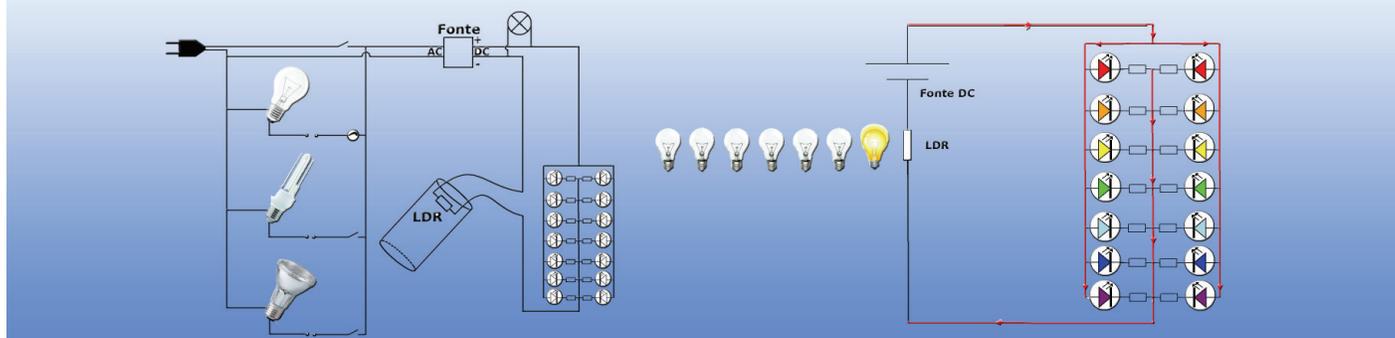


LÚDICO: Luxímetro Didático Comparativo



M.M. Lopim^{1,2},
S.L. França^{1,2},
M.F.S. da Costa^{1,2},
B. Gonçalves²,
B.F. Rizzuti^{1*}

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, Brasil

²Núcleo de Física, Laboratório de Inovação Tecnológica, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora - MG, Brasil

*E-mail: brunorizzuti@ice.ufjf.br

Introdução

A utilização consciente de energia elétrica é uma questão em alta na atualidade, principalmente em um momento em que as mudanças climáticas influenciam nossa principal fonte de geração de energia elétrica, as usinas hidrelétricas [1]. Caminhando nesse sentido, no ano de 2010 foi publicada a portaria interministerial número 1007 [2], que exige mínima eficiência energética de lâmpadas incandescentes para sua comercialização. Com a concorrência de mercado, tais lâmpadas foram sendo gradativamente substituídas por lâmpadas mais eficientes, por exemplo as fluorescentes compactas e as lâmpadas de LED (*light emitting diode*). Poderíamos então perguntar quais propriedades físicas de uma lâmpada a caracterizariam como mais eficiente em relação a outras. Este trabalho propõe uma resposta a esse questionamento, apresentando um luxímetro didático e comparativo (LÚDICO). O aparato consiste em um quadro capaz de coletar informações como corrente e temperatura de lâmpadas (incandescente, fluorescente compacta e de LED), além de apresentar também uma escala de LEDs, que estão dispostos com as cores do espectro de frequência cada vez mais alta. Essa escala indica o poder de iluminação das lâmpadas que serão comparadas. Os detalhes de construção e funcionamento de cada componente do LÚDICO serão apresentados ao longo do trabalho.

Se por um lado o aparato compara lâmpadas, por outro apresentamos um instrumento didático que pode ser utilizado em sala de aula para a introdução de diversos conceitos físicos distintos. Res-

saltamos que os objetivos principais deste trabalho são mostrar como construir o produto, além de sugerir possíveis aplicações em sala aula. Não é nosso foco aqui discutir a eficácia para ensino-aprendizagem nem aprofundar em metodologias pedagógicas.

A construção do instrumental

Nesta seção vamos detalhar o instrumental, incluindo materiais, dispositivos eletrônicos e elétricos, materiais de fixação e de segurança. Ela será dividida em duas partes. Na primeira, exibiremos o exterior do produto; já na segunda, mostraremos o interior do LÚDICO, com especificações dos circuitos que o compõem e, sempre que necessário, detalhes da montagem serão apresentados.

Exterior do LÚDICO

O instrumental foi projetado para ser de fácil manuseio e transporte e de reprodução simplificada. Dessa forma, o mesmo foi construído com as características de um quadro de madeira (em forma de mala) com as seguintes dimensões: 65 cm de largura, 48 cm de comprimento e 5 cm de altura. A madeira utilizada na fabricação é do tipo MDF

(*Medium Density Fiberboard*), material oriundo de madeira e fabricado com resinas sintéticas, nas espessuras de 6 mm para o tampo, 9 mm para o fundo e 15 mm para as laterais.

Iniciamos o detalhamento com a parte externa do quadro, conforme a Fig. 1. Ela foi enumerada com os diversos componentes do produto, que passaremos a descrever.

1) Cabo de energia: é constituído de um fio paralelo, bitola 2,0 mm com aproximadamente 3 m de comprimento. Sua

Quais propriedades físicas de uma lâmpada a caracterizariam como mais eficiente em relação a outras? Este trabalho propõe uma resposta a esse questionamento, apresentando um luxímetro didático e comparativo

Apresentamos neste trabalho um luxímetro didático e comparativo (LÚDICO), com o propósito de contrastar lâmpadas quanto à sua eficiência energética. O aparato coleta informações como temperatura e corrente de lâmpadas em funcionamento, apresentando também uma escala de LEDs que retrata a eficiência luminosa destas. Além desse caráter comparativo, o LÚDICO mostra-se um instrumento didático visualmente atrativo para ensino de diversos conceitos físicos.

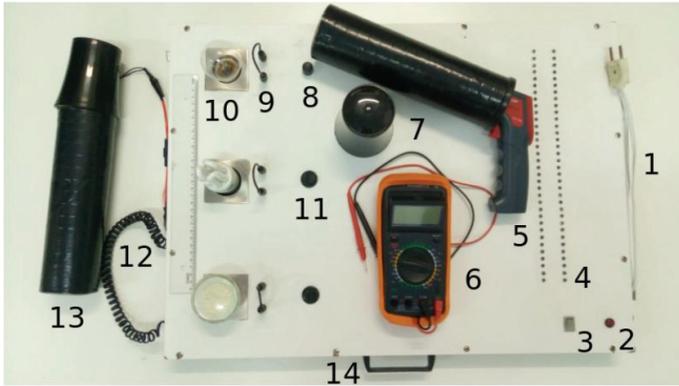


Figura 1: Quadro montado com os componentes.

finalidade é alimentar o quadro com uma tensão de 127 V.

2) Lâmpada piloto: lâmpada indicadora de que o quadro está energizado e pronto para ser utilizado.

3) Chave liga/desliga do quadro: modelo 13123 MFTFS1S, liga/desliga, tipo tecla, 3 A da marca Margirius.

4) Escala de LEDs: escala composta de 68 LEDs de 5 mm e de alto brilho. Os LEDs são organizados por cores, de forma que a escala acende na sequência do espectro visível da luz. Os LEDs estão divididos em: 16 na cor vermelho, 8 na cor alaranjado, 6 na cor amarelo, 14 na cor verde, 10 na cor azul/branco, 10 na cor azul e 4 na cor violeta. Os LEDs são ligados em paralelo e em coluna dupla, ou seja, dois LEDs da mesma cor por linha.

5) Termômetro infravermelho e tubo: marca INSTRUTEMP, modelo ITTI 380. O tubo que envolve a boca do termômetro nada mais é que uma embalagem cilíndrica de batata frita do tipo chips encontrada no mercado. O referido tubo é recoberto com fita isolante.

6) Multímetro: é do tipo digital, marca CE e especificação DT9205A. O multímetro é fixado por um suporte, aparafusado na tampa do quadro.

7) Copo: o copo preto de PVC rígido acompanha o produto. Sua finalidade, como detalharemos posteriormente, é proteger o usuário de luminosidade excessiva, quando as lâmpadas estão acesas em conjunto.

8) Dimmer: marca Force Line, linha rubi, branco, 127 V, potência 300 W com botão rotativo.

9) Conectores RCA: composto de cabo flexível de 8 cm de comprimento na cor preta de bitola 2,5 mm, dois plugues RCA e respectivos soquetes.

10) Local de fixação das lâmpadas: conjunto constituído por um soquete de porcelana modelo E27, com acabamento feito por um spot quadrado de aço escovado comumente utilizado em iluminação

de interiores. Os locais são em número de três, um para receber a lâmpada incandescente de 127 V e 60 W, outro para a lâmpada fluorescente compacta de 127 V e 9 W e outro para a lâmpada de LED 127 V e 2,2 W.

11) Chave liga/desliga da lâmpada: modelo KCD1-106 101, liga/desliga, tipo tecla, 6 A da marca Margirius.

12) Cabo extensor: cabo em espiral para telefone com a função de facilitar a mobilidade do tubo equipado com sensores de LDR (*light dependent resistor*).

13) Tubo composto de sensores LDR: embalagem cilíndrica de batata frita do tipo chips encontrada no mercado. O referido tubo também é, assim como o tubo do termômetro, recoberto com fita isolante e no seu interior (fundo) há um conjunto formado por sensores LDR, cujos detalhes serão dados na próxima subseção.

14) Alça: fabricada em PVC rígido com punho de 85 mm por 20 mm.

Além desses itens também são utilizados parafusos, cola quente, fita isolante e materiais para fechamento e fixação da caixa. Esta seção tem o objetivo de servir como guia de montagem e é importante notar que há liberdade no tamanho da

caixa, dos fios condutores e em todos os itens de acabamento. Já as quantidades de componentes eletrônicos são exatas e indispensáveis para o bom funcionamento do produto.

Interior do LÚDICO

O interior do produto é mostrado de maneira esquemática na Fig. 2. Enfatizamos que ela não é um esquema elétrico, apenas indica de forma didática como fazer as ligações do produto. Para uma revisão pedagógica sobre ligações em série, em paralelo e mista, sugerimos ao leitor a Ref. [3].

O cabo de energia alimenta as lâmpadas (incandescente, fluorescente e de LED), além de alimentar uma fonte LG 50/60 Hz, 100/240 V, 0,2 A, típica de telefones celulares. A fonte, por sua vez, também tem dupla função. Ela alimenta tanto a lâmpada piloto, que aparece ao lado direito da fonte na Fig. 2, quanto a escala de LEDs. Na Fig. 2, foram colocados somente 7 pares de LEDs, sendo que cada par representa um grupo de cor, indo do vermelho ao violeta. Os LEDs são ligados em paralelo com a fonte, todos sob a mesma tensão, com polaridade bem definida. Para evitar que os LEDs sejam danificados, cada um recebe um resistor de 820 Ω , representado por um pequeno retângulo conectado com o LED, conforme indica a Fig. 2. O polo negativo da fonte é conectado em série com os sensores LDR, fechando o circuito. O último detalhe técnico relevante é a montagem dos LDR, conforme mostrado na Fig. 3. Nela podemos observar que 18 LDRs, modelo GL5528 [4], foram fixados na própria tampa do tubo de batata chips e ligados em paralelo.

Funcionamento do produto

Descreveremos adiante o funcionamento do produto. Ele pode ser entendido

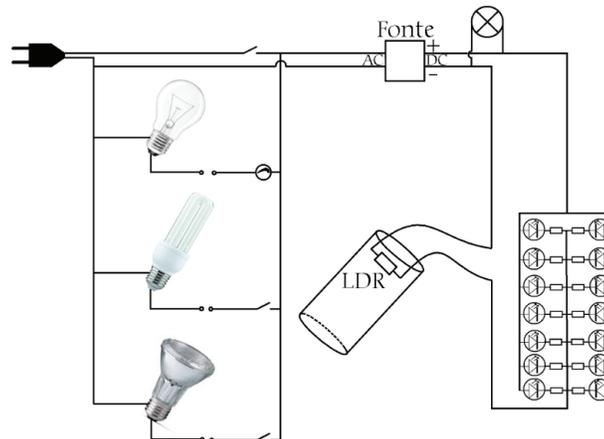


Figura 2: Esquema representativo do LÚDICO.



Figura 3: Placa composta de 18 sensores LDR ligados em paralelo para captação de luminosidade.

quando conhecemos como dois componentes do circuito funcionam. São eles o LDR e o LED.

O LDR é um resistor que altera sua resistência quando iluminado, chegando a variar a resistência da ordem de megaohms, quando o sensor está no escuro, a ohms, quando é iluminado [4].

O LED é um diodo que emite luz e suas aplicações vão da formação de letras/números em placares digitais, passando pela iluminação de lares com baixo custo energético e chegando até mesmo à transmissão de dados com LEDs infravermelhos em controles remotos. Sua importância é tão fundamental para nosso mundo moderno que os idealizadores do LED azul foram laureados com o Nobel em 2014 [5]. Os LEDs possuem polarização, isto é, só acendem com os polos positivos e negativos de uma fonte conectados corretamente no diodo. Uma de suas propriedades mais notáveis é que eles precisam de um potencial mínimo para acender, fato este que só pode ser explicado pela mecânica quântica [6]. Como consequência disso, quando alimentamos um LED com uma fonte variável, ele apresenta resistência infinita à passagem de corrente, até que se atinja o potencial mínimo para que ele acenda, quando então sua resistência fica próxima do zero.

Com estas informações em mãos, já podemos entender nosso “luxímetro qualitativo” [7]. Conectamos a associação de LDRs em série com a fonte, gerando com isso uma bateria ruim, pois sua resistência interna é alta, ao ponto de que nenhuma corrente passe pelo circuito com os LEDs e ainda não haja tensão mínima para acender nem mesmo o LED vermelho (dentro os LEDs de alto brilho utilizados, o vermelho é o que necessita de menor tensão para ser aceso. Curiosamente, quanto maior a frequência da cor emitida, maior

a tensão mínima para ser acesa). Essa situação ocorre com o tubo coletor de iluminação totalmente no escuro. À medida que o tubo é iluminado, seja por luz ambiente ou por alguma das lâmpadas, baixamos a resistência dos LDRs, fazendo com que nossa bateria melhore. A colocação de 18 LDRs no equipamento foi empiricamente determinada para que o mesmo apresentasse funcionamento satisfatório. Dessa maneira, podemos acessar as tensões necessárias para o acendimento da escala de LEDs, que por sua vez caracteriza o poder de iluminação de cada lâmpada. O efeito de uma escala que acende na ordem do espectro visível confere ao produto um caráter visualmente atrativo.

Com a sequência de imagens nas Figs. 4 e 5, representamos simbolicamente situações em que uma lâmpada é colocada sobre o LDR, acendendo somente até o LED verde, passando pelo vermelho, laranja e amarelo. Quando uma lâmpada com maior poder de

O LED é um diodo que emite luz e suas aplicações vão desde placares digitais, passando pela iluminação de lares com baixo custo energético e chegando à transmissão de dados com LEDs infravermelhos em controles remotos

composto pelos LDRs, deverá encobrir cada lâmpada acesa, de forma que sejam verificadas no painel o acendimento e o brilho dos LEDs, que estão dispostos acendendo na mesma ordem das cores do espectro eletromagnético visível.

No terceiro bocal, os mesmos procedimentos são realizados para a lâmpada incandescente. Ela é deixada por último devido ao seu aquecimento, podendo até mesmo, por exemplo, derreter o copo preto. A diferença é que nessa etapa podemos

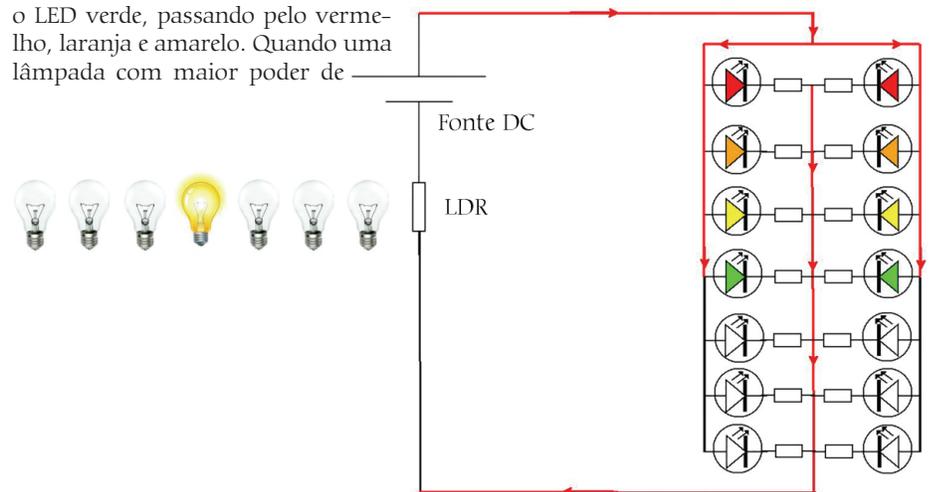


Figura 4: Acendimento dos LEDs com uma lâmpada com poder de iluminação médio.

iluminação é colocada, ele poderia, por exemplo, acender até o LED violeta (nestas figuras, quanto mais longe do LDR está a lâmpada acesa, menor é o seu poder de iluminação).

Utilização

Inicialmente, pluga-se a tomada anexada ao LÚDICO no terminal de 127 V. As três lâmpadas – incandescente, fluorescente e de LED – são enroscadas nos três bocais, sendo que a incandescente deve ser ajustada sempre no bocal com o *dimmer*. Liga-se a chave geral e a lâmpada piloto acende, indicando que o quadro está energizado.

As lâmpadas fluorescente e de LED são acesas e cobertas com o copo preto; esperamos em torno de três minutos para que atinjam o equilíbrio térmico. Medimos então a temperatura das duas lâmpadas com o termômetro infravermelho. As respectivas correntes são ligadas com o amperímetro, com fundo de escala de 20 mA e ajustado para corrente alternada. Os fios do amperímetro são plugados nas entradas RCA. Na sequência, o fotossensor,

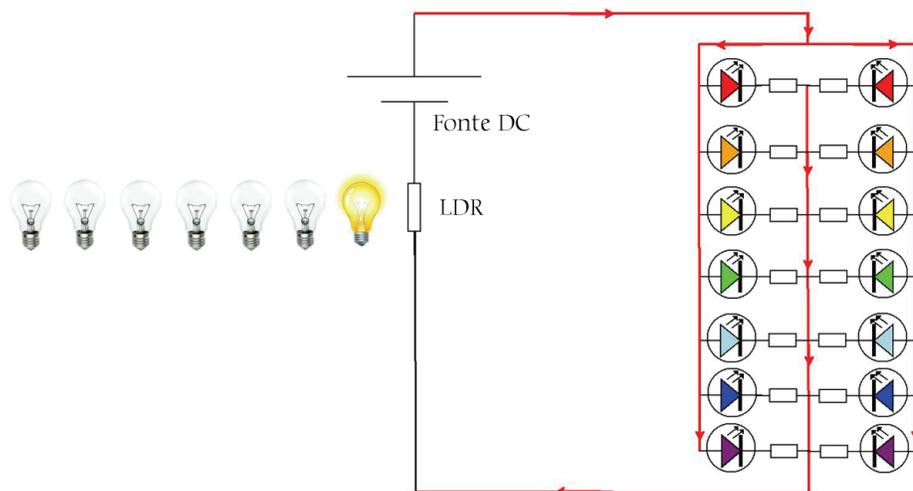


Figura 5: Representação esquemática de uma lâmpada com poder de iluminação maior que a lâmpada da Fig. 4.

usar o *dimmer* para controlar o brilho da lâmpada e assim obter variações nos valores de corrente, temperatura e de cores de LEDs acesos. Para uma demonstração de utilização do LÚDICO, convidamos o leitor a assistir ao vídeo <https://youtu.be/xZuHVwBLN2E>.

Possíveis aplicações em sala de aula

Esta seção é dedicada a algumas sugestões de aplicações do produto em sala de aula. Serão apresentadas três atividades, nas próximas subseções.

Pela sua estrutura, o LÚDICO pode possibilitar a aquisição de diferentes habilidades e competências. Entre várias, podemos destacar: aprender a fenomenologia da eletricidade em situações reais, como o reconhecimento de aparelhos elétricos, dimensionando a utilização de cada equipamento; compreender o significado dos dispositivos eletrônicos e suas devidas aplicações e, por fim, que eles possam apreciar a economia de energia por meio do estudo sobre a eficiência de lâmpadas.

Efeito Joule

O efeito Joule corresponde ao aquecimento de determinado condutor ao resistir à passagem de corrente elétrica. São inúmeras as aplicações de tal efeito, por exemplo, ferros de passar roupa, resistên-

cias dos chuveiros e aquecedores são todos baseados nesse fenômeno. Este trabalho propõe então um estudo quantitativo sobre o efeito Joule, utilizando uma lâmpada incandescente. Com o produto apresentado para uma turma, os alunos são convidados a fazer medidas tanto de corrente quanto de temperatura de cada uma das lâmpadas, incandescente, fluorescente e de LED. Sugerimos que as lâmpadas sejam acesas com certa antecipação, para garantir que as mesmas tenham atingido uma situação de equilíbrio térmico. Para que a luz emitida não seja incômoda, o professor tampa as lâmpadas acesas com um copo plástico preto, que acompanha o produto. A coleta de dados pelos alunos pode ser feita, por exemplo, com a Tabela 1.

É importante ressaltar que para cada medida de corrente elétrica deve-se realizar uma de temperatura ou vice-versa, e ambas devem ser anotadas. Após essa etapa, os alunos devem discutir sobre os resultados coletados. Abaixo deixamos uma lista de possíveis perguntas que o professor pode dar aos alunos para induzir a discussão:

- i) Qual das lâmpadas esquentou

mais?

ii) Qual delas utiliza mais corrente elétrica?

iii) Você consegue estimar uma relação entre corrente e temperatura?

iv) Onde ocorre o efeito Joule na lâmpada incandescente? E nas outras lâmpadas, que não possuem filamento?

v) Quais as aplicações do efeito Joule no seu cotidiano?

Sugerimos que essa aplicação seja feita para alunos da terceira série do Ensino Médio, por envolver conceitos de eletricidade.

$E = hf$ e a quantização da energia

Uma outra atividade que propomos está ligada à verificação, ao menos qualitativa, da fórmula famosa

$$E = hf \quad (1)$$

proposta por A. Einstein para explicar o efeito fotoelétrico [8].

O professor propõe à turma que se regule o *dimmer* para que a lâmpada incandescente apresente o maior brilho, anotando o valor da corrente que a alimenta, tomando nota também da cor do LED

aceso. O *dimmer* é então regulado vagarosamente para que a lâmpada brilhe cada vez menos. Durante essa etapa, quem regula o *dimmer* deve pausar a rotação para que sejam anotados os valores de corrente e cor. Os dados podem ser anotados, por exemplo, em uma tabela como a apresentada na Fig. 6.

O professor deve, de maneira qualitativa, relacionar a corrente na lâmpada incandescente com energia. A palavra “energia” neste experimento consiste na energia luminosa emitida pela lâmpada e coletada pelo sensor LDR (com maior valor de corrente elétrica, a lâmpada brilha com mais intensidade). O experimento retrata que a energia é uma função monótona com a frequência do LED aceso: quanto maior a corrente, maior a frequência do LED aceso na escala. Assim, de maneira qualitativa, o professor induz a classe a concluir que $E \sim f$.

O professor também pode explorar o caráter “quântico” da escala de LEDs: todos eles são alimentados pela mesma fonte, conforme indica a Fig. 2. Contudo, nem todos acendem simultaneamente. De fato, ao girar o *dimmer*, vemos que cada vez menos LEDs vão se mantendo acesos e notavelmente eles se apagam por grupos de cores. Esse comportamento é ortogonal à própria lâmpada incandescente. Ela vai

Tabela 1: Coleta de dados para estudo do efeito Joule.

Lâmpadas	Corrente	Temperatura
Incandescente		
Fluorescente		
LED		

Corrente (Energia)	Cor (Frequência)
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Figura 6: Tabela para coleta de dados de energia por cor de LED.

apagando lentamente e não por saltos como os LEDs da escala.

Sugerimos que esta atividade seja feita em turmas de terceira série do Ensino Médio por envolver conceitos de ondulatória (frequência), eletricidade (correntes) e primórdios de física moderna.

Caracterização de lâmpadas mais eficientes

Essa atividade surge como uma continuação natural das duas primeiras. Ela consiste em caracterizar quão eficiente é uma lâmpada em relação às demais.

Na primeira etapa, os estudantes podem comprovar o aumento de corrente elétrica e o de temperatura nas lâmpadas. Dessa forma, o professor pode finalizar em uma aula de interação professor-aluno a construção do conhecimento sobre o Efeito Joule.

Já na segunda parte do procedimento, os alunos conseguiram determinar que quanto mais a intensidade luminosa que uma lâmpada emite sobre os sensores de LDR, mais cores de LEDs serão acesas na escala do LÚDICO.

O intuito então desta parte é correlacionar todos estes dados, tentando caracterizar fisicamente qual das lâmpadas é a mais eficiente. Uma possível per-

gunta que o professor pode propor à turma é: “Com base nos recursos disponíveis e no experimento apresentado, qual lâmpada pode ser classificada como a mais eficiente? Sua justificativa deve conter as seguintes palavras: corrente, temperatura, escala de LEDs”.

Conclusão

Apresentamos ao longo deste artigo tanto a construção quanto o funcionamento de um luxímetro didático para lâmpadas. É possível notar que a confi-

guração final do produto é visualmente atrativa e com isso poderia despertar a curiosidade de alunos com facilidade. A escala colorida de LEDs, além de ser um medidor com diversos conceitos físicos a serem explorados, traz um grande destaque para o equipamento.

O luxímetro deve ser utilizado como um quadro comparativo. Também podem ser utilizadas outras lâmpadas que já estão no mercado, como as halógenas. Pode-se, por exemplo, fazer a investigação de como o quadro classificaria a eficiência energética dessa lâmpada. Ela é mais eficiente que a incandescente comum ou está entre a fluorescente compacta e a de LED? Atividades com caráter investigativo, como o desta pergunta, com aplicação em sala de aula para professores do Ensino Médio, foram sugeridas ao longo do texto.

Ressaltamos, contudo, que o ponto mais interessante a ser explorado com o luxímetro é a introdução de novas tecnologias. Uma lâmpada que seja lançada no mercado, digamos de OLED, pode ser devidamente testada pelo LÚDICO. Dessa forma, o quadro se mostra dinâmico, podendo ser sempre atualizado para mostrar a eficiência de qualquer tipo de lâmpada.

Por fim, o produto também pode ser utilizado para discussões sobre produção de lâmpadas em larga escala e motivos mercadológicos para substituição de uma tecnologia por outra. Nesse ponto ele pode servir como elo para um trabalho interdisciplinar com professores de outras áreas, como história e geografia.

Referências

- [1] A. Chaves, *A Água, o Vento, o Sol e a Eletricidade*, disponível em <http://alaorchaves.com.br/wp-content/uploads/2018/04/A-%C3%81GUA-O-VENTO-O-SOL-E-A-ELETRICIDADE-2.pdf>. Acesso em 05/06/2018.
- [2] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, *Portaria Interministerial Número 1007*, de 31 dezembro de 2010. Diário Oficial da União, p. 44, 2010.
- [3] Mauro Costa da Silva, *Física na Escola* **12**, 16 (2011).
- [4] LDR, Light Resistance Diode, *Cds Photoconductive Cells - GL5528*, disponível em https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_LDR.pdf. Acesso em 05/06/2018.
- [5] I. Akasaki, H. Amano and S. Nakamura, *The Nobel Prize in Physics 2014*, disponível em https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/. Acesso em 05/06/2018.
- [6] Eduardo de Campos Valadares, Alaor S. Chaves e Esdras Garcia Alves, *Aplicações da Física Quântica: Do Transistor à Nanotecnologia* (Livraria da Física, São Paulo, 2005).
- [7] L.S. Pedrosa, J.A. Macêdo, M.S.T. Araújo e M.R. Voelzke, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **38**, e2503 (2016).
- [8] A. Einstein, *Ann. Phys.* **17**, 132 (1905).