. **Tenha cuidado para que o valor da tensão não ultrapasse 3V para a lâmpada LED e 6V para a lâmpada halógena.**

| Lâmpada | | | |
|---------|-------|------------|--------------------|
| Medidas | i (A) | Tensão (V) | Luminosidade (lux) |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

- g) Podemos relacionar tensão (V) e corrente elétrica (i) para obter a energia gasta por unidade de tempo. Nomeamos essa relação como potência dissipada e ela pode ser escrita como:

$$Pot = V \cdot i .$$

Utilize a equação para calcular a potência de cada um dos pontos que você mediu no item anterior e preencha a tabela a seguir:

| Medidas | Pot (W) |
|---------|---------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

- h) Troque a lâmpada e refaça as medidas. Preencha as tabelas a seguir com os dados da segunda lâmpada. Não esqueça de identificar em cada tabela qual lâmpada foi utilizada.

Tenha cuidado para que o valor da tensão não ultrapasse 3V para a lâmpada LED e 6V para a lâmpada halógena.

| Lâmpada | | | |
|---------|-------|------------|--------------------|
| Medidas | i (A) | Tensão (V) | Luminosidade (lux) |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

| Medidas | Pot (W) |
|---------|---------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

- i) Trace um único gráfico i (eixo x) x Pot (eixo y) para ambas as lâmpadas no papel milimetrado que você recebeu.

4. Discutindo os resultados:

- a) A partir das grandezas medidas anteriormente (V, i, Pot e Lux) invente uma grandeza para “quantificar” a eficiência das lâmpadas, qual seria a unidade desta sua grandeza?
- b) Baseando-se nesta sua grandeza qual lâmpada você levaria para casa? Por quê?
- c) Você percebeu que nas lâmpadas a energia elétrica é transformada em energia luminosa. Então se para iluminar seu quarto de forma equivalente uma lâmpada gasta mais energia elétrica que outra, para onde deve estar indo este “desperdício” de energia?

Apêndice C: Uma atividade experimental sobre eficiência luminosa



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



MNPEF

Uma atividade experimental sobre eficiência luminosa

Gabrielle Barbosa Aragão

Hugo Milward Riani de Luna

Carlos Eduardo Aguiar

Material instrucional associado à
dissertação de mestrado de Gabrielle
Barbosa Aragão, apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

Caro(a) professor(a), o material apresentado a seguir é separado em duas partes. A primeira é um roteiro destinado a montagem do aparato experimental (figura 1) para medir o brilho de lâmpadas com uso de um aparelho *smartphone*. E a segunda é um guia de uma atividade experimental utilizando o aparato construído.

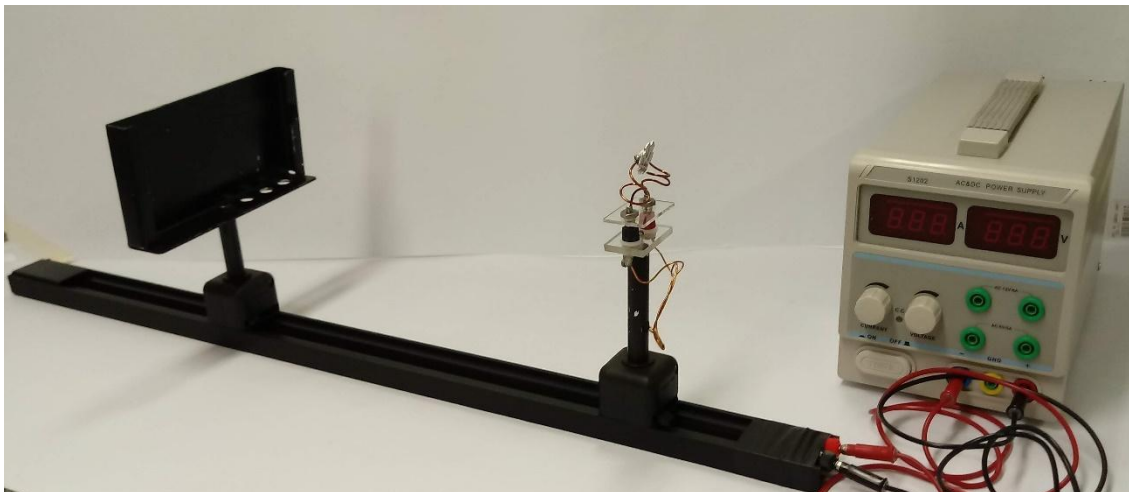


Figura 1: aparato experimental a ser montado.

Parte 1: Construção do aparato experimental

A seguir listaremos os materiais necessários e as instruções de montagem.

- Material:
 - Trilho eletrificado para teto de aproximadamente 50cm
 - 1 lâmpada LED branca de 3W e 3V
 - 1 lâmpada halógena de 10W e 6V
 - 1 soquete para lâmpada halógena
 - Uma fonte de tensão variável
 - 4 bornes fêmeas
 - 4 bornes machos
 - 1 acabamento para trilho de teto
 - 2 encaixes para trilho de teto
 - 2 pedaços de tubo de alumínio de aproximadamente 7cm que encaixe no acabamento para trilhos de teto (que pode ser substituído por tubo de PVC de mesmo diâmetro)

- 2 peças de acrílico de 35x20 mm
 - 1 peça de acrílico de 35x45 mm
 - 1 ferro de solda
 - Solda
 - 2 cabos banana-banana
 - Alguns pedaços de fio de cobre esmaltado
 - Um smartphone *Android* com sensor de luz ambiente e o aplicativo Luxímetro instalado
 - Multímetro
- Montagem:
 1. Vamos começar preparando o trilho.
 2. Comece soldando os bornes fêmeas nos fios de cobre internos do trilho para tetos.
(figura 2)



Figura 2: Detalhe das soldas nas chapinhas de metal dos bornes.

3. Faça um teste utilizando um multímetro para ver saber se o encaixe está fazendo contato com os fios de cobre internos ao trilho.
4. Tenha cuidado para que os contatos não encostem um no outro para não haver curto. Passe fita isolante para que ninguém encoste nos contatos. (figura 3)



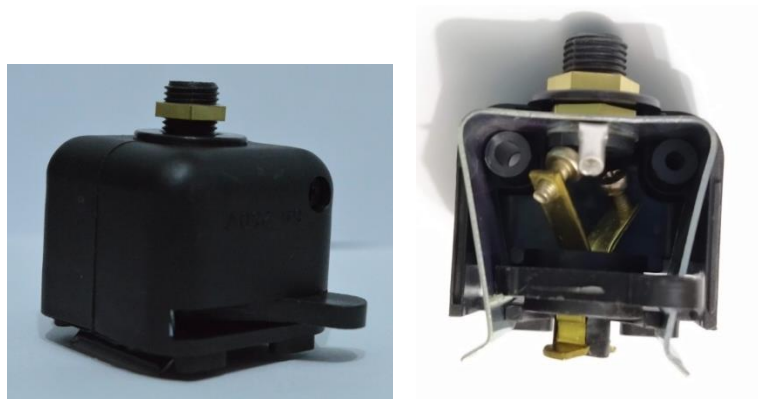
Figura 3: Detalhe dos bornes isolados por fita isolante.

5. Encaixe um acabamento para trilhos na outra ponta do trilho. (figura 4)



Figura 4: Acabamento que deverá ser encaixado em uma das pontas do trilho.

6. Agora vamos preparar os encaixes.
7. Retire os parafusos de um dos encaixes para trilho e solde dois pedaços de fios de cobre, um em cada parafuso interno (figura 7). Lembre-se de que como estamos usando cobre esmaltado antes de utilizar os fios é preciso lixar um pouco para tirar o esmalte da parte que ficará em contato com parafuso.



Figuras 5 e 6: Detalhes do encaixe para trilhos. Fechado (figura 5) e aberto (figura 6)



Figura 7: Peça interna do encaixe. Detalhe dos parafusos onde os fios de cobre devem ser soldados.

8. Após a solda passe os fios pela parte de cima rosqueada e remonte o encaixe.
9. Neste encaixe você deve colocar o pedaço de tubo de alumínio e passar por dentro do tubo os fios de cobre.
10. Na ponta onde sai os fios de cobre você deve prender uma das peças de acrílico de 35x20mm. Estas peças de acrílico devem ter 2 furos pré-feitos antes de seu encaixe no tubo de alumínio. Esses furos devem ter 5mm de diâmetro e distar 5mm das bordas. Fixe essa peça de acrílico no tubo. Além disso, fixe 2 bornes fêmeas nesses furos pré-feitos e solde os fios de cobre (lembrando de lixar as pontas antes) nas chapinhas de metal que vem nos bornes. No final desta montagem o resultado deve ser parecido com a figura 8.



Figura 8: Resultado final da montagem do primeiro conector.

11. No outro encaixe para trilho de teto você deve fixar um suporte para smartphone. Em nossa montagem utilizamos uma peça de metal (figura 9) mas você pode improvisar. Seja criativo. O importante é o sensor de luz ambiente do smartphone ficar alinhado com as lâmpadas que serão utilizadas.



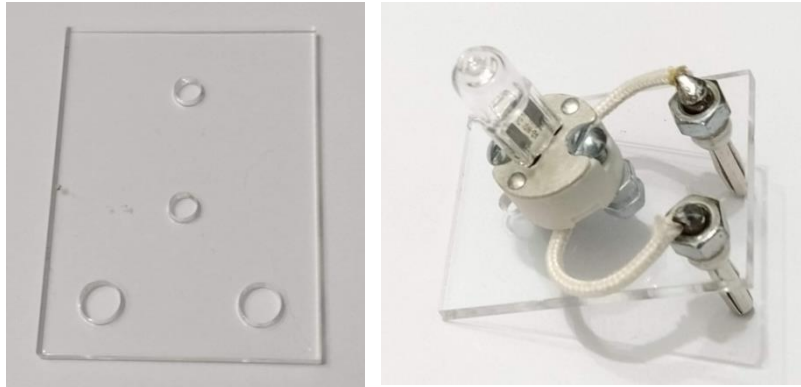
Figura 9: Suporte para smartphone com encaixe para trilho de teto.

12. Vamos agora preparar os suportes para as lâmpadas.
13. Vamos utilizar duas peças de acrílico. Uma de 35x20mm para a lâmpada LED e outra de 35x45mm para a lâmpada halógena.
14. Vamos começar pelo LED. Na peça de acrílico encaixe nos furos pré-feitos dois bornes machos, um em cada furo.
15. Solde dois pedaços de fio de cobre no dissipador de calor (a chapinha de metal atrás do LED). Cuidado ao fazer a solda, pois cada fio deve ser soldado em um pólo da lâmpada.
16. Solde a outra ponta dos fios de cobre um em cada borne. Após esta etapa o resultado obtido deve ser semelhante à figura 10.



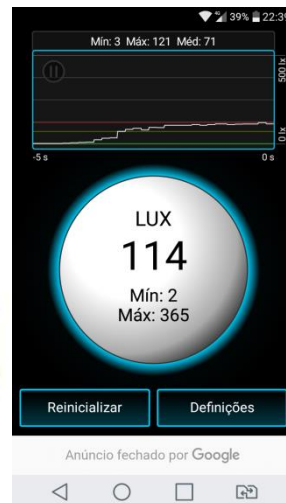
Figura 10: Lâmpada LED fixada nos bornes da placa de acrílico.

17. Para a lâmpada halógena precisaremos da peça de acrílico com alguns furos a mais (figura 11). Esses furos vão depender do soquete que você vai usar para lâmpada. O soquete deve ser preso por parafusos a peça de acrílico. Além disso, você deve prender os bornes machos na placa de acrílico e soldar os fios do soquete nos bornes. (figura 12)



Figuras 11 e 12: Detalhe dos furos da peça de acrílico e resultado final da placa de acrílico com a lâmpada halógena.

18. Agora que você já produziu todas as peças necessárias basta baixar um aplicativo de luxímetro e testar seu experimento. Recomendamos o aplicativo de nome homônimo na Play Store da Google que é gratuito (figuras 13 e 14).



Figuras 13 e 14: Logo do aplicativo Luxímetro e tela do aplicativo.

Parte 2: Guia de uma atividade experimental

Nossa atividade experimental tem como objetivo concluir qual lâmpada, entre uma LED e uma halógena, é mais eficiente. Para isto precisaremos medir, utilizando nosso aparato experimental, a voltagem, a corrente elétrica e a luminosidade. A partir destes dados será possível calcular a potência consumida por cada lâmpada, comparar o brilho a potência consumida e decidir qual das duas lâmpadas é mais eficiente.

Para realizar a atividade é necessário que os alunos tenham conhecimentos básicos sobre circuitos elétricos. Existe um material complementar a este intitulado “Uma aula sobre potência elétrica e brilho de lâmpadas” que apresenta uma aula sobre elementos básicos de circuitos elétricos utilizando analogias, que pode ser utilizado para ensinar os conceitos necessários à aplicação desta atividade experimental.

Antes de por em prática a nossa atividade é importante que algumas observações sejam feitas:

- O ideal é que antes que os alunos cheguem à sala o equipamento já esteja sobre a mesa onde eles irão manuseá-lo.
- Deixe disponíveis as lâmpadas, como nas figuras 10 e 12, e os suportes (figuras 8 e 9) já encaixados no trilho.
- Caso não tenha disponível uma fonte de tensão variável comercial, uma opção é construir a sua. Um modelo de fácil de construção e baixo custo encontra-se disponível no anexo A do trabalho ao qual este material faz parte.
- No caso do uso de uma fonte que não possua um voltímetro e um amperímetro disponíveis, você vai precisar acoplar a montagem experimental dois multímetros. Lembrando que o voltímetro deve ser colocado em paralelo com o circuito e o amperímetro colocado em série.
- Em caso de utilização dos multímetros é importante que se explique brevemente como eles funcionam e o porquê deles serem colocados em tais posições.
- Avise aos alunos que a troca das lâmpadas deve ser feita com a fonte sempre desligada para evitar que as lâmpadas queimem no processo e para que ninguém sofra um choque elétrico.
- Ensine aos alunos a operar a fonte de tensão variável e respeitar os limites de voltagem de cada lâmpada.

- Peça previamente a um aluno de cada grupo que faça o download do aplicativo, a atividade se torna mais interessante quando utilizamos os smartphones deles.

Vamos colocar o smartphone no suporte (figura 9) e pedir que eles abram o aplicativo. Tente ajustar para que o sensor de luz ambiente do telefone fique alinhado com a lâmpada. Coloque a lâmpada a uma distância de aproximadamente 20cm do sensor de luz ambiente. Lembre-se que o sensor faz a leitura de luminosidade, ou seja, lúmen por metro quadrado, então as leituras do sensor de luz ambiente irão variar de acordo com a distância que a lâmpada se encontra dele.

No final do material complementar citado acima se encontra disponível um roteiro para este experimento que serve como um guia desta atividade para os alunos. Seria ideal que para realização da atividade cada grupo possuísse uma cópia.

Peça aos alunos que anotem a voltagem, a corrente elétrica e a luminosidade de 10 pontos para cada lâmpada. É mais fácil se for pedido que os dados sejam tomados de forma que os valores da voltagem sejam crescentes e que o último valor a ser tomado seja o mais próximo possível do limite da lâmpada.

Depois de tomar os dados, peça que eles calculem a potência elétrica para cada ponto e produzam um gráfico único de luminosidade x potência para as duas lâmpadas. O resultado encontrado deve ser similar ao gráfico 1.

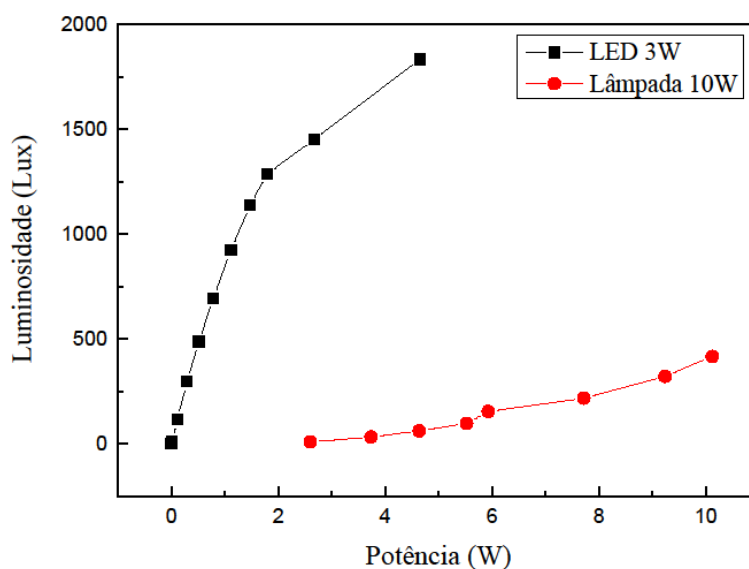


Gráfico 1: Luminosidade versus potência elétrica de uma lâmpada LED e uma lâmpada halógena.

Após a tomada de dados e produção do gráfico discuta com os alunos as conclusões que eles chegaram. Pergunte qual lâmpada eles comprariam para a residência deles e por que. E finalmente questione o que acontece com a energia elétrica que não é transformada em luz. Normalmente eles notam que mesmo a lâmpada LED esquenta no processo.

Esperamos que esta atividade seja uma forma integrar os conceitos estudados em circuitos elétricos com elementos do cotidiano dos alunos, tornando os conceitos práticos e aplicados diretamente a elementos já conhecidos deles de forma a transformar o smartphone num aliado do professor em sala de aula.

Anexo A: Guia para construção de uma fonte de tensão variável de 12V e 1A

Este material é apenas uma sugestão para a construção de uma fonte de tensão variável de 12V e 1A para ser utilizada junto ao aparato experimental apresentado na dissertação. Este foi retirado da revista “Curso Básico de Eletrônica” do prof. Newton C. Braga da editora Saber.

2. Mini fonte

A fonte que descrevemos a seguir é ideal para o leitor ter na sua bancada, pois poderá alimentar a maioria dos aparelhos que montaremos e mesmo fazer alguns testes interessantes com componentes de um PC e seus periféricos. Esta fonte fornece de 0 até aproximadamente 12V de tensão de saída com uma corrente máxima de 1 ampère.

Na figura 34 temos o diagrama completo de nossa fonte de alimentação.

A maioria dos componentes pequenos pode ser soldada diretamente numa ponte de terminais, conforme mostra a figura 35. Observe que o transistor deve ser montado num radiador de calor e que existem diversos componentes cuja polaridade deve ser observada, tais como: os diodos, o diodo zener, os capacitores eletrolíticos eo LED.

Todo o conjunto poderá ser instalado numa caixa conforme mostra a figura 36. Observamos em relação ao Voltímetro que indicará a tensão que está saindo na fonte, que pode ser usado um tipo econômico de ferro móvel já que os tipos de bobina móvel são mais caros. Por outro lado, também podem ser usados microamperímetros de 0 a 200 μA (aprox) como os usados como VU em aparelhos de som, em série com um *trimpot* de 100 k Ω e um resistor de 4,7 k Ω . O *trimpot* pode ser ajustado para se medir a tensão de saída numa escala que o próprio leitor faça com a ajuda de um multímetro.

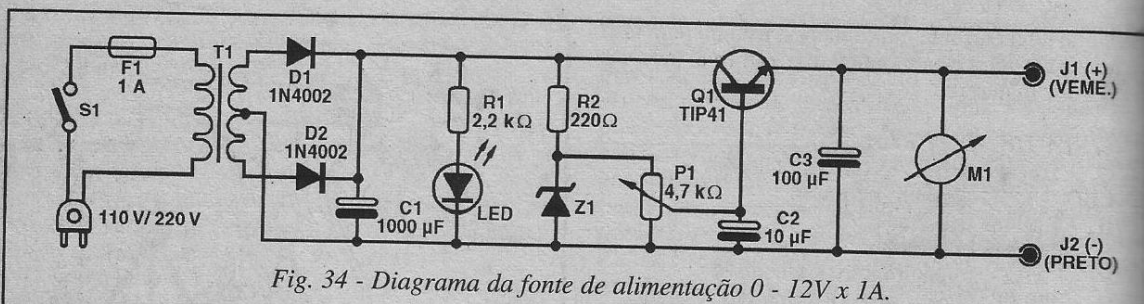


Fig. 34 - Diagrama da fonte de alimentação 0 - 12V x 1A.

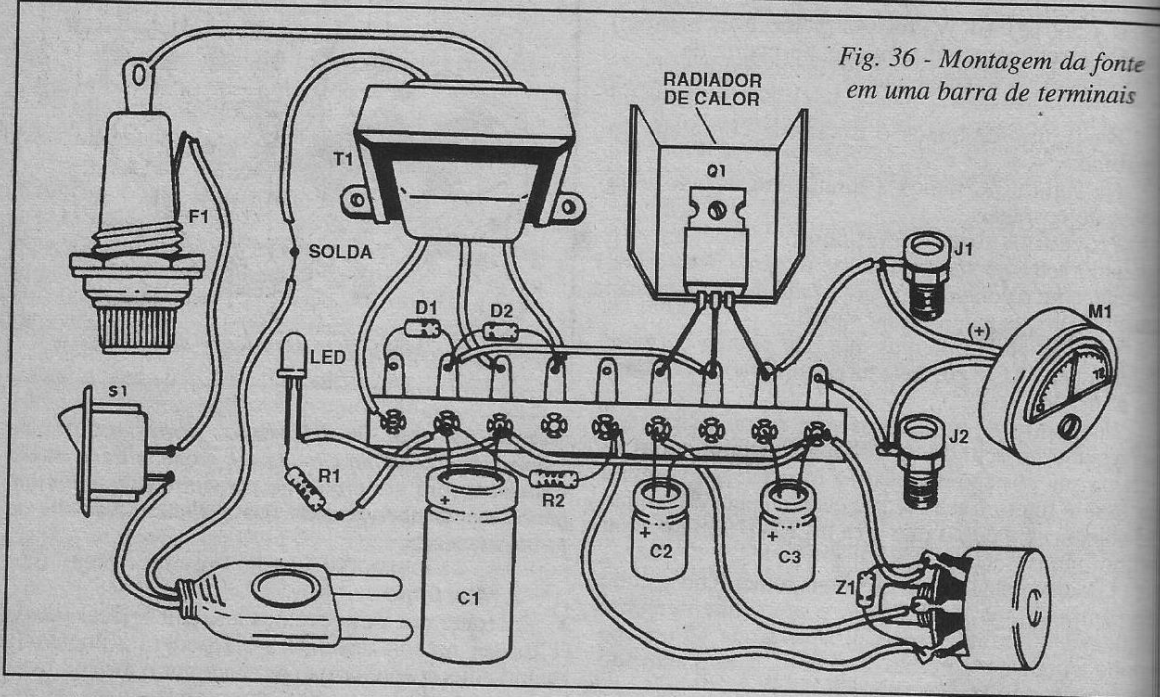


Fig. 36 - Montagem da fonte em uma barra de terminais

LISTA DE MATERIAL

- Q₁ - TIP41 transistor NPN de potência
- D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores
- Z₁ - Zéner de 12,6 V ou 13 V x 400 mW
- LED₁ - LED vermelho comum
- M₁ - Voltímetro de 0-12 V ou 15 V
- T₁ - Transformador com enrolamento primário de acordo com a rede local (110/220 V) e secundário de 12+12 ou 15+15 V com 1 A de corrente
- F₁ - fusível de 1 A com suporte
- P₁ - potenciômetro linear - 4,7 kΩ
- R₁ - 2,2 kΩ x 1/8 W - resistor (vermelho, vermelho, vermelho)
- R₂ - 220 Ω x 1/2 W - resistor (vermelho, vermelho, marrom)
- C₁ - 1 000 µF x 15 V - capacitor eletrolítico
- C₂ - 10 µF x 16 V - capacitor eletrolítico
- C₃ - 100 µF x 16 V - capacitor eletrolítico
- Diversos: ponte de terminais, caixa para montagem, bornes vermelho e preto, radiador de calor para o transistor (chavinha de metal de 5 x 5 cm), cabo de alimentação, interruptor geral (S₁), fios, solda etc.

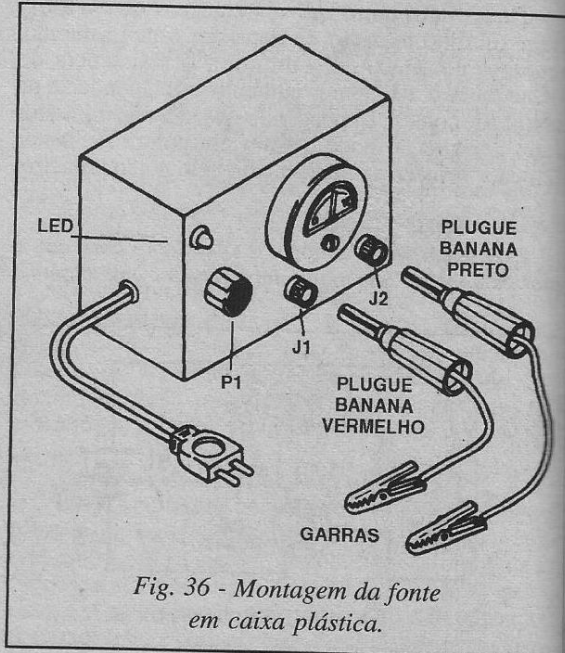


Fig. 36 - Montagem da fonte em caixa plástica.

Ao usar esta fonte lembramos que a corrente máxima de saída é de 1 ampère e que se cargas maiores forem ligadas, além da tensão cair anormalmente na saída também teremos a possibilidade de queimar o transistor.

Apesar das instruções utilizarem uma barra de terminais, a mesma fonte pode ser montada utilizando uma placa de circuito impresso. Para maiores informações de como transferir o circuito para a placa de circuito impresso são encontradas no vídeo “Como fazer uma placa de circuito impresso” no link do YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=P08uX38rr7o>) do canal do Manual do Mundo que contém as instruções de como fazer uma placa de circuito impresso caseira.